

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Никишкина Татьяна Юрьевна
Должность: Директор
Дата подписания: 29.05.2026 07:58:57
Уникальный программный ключ:
0a44cc3e5f5bb746f50175c8a89718ffd301d635

**ОМСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
учебной дисциплины
ОП.08 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА
Для специальности: 26.02.03 «Судовождение»

Омск

Содержание

1. Паспорт комплекта контрольно-измерительных материалов	3
2. Пояснительная записка.....	6
3. Контрольно-измерительные материалы для оценки освоения учебной дисциплины и их краткая характеристика.....	6
3.1. Текущий контроль.....	6
3.2. Рубежный контроль.....	10
3.3. Промежуточный контроль.....	11
4. Контрольно-оценочные материалы для промежуточной аттестации по учебной дисциплине.....	11
4.1. Задание для дифференцированного зачета.....	11
4.2. Условия проведения дифференцированного зачета.....	11
Приложение А. Задания для проведения текущего контроля в форме технического диктанта.....	13
Приложение В. Задания для проведения текущего контроля в форме кроссворда.....	21
Приложение С. Задания для проведения текущего контроля в форме решения индивидуальных задач.....	30
Приложение Д. Задания для проведения текущего контроля обучающихся в форме практических занятий.....	152
Приложение Е. Тематика рефератов, сообщений по дисциплине.....	199
Приложение F. Фонд тестовых заданий.....	200
Приложение G. Задания для проведения рубежного контроля в форме решения задач по образцу.....	234
Приложение H. Задания для проведения рубежного контроля в форме контрольной работы.....	243
Приложение I. Вопросы для дифференцированного зачета по дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача.....	246

1. ПАСПОРТ КОМПЛЕКТА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате освоения учебной дисциплины ОП.07. Техническая термодинамика и теплопередача обучающийся должен обладать предусмотренными ФГОС СПО по специальности 26.02.03 «Судовождение» и направлена на формирование общих и профессиональных компетенций.

Код ОК	Уметь	Знать
ОК.01	– 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).	– актуальный профессиональный и социальный контекст, в котором приходится работать и жить; – структуру 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.
ОК.02	– определять задачи для поиска информации, планировать процесс поиска, выбирать необходимые источники информации; – выделять наиболее значимое в перечне информации, структурировать получаемую информацию, оформлять результаты поиска; – оценивать практическую значимость результатов поиска; – применять средства информационных технологий для решения профессиональных задач; – использовать современное программное обеспечение в профессиональной деятельности; – использовать различные цифровые средства для решения профессиональных задач.	– номенклатуру информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности; – приемы структурирования информации; – формат оформления результатов поиска информации; – современные средства и устройства информатизации, порядок их применения; – программное обеспечение в профессиональной деятельности, в том числе цифровые средства.
ОК.04	– организовывать работу коллектива и команды; – взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе	– психологические основы деятельности коллектива; – психологические особенности личности.

	профессиональной деятельности.	
ОК.05	– грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке; – проявлять толерантность в рабочем коллективе.	– правила оформления документов; – правила построения устных сообщений; – особенности социального и культурного контекста.
ОК.07	– соблюдать нормы экологической безопасности; – определять направления ресурсосбережения в рамках профессиональной деятельности по специальности; – организовывать профессиональную деятельность с соблюдением принципов бережливого производства; – организовывать профессиональную деятельность с учетом знаний об изменении климатических условий региона; – эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.	– правила экологической безопасности при ведении профессиональной деятельности – основные ресурсы, задействованные в профессиональной деятельности – пути обеспечения ресурсосбережения – принципы бережливого производства – основные направления изменения климатических условий региона – правила поведения в чрезвычайных ситуациях.
ОК.09	– понимать общий смысл четко произнесенных высказываний на известные темы (профессиональные и бытовые), понимать тексты на базовые профессиональные темы; – участвовать в диалогах на знакомые общие и профессиональные темы; – строить простые высказывания о себе и о своей профессиональной деятельности; – кратко обосновывать и объяснять свои действия (текущие и планируемые); – писать простые связные сообщения на знакомые или интересующие профессиональные темы.	– правила построения простых и сложных предложений на профессиональные темы; – основные общеупотребительные глаголы (бытовая и профессиональная лексика); – лексический минимум, относящийся к описанию предметов, средств и процессов профессиональной деятельности; – особенности произношения; – правила чтения текстов профессиональной направленности.
	– реализовывать на практике национальные и международные требования по эксплуатации судна; – определять типы судов; – ориентироваться в расположении судовых помещений	– классификацию судов и обозначения на судах; – навигационные качества судна, технико-эксплуатационные характеристики судна, главные размерения и коэффициенты полноты, водоизмещения, грузоподъемности, непотопляемости и остойчивости; – архитектурный тип судна, конструкцию корпуса, конструкцию надстроек и

		оборудования судовых помещений; конструкцию грузовых люков; конструкцию отдельных узлов судна; конструктивную противопожарную защиту; судовые устройства; назначение и классификацию судовых систем; – назначение, состав, функционирование системы предупреждения загрязнения
	выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей	основные понятия теории теплообмена; теоретические основы механики, статики и динамики жидкостей и газов, термодинамики и гидромеханики; теоретические основы гидравлики

2. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Система контроля качества образования курсантов (студентов) специальности 26.02.03 «Судовождение» включает описание задач, функций и условий формирования фонда контрольно-измерительных материалов, раскрывает содержание видов и форм контроля, включая традиционные, комплексные и инновационные измерительные материалы.

Контрольно-измерительные материалы определяют организацию и планирование результатов самостоятельной работы курсантов (студентов) и оценку качества освоения дисциплины.

Все контрольно-измерительные материалы, а также описание форм и методов, предназначенных для определения качества освоения курсантом (студентом) учебного материала, являются неотъемлемой частью основной профессиональной образовательной программы в целом и УМК дисциплины.

Формой аттестации по учебной дисциплине является *дифференцированный зачет*.

3. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ И ИХ КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Оценка теоретического курса учебной дисциплины ОП. 07. Техническая термодинамика и теплопередача осуществляется с использованием следующих форм и методов контроля:

- текущий контроль – выполнение тестовых заданий; решение задач по образцу; решение индивидуальных задач; выполнение, расчет и защита отчетов по практическим занятиям;
- рубежный контроль – выполнение контрольной работы;
- промежуточный контроль – дифференцированный зачет.

3.1. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ

Технический диктант

Чтобы выяснить, как курсанты (студенты) усваивают тот или иной материал, им предлагается за определённое время дать ответы в форме «да, нет» на пять вопросов с помощью определенных знаков. Применение такого метода способствует развитию внимания студентов, так как они должны воспринять вопрос преподавателя на слух, кроме того, позволяет строго регламентировать время выполнения работы и вносит некоторое разнообразие в формы *текущей проверки* знаний. Работа проходит в быстром темпе и поэтому такие технические диктанты занимают 5 – 7 минут.

Правильный ответ на 5 вопросов соответствует оценке «отлично», на 4 вопроса – «хорошо», на 3 вопроса – «удовлетворительно».

Технические диктанты проводятся по двадцати одной теме:

1. Законы газов и жидкостей.
2. Теплоемкость газов.
3. Основные положения термодинамики.
4. Теплоемкость.
5. Законы термодинамики.
6. Энтальпия и энтропия.
7. Теория теплообмена.
8. Термодинамические параметры состояния.
9. Водяной пар и его свойства.
10. Теплообмен излучением.
11. Виды течения жидкости.
12. Идеальный и реальный газ.
13. Термодинамические процессы.
14. Прямой и обратный цикл.
15. Газовые смеси.
16. Истечение и дросселирование газов и паров.
17. Циклы ПТУ.
18. Основные положения конвективного теплообмена.
19. Режимы течения и кипения.
20. Лучистый теплообмен.
21. Теплообменные аппараты.

Типовые технические диктанты приведены в *Приложении А*.

Кроссворд

Кроссворд является одной из форм *текущего контроля*, которая позволяет повысить интерес курсантов (студентов) к дисциплине в процессе обучения.

В каждой теме выделяются ключевые понятия и термины, которые положены в основу кроссворда. Решение кроссворда – занятие увлекательное и полезное, позволяет тренировать память и выполняется на учебном занятии в течение 15-20 минут. Правильно решенный на 100% кроссворд оценивается «отлично», на 90% – «хорошо», на 60-80% – «удовлетворительно», менее 60% – «неудовлетворительно».

Решение кроссворда выполняется курсантами (студентами) по темам:

1. Основы термодинамика.
2. Теплопередача.
3. Термодинамика.
4. Газовые законы термодинамики.

Типовые кроссворды приведены в *Приложении В*.

Решение индивидуальных задач

Текущий контроль формирования умения самостоятельного решения индивидуальных задач проводится во время учебных занятий, выполняя самостоятельные работы по темам (*Приложение С*):

1. Изменение внутренней энергии при теплообмене.
2. Теплота сгорания топлива.
3. Фазовые переходы.
4. Изменение внутренней энергии тела при совершении работы.
5. Первый закон термодинамики.
6. Тепловой двигатель.

Самостоятельные работы представляют собой практические расчетные или графические задания, объединенные общей тематикой и выдаваемые каждому курсанту (студенту) индивидуально. Выполняются самостоятельные работы на учебном занятии. Правильно решенная на 100% работа оценивается «отлично», на 90% – «хорошо», на 60-80% «удовлетворительно», менее 60% – «неудовлетворительно».

Расчетные практические задания (**Приложение D**) по темам:

1. Основные газовые законы.
2. Параметры состояния рабочего тела. Уравнения идеального газа. Определение теплоемкости идеальных газов.
3. Исследование термодинамических процессов идеального газа.
4. Расчет циклов паротурбинных установок (ПТУ).
5. Расчет циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Расчет циклов газотурбинных установок (ГТУ).
6. Исследованию процессов водяного пара.
7. Истечение газов и паров.
8. Теплообмен при вынужденной конвекции.
9. Теплообмен при свободной конвекции.
10. Теплопроводность через плоские и цилиндрические однослойные и многослойные стенки.
11. Теплообмен излучением.
12. Расчет теплообменных аппаратов.

Выполнение реферата, сообщения, презентации

Реферат – письменный доклад по определенной теме, в котором собрана информация из одного или нескольких источников. Рефераты пишутся стандартным языком, с использованием типологизированных речевых оборотов вроде: «важное значение имеет», «уделяется особое внимание», «поднимается вопрос», «делаем следующие выводы», «исследуемая проблема», «освещаемый вопрос» и т.п.

Различают два вида рефератов: *продуктивные* и *репродуктивные*. *Репродуктивный* реферат воспроизводит содержание первичного текста. *Продуктивный* реферат содержит творческое или критическое осмысление реферируемого источника.

Доклад, согласно толковому словарю русского языка Д.Н. Ушакова «...сообщение по заданной теме, с целью внести знания из дополнительной литературы, систематизировать материал, проиллюстрировать примерами, развивать навыки самостоятельной работы с научной литературой,

познавательный интерес к научному познанию».

Тема реферата, доклада или сообщения должна быть согласована с преподавателем и соответствовать теме учебного занятия (*Приложение Е*). Материалы при его подготовке, должны соответствовать учебно-методическим требованиям и быть указаны в докладе. Необходимо соблюдать регламент, оговоренный при получении задания. Иллюстрации должны быть достаточными, но не чрезмерными.

Работа курсанта (студента) над сообщением-презентацией включает отработку умения самостоятельно обобщать материал и делать выводы, умения ориентироваться в материале и отвечать на дополнительные вопросы слушателей, отработку навыков ораторства, умения проводить диспут.

Структура выступления

Вступление должно содержать: название, сообщение основной идеи, современную оценку предмета изложения, краткое перечисление рассматриваемых вопросов, живую интересную форму изложения, акцентирование внимания на важных моментах, оригинальность подхода.

Основная часть, в которой выступающий должен глубоко раскрыть суть затронутой темы, строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно данных для того, чтобы слушатели заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудиовизуальных и визуальных материалов.

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы, которых всегда ждут слушатели.

Презентация, согласно толковому словарю русского языка Д.Н. Ушакова: «... способ подачи информации, в котором присутствуют рисунки, фотографии, анимация и звук».

Для подготовки презентации рекомендуется использовать: *Power Point, MS Word, Acrobat Reader*. Самая простая программа для создания презентаций – *Power Point*.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию. Последовательность подготовки презентации:

- четко сформулировать цель презентации: вы хотите свою аудиторию мотивировать, убедить, заразить какой-то идеей или просто формально отчитаться;
- определить каков будет формат презентации: живое выступление (тогда, сколько будет его продолжительность) или электронная рассылка (каков будет контекст презентации);
- отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку представления;
- определить ключевые моменты в содержании текста и выделить их;
- определить виды визуализации (картинки) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой материала;
- подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и

текста, их расположение, цвет и размер);

- проверить визуальное восприятие презентации.

К видам визуализации относятся иллюстрации, образы, диаграммы, таблицы.

Иллюстрация – представление реально существующего зрительного ряда.

Образы – в отличие от иллюстраций – метафора. Их назначение – вызвать эмоцию и создать отношение к ней, воздействовать на аудиторию. С помощью хорошо продуманных и представляемых образов, информация может надолго остаться в памяти человека.

Диаграмма – визуализация количественных и качественных связей. Их используют для убедительной демонстрации данных, для пространственного мышления в дополнение к логическому.

Таблица – конкретный, наглядный и точный показ данных. Ее основное назначение – структурировать информацию, что порой облегчает восприятие данных аудиторией.

Практические советы по подготовке презентации:

- готовить отдельно: печатный *текст* + *слайды*;
- слайды – визуальная подача информации, которая должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто;
- текстовое содержание презентации – устная речь или чтение, которая должна включать аргументы, факты, доказательства и эмоции;
- рекомендуемое число слайдов 17-22;
- обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего; план сообщения; краткие выводы из всего сказанного; список использованных источников.

Выполнение тестовых заданий

Тестовое задание представляет собой специально подготовленный контрольный набор заданий, позволяющий качественно и количественно оценить знания курсантов (студентов) посредством статистических методов. Основными достоинствами тестового контроля являются: объективность результатов проверки, повышение эффективности проверки знаний за счет увеличения ее частоты и регулярности, возможность проверки знаний с использованием компьютеров.

Текущий контроль в форме выполнения тестовых заданий на учебных занятиях проводится по темам:

1. Термодинамическая система.
2. Газовые законы.
3. Циклы тепловых машин.
4. Энтропия.
5. Цикл Карно.
6. Циклы ДВС.
7. Поршневые компрессоры.

8. Циклы холодильных установок.
9. Цикл Ренкина.
10. Процессы преобразования и перегрева пара.
11. Истечение и дросселирование газов и паров.
12. Виды теплообмена.
13. Теплопроводность.
14. Теплоотдача.
15. Передача теплоты излучением.
16. Теплообменные аппараты.

Тестовое задание состоит из вопросов, входящих в сборник Тестовых заданий. На выполнение тестового задания отводится 10-15 минут. Правильный ответ на 9-10 вопросов оценивается «отлично», на 7-8 вопросов – «хорошо», на 6 вопросов – «удовлетворительно».

Самоконтроль при подготовке к занятиям, дифференцированному зачету можно осуществлять по вопросам, входящим в Фонд тестовых заданий (*Приложение F*).

Решение задач по образцу

Текущий контроль формирования умения самостоятельного решения задач по образцу проводится во время учебных занятий, выполняя расчетные задания по темам:

1. Техническая термодинамика.
2. Основы теплопередачи.

Решение задач выполняется по индивидуальному варианту, выданному курсанту (студенту) преподавателем. Номер варианта соответствует номеру по списку в журнале учебной группы. Содержание занятия для проведения рубежного контроля в форме решения задач по образцу в *Приложение G*. Расчет индивидуальных заданий производится с использованием учебной литературы, конспекта лекций, справочных данных, ГОСТов, методических пособий и т.д.

Время на выполнение контрольной работы 90 или 180 минут. Если курсант (студент) не успел выполнить работу за время учебного занятия, дается не более двух дней для сдачи работы.

Оценка за выполнение контрольной работы выставляться по пятибалльной системе и учитывается при выставлении итоговой оценки за семестр. Правильно рассчитанная и оформленная работа оценивается «отлично», с нарушениями в оформлении – «хорошо», правильно рассчитанная на 70% работа – «удовлетворительно». Если допущены грубые ошибки в оформлении и работа выполнена менее чем на 70% верно, работа возвращается курсанту (студенту) на доработку. Если отчет по практической работе сдан позже указанного срока, то при успешном её выполнении работа оценивается «удовлетворительно».

4.2. РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ

Контрольная работа

Контрольная работа – одна из форм *рубежной проверки* и оценки усвоенных знаний, получения информации о характере познавательной деятельности, уровня самостоятельности и активности курсантов (студентов) в учебном процессе.

В курсе дисциплины предусмотрено выполнение контрольной работы по теме «Основы термодинамики» (*Приложение Н*).

Выполняется контрольная работа в индивидуальных тетрадях в течение 2х академических часов.

Правильно рассчитанная на 100% и оформленная работа оценивается «отлично». Если оформление работы не соответствует требованиям (нет пояснения к расчетам, схема выполнена без соблюдения ГОСТа, не указаны направления токов) или допущена ошибка, незначительно искажающая результат расчета, то работа оценивается на «хорошо».

Если процент правильности решения менее 60% работа оценивается «неудовлетворительно». Во всех остальных случаях работа оценивается «удовлетворительно».

4.3. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

Формой промежуточной аттестации дифференцированный зачет по темам дисциплины, для которого разработаны теоретические вопросы и практические задания (*Приложение Г*).

Условием допуска к экзамену является успешное освоение обучающимся всех элементов программы дисциплины.

5. КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Задание для дифференцированного зачета

Внимательно прочесть задания. На подготовку ответа дается 40 минут. Если для ответа необходимы справочные данные, схемы, таблицы, диаграммы, рисунки, то курсант (студент) может ими воспользоваться, они предоставляются преподавателем.

Вопросы для дифференцированного зачета по дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача». Форма ведомости (*Приложение Г*).

5.2. Условия проведения дифференцированного зачета

Дифференцированный зачет является формой *промежуточной аттестации* и проводится в сроки, установленные учебным планом, и определяемые календарным учебным графиком образовательного процесса.

На дифференцированном зачете курсанты (студенты) должны показать: знание общих законов статики и динамики жидкостей и газов, основные понятия теории теплообмена, законы термодинамики, характеристики топлив. Выполнять термодинамические расчеты теплоэнергетических устройств и двигателей. Четко знать основные формул учебных разделов дисциплины; уверенное владение основными умениями и практическими навыками, предусмотренными программой, умение применять их при решении задач.

Сдача дифференцированного зачета организуется в форме устного ответа на два теоретических вопроса.

При подготовке к ответу на задания курсант (студент) может пользоваться справочными данными, схемами, диаграммами, таблицами и графиками, расположенными на столе преподавателя.

Итогом дифференцированного зачета является оценка «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно». При неудовлетворительной оценке, курсант (студент) имеет право на пересдачу дифференцированного зачета в назначенный день, преподавателем.

Критерии оценки

Оценка	Показатель
«Отлично»	1. Правильность и полнота раскрытия теоретических понятий и положений. 2. Техническая грамотность и логическая последовательность ответа. 3. Точность применения научных терминов и обозначений. 4. Наличие единичных ошибок и недочетов.
«Хорошо»	1. Правильность и сжатость теоретических понятий и положений. 2. Техническая грамотность и логическая последовательность ответа. 3. Точность применения научных терминов и обозначений. 4. Наличие единичных ошибок и недочетов в изложении.
«Удовлетворительно»	1. Достаточный объем знаний в рамках дисциплины. 2. Использование установленной терминологии. 3. Изложение ответов на вопросы не совсем самостоятельное, с несущественными ошибками и неточностями. 4. Воспроизведение теоретического материала без обобщений и выводов.
«Неудовлетворительно»	1. Фрагментарные невзаимосвязанные знания по дисциплине. 2. Обрывочное изложение с низкой степенью осмысления. 3. Отсутствие ответов на наводящие вопросы преподавателя. 4. Некомпетентность в установленной терминологии и обозначениях. 5. Отсутствие ответов или отказ от ответа.

Задания для проведения текущего контроля в форме технического диктанта

Технический диктант по теме «Законы газов и жидкостей»

1. Внутренняя энергия данной массы реального газа не зависит ни от температуры, ни от объема?
2. В процессе изохорного нагревания газ получил 15 МДж теплоты, изменение внутренней энергии газа равно нулю?
3. Конвекция — это вид теплопередачи, сопровождающийся переносом вещества?
4. Водород и гелий равной массы, взятые при одинаковых давлениях, нагревают на 20 К. Одинаковая ли работа совершается при этом?
5. Внутренняя энергия 1 моль одноатомного идеального газа, находящегося при температуре 27°C, равно 3740 Дж?

да  нет    

Правильный ответ

Технический диктант по теме «Теплоемкость газов»

1. Внутреннюю энергию системы можно изменить путем совершения работы и теплопередачи?
2. Теплопроводность — это вид теплопередачи, сопровождающийся переносом вещества?
3. Внутренняя энергия данной массы идеального газа зависит только от температуры?
4. В процессе адиабатного расширения газ совершает работу, равную $3 \cdot 10^{10}$ Дж. Изменение внутренней энергии газа равно $-3 \cdot 10^{10}$ Дж?
5. Водород и азот равной массы, взятые при одинаковых давлениях, нагревают на 15 К. Одинаковая ли работа совершается газами при этом?

да  нет 

Правильный ответ   

*Технический диктант по темам
«Основные положения технической термодинамики. Теплоемкость»*

1. Жидкое или газообразное вещество, применяемое для передачи тепловой энергии, называется ... (*теплоноситель*).
2. Наука о закономерностях превращения энергии называется ... (*термодинамика*).
3. Совокупность материальных тел, взаимодействующих, как между собой, так и с окружающей средой называется ... (*термодинамической системой*).
4. Величина обратная плотности т.е. отношения объема занятого веществом к его массе, называется ... (*удельный объем*).
5. Процесс перехода термодинамической системы из одного равновесного состояния в другое, столь медленный, что все промежуточные состояния можно рассматривать как равновесные, называется ... (*равновесный процесс*).
6. Процесс, включающий неравновесные состояния, называется ... (*неравновесный процесс*).
7. Процесс, который может происходить как в прямом, так и в обратном направлении, причем при возвращении в первоначальное состояние (при изменении внешних условий в противоположной последовательности) система проходит все равновесные состояния прямого процесса, но в обратном порядке, называется ... (*обратимым процессом*).
8. Процесс, который может самопроизвольно протекать только в одном направлении, называется ... (*необратимый процесс*).
9. Уравнение, выражающее связь между параметрами равновесного состояния термодинамической системы, называется ... (*уравнение состояния*).
10. Количество теплоты, переданное массе материала при повышении его температуры на один градус Цельсия называется ... (*теплоемкость*).

*Технический диктант по теме
«Законы термодинамики. Энтальпия, энтропия»*

1. Понятие, впервые введенное Клаузиусом в термодинамике для определения меры необратимого рассеивания энергии, меры отклонения реального процесса от идеального. Определенная как сумма приведенных теплот, она является функцией состояния и остаётся постоянной при обратимых процессах, тогда как в необратимых – её изменение всегда положительно, называется ... (*энтропия*).
2. Сумма внутренней энергии тела и работы, которую необходимо затратить, чтобы тело объёмом V ввести в окружающую среду, имеющую давление p и находящуюся с телом в равновесном состоянии называется ... (*энтальпия*).
3. Количество теплоты, необходимое для перевода 1 моля вещества в состояние пара при температуре кипения. Измеряется в Джоулях,

называется ... (Теплота парообразования).

4. Количество энергии, полученной телом в форме теплоты, называется ... (*подведенной теплотой*), а количество энергии, отданное телом в форме теплоты ... (*отведенной теплотой*).
5. Передача энергии в термодинамическом процессе от одного тела к другому, связанная с изменением объема рабочего тела, с перемещением его во внешнем пространстве или с изменением его положения называется ... (*работой процесса*).

Технический диктант по теме «Теория теплообмена»

1. Свойство материала конструкции переносить теплоту под действием разности (*градиента*) температур на ее поверхностях, называется ... (*теплопроводность*).
2. Перенос теплоты через ограждающую конструкцию от взаимодействующей с ней среды с более высокой температурой к среде с другой стороны конструкции с более низкой температурой называется ... (*теплопередача*).
3. Самопроизвольный необратимый процесс переноса энергии (в форме теплоты) в пространстве от более нагретых тел (или участков тела) к менее нагретым, называется ... (*теплообмен*).
4. Перенос теплоты с поверхности конструкции в окружающую среду за счет конвективного и лучистого теплообмена называется ... (*теплоотдача*).
5. Перенос теплоты с поверхности (на поверхность) ограждающей конструкции омываемым ее воздухом или жидкостью называется ... (*конвективный теплообмен*).
6. Количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности, называется... (*плотностью теплового потока*).
7. Вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры и численно равный производной от температуры по этому направлению, называется ... (*градиент температуры*).
8. Геометрическое место точек температурного поля, имеющих одинаковую температуру, называется ... (*изотермической поверхностью*).
9. Физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить теплоту является ... (*коэффициент теплопроводности*).
10. Процесс передачи теплоты между твердой поверхностью и окружающей средой, который осуществляется через ламинарный пограничный слой, в остальном объеме перенос теплоты осуществляется конвекцией называется ... (*конвективный теплообмен*).
11. Количество теплоты, переданное в единицу времени через единицу площади поверхности твердого тела путем конвекции при разности температур между поверхностью тела и средой в 1К, называется ... (*коэффициент теплоотдачи*).

*Технический диктант по теме
«Термодинамические параметры состояния»*

1. Физическая величина, характеризующая состояние сплошной среды и численно равная силе F , действующей на единицу площади поверхности S перпендикулярно этой поверхности, называется ... (*давление*).
2. Энергия системы, зависящая от её внутреннего состояния, называется ... (*внутренняя энергия*).
3. Давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре, называется ... (*парциальное давление*).

Технический диктант по теме «Водяной пар и его свойства»

1. Газообразное состояние вещества в условиях, когда газовая фаза может находиться в равновесии с жидкой или твёрдой фазами того же вещества, называется ... (*пар*).
2. Пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью или твёрдым телом того же состава, называется ... (*насыщенный пар*).
3. Переход вещества в жидкое или твёрдое состояние из газообразного называется ... (*конденсация паров*).

*Технический диктант по темам
«Теплообмен излучением. Виды течения жидкости»*

1. Теплообмен между телами, осуществляющийся вследствие испускания и поглощения ими электромагнитного излучения называется ... (*лучистый теплообмен*).
2. Течение жидкости (или газа), характеризующееся отсутствием перемешивания между соседними её слоями, называется ... (*ламинарное течение*).
3. Режим движения, характерной особенностью которого является перемешивание частиц и пульсации скорости, называется ... (*турбулентный режим течения*).

*Технический диктант по темам
«Идеальный и реальный газ. Термодинамические процессы»*

1. Математическая модель газа, в которой предполагается, что потенциальной энергией взаимодействия молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией. Между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги, а время взаимодействия между молекулами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями, называется ... (*идеальный газ*).

2. Термодинамический процесс, при котором физическая система не получает теплоты извне и не отдаёт её; может быть осуществлён при наличии теплоизолирующей (т.н. адиабатной) оболочки, исключающей теплообмен помещённого внутри неё тела с внеш. средой, называется ... (*адиабатный процесс*).
3. Термодинамический процесс, который происходит при постоянном объёме называется ... (*изохорный*).
4. Термодинамический процесс, который происходит при постоянном давлении называется ... (*изобарный*).
5. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянной температуре, называется ... (*изотермический*).

*Технический диктант по темам
«Прямой и обратный цикл. Газовые смеси»*

1. Процесс, при котором система, проходя через ряд состояний, возвращается в первоначальное, называется ... (*круговым процессом или циклом*).
2. Механическая смесь чистых веществ, называемых компонентами смеси, не вступающих друг с другом в химические реакции, называется ... (*газовая смесь*).

*Технический диктант по теме
«Термодинамические параметры состояния»*

1. Машина для сжатия воздуха или газа до избыточного давления не ниже 0,2 Мпа называется ... (*компрессор*).
2. Центробежный или осевой лопаточный компрессор для сжатия и подачи воздуха или газа называется ... (*турбокомпрессор*).
3. Отношение объёмов в цилиндре двигателя при положениях поршня в начале и конце процесса сжатия называется ... (*степень сжатия*).
4. Отношение наибольшего давления в цилиндре двигателя, образовавшегося в результате подвода теплоты, к давлению в конце процесса сжатия называется ... (*степень повышения давления*).
5. Отношение объёмов в конце и начале подвода теплоты к рабочему телу при постоянном давлении называется ... (*степень предварительного расширения*).
6. Отношение давлений в начале и конце отвода теплоты от рабочего тела к холодному источнику при постоянном объёме называется ... (*степень падения давления*).
7. Отношение объёмов в начале и конце отвода теплоты от рабочего тела к холодному источнику при постоянном давлении называется ... (*степень сокращения объёма*).

*Технический диктант по теме
«Истечение и дросселирование газов и паров»*

1. Процесс понижения давления при прохождении газа или пара через суженные сечения в трубопроводах без совершения внешней работы называется ... (*дросселированием*).
2. Канал, в котором происходит расширение газа с уменьшением и увеличением скорости его движения называется ... (*сопло*).
3. Комбинированное сопло с суживающейся и расширяющейся частями, применяемое для получения скоростей газа больше скорости звука называется ... (*сопло Лаваля*).
4. Изменение температуры газа в результате адиабатного дросселирования называется ... (*эффект Джоуля – Томсона*).
5. Температура, соответствующая состоянию газа, при котором температура газа при адиабатном дросселировании не изменяется, называется ... (*температура инверсии*).

Технический диктант по теме «Циклы ПТУ»

1. Идеальный замкнутый процесс изменения состояния рабочего тела в простейшей паросиловой установке – это ... (*цикл Ренкина*).
2. Термодинамический цикл, осуществляемый двумя рабочими телами, называется ... (*бинарный цикл*).
3. Обратный круговой процесс, предназначенный для передачи теплоты от тел менее нагретых к телам более нагретым, называется ... (*холодильный цикл*).
4. Отношение количества теплоты q_2 , отводимой в обратном цикле от охлаждаемой системы, к затраченной работе l_c , называется ... (*холодильный коэффициент*).

*Технический диктант по теме
«Основные положения конвективного теплообмена»*

1. Под действием неоднородного поля внешних массовых сил (сил гравитационного, инерционного, магнитного или электрического поля), приложенных к частицам жидкости внутри системы возникает ... (*естественная конвекция*).
2. Под действием внешних поверхностных сил, приложенных на границах системы, или под действием однородного поля массовых сил, действующих в жидкости внутри системы возникает ... (*вынужденная конвекция*).
3. Соответствие между физическими процессами, выражающееся в тождественности их безразмерных математических описаний, называется ... (*физическое подобие*).
4. Отношения однородных физических величин в сходственных точках

модели и натурального объекта, называется ... (*константы подобия*).

5. Безразмерные числа, составленные из размерных физических величин, определяющих рассматриваемые физические явления, называется ... (*критерии подобия*).
6. Числа подобия, составленные из величин, заданных при математическом описании процесса, называется ... (*определяющие критерии подобия*).
7. Числа подобия, содержащие определяемую величину, называется ... (*определяемые безразмерные комплексы*).
8. Функциональные зависимости между критериями подобия, характеризующими явление, называется ... (*критериальные уравнения подобия*).

Технический диктант по теме «Режимы течения»

1. Режим движения жидкости, при котором возможны стационарные траектории ее частиц, называется ... (*ламинарный режим течения*).
2. Участок трубы, на котором поле температуры зависит от условий на входе в трубу, называется ... (*термический начальный участок*).
3. Участок трубы, на котором поле температуры практически не зависит от распределения температуры в начальном сечении обогреваемого участка, называется ... (*участок стабилизированного теплообмена*).
4. Режим движения жидкости с хаотически изменяющимися во времени траекториями частиц, при котором в потоке возникают нерегулярные пульсации скорости, давления и температуры, неравномерно распределенные в потоке, называется ... (*турбулентный режим*).

Технический диктант по теме «Режимы кипения»

1. Режим, при котором пар образуется в виде периодически зарождающихся и растущих пузырьков, называется ... (*пузырьковый режим кипения*).
2. Режим, при котором на поверхности нагрева образуется сплошная пленка пара, периодически прорывающегося в объем жидкости, называется ... (*пленочный режим кипения*).
3. Максимально возможная (при данных условиях) плотность теплового потока при пузырьковом кипении, называется ... (*первая критическая плотность теплового потока*).
4. Образование сплошной пленки конденсата на смачиваемой поверхности, называется ... (*пленочная конденсация*).
5. Образование капель конденсата на несмачиваемой поверхности называется ... (*капельная конденсация*).

Технический диктант по теме «Лучистый теплообмен»

1. Количество энергии излучения, проходящее в единицу времени через единицу площади поверхности в пределах полусферического телесного

- угла, называется ... (*плотность потока излучения*).
2. Отношение плотности потока излучения, испускаемого в бесконечно малом интервале длин волн, к величине этого интервала называется ... (*спектральная плотность потока излучения*).
 3. Плотность потока излучения абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры – это закон ... (*Стефана – Больцмана*).
 4. Отношение плотностей потока излучения серого тела и абсолютно черного тела при той же температуре называется ... (*степень черноты тела*).
 5. Отношение плотности потока излучения серого тела к его поглощательной способности не зависит от природы тела и равно плотности потока излучения абсолютно черного тела при той же температуре – это закон ... (*Кирхгофа*).
 6. Отношение потока излучения первого тела, падающего на второе тело к потоку полного полусферического излучения первого тела, называется ... (*коэффициент облученности*).

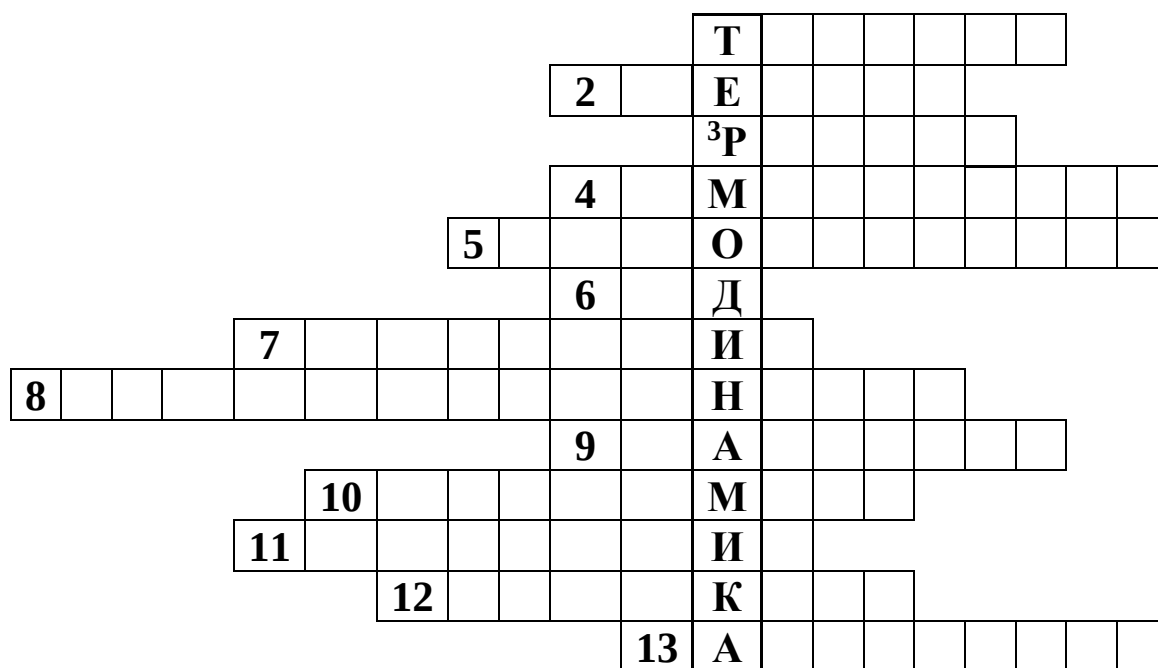
Технический диктант по теме «Теплообменные аппараты»

1. Устройство, в котором осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному (нагреваемому), называется ... (*теплообменник*).
2. Пар, нагретый до температуры, превышающей температуру кипения при данном давлении, называется ... (*перегретый пар*).
3. Получение перегретого пара происходит в специальных устройствах, которые называются ... (*пароперегреватели*).
4. Использование теплоты отходящих газообразных продуктов сгорания для подогрева поступающего газообразного топлива, воздуха или их смеси называется ... (*регенерация*).
5. Движение двух теплоносителей в теплообменном аппарате параллельно друг другу в одном и том же направлении, называется ... (*прямоток*).
6. Движение двух теплоносителей в теплообменном аппарате параллельно друг другу в противоположных направлениях, называется ... (*противоток*).
7. Движение двух теплоносителей в теплообменном аппарате во взаимно перпендикулярных направлениях, называется ... (*перекрестный ток*).

Задания для проведения текущего контроля в форме кроссворда

Кроссворд по теме «Термодинамики»

Задание: в пустые клетки кроссворда вписать слова, буквы которых дают слово **ТЕРМОДИНАМИКА**.



- 1** – Что является энергией для тепловых двигателей
- 2** – Способность тела совершать работу
- 3** – Энергия тесно связанная с физической величиной...
- 4** – Параметр, являющийся мерой средней кинетической энергии молекул
- 5** – Изменение внутренней энергии
- 6** – Физическая величина, характеризующая эффективность тепловых двигателей
- 7, 8, 12** – виды теплообмена
- 9** – Переход вещества из твердого состояния в жидкое
- 10** – Как называется изопроцесс, происходящий при постоянной температуре
- 11** – Переход вещества из жидкого состояния в газообразное
- 13** – Тепловой процесс, сопровождающийся повышением температуры

Образец ответа

											¹ Т	о	н	л	и	в	о				
										² Э	н	Е	р	з	и	я					
												³ Р	а	б	о	т	а				
											⁴ т	е	М	н	е	р	а	т	у	р	а
								⁵ т	е	н	л	О	н	е	р	е	д	а	ч	а	
										⁶ к	н	Д									
									⁷ и	з	л	у	ч	е	н	И	е				
⁸ т	е	н	л	о	н	р	о	в	о	д	Н	о	с	т	ь						
										⁹ н	л	А	в	л	е	н	и	е			
											¹⁰ и	з	о	т	е	р	М	н	ы	й	
											¹¹ и	с	н	а	р	е	н	И	е		
												¹² к	о	н	в	е	К	ц	и	я	
												¹³ н	А	з	р	е	в	а	н	и	е

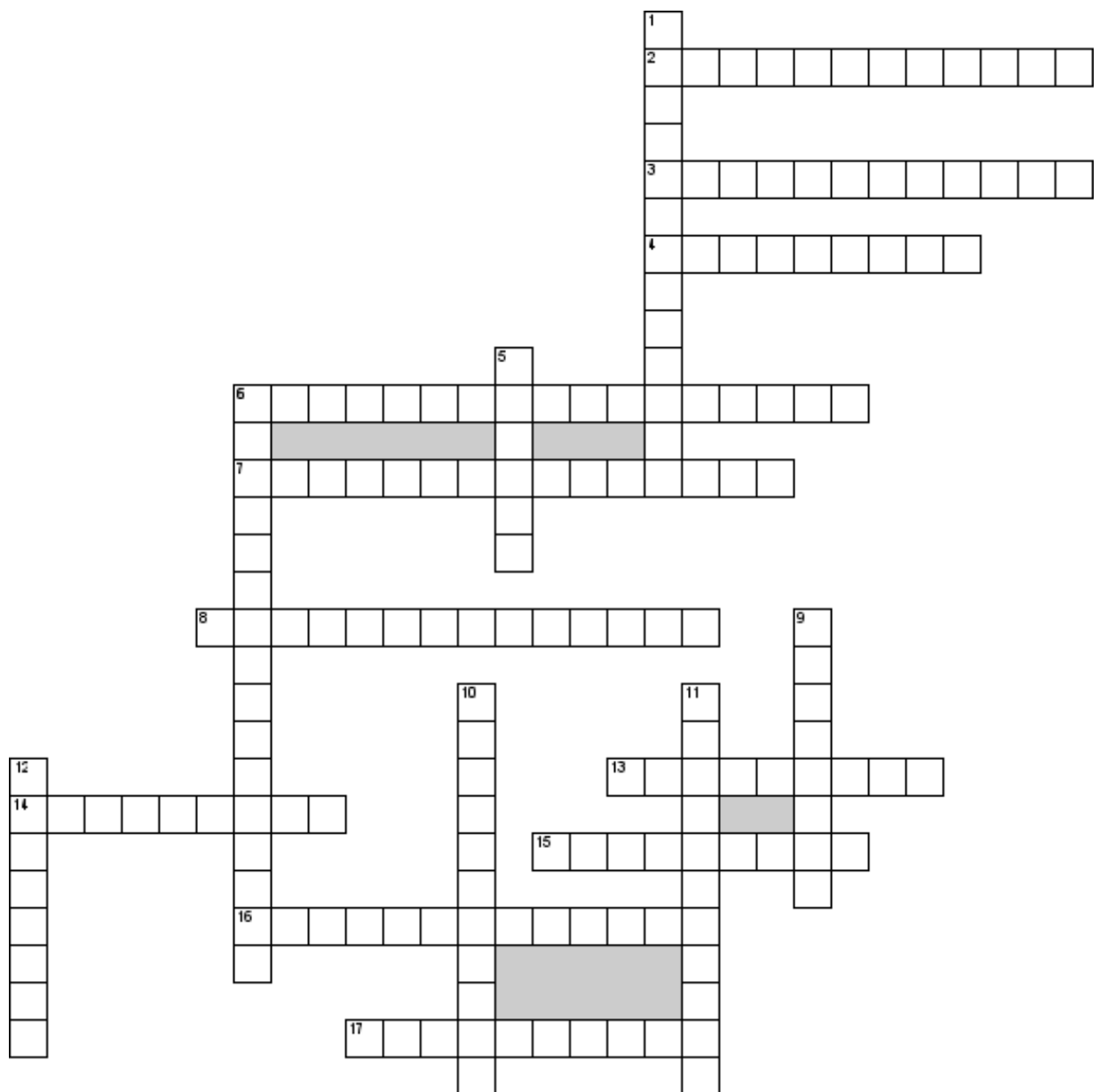
Кроссворд по теме «Теплопередача»

По горизонтали:

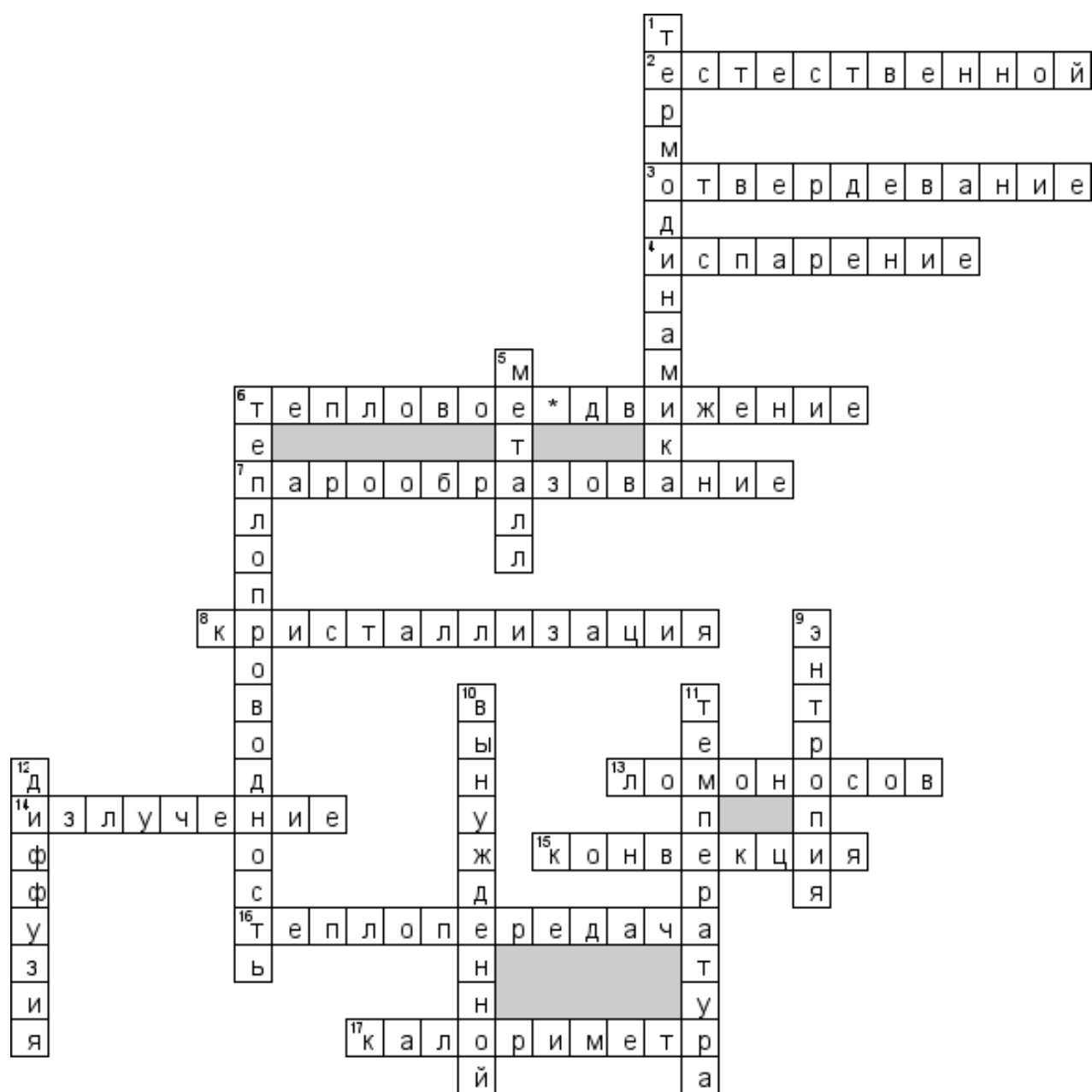
- 2 – Конвертация бывает вынужденной и ...
- 3 – Процесс фазового перехода вещества из жидкого в твёрдое при понижении температуры ниже точки замерзания?
- 4 – Переход вещества из жидкого состояния в газообразное, происходящий на свободной поверхности жидкости.
- 6 – Беспорядочное движение частиц, из которых состоят тела
- 7 – Свойство капельных жидкостей изменять свое агрегатное состояние и превращаться в пар?
- 8 – Процесс фазового перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое кристаллическое с образованием кристаллов?
- 13 – Российский ученый, живший в 1711-1765 годах
- 14 – Третий способ теплопередачи
- 15 – Второй способ теплопередачи
- 16 – Процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом
- 17 – Прибор для измерения количество теплоты, отданное или полученное тело

По вертикали

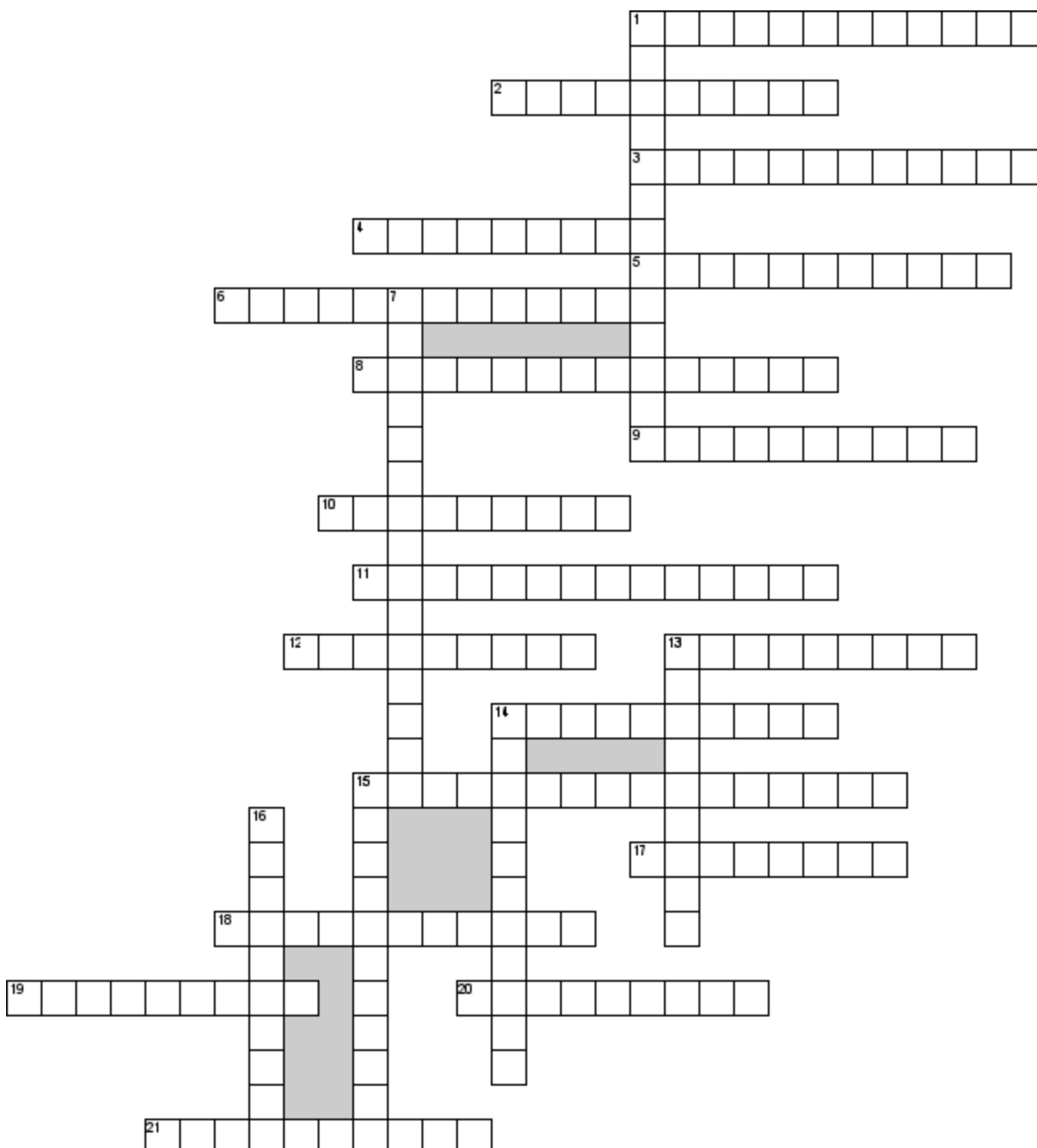
- 1** – раздел физики, изучающий соотношения и превращения теплоты и других форм энергии?
5 – Тело, обладающее наибольшей теплопроводностью
6 – Первый способ теплопередачи
9 – Мера порядка системы, состоящей из единого элемента?
10 – Конвенция бывает естественной и ...
11 – Скалярная физическая величина, характеризующая приходящуюся на одну степень свободы среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия?
12 – Деформация тела



Образец ответа



Кроссворд по теме «Термодинамики»



По горизонтали

- 1 – Физическая величина, определяющая отношение бесконечно малого количества теплоты, полученного телом, к соответствующему приращению его температуры?
- 2 – Энергия равна кинетической энергии движения частиц тела и потенциальной энергии их взаимодействия
- 3 – Процесс фазового перехода вещества из жидкого в твёрдое при понижении температуры ниже точки замерзания?
- 4 – Сила, возникающая в результате деформации тела и направленная в

сторону, противоположную перемещению частиц тела при деформации, называется силой...

5 – Одна из основных частей тепловой машины

6 – Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы

8 – Процесс фазового перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое кристаллическое с образованием кристаллов?

9 – Процесс, протекающий при отсутствии теплообмена между термодинамической системой и окружающей средой

10 – Прибор для измерения температуры воздуха, почвы, воды и так далее?

11 – Изопроецесс при котором внутренняя энергия идеального газа не изменяется

12 – При передаче энергии таким путём, она переносится струями воздуха или воды

13 – Каким способом осуществляется передача энергии от солнца к Земле

14 – Тепловой процесс, проходящий в газе при неизменном количестве вещества при неизменном одном из макропараметров

15 – Перенос тепловой энергии структурными частицами вещества в процессе их теплового движения?

17 – Мера порядка системы, состоящей из единого элемента?

18 – Переход вещества в жидкое или твёрдое состояние из газообразного?

19 – Переход тела из кристаллического твёрдого состояния в жидкое?

20 – Переход вещества из жидкого состояния в газообразное, происходящий на свободной поверхности жидкости.

21 – Тепловой процесс, сопровождающийся повышением температуры

По вертикали

1 – Раздел физики, изучающий соотношения и превращения теплоты и других форм энергии?

7 – Свойство капельных жидкостей изменять свое агрегатное состояние и превращаться в пар?

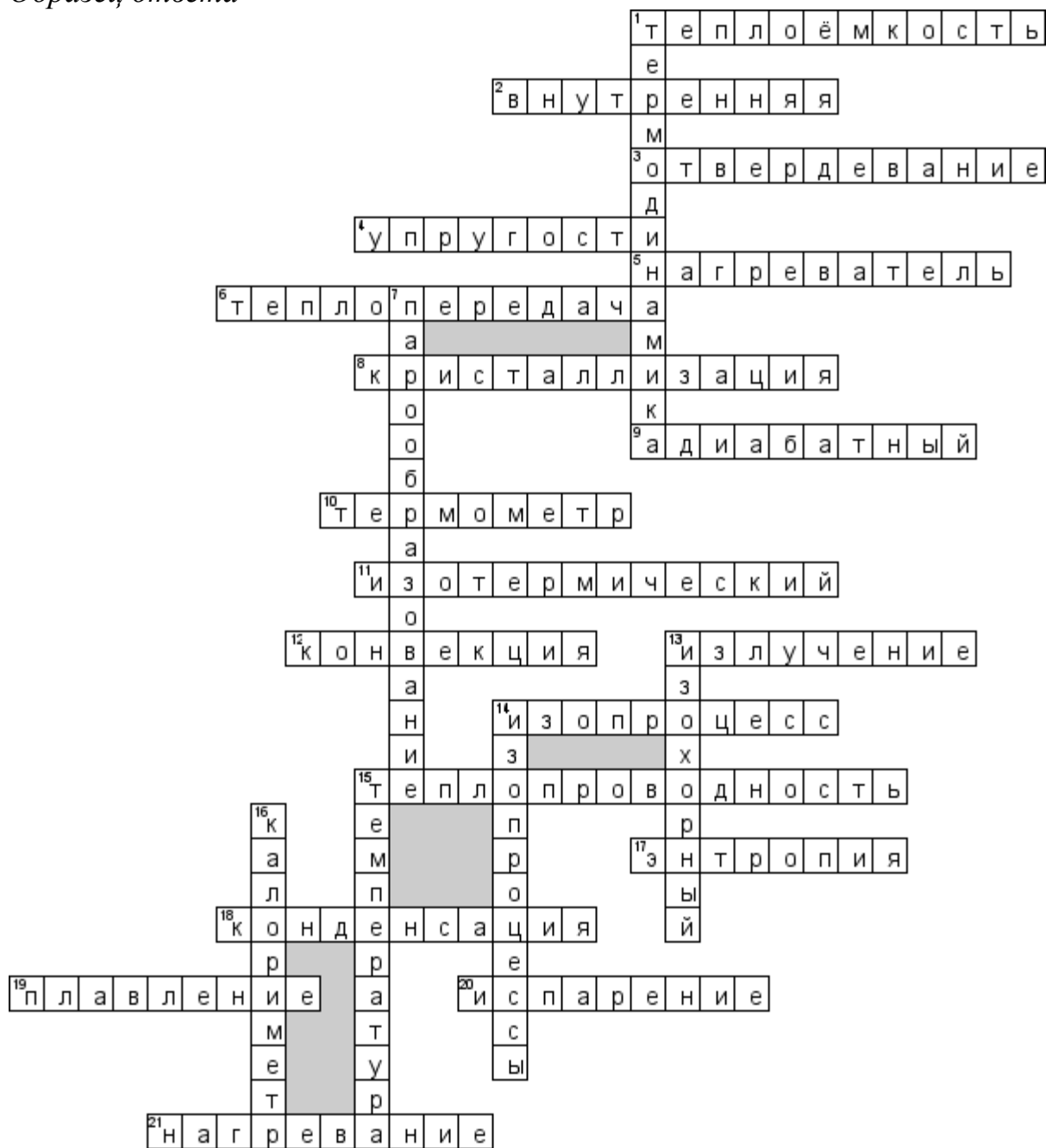
13 – Изопроецесс в котором вся теплота, сообщаемая газу, идет на увеличение внутренней энергии газа

14 – Термодинамические процессы, во время которых количество вещества и ещё одна из физических величин — параметров состояния: давление, объём или температура — остаются неизменными?

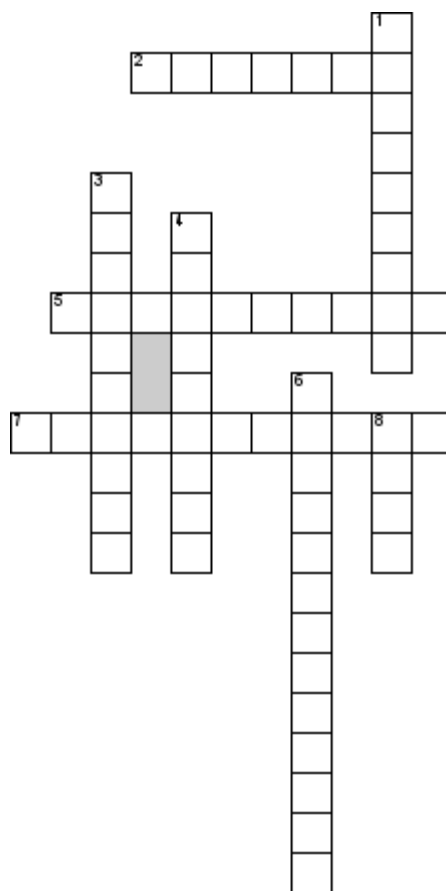
15 – Скалярная физическая величина, характеризующая приходящуюся на одну степень свободы среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия?

16 – Прибор для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся в каком-либо физическом, химическом или биологическом процессе?

Образец ответа



Кроссворд по теме « Газовые законы термодинамики»



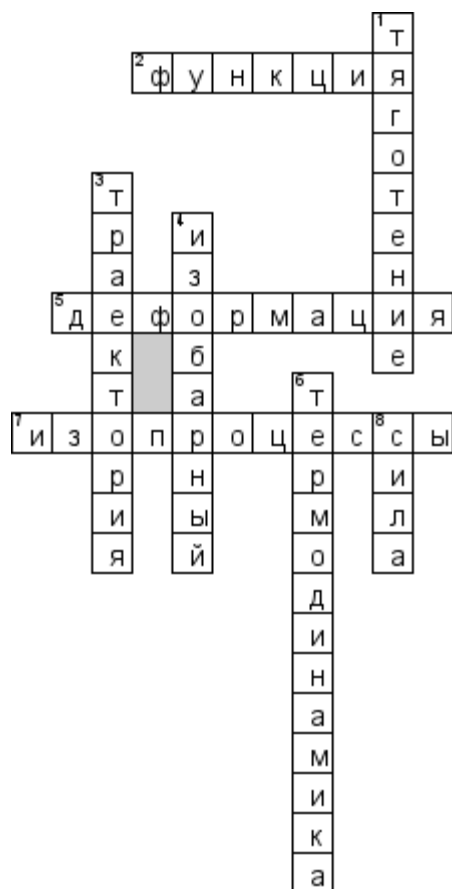
По горизонтали

- 2 – То, что наглядно выражает зависимость одной величины от другой
- 5 – Изменение размеров или формы тела
- 7 – Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров

По вертикали

- 1 – Явление взаимного притяжения между любыми телами
- 3 – Линия, которую описывает тело, при своем движении называют
- 4 – Процесс изменения системы при постоянном давлении
- 6 – Отдел физики, изучающий теплоту и закономерности теплового движения
- 8 – Физическая величина, количественная мера действия одного тела на другое

Образец ответа



**Задания для проведения текущего контроля в форме решения
индивидуальных задач**

Образцы задания и решения

*Самостоятельная работа по теме «Изменение внутренней энергии
при теплообмене. Теплота сгорания топлива»*

Задача 1

Условие задачи:

Тело нагрелось на 5 К, поглотив 10 кДж теплоты. Чему равна его теплоемкость?

Дано:

$\Delta T = 5 \text{ К}$, $Q = 10 \text{ кДж}$, $C = ?$

Решение задачи:

Теплоемкость C – это физическая величина, показывающая какое количество теплоты нужно затратить, чтобы изменить температуру тела на 1 К (или 1°С). Не путайте теплоемкость C с удельной теплоемкостью c – первая относится ко всему телу, а вторая – к единице массы. Значит её можно определить по формуле:

$$C = Q \Delta T$$

Посчитаем ответ: $C = 10 \cdot 10^3 / 5 = 2000 \text{ Дж/К} = 2 \text{ кДж/К}$

Ответ: 2 кДж/К.

Задача 2

Условие задачи:

На сколько градусов нагреется вода массой 0,5 кг, если ей сообщить 16,8 кДж тепла?

Дано:

$m = 0,5 \text{ кг}$, $Q = 16,8 \text{ кДж}$, $\Delta t = ?$

Решение задачи:

Запишем формулу количества теплоты при нагревании тела:

$$Q = cm \Delta t$$

Удельная теплоемкость воды c – это табличная величина, равная 4200 Дж/(кг $^\circ \text{С}$).

Откуда искомое изменение температуры Δt равно:

$$\Delta t = Q / cm$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$\Delta t = 16,8 \cdot 10^3 / 4200 \cdot 0,5 = 8^\circ \text{С}$$

Ответ: 8° С.

Задача 3

Условие задачи:

Сколько тепла выделится при сгорании 2 кг бензина?

Дано:

$m=2$ кг, $Q=?$

Решение задачи:

Запишем формулу количества теплоты, образующейся при сгорании топлива:

$$Q=qm$$

Здесь q – это табличная величина, называемая удельной теплотой сгорания топлива. Для бензина она равна 46 МДж/кг.

Посчитаем ответ:

$$Q=46 \cdot 106 \cdot 2=92 \cdot 106 \text{ Дж}=92 \text{ МДж}$$

Ответ: 92 МДж.

Задача 4

Условие задачи:

На сколько увеличилась внутренняя энергия 1 кг воды при нагревании её на 2 °К?

Дано:

$m=1$ кг, $\Delta T=2$ К, $\Delta U=?$

Решение задачи:

Всё переданное воде количество теплоты пойдёт на изменение её внутренней энергии:

$$\Delta U=Q$$

Запишем формулу количества теплоты при нагревании:

$$Q=cm\Delta T$$

Здесь c – удельная теплоёмкость воды, равная 4200 Дж/(кг·К).

В итоге мы получим такую формулу для нахождения изменения внутренней энергии воды:

$$\Delta U=cm\Delta T$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$\Delta U=4200 \cdot 1 \cdot 2=8400 \text{ Дж}$$

Ответ: 8400 Дж.

Задача 5

Условие задачи:

Сколько тепла было передано льдинке массой 50 г, если она нагрелась на 3 °К?

Дано:

$m=50$ г, $\Delta T=3$ °К, $Q=?$

Решение задачи:

Поскольку льдинка нагрелась, то можно сделать вывод, что её температура в начале была ниже 0 °С, хотя это неважно в этой задаче.

Запишем формулу для определения количества теплоты при нагревании тела:

$$Q = cm\Delta T$$

Удельная теплоемкость льда c равна $2100 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$. Интересно, что она ровно в два раза меньше теплоемкости воды.

Переведем массу льдинки в систему СИ, то есть выразим её в килограммах:

$$50\text{г} = 0,05\text{кг}$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$Q = 2100 \cdot 0,05 \cdot 3 = 315 \text{ Дж}$$

Ответ: 315 Дж.

Задача 6

Условие задачи:

Какая установится температура воды после смешивания 39 л воды при 20°C и 21 л при 60°C ?

Дано:

$$V_1 = 39 \text{ л}, t_1 = 20^\circ\text{C}, V_2 = 21 \text{ л}, t_2 = 60^\circ\text{C}, t = ?$$

Решение задачи:

Понятно, что объем воды V_2 , имеющий более высокую температуру t_2 , после смешения передаст часть теплоты объему воды V_1 с более низкой температурой t_1 , которая за счёт этой теплоты нагреется. В конце вся вода будет иметь некоторую температуру t .

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное водой объемом V_1 при нагревании до температуры t , а Q_2 – количество теплоты, отданное водой объемом V_2 при охлаждении до температуры t . $cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t)$

Выразим массы как произведение плотности воды на объем:

$$c\rho V_1(t - t_1) = c\rho V_2(t_2 - t)$$

$$V_1(t - t_1) = V_2(t_2 - t)$$

Теперь раскроем скобки, в одной части равенства соберем все члены с множителем t , вынесем его за скобки и выразим его. $V_1t - V_1t_1 = V_2t_2 - V_2t$

$$V_1t + V_2t = V_2t_2 + V_1t_1$$

$$t(V_1 + V_2) = V_2t_2 + V_1t_1$$

$$t = \frac{V_1t_1 + V_2t_2}{V_1 + V_2}$$

Переводить объемы и температуры в систему СИ нет смысла – ответ мы получим в градусах Цельсия.

$$t = \frac{39 \cdot 20 + 21 \cdot 60}{39 + 21} = 34^\circ\text{C} = 307\text{K}$$

Ответ: 307 К.

Задача 7

Условие задачи:

Железный стержень массой 5 кг, нагретый до 550 °С, опускается в воду. Сколько теплоты ежесекундно теряет стержень, если за 10 мин он остывает до 45 °С?

Дано:

$m=5 \text{ кг}$, $t_1=550 \text{ °С}$, $\tau=10 \text{ мин}$, $t_2=45 \text{ °С}$, $N=?$

Решение задачи:

В задаче спрашивается, сколько теплоты ежесекундно теряет стержень – по сути нам нужно найти тепловую мощность N . Для этого нужно количество теплоты Q поделить на время τ :

$$N=Q\tau$$

Количество теплоты Q , теряемое железным стержнем при остывании, определим по формуле:

$$Q=cm(t_1-t_2)$$

Удельная теплоёмкость железа c равна 460 Дж/(кг·К).

В итоге мы получим такое решение задачи в общем виде:

$$N=cm(t_1-t_2)\tau$$

Переведем время остывания τ из минут в секунды:

$$10\text{мин}=600\text{с}$$

Посчитаем ответ:

$$N=460\cdot5\cdot(550-45)600=1936\text{Вт}\approx1,94\text{кВт}$$

Ответ: 1,94 кВт.

Задача 8

Условие задачи:

Сколько литров воды при 100 °С нужно добавить к воде при 20 °С, чтобы получить 300 л воды при 40 °С?

Дано:

$t_1=100 \text{ °С}$, $t_2=20 \text{ °С}$, $V=300 \text{ л}$, $t=40 \text{ °С}$, $V_1=?$

Решение задачи:

Объем воды V_1 при температуре t_1 смешивают с водой объемом V_2 при температуре t_2 . Всего при смешении получится объем воды V , который будет иметь температуру t .

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное водой объемом V_1 при остывании до температуры t , а Q_2 – количество теплоты, полученное объемом V_2 при нагревании до температуры t .

$$cm_1(t_1-t)=cm_2(t-t_2)$$

Выразим массу как произведение плотности воды на соответствующий объем:

$$c\rho V_1(t_1-t)=c\rho V_2(t-t_2)$$

$$V_1(t_1-t)=V_2(t-t_2)$$

Совершенно очевидно, что $V_2=V-V_1$, поэтому:

$$V_1(t_1-t)=(V-V_1)(t-t_2)$$

Мы получили такое равенство с одним неизвестным. Далее остаётся чистая математика: раскроем скобки, в одной части равенства соберем все члены с множителем V_1 , вынесем его за скобки и выразим его.

$$V_1 t_1 - V_1 t = V t - V t_2 - V_1 t + V_1 t_2$$

$$V_1 t_1 = V t - V t_2 + V_1 t$$

$$V_1 t_1 - V_1 t = V t - V t_2$$

$$V_1 (t_1 - t) = V (t - t_2)$$

$$V_1 = V (t - t_2) t_1 - t^2$$

Переводить никакие величины в систему СИ не будем, тогда ответ получим в литрах.

$$V_1 = 300 \cdot (40 - 20) 100 - 20 = 75 \text{ л}$$

Ответ: 75 л.

Задача 9

Условие задачи:

В стакане было 50 г воды при температуре 20° С. В него долили 100 г воды при температуре 80 °С. Какой стала температура воды в стакане?

Дано:

$$m_1 = 50 \text{ г}, t_1 = 20 \text{ °С}, m_2 = 100 \text{ г}, t_2 = 80 \text{ °С}, t = ?$$

Решение задачи:

Вода массой m_1 при теплообмене нагреется до некоторой температуры t , а вода массой m_2 — остынет до той же температуры. Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 — количество теплоты, полученное водой массой m_1 при теплообмене, а Q_2 — количество теплоты, отданное водой массой m_2 .

$$c m_1 (t - t_1) = c m_2 (t_2 - t)$$

$$m_1 (t - t_1) = m_2 (t_2 - t)$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства: $m_1 t - m_1 t_1 = m_2 t_2 - m_2 t$

В левую часть перенесем члены с множителем t , а в правую — все оставшиеся.

$$m_1 t + m_2 t = m_1 t_1 + m_2 t_2$$

$$t (m_1 + m_2) = m_1 t_1 + m_2 t_2$$

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$$

Задача решена в общем виде. Можно подставить значения величин без перевода в систему СИ, тогда ответ мы получим в градусах Цельсия.

$$t = \frac{50 \cdot 20 + 100 \cdot 80}{50 + 100} = 60 \text{ °С} = 333 \text{ К}$$

Ответ: 333 К.

Задача 10

Условие задачи:

Реактивный самолет пролетает с постоянной скоростью 250 м/с путь 1800 км, затрачивая на это горючее массой 4 т. Мощность двигателя самолета равна 5,9 МВт, КПД двигателя — 23%. Какова теплотворная способность применяемого горючего?

Дано:

$v=250$ м/с, $S=1800$ км, $m=4$ т, $N=5,9$ МВт, $\eta=23\%$, $q=?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателя η – это отношение полезной работы двигателя $A_{\text{п}}$ к затраченной работе $A_{\text{з}}$.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_{\text{з}} \quad (1)$$

Если считать КПД по такой формуле, то его значение получается в долях единицы (не в процентах).

Затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты Q , выделившейся при сгорании горючего.

$$A_{\text{з}} = Q$$

При этом количество теплоты Q , выделяющееся при сгорании топлива, определяется по формуле:

$$Q = qm$$

$$A_{\text{з}} = qm \quad (2)$$

Полезную работу $A_{\text{п}}$ определи через мощность N по формуле: $A_{\text{п}} = Nt$

Так как самолет двигался равномерно, то время полета t легко определить по формуле:

$$t = Sv$$

$$A_{\text{п}} = NSv \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), получим:

$$\eta = NSv / qm$$

Выразим отсюда искомую теплотворную способность горючего q (её еще называют удельной теплотой сгорания):

$$q = NS\eta mv$$

Переведем путь, массу горючего и КПД в систему СИ: $1800 \text{ км} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ м}$

$$4 \text{ т} = 4000 \text{ кг}$$

$$23\% = 0,23$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$q = 5,9 \cdot 10^6 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \cdot 0,23 \cdot 4000 \cdot 250 = 46,2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} = 46,2 \text{ МДж/кг}$$

Ответ: 46,2 МДж/кг.

Задача 11

Условие задачи:

Гусеничный трактор развивает номинальную мощность 60 кВт и при этой мощности расходует в среднем в час 18 кг дизельного топлива. Найти КПД его двигателя. Удельная теплота сгорания дизельного топлива 42 МДж/кг.

Дано:

$N=60$ кВт, $t=1$ ч, $m=18$ кг, $q=42$ МДж/кг, $\eta=?$

Решение задачи:

Если в задаче упоминается коэффициент полезного действия (КПД) чего-либо, то задачу начинают решать, записав формулу его определения. Напомним, что КПД равен отношению полезной работы к затраченной работе.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_{\text{з}} \quad (1)$$

Полезную работу определим через номинальную мощность двигателя, используя такую формулу:

$$A_{\text{п}} = Nt(2)$$

Затраченная работа равна количеству теплоты, выделившейся при сгорании в двигателе дизельного топлива, поэтому её можно найти по формуле:

$$A_3 = qm(3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), так мы получим решение задачи в общем виде:

$$\eta = Ntqm$$

Переведём время работы в систему СИ, далее подставим значения величин в формулу и посчитаем ответ:

$$1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

$$\eta = 60 \cdot 103 \cdot 3600 \cdot 42 \cdot 106 \cdot 18 = 0,286$$

Ответ: 0,286.

Задача 12

Условие задачи:

В стакане имеется 250 г воды при температуре 80 °С. На сколько понизится температура воды, если в нее опустить серебряную ложку массой 50 г при температуре 293 °К?

Дано:

$$m_1 = 250 \text{ г}, t_1 = 80 \text{ °С}, m_2 = 50 \text{ г}, T_2 = 293 \text{ °К}, \Delta t = ?$$

Решение задачи:

Когда в воду опустят серебряную ложку, то вода остынет до температуры t , а ложка нагреется до той же температуры.

Вообще, искомую величину Δt следует искать из выражения:

$$\Delta t = t_1 - t(1)$$

Найдем для начала температуру t , для чего запишем уравнение теплового баланса.

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное водой ложке при остывании до температуры t , а Q_2 – количество теплоты, полученное ложкой от воды при нагревании до той же температуры. Распишем количества теплоты по известным формулам.

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$$

Удельная теплоемкость воды c_1 равна 4200 Дж/(кг·°С), удельная теплоемкость серебра c_2 равна 250 Дж/(кг·°С).

Раскроем скобки в обеих частях равенства:

$$c_1 m_1 t_1 - c_1 m_1 t = c_2 m_2 t - c_2 m_2 t_2$$

Перенесем в правую часть все члены с множителем t , вынесем его за скобки, остальные члены перенесем в левую часть.

$$t(c_1 m_1 + c_2 m_2) = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2$$

$$t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Полученное выражение подставим в формулу (1):

$$\Delta t = t_1 - \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Приведём под общий знаменатель:

$$\Delta t = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_1 - c_1 m_1 t_1 - c_2 m_2 t_2 c_1 m_1 + c_2 m_2$$

$$\Delta t = c_2 m_2 t_1 - c_2 m_2 t_2 c_1 m_1 + c_2 m_2$$

$$\Delta t = c_2 m_2 (t_1 - t_2) c_1 m_1 + c_2 m_2$$

Задача решена в общем виде.

Переведём массы в килограммы, а температуру T_2 – в градусы Цельсия:

$$50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$$

$$250 \text{ г} = 0,25 \text{ кг}$$

$$293 \text{ К} = 20^\circ \text{С}$$

Произведем расчет численного ответа:

$$\Delta t = 250 \cdot 0,05 \cdot (80 - 20) 4200 \cdot 0,25 + 250 \cdot 0,05 = 0,7^\circ \text{С}$$

Ответ: $0,7^\circ \text{С}$.

Задача 13

Условие задачи:

Воду массой 4,65 кг, взятую при температуре 286°К , нагревают до 308°К погружением куска железа с температурой 773°К . Найти массу куска железа. Теплообменом с окружающими телами и испарением пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 4,65 \text{ кг}, T_1 = 286^\circ \text{К}, T = 308 \text{ К}, T_2 = 773^\circ \text{К}, m_2 = ?$$

Решение задачи:

При погружении куска железа в воду в результате теплообмена первый остынет до температуры T , а вторая – нагреется до этой температуры. Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное водой от железа при нагревании, а Q_2 – количество теплоты, отданное куском железа воде при остывании. Распишем количества теплоты по известным формулам.

$$c_1 m_1 (T - T_1) = c_2 m_2 (T_2 - T)$$

Удельная теплоемкость воды c_1 равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, а удельная теплоемкость железа c_2 – $460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Выразим из равенства массу куска железа m_2 :

$$m_2 = c_1 m_1 (T - T_1) c_2 (T_2 - T)$$

Посчитаем ответ:

$$m_2 = 4200 \cdot 4,65 \cdot (308 - 286) 460 \cdot (773 - 308) = 2,009 \text{ кг} = 2009 \text{ г}$$

Ответ: 2009 г.

Задача 14

Условие задачи:

Определить удельную теплоемкость трансформаторного масла, если для нагревания 5 т масла от 70°С до 75°С требуется $50,6 \text{ МДж}$ количества теплоты.

Дано:

$$m = 5 \text{ т}, t_1 = 70^\circ \text{С}, t_2 = 75^\circ \text{С}, Q = 50,6 \text{ МДж}, c = ?$$

Решение задачи:

Удельной теплоемкостью c называется физическая величина, показывающая какое количество теплоты необходимо, чтобы изменить температуру единицы массы вещества на 1°C (или 1°K). Согласно этому определению её можно найти по такой формуле:

$$c = Qm(t_2 - t_1)$$

Такую же формулу Вы бы получили, если записали формулу количества теплоты при нагревании и далее выразили оттуда искомую удельную теплоемкость c .

Переведём массу трансформаторного масла в систему СИ:

$$5\text{т} = 5000\text{кг}$$

Посчитаем ответ:

$$c = 50,6 \cdot 1065000 \cdot (75 - 70) = 2024 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

Ответ: 2024 Дж/(кг·°C).

Задача 15

Условие задачи:

Тепловая нагрузка горелки водонагревателя равна 25 МДж/ч, вместимость бака 80 л, КПД составляет 80%. Сколько времени потребуется для нагревания воды в баке водонагревателя от 25° до 90°C ?

Дано:

$$N = 25 \text{ МДж/ч}, V = 80 \text{ л}, \eta = 80\%, t_1 = 25^\circ\text{C}, t_2 = 90^\circ\text{C}, \tau = ?$$

Решение задачи:

Запишем формулу определения коэффициента полезного действия (КПД). КПД – это отношение полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе $A_{\text{з}}$.

$$\eta = A_{\text{п}}/A_{\text{з}} \quad (1)$$

Полезная работа водонагревателя $A_{\text{п}}$ заключается в том, что он нагревает воду, поэтому полезная работа равна количеству теплоты, необходимое для нагревания воды.

$$A_{\text{п}} = cm(t_2 - t_1)$$

Удельная теплоемкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Поскольку в задаче известна вместимость бака, то выразим массу нагреваемой воды m через объем бака V и плотность воды ρ (плотность воды равна 1000 кг/м^3).

$$A_{\text{п}} = c\rho V(t_2 - t_1) \quad (2)$$

Затраченную работу $A_{\text{з}}$ найдем через тепловую нагрузку горелки водонагревателя N (по сути это мощность горелки) и искомое время работы τ .

$$A_{\text{з}} = N\tau \quad (3)$$

Подставим в формулу (1) выражения (2) и (3), тогда:

$$\eta = c\rho V(t_2 - t_1)/N\tau$$

Тогда время нагревания воды можно найти по формуле:

$$\tau = c\rho V(t_2 - t_1)/\eta N$$

Переведём тепловую нагрузку, объем бака и КПД в систему СИ:

$$25 \text{ МДж/ч} = 25 \cdot 1063600 \text{ Вт} = 6944,4 \text{ Вт}$$

$$80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$$

$$80\% = 0,8$$

Произведем расчет численного ответа:

$$\tau = 4200 \cdot 1000 \cdot 0,08 \cdot (90 - 25) 0,8 \cdot 6944,4 = 3931,2 \text{ с} = 65,5 \text{ мин}$$

Ответ: 65,5 мин.

Задача 16

Условие задачи:

В электрическом чайнике мощностью 800 Вт можно вскипятить 1,6 л воды, имеющей температуру 20 °С, за 20 мин. Найти КПД чайника.

Дано:

$$N = 800 \text{ Вт}, V = 1,6 \text{ л}, t = 20 \text{ °С}, \tau = 20 \text{ мин}, \eta = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия η (КПД) равен отношению полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе $A_{\text{з}}$.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_{\text{з}} \quad (1)$$

Полезная работа чайника $A_{\text{п}}$ заключается в том, что он нагревает воду, поэтому полезная работа равна количеству теплоты, требующемуся для нагревания воды до кипения. Напомним, что температура кипения $t_{\text{к}}$ равна 100° С.

$$A_{\text{п}} = cm(t_{\text{к}} - t)$$

Удельная теплоемкость воды равна 4200 Дж/(кг·°С).

Выразим массу нагреваемой воды m через плотность воды ρ и объем V . Плотность воды равна 1000 кг/м³.

$$A_{\text{п}} = c\rho V(t_{\text{к}} - t) \quad (2)$$

Затраченную работу $A_{\text{з}}$ определим как произведение мощности чайника N на время τ .

$$A_{\text{з}} = N\tau \quad (3)$$

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1), получим такую конечную формулу:

$$\eta = c\rho V(t_{\text{к}} - t)N\tau$$

Переведем объем чайника V и время нагревания воды τ в систему СИ.

$$1,6 \text{ л} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$$

Посчитаем ответ:

$$\eta = 4200 \cdot 1000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20) 800 \cdot 1200 = 0,56$$

Ответ: 0,56.

Задача 17

Условие задачи:

Для закалки стальную деталь, нагретую до 1073 °К, массой 0,5 кг опустили в воду массой 10 кг при температуре 288 °К. До какой температуры охладится стальная деталь?

Дано:

$$T_1 = 1073 \text{ К}, m_1 = 0,5 \text{ кг}, m_2 = 10 \text{ кг}, T_2 = 288 \text{ °К}, T = ?$$

Решение задачи:

После опускания стальной детали в воду деталь остынет до температуры T , а вода нагреется до этой же температуры. Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное стальной деталью воды при остывании, а Q_2 – количество теплоты, полученное водой при нагревании.

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2)$$

Удельная теплоемкость стали c_1 равна 460 Дж/(кг·К), а удельная теплоемкость воды

$$c_2 = 4200 \text{ Дж/(кг·К)}.$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства:

$$c_1 m_1 T_1 - c_1 m_1 T = c_2 m_2 T - c_2 m_2 T_2$$

Перенесем в правую часть все члены с множителем T и вынесем его за скобки. Остальные члены перенесем в левую часть.

$$c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2 = (c_1 m_1 + c_2 m_2) T$$

$$T = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Произведём вычисления:

$$T = 460 \cdot 0,5 \cdot 1073 + 4200 \cdot 10 \cdot 288 / 460 \cdot 0,5 + 4200 \cdot 10 = 292,3 \text{ К} = 19,3^\circ \text{C}$$

Ответ: 19,3 °C.

Задача 18

Условие задачи:

Мощность, развиваемая двигателем самолета на скорости 900 км/ч, равна 3 МВт. При этом на пути 10 км расходуется 8 кг бензина. Найти КПД двигателя.

Дано:

$$v = 900 \text{ км/ч}, N = 3 \text{ МВт}, S = 10 \text{ км}, m = 8 \text{ кг}, \eta = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия η (КПД) двигателя можно найти как отношение полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе $A_{\text{з}}$.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \quad (1)$$

Полезную работу двигателя $A_{\text{п}}$ найдем через мощность N и время t .

$$A_{\text{п}} = Nt$$

Так как самолет двигался равномерно со скоростью v и прошёл путь S , то время можно найти как отношение пути к скорости, то есть полезную работу следует искать по формуле:

$$A_{\text{п}} = NSv \quad (2)$$

Затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты, выделяемой при сгорании бензина.

$$A_{\text{з}} = qm \quad (3)$$

Удельная теплота сгорания бензина равна 46 МДж/кг.

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1). Так мы получим решение задачи в общем виде.

$$\eta = \frac{NSv}{qm}$$

Переведём скорость самолета в систему СИ:

$$900 \text{ км/ч} = 900 \cdot 1000 / 3600 \text{ м/с} = 250 \text{ м/с}$$

Численно КПД двигателя самолета равен:

$$\eta = 3 \cdot 106 \cdot 10 \cdot 103250 \cdot 46 \cdot 106 \cdot 8 = 0,326$$

Ответ: 0,326.

Задача 19

Условие задачи:

Определите расход бензина автомобилем на 1 км пути при скорости 72 км/ч. Мощность двигателя автомобиля 20 кВт, КПД равен 25%.

Дано:

$$S=1 \text{ км}, v=72 \text{ км/ч}, N=20 \text{ кВт}, \eta=25\%, V=?$$

Решение задачи:

Согласно определению коэффициент полезного действия (КПД) – это отношение полезной работы автомобиля к затраченной работе.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_{\text{з}} \quad (1)$$

Полезную работу $A_{\text{п}}$ можно определить через его мощность N и время работы t . Последнее можно найти как отношение пройденного пути S к скорости движения v , поэтому:

$$A_{\text{п}} = Nt = NSv \quad (2)$$

Затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты Q , выделившейся при сгорании бензина в двигателе. Последнюю найдем как произведение удельной теплоты сгорания q на массу бензина m .

$$A_{\text{з}} = qm$$

Массу бензина представим как произведение плотности бензина ρ на объем V .

$$A_{\text{з}} = q\rho V \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), тогда:

$$\eta = NSv / q\rho V$$

Выразим искомый объем бензина V :

$$V = NS\eta v / q\rho$$

Плотность бензина ρ равна 700 кг/м³, а удельная теплота сгорания q – 46 МДж/кг. Переведем скорость из км/ч в м/с, а КПД из процентов в доли единицы:

$$72 \text{ км/ч} = 72 \cdot 1000 / 3600 \text{ м/с} = 20 \text{ м/с}$$

$$25\% = 0,25$$

Подставим значения величин в последнюю формулу, чтобы посчитать численный ответ.

$$V = 20 \cdot 103 \cdot 10000,25 \cdot 20 \cdot 46 \cdot 106 \cdot 700 = 124,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 124,2 \text{ см}^3$$

Ответ: 124,2 см³.

Задача 20

Условие задачи:

Горячее тело, температура которого 70 °С, приведено в соприкосновение с холодным телом, температура которого 20 °С. В тепловом равновесии установилась температура 30° С. Во сколько раз теплоемкость холодного тела больше теплоемкости горячего?

Дано:

$$t_1=70\text{ }^{\circ}\text{C}, t_2=20\text{ }^{\circ}\text{C}, t=30\text{ }^{\circ}\text{C}, C_2C_1=?$$

Решение задачи:

Из условия уже понятно, что происходило с телами, поэтому сразу запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное горячим телом холодному при остывании до температуры t , а Q_2 – количество теплоты, полученное холодным телом от горячего при нагревании до той же температуры. Распишем эти теплоты по известным формулам – обратите внимание, что в условии фигурирует теплоемкость, а не удельная теплоемкость.

$$C_1(t_1-t)=C_2(t-t_2)$$

Выразим искомое отношение теплоемкостей C_2C_1 :

$$C_2C_1=t_1-t-t_2$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$C_2C_1=70-30-20=4$$

Ответ: 4.

Задача 21

Условие задачи:

Для экономии энергии стальной бак массой 4 кг заменили стальной сеткой массой 1,5 кг и загрузили в термическую печь. На сколько меньше теплоты потребуется для её нагревания от 18° до 918°C ?

Дано:

$$m_1=4\text{ кг}, m_2=1,5\text{ кг}, t_1=18\text{ }^{\circ}\text{C}, t_2=918\text{ }^{\circ}\text{C}, \Delta Q=?$$

Решение задачи:

Для нагревания стального бака от температуры t_1 до температуры t_2 требуется количество теплоты, определяемое формулой:

$$Q_1=cm_1(t_2-t_1)$$

Если заменить стальной бак сеткой из того же материала, то количество теплоты, требуемое для его нагревания, можно найти по аналогичной формуле:

$$Q_2=cm_2(t_2-t_1)$$

Удельная теплоемкость стали c равна $460\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Искомую величину ΔQ следует определять по формуле:

$$\Delta Q=Q_1-Q_2$$

С учётом выше приведённого, имеем:

$$\Delta Q=cm_1(t_2-t_1)-cm_2(t_2-t_1)$$

$$\Delta Q=c(m_1-m_2)(t_2-t_1)$$

Подставим исходные данные задачи в формулу и посчитаем ответ:

$$\Delta Q=460\cdot(4-1,5)(918-18)=1,035\cdot 10^6\text{ Дж}=1,035\text{ МДж}$$

Ответ: 1,035 МДж.

Задача 22

Условие задачи:

Смешали 24 кг цемента при температуре 5 °С с 30 л воды при температуре 35 °С. Определить температуру раствора. Потерями пренебречь. Удельная теплоемкость цемента – 830 Дж/(кг·К).

Дано:

$m_1=24$ кг, $t_1=5$ °С, $V_2=30$ л, $t_2=35$ °С, $c_1=830$ Дж/(кг·К), $t=?$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное цементом от воды при нагревании до температуры t , Q_2 – количество теплоты, отданное водой цементу при охлаждении до той же температуры. Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t)$$

Удельная теплоемкость воды c_2 равна 4200 Дж/(кг·°С).

Распишем массу воды m_2 как произведение плотности воды ρ_2 на объем V_2 . Напомним, что плотность воды равна 1000 кг/м³.

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 \rho_2 V_2 (t_2 - t)$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства: $c_1 m_1 t - c_1 m_1 t_1 = c_2 \rho_2 V_2 t_2 - c_2 \rho_2 V_2 t$

Все члены с множителем t перенесем в левую сторону, вынесем его за скобки, остальные члены перенесем в правую сторону.

$$t(c_1 m_1 + c_2 \rho_2 V_2) = c_1 m_1 t_1 + c_2 \rho_2 V_2 t_2$$

$$t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 \rho_2 V_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 \rho_2 V_2}$$

Переведем объем из литров в кубические метры: 30 л = 0,03 м³

Произведем расчет численного ответа:

$$t = \frac{830 \cdot 24 \cdot 5 + 4200 \cdot 1000 \cdot 0,03 \cdot 35}{830 \cdot 24 + 4200 \cdot 1000 \cdot 0,03} = 31^\circ\text{C} = 304\text{K}$$

Ответ: 304 К.

Задача 23

Условие задачи:

Для приготовления ванны необходимо смешать холодную воду при 11 °С и горячую – при 66 °С. Какое количество горячей воды надо взять для получения 110 л воды при 36 °С?

Дано:

$t_1=11$ °С, $t_2=66$ °С, $V=110$ л, $t=36$ °С, $V_2=?$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса: $Q_1=Q_2$

В это уравнении Q_1 – количество теплоты, полученное холодной водой от горячей при нагревании до температуры t , Q_2 – количество теплоты, отданное горячей водой холодной при охлаждении до той же температуры. Распишем эти количества теплоты по известным формулам:

$$c m_1 (t - t_1) = c m_2 (t_2 - t)$$

Массы запишем как произведения плотности воды ρ на соответствующий объем.

$$c \rho V_1 (t - t_1) = c \rho V_2 (t_2 - t)$$

$$V_1 (t - t_1) = V_2 (t_2 - t)$$

Понятно, что сумма объемов холодной и горячей воды (V_1 и V_2) равна данному в условии объему V , поэтому очевидно следующее равенство:

$$V_1 = V - V_2$$

Тогда имеем:

$$(V - V_2)(t - t_1) = V_2(t_2 - t)$$

Раскроем скобки в обеих частях этого равенства.

$$Vt - Vt_1 - V_2t + V_2t_1 = V_2t_2 - V_2t$$

$$Vt - Vt_1 + V_2t_1 = V_2t_2$$

Вынесем множитель V в левой части за скобки, члены с множителем V_2 перенесем в правую сторону и также вынесем его за скобки.

$$V(t - t_1) = V_2(t_2 - t_1)$$

В итоге получим следующую итоговую формулу:

$$V_2 = V(t - t_1)t_2 - t_1$$

Переведем объем V в кубические метры:

$$110 \text{ л} = 0,11 \text{ м}^3$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$V_2 = 0,11 \cdot (36 - 11)66 - 11 = 0,05 \text{ м}^3$$

Ответ: 0,05 м³.

Задача 24

Условие задачи:

Автомобиль расходует 5,67 кг бензина на 50 км пути. Определить мощность, развиваемую двигателями, если скорость движения 90 км/ч, а КПД двигателя 22%.

Дано:

$$m = 5,67 \text{ кг}, S = 50 \text{ км}, v = 90 \text{ км/ч}, \eta = 22\%, N = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия двигателя η равен отношению полезной работы двигателя к затраченной работе.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \quad (1)$$

Полезную работу двигателя $A_{\text{п}}$ можно узнать через искомую мощность по следующей формуле:

$$A_{\text{п}} = Nt$$

Здесь t – время движения автомобиля (точнее время работы двигателя), которое, очевидно, можно определить по формуле:

$$t = \frac{S}{v}$$

$$A_{\text{п}} = NSv \quad (2)$$

Затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты, выделяющемуся при сгорании бензина, поэтому справедлива формула:

$$A_{\text{з}} = qm \quad (3)$$

В этой формуле q – удельная теплота сгорания бензина, равная 46 МДж/кг.

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$\eta = \frac{NSv}{qm}$$

Осталось только выразить мощность двигателя N :

$$N = \frac{\eta qm}{Sv}$$

Переведём скорость в м/с, а КПД – в доли единицы:

$$90 \text{ км/ч} = 90 \cdot 1000 / 3600 \text{ м/с} = 25 \text{ м/с}$$

$$22\% = 0,22$$

Произведем вычисления:

$$N = 0,22 \cdot 25 \cdot 46 \cdot 106 \cdot 5,6750 \cdot 103 = 28690 \text{ Вт} \approx 29 \text{ кВт}$$

Ответ: 29 кВт.

Задача 25

Условие задачи:

Алюминиевый сосуд содержит 118 г воды при температуре 20° С. Кусок железа массой 0,2 кг, нагретый до 75° С, опускают в сосуд. Найти установившуюся температуру, если теплоемкость сосуда 0,18 кДж/К.

Дано:

$$m_1 = 118 \text{ г}, t_1 = 20^\circ \text{С}, m_2 = 0,2 \text{ кг}, t_2 = 75^\circ \text{С}, C = 0,18 \text{ кДж/К}, t = ?$$

Решение задачи:

В начале сосуд имел температуру воды. После того, как кусок железа опустят в воду, будет происходить теплообмен между тремя телами (алюминиевым сосудом, водой и куском железа). В конце концов температуры всех трех тел станут одинаковыми и равными t .

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное сосудом при нагревании, Q_2 – количество теплоты, полученное водой при нагревании, Q_3 – количество теплоты, отданное куском железа при охлаждении. Распишем все количества теплоты по известным формулам. Стоит обратить внимание, что у сосуда дана теплоемкость, а не удельная теплоемкость!

$$C(t - t_1) + c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t)$$

В этой формуле c_1 – удельная теплоемкость воды, равная 4200 Дж/(кг·°С), c_2 – удельная теплоемкость железа, равная 460 Дж/(кг·°С).

Раскроем в обеих частях равенства скобки:

$$Ct - Ct_1 + c_1 m_1 t - c_1 m_1 t_1 = c_2 m_2 t_2 - c_2 m_2 t$$

В левую часть перенесем все члены с множителем t , чтобы вынести его за скобки, в правую часть – все оставшиеся члены.

$$t(C + c_1 m_1 + c_2 m_2) = Ct_1 + c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2$$

В итоге получим такое решение задачи в общем виде:

$$t = \frac{Ct_1 + c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{C + c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Переведём массу алюминиевого сосуда в килограммы (в систему СИ):

$$118 \text{ г} = 0,118 \text{ кг}$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$t = 180 \cdot 20 + 4200 \cdot 0,118 \cdot 20 + 460 \cdot 0,2 \cdot 75 / 180 + 4200 \cdot 0,118 + 460 \cdot 0,2 = 26,6^\circ \text{С} \approx 300 \text{ К}$$

Ответ: 300 К.

Задача 26

Условие задачи:

Автомобиль, движущийся со средней скоростью 72 км/ч, развивает силу тяги 2500 Н. Коэффициент полезного действия двигателя автомобиля равен 25%. Сколько он тратит бензина в час?

Дано:

$v=72$ км/ч, $F=2500$ Н, $\eta=25\%$, $t=1$ ч, $m=?$

Решение задачи:

Если в задаче говорится о коэффициенте полезного действия (КПД), то при решении задачи первым делом записывают формулу определения КПД. КПД двигателя η – это отношение полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе $A_{\text{з}}$, то есть:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \quad (1)$$

Так как каждый малый промежуток времени вектор силы тяги сонаправлен с вектором перемещения, то полезную работу $A_{\text{п}}$ можно найти по формуле:

$$A_{\text{п}} = FS$$

В этой формуле S – пройденный путь, который легко найти из выражения:

$$S = vt$$

$$A_{\text{п}} = Fvt \quad (2)$$

Затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании бензина, поэтому верна формула:

$$A_{\text{з}} = qm \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), тогда мы получим:

$$\eta = \frac{Fvt}{qm}$$

Выразим искомую массу бензина m :

$$m = \frac{Fvt}{\eta q}$$

Удельная теплота сгорания бензина q равна 46 МДж/кг. Переведем скорость автомобиля в м/с, КПД – в доли единицы, а время работы – в секунды:

$$72 \text{ км/ч} = 72 \cdot 1000 / 3600 \text{ м/с} = 20 \text{ м/с}$$

$$25\% = 0,25$$

$$1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

Численный ответ к задаче равен:

$$m = 2500 \cdot 20 \cdot 3600 / (0,25 \cdot 46 \cdot 10^6) = 15,65 \text{ кг}$$

Ответ: 15,65 кг.

Задача 27

Условие задачи:

Определить КПД нагревателя, расходующего 80 г керосина на нагревание 3 л воды на 90 К.

Дано:

$m_2=80$ г, $V_1=3$ л, $\Delta T=90$ К, $\eta=?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия нагревателя η равен отношению полезной работы к затраченной работе.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \quad (1)$$

Полезная работа нагревателя $A_{\text{п}}$ равна количеству теплоты, которое требуется для изменения температуры воды на ΔT , то есть:

$$A_{\text{п}} = c_1 m_1 \Delta T$$

В этой формуле c_1 – удельная теплоемкость воды, равная 4200 Дж/(кг·К). Массу воды распишем как произведение плотности воды ρ_1 (она равна 1000 кг/м³) на объем V_1 .

$$A_{\text{п}} = c_1 \rho_1 V_1 \Delta T \quad (2)$$

Затраченная работа A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании керосина массой m_2 , поэтому:

$$A_3 = q m_2 \quad (3)$$

Удельная теплота сгорания керосина q равна 43 МДж/кг.

Подставим полученные выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$\eta = c_1 \rho_1 V_1 \Delta T q m_2$$

Переведем некоторые величины в систему СИ:

$$80 \text{ г} = 0,08 \text{ кг}$$

$$3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$\eta = 4200 \cdot 1000 \cdot 0,003 \cdot 9043 \cdot 106 \cdot 0,08 = 0,33$$

Ответ: 0,33.

Задача 28

Условие задачи:

На спиртовке нагревали воду массой 100 г от 16 °С до 71 °С. При этом был сожжен спирт массой 10 г. Найти коэффициент полезного действия спиртовки.

Дано:

$$m_1 = 100 \text{ г}, t_1 = 16 \text{ °С}, t_2 = 71 \text{ °С}, m_2 = 10 \text{ г}, \eta = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия спиртовки η равен отношению полезной работы спиртовки $A_{\text{п}}$ к затраченной работе A_3 .

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезная работа спиртовки $A_{\text{п}}$ равна количеству теплоты, которое требуется для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры t_2 , то есть:

$$A_{\text{п}} = c m_1 (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Удельная теплоемкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°С).

Затраченная работа A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании спирта массой m_2 , то есть:

$$A_3 = q m_2 \quad (3)$$

Удельная теплота сгорания спирта q равна 29 МДж/кг.

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$\eta = c m_1 (t_2 - t_1) q m_2$$

Переведем массу воды и массу спирта в систему СИ:

$$100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$\eta = 4200 \cdot 0,1 \cdot (71 - 16) \cdot 29 \cdot 106 \cdot 0,01 = 0,08$$

Ответ: 0,08.

Задача 29

Условие задачи:

Медное тело, нагретое до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, опущено в воду, масса которой равна массе тела. Тепловое равновесие наступило при температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите первоначальную температуру воды.

Дано:

$$t_1=100\text{ }^{\circ}\text{C}, t=30\text{ }^{\circ}\text{C}, t_2=?$$

Решение задачи:

Тело, изготовленное из меди и имеющее температуру t_1 , опустили в воду при искомой температуре t_2 . Массы тела и воды одинаковы. В результате теплообмена установилось тепловое равновесие при температуре t . Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное медным телом при охлаждении в результате теплообмене, а Q_2 – количество теплоты, полученное водой при нагревании в результате теплообмена. Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$c_1m(t_1-t)=c_2m(t-t_2)$$

$$c_1(t_1-t)=c_2(t-t_2)$$

В этом равенстве c_1 – удельная теплоемкость меди, равная $380\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$, а c_2 – удельная теплоемкость воды, равная $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Поделим обе части равенства на c_2 , тогда:

$$c_1(t_1-t)c_2=t-t_2$$

Осталось только выразить температуру t_2 :

$$t_2=t-c_1(t_1-t)c_2$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$t_2=30-380\cdot(100-30)4200=23,7\text{ }^{\circ}\text{C}\approx 297\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Ответ: 297 К.

Задача 30

Условие задачи:

На сколько километров пути хватит 40 л бензина автомобилю, движущемуся со скоростью 54 км/ч? Мощность, развиваемая двигателем автомобиля, 46 кВт, а КПД 25%.

Дано:

$$V=40\text{ л}, v=54\text{ км/ч}, N=46\text{ кВт}, \eta=25\%, S=?$$

Решение задачи:

Запишем формулу определения коэффициента полезного действия (КПД). Согласно определению, КПД – это отношение полезной работы к затраченной.

$$\eta=A_{\text{п}}/A_{\text{з}}(1)$$

Полезную работу $A_{\text{п}}$ легко определить через мощность двигателя автомобиля N и время движения t , причем последнюю найдем как отношение пути S к скорости движения v .

$$A_{\text{п}}=Nt=NSv(2)$$

Затраченная работа A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании бензина, поэтому:

$$A_3 = qm$$

Удельная теплота сгорания бензина q равна 46 МДж/кг.

Массу бензина m запишем как произведение плотности бензина ρ (она равна 700 кг/м³) на объем V .

$$A_3 = q\rho V \quad (3)$$

Подставим полученные выражения (2) и (3) в формулу (1).

$$\eta = N S \nu q \rho V$$

Из этой формулы выразим искомый путь S :

$$S = \eta \nu q \rho V N$$

Переведем объем бензина V в кубические метры, скорость автомобиля ν – в м/с, а КПД двигателя η – в доли единиц:

$$40 \text{ л} = 0,04 \text{ м}^3$$

$$54 \text{ км/ч} = 54 \cdot 1000 / 3600 \text{ м/с} = 15 \text{ м/с}$$

$$25\% = 0,25$$

Произведем расчет численного ответа задачи:

$$S = 0,25 \cdot 15 \cdot 46 \cdot 106 \cdot 700 \cdot 0,0446 \cdot 103 = 105000 \text{ м} = 105 \text{ км}$$

Ответ: 105 км.

Задача 31

Условие задачи:

В ванне находится 400 л воды при температуре 30 °С. Из крана вытекает горячая вода при 60 °С. На какое время надо открыть кран, чтобы установилась температура 35 °С, если за одну минуту из крана вытекает 10 л воды?

Дано:

$$V_1 = 400 \text{ л}, t_1 = 30 \text{ °С}, t_2 = 60 \text{ °С}, t = 35 \text{ °С}, \tau_0 = 1 \text{ мин}, V_0 = 10 \text{ л}, \tau = ?$$

Решение задачи:

Изначально в ванне находилась вода объемом V_1 при температуре t_1 . За искомое время τ из крана вытечет объем воды V_2 при температуре t_2 . В результате смешения и теплообмена установится тепловое равновесие при температуре t .

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное водой объемом V_1 при нагревании в результате теплообмена, Q_2 – количество теплоты, отданное водой объемом V_2 (которая вытечет из крана) при охлаждении в результате теплообмена. Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t)$$

$$m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t)$$

Массы запишем как произведение плотности воды на соответствующий объем.

$$\rho V_1(t - t_1) = \rho V_2(t_2 - t)$$

$$V_1(t - t_1) = V_2(t_2 - t) \quad (1)$$

Если за единицу времени из крана вытекает одинаковое количество воды, то есть расход жидкости всегда одинаковый, то имеет место равенство:

$$V_0 \tau_0 = V_2 \tau$$

$$V_2 = V_0 \tau \tau_0$$

Подставим полученное выражение в равенство (1).

$$V_1(t-t_1) = V_0 \tau \tau_0(t_2-t)$$

Откуда искомое время τ равно:

$$\tau = V_1(t-t_1) \tau_0 V_0(t_2-t)$$

Переведём объёмы V и V_0 , а также время τ_0 в систему СИ:

$$400 \text{ л} = 0,4 \text{ м}^3$$

$$10 \text{ л} = 0,01 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$$

Численный ответ к задаче равен:

$$\tau = 0,4 \cdot (35-30) \cdot 600,01 \cdot (60-35) = 480 \text{ с}$$

Ответ: 480 с.

Задача 32

Условие задачи:

Чтобы нагреть 1,8 кг воды от 18 °С до кипения на горелке с КПД 25%, потребовалось 92 г горючего. Найти удельную теплоту сгорания горючего.

Дано:

$$m_1 = 1,8 \text{ кг}, t_1 = 18 \text{ °С}, \eta = 25\%, m_2 = 92 \text{ г}, q = ?$$

Решение задачи:

Запишем формулу определения КПД (коэффициента полезного действия), он равен отношению полезной работы к затраченной работе.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезная работа горелки $A_{\text{п}}$ равна количеству теплоты, которое требуется для нагревания воды от температуры t_1 до температуры кипения t_k (при нормальном атмосферном давлении $t_k = 100 \text{ °С}$).

$$A_{\text{п}} = c m_1 (t_k - t_1) \quad (2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°С).

Затраченная работы A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании горючего массой m_2 , поэтому:

$$A_3 = q m_2 \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), тогда имеем:

$$\eta = c m_1 (t_k - t_1) q m_2$$

Выразим искомую удельную теплоту сгорания q :

$$q = c m_1 (t_k - t_1) \eta m_2$$

Переведём КПД η в доли единиц, а массу горючего m_2 в килограммы, далее произведем расчет численного ответа.

$$25\% = 0,25$$

$$92 \text{ г} = 0,092 \text{ кг}$$

$$q = 4200 \cdot 1,8 \cdot (100 - 18) \cdot 0,25 \cdot 0,092 = 26953043,5 \text{ Дж/кг} \approx 27 \text{ МДж/кг}$$

Вероятнее всего, что горючим в горелке является спирт.

Ответ: 27 МДж/кг.

Задача 33

Условие задачи:

У какого из тел теплоемкость больше и во сколько раз: у куска свинца массой 1 кг или у куска железа массой 500 г?

Дано:

$$m_1=1 \text{ кг}, m_2=500 \text{ г}, C_2C_1=?$$

Решение задачи:

Теплоемкость C – это физическая величина, которая показывает сколько нужно энергии для изменения температуры тела на 1°C (1°K). Её можно найти как произведение удельной теплоемкости c на массу тела m .

$$C=cm$$

С учётом этой формулы теплоемкости куска свинца C_1 массой m_1 и теплоемкость куска железа C_2 массой m_2 найдем по формулам:

$$\{C_1=c_1m_1C_2=c_2m_2$$

Удельная теплоемкость свинца c_1 равна $130 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплоемкость железа $c_2 = 460 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Переведем массу куска железа в систему СИ и посчитаем значения теплоемкостей:

$$500\text{г}=0,5\text{кг}$$

$$C_1=130\cdot 1=130\text{Дж/кг}$$

$$C_2=460\cdot 0,5=230\text{Дж/кг}$$

Видно, что у куска железа теплоемкость больше. Найдем отношение теплоемкостей, чтобы узнать во сколько раз теплоемкость куска железа превышает теплоемкость куска свинца.

$$C_2C_1=230/130=1,77$$

Ответ: 1,77.

Задача 34

Условие задачи:

Для определения удельной теплоёмкости $0,15 \text{ кг}$ вещества, взятого при температуре 100°C , опустили в латунный калориметр массой $0,12 \text{ кг}$, содержащий $0,2 \text{ кг}$ воды при 16°C , причем общая температура установилась 22°C . Определить удельную теплоемкость вещества по данным опыта.

Дано:

$$m_1=0,15 \text{ кг}, t_1=100^\circ\text{C}, m_2=0,12 \text{ кг}, m_3=0,2 \text{ кг}, t_3=16^\circ\text{C}, t=22^\circ\text{C}, c_1=?$$

Решение задачи:

Изначально температура калориметра массой m_2 и содержащейся в нем воды массы m_3 одинакова и равна t_3 . В воду опускают некоторое вещество массой m_1 при температуре t_1 . В результате теплообмена установится температура t . Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2+Q_3$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное неизвестным веществом при теплообмене, Q_2 и Q_3 – количества теплоты, полученное латунным

калориметром и водой при теплообмене соответственно. Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_3) + c_3 m_3 (t - t_3)$$

В этом равенстве c_1 – искомая удельная теплоемкость некоторого вещества, c_2 – удельная теплоемкость латуни (она равна 380 Дж/(кг·°C)), c_3 – удельная теплоемкость воды (она равна 4200 Дж/(кг·°C)).

Выразим из равенства искомую величину c_1 :

$$c_1 = c_2 m_2 (t - t_3) + c_3 m_3 (t - t_3) / m_1 (t_1 - t)$$

$$c_1 = (c_2 m_2 + c_3 m_3) (t - t_3) / m_1 (t_1 - t)$$

Подставим данные задачи в формулу и посчитаем ответ к задаче:

$$c_1 = (380 \cdot 0,12 + 4200 \cdot 0,2) (22 - 16) / 0,15 \cdot (100 - 22) = 454,2 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$$

Ответ: 454,2 Дж/(кг·°C).

Задача 35

Условие задачи:

Сколько керосина необходимо сжечь, чтобы 50 л воды нагреть от 20 °C до кипения? КПД нагревателя 35%.

Дано:

$$V_1 = 50 \text{ л}, t_1 = 20 \text{ °C}, \eta = 35\%, m_2 = ?$$

Решение задачи:

Запишем формулу определения коэффициента полезного действия (КПД):

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезная работа $A_{\text{п}}$ равна количеству теплоты, которое необходимо для нагревания воды от температуры t_1 до температуры кипения t_k ($t_k = 100 \text{ °C}$ при нормальном атмосферном давлении).

$$A_{\text{п}} = c m_1 (t_k - t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C).

Массу воды m_1 запишем в виде произведения плотности воды ρ (она равна 1000 кг/м³) на объем V_1 .

$$A_{\text{п}} = c \rho V_1 (t_k - t_1) \quad (2)$$

Затраченная же работа A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании керосина массой m_2 .

$$A_3 = q m_2 \quad (3)$$

Удельная теплота сгорания керосина q равна 43 МДж/кг.

Подставим в формулу (1) выражения (2) и (3) для полезной и затраченной работ:

$$\eta = c \rho V_1 (t_k - t_1) q m_2 / A_3$$

Откуда масса керосина m_2 равна:

$$m_2 = A_3 / (c \rho V_1 (t_k - t_1) \eta q)$$

Переведём объем воды из литров в кубические метры, а КПД – в доли единиц.

$$50 \text{ л} = 0,05 \text{ м}^3$$

$$35\% = 0,35$$

Произведём расчет ответа:

$$m_2 = 4200 \cdot 1000 \cdot 0,05 \cdot (100 - 20) \cdot 0,35 \cdot 43 \cdot 10^6 = 1,12 \text{ кг}$$

Ответ: 1,12 кг.

Задача 36

Условие задачи:

На зажженную спиртовку с КПД 60% поставили сосуд с 500 г воды при 20 °С. Через какое время выкипит 20 г воды, если в спиртовке за минуту сгорает 4 г спирта?

Дано:

$\eta=60\%$, $m_1=500$ г, $t_1=20$ °С, $\Delta m=20$ г, $m_0=20$ г, $\tau_0=1$ мин, $\tau=?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия η (КПД) равен отношению полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе A_3 .

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезная работа спиртовки $A_{\text{п}}$ равна сумме количества теплоты Q_1 , которое требуется для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры кипения t_k ($t_k=100$ °С), и количества теплоты Q_2 , которое нужно для испарения воды массой Δm .

$$A_{\text{п}} = Q_1 + Q_2$$

Распишем количества теплоты Q_1 и Q_2 по известным формулам.

$$A_{\text{п}} = cm_1(t_k - t_1) + L\Delta m \quad (2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°С), удельная теплота парообразования воды L равна 2,26 МДж/кг.

Затраченная работа A_3 равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании спирта некоторой массы m_2 .

$$A_3 = qm_2$$

Удельная теплота сгорания спирта q равна 29 МДж/кг.

Если за единицу времени сгорает одинаковое количество спирта, то справедливо такое равенство:

$$m_0\tau_0 = m_2\tau$$

$$m_2 = m_0\tau\tau_0$$

$$A_3 = qm_0\tau\tau_0 \quad (3)$$

В формулу (1) подставим выражения (2) и (3):

$$\eta = (cm_1(t_k - t_1) + L\Delta m)\tau_0 / qm_0\tau$$

Откуда нужное нам время τ равно:

$$\tau = (cm_1(t_k - t_1) + L\Delta m)\tau_0 / \eta qm_0$$

Переведём КПД в доли единиц, все массы – в килограммы, время – в секунды.

$$60\% = 0,6$$

$$500\text{г} = 0,5\text{кг}$$

$$20\text{г} = 0,02\text{кг}$$

$$4\text{г} = 0,004\text{кг}$$

$$1\text{мин} = 60\text{с}$$

Численно время τ равно:

$$\tau = (4200 \cdot 0,5 \cdot (100 - 20) + 2,26 \cdot 10^6 \cdot 0,02) \cdot 60 / 0,6 \cdot 29 \cdot 10^6 \cdot 0,004 = 183,8\text{с}$$

Ответ: 183,8 с.

Задача 37

Условие задачи:

В стеклянный сосуд массой 120 г, имеющий температуру 20 °С, налили горячую воду, масса которой 200 г и температура 100 °С. Спустя 5 мин температура сосуда с водой стала равна 40 °С. Какое количество теплоты терялось в единицу времени, если скорость охлаждения постоянна? Теплоемкость сосуда 840 Дж/(кг·°К).

Дано:

$m_1=120$ г, $t_1=20$ °С, $m_2=200$ г, $t_2=100$ °С, $\tau=5$ мин, $t=40$ °С, $c_1=840$ Дж/(кг·К), $N=?$

Решение задачи:

Поскольку некоторая часть теплоты при теплообмене была потеряна, то уравнение теплового баланса здесь нужно применять в следующей измененной форме:

$$Q_1 + \Delta Q = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное сосудом в результате теплообмена, Q_2 – количество теплоты, отданное водой в результате теплообмена, ΔQ – потерянное количество теплоты. Выразим последнее:

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1$$

Распишем количества теплоты Q_1 и Q_2 по известным формулам:

$$\Delta Q = c_2 m_2 (t_2 - t) - c_1 m_1 (t - t_1) \quad (1)$$

Удельная теплоёмкость воды c_2 равна 4200 Дж/(кг·°С).

Так как в условии спрашивается «какое количество теплоты терялось в единицу времени», то по сути нам нужно найти мощность. Её следует искать по формуле:

$$N = \Delta Q \tau$$

Учитывая формулу (1), получим окончательную формулу:

$$N = c_2 m_2 (t_2 - t) - c_1 m_1 (t - t_1) \tau$$

Переведём массы m_1 и m_2 , а также время τ в систему СИ:

$$120 \text{ г} = 0,12 \text{ кг}$$

$$200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$5 \text{ мин} = 300 \text{ с}$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$N = 4200 \cdot 0,2 \cdot (100 - 40) - 840 \cdot 0,12 \cdot (40 - 20) \cdot 300 = 161,28 \text{ Вт} \approx 161 \text{ Вт}$$

Ответ: 161 Вт.

Задача 38

Условие задачи:

В батарею водяного отопления вода поступает при 80 °С по трубе площадью поперечного сечения 500 мм² со скоростью 1,2 см/с, а выходит из батареи, имея температуру 25 °С. Какое количество теплоты получает отапливаемое помещение за сутки?

Дано:

$t_1=80$ °С, $S=500$ мм², $v=1,2$ см/с, $t_2=25$ °С, $\tau=1$ сут, $Q=?$

Решение задачи:

Если вода поступает в батарею при температуре t_1 , а выходит из батареи при температуре t_2 , то очевидно, что искомое количество теплоты можно найти по всем известной формуле:

$$Q = cm(t_1 - t_2) \quad (1)$$

Здесь c – удельная теплоемкость воды, равная $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, m – масса воды, которое проходит через батарею за сутки (то есть за время τ).

Массу m можно найти таким образом:

$$m = \rho V \quad (2)$$

В этой формуле ρ – плотность воды, равная $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, V – объем прошедшей воды через батарею. Объем V равен объему трубы, который заняла бы вода при передвижении в ней со скоростью v , то есть её можно найти по формуле (l – это расстояние, пройденное водой в трубе):

$$V = S l = S v \tau \quad (3)$$

С учётом выражений (2) и (3) формула (1) примет следующий окончательный вид:

$$Q = c \rho S v \tau (t_1 - t_2)$$

Переведём площадь сечения трубы S , скорость течения v и время τ в систему СИ:

$$500 \text{ мм}^2 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$1,2 \text{ см}/\text{с} = 0,012 \text{ м}/\text{с}$$

$$1 \text{ сут} = 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с} = 86400 \text{ с}$$

Произведём расчет ответа:

$$Q = 4200 \cdot 1000 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 0,012 \cdot 86400 \cdot (80 - 25) = 119,75 \cdot 10^6 \text{ Дж} \approx 120 \text{ МДж}$$

Ответ: 120 МДж.

Задача 39**Условие задачи:**

Газовая нагревательная колонка потребляет $1,8 \text{ м}^3$ метана (CH_4) в час. Найти температуру воды, вытекающей из неё, если струя имеет скорость $0,5 \text{ м}/\text{с}$ и диаметр 1 см , начальная температура воды и газа 11°C , теплотворная способность метана $55 \text{ кДж}/\text{г}$. Газ в трубе находится под давлением 120 кПа . КПД нагревателя 60% .

Дано:

$V_0 = 1,8 \text{ м}^3$, $\tau_0 = 1 \text{ ч}$, $v = 0,5 \text{ м}/\text{с}$, $d = 1 \text{ см}$, $t_1 = 11^\circ\text{C}$, $q = 55 \text{ кДж}/\text{г}$, $p = 120 \text{ кПа}$, $\eta = 60\%$, $t_2 = ?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия горелки η (КПД) равен отношению полезной работы горелки к затраченной работе.

$$\eta = A_{\text{п}} / A_{\text{з}}$$

Пусть за некоторое маленькое время τ через нагревательную колонку протечёт вода массой m_1 , и в горелке сгорит газ массой m_2 . Тогда полезная работа горелки $A_{\text{п}}$ равна количеству теплоты Q_1 , требуемой на нагревание воды массы m_1 , а затраченная работа $A_{\text{з}}$ равна количеству теплоты Q_2 , выделяющейся при сгорании газа массой m_2 . Поэтому:

$$\eta = Q_1 Q_2 \Rightarrow Q_1 = \eta Q_2 (1)$$

Распишем количество теплоты Q_1 по известной формуле:

$$Q_1 = cm_1(t_2 - t_1)$$

Здесь c – удельная теплоёмкость воды, которая равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Выразим искомую температуру t_2 :

$$t_2 = Q_1 / cm_1 + t_1$$

Учитывая (1), формула изменится и примет такой вид:

$$t_2 = \eta Q_2 / cm_1 + t_1 (1)$$

За малое время τ через колонку протечёт вода массой m_1 , которую можно найти по формуле:

$$m_1 = \rho V$$

Плотность воды ρ равна $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Объем протёкшей воды V равен объему трубы, который займёт вода за время τ , её можно найти по формуле:

$$V = S l = \pi d^2 \nu \tau / 4$$

Пояснение: S – это площадь поперечного сечения трубы ($S = \pi d^2 / 4$), l – расстояние, пройденное водой по трубе за время τ ($l = \nu \tau$).

Значит:

$$m_1 = \rho \pi d^2 \nu \tau / 4 (2)$$

Теперь разберёмся с газом. Если газ горит равномерно, то есть количество сгораемого газа за единицу времени одинаково, то справедливо равенство:

$$m_2 \tau = m_0 \tau_0$$

Значит за малое время τ сгорает масса газа m_2 , которую можно найти по формуле:

$$m_2 = m_0 \tau / \tau_0$$

Массу сгораемой массы газа за час m_0 найдем из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$p V_0 = m_0 M R T_1$$

$$m_0 = p V_0 M R T_1$$

Тогда: $m_2 = p V_0 M \tau / R T_1 \tau_0$

Молярная масса метана M равна $16 \text{ г}/\text{моль}$ (или $0,016 \text{ кг}/\text{моль}$). Обратите внимание, что температуру газа нужно подставлять выраженной в абсолютной шкале температур (то есть в Кельвинах).

Количество выделяемой при сгорании газа теплоты Q_2 найдем так:

$$Q_2 = q m_2$$

$$Q_2 = q p V_0 M \tau / R T_1 \tau_0 (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$t_2 = 4 \eta q p V_0 M \tau / c \pi d^2 \nu R T_1 \tau_0 + t_1$$

Видно, что в числителе и знаменателе присутствует малое время τ , а значит его можно сократить.

$$t_2 = 4 \eta q p V_0 M / c \pi d^2 \nu R T_1 \tau_0 + t_1$$

Переведём КПД η , удельную теплоту сгорания метана q , диаметр трубы d , начальную температуру газа T_1 , время τ_0 в систему СИ:

$$60\% = 0,6$$

$$55 \text{ кДж}/\text{г} = 55 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$$1\text{см}=0,01\text{м}$$

$$11\text{ }^{\circ}\text{C}=284\text{K}$$

$$1\text{ч}=3600\text{с}$$

Посчитаем численный ответ:

$$t_2 = 4 \cdot 0,655 \cdot 106 \cdot 120 \cdot 103 \cdot 1,8 \cdot 0,0164200 \cdot 1000 \cdot 3,14 \cdot 0,012 \cdot 0,5 \cdot 8,31 \cdot 284 \cdot 3600 + 11$$

$$=$$

$$= 92,4^{\circ}\text{C} = 365,4^{\circ}\text{K}$$

Ответ: 365,4 °K.

Задача 40

Условие задачи:

Некоторая установка, выделяющая мощность 30 кВт, охлаждается проточной водой, текущей по спиральной трубке диаметром 15 мм. При установившемся режиме проточная вода нагревается на 15 °С. Определить скорость воды, предполагая, что вся выделяемая мощность установки идет на нагрев воды.

Дано:

$$N=30\text{ кВт}, d=15\text{ мм}, \Delta t=15\text{ }^{\circ}\text{C}, v=?$$

Решение задачи:

За некоторое малое время τ установка выделяет количество теплоты Q , которое можно найти по формуле: $Q=N\tau$

Так как вся теплота идет на изменение температуры воды в трубке, то справедлива формула:

$$Q=cm\Delta t$$

Значит:

$$N\tau=cm\Delta t(1)$$

Здесь c – удельная теплоёмкость воды, равная 4200 Дж/(кг·°С), m – масса воды, которая протекла по трубке за время Δt . Последнюю следует определять так:

$$m=\rho V(2)$$

В этой формуле ρ – плотность воды, равная 1000 кг/м³, V – объем протекшей воды. Последний равен объему трубки, который займёт вода за время τ , поэтому:

$$V=Sl=\pi d^2 v \tau / 4$$

Тут S – площадь сечения трубки ($S=\pi d^2/4$), l – расстояние, пройденное водой в трубке за время τ ($l=v\tau$).

Учитывая (2), имеем:

$$m=14\rho\pi d^2 v \tau$$

Полученное выражение подставим в равенство (1):

$$N\tau=14\rho\pi d^2 v \tau c \Delta t$$

$$N=14\rho\pi d^2 v c \Delta t$$

Откуда искомую скорость воды v следует искать по формуле:

$$v=4Nc\rho\pi d^2 \Delta t$$

Переведём диаметр d в систему СИ:

$$15\text{мм}=0,015\text{м}$$

Численный ответ задачи такой:

$$v = 4 \cdot 30 \cdot 1034200 \cdot 1000 \cdot 3,14 \cdot 0,0152 \cdot 15 = 2,7 \text{ м/с} = 9,7 \text{ км/ч}$$

Ответ: 9,7 км/ч.

Задача 41

Условие задачи:

Теплоизолированный сосуд разделен на две части перегородкой, не проводящей тепла. В одной части находится 2 кг воды с температурой T_1 . Вторая часть заполнена жидкостью массой 2,1 кг и температурой T_2 . Если перегородку убрать, то температура смеси $T = (T_1 + T_2)/2$. Найти удельную теплоемкость неизвестной жидкости.

Дано:

$$m_1 = 2 \text{ кг}, T_1, m_2 = 2,1 \text{ кг}, T_2, T = (T_1 + T_2)/2, c_2 = ?$$

Решение задачи:

Предположим, что после извлечения перегородки вода охлаждалась, а неизвестная жидкость нагревалась. Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, отданное водой в ходе теплообмена, а Q_2 – количество теплоты, полученное некой жидкостью в ходе теплообмена. Распишем указанные количества теплоты по известным формулам:

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна 4200 Дж/(кг·°C).

По условию известна конечная температура смеси, она равна $T = (T_1 + T_2)/2$, поэтому:

$$c_1 m_1 (T_1 - T_1 + T_2) = c_2 m_2 (T_1 + T_2 - T_2)$$

Домножим обе части равенства на 2, вернее содержимое скобок в обеих частях равенства:

$$c_1 m_1 (2T_1 - T_1 - T_2) = c_2 m_2 (T_1 + T_2 - 2T_2)$$

$$c_1 m_1 (T_1 - T_2) = c_2 m_2 (T_1 - T_2)$$

$$c_1 m_1 = c_2 m_2$$

Откуда удельную теплоёмкость неизвестной жидкости c_2 можно найти по формуле:

$$c_2 = c_1 m_1 / m_2$$

Численный ответ задачи равен:

$$c_2 = 4200 \cdot 2 / 2,1 = 4000 \text{ Дж/(кг·°C)} = 4 \text{ кДж/(кг·°C)}$$

Ответ: 4 кДж/(кг·°C).

Задача 42

Условие задачи:

Ванну емкостью 100 литров необходимо заполнить водой, имеющей температуру 30 °C, используя воду с температурой 80 °C и лед с температурой, равной –20 °C. Найти массу льда, который необходимо положить в ванну.

Дано:

$$V = 100 \text{ л}, t = 30 \text{ °C}, t_1 = 80 \text{ °C}, t_2 = -20 \text{ °C}, m_2 = ?$$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

В этой формуле:

Q_1 – количество теплоты, отданное горячей водой некоторой массы m_1 при охлаждении от температуры t_1 до температуры t ;

Q_2 – количество теплоты, необходимое для нагревания льда некоторой массы m_2 от температуры t_2 до температуры плавления $t_{\text{п}}$ ($t_{\text{п}} = 0^\circ\text{C}$);

Q_3 – количество теплоты, необходимо для плавления льда массой m_2 ;

Q_4 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды, получившейся при таянии льда, от температуры $t_{\text{п}}$ до температуры t .

Распишем указанные количества теплоты по известным формулам, тогда получим такое равенство:

$$c_v m_1 (t_1 - t) = c_{\text{л}} m_2 (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{п}})$$

Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}}$ равна $2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплоёмкость воды c_v равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг .

Нам неизвестна масса горячей воды m_1 . Чтобы выразить её, воспользуемся тем фактом, что сумма объема горячей воды V_1 и объема воды V_2 , получившейся при таянии льда, равна объему ванны V .

$$V = V_1 + V_2$$

Домножим обе части на плотность воды ρ (она равна 1000 кг/м^3), тогда:

$$\rho V = \rho V_1 + \rho V_2$$

$$\rho V = m_1 + m_2$$

$$m_1 = \rho V - m_2$$

Подставим это выражение в полученное выше равенство:

$$c_v (\rho V - m_2) (t_1 - t) = c_{\text{л}} m_2 (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{п}})$$

$$c_v \rho V (t_1 - t) - c_v m_2 (t_1 - t) = c_{\text{л}} m_2 (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{п}})$$

Перенесем все члены с множителем m_2 в правую часть, где вынесем его за скобки.

$$c_v \rho V (t_1 - t) = c_v m_2 (t_1 - t) + c_{\text{л}} m_2 (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{п}})$$

$$c_v \rho V (t_1 - t) = m_2 (c_v (t_1 - t) + c_{\text{л}} (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda + c_v (t - t_{\text{п}}))$$

$$c_v \rho V (t_1 - t) = m_2 (c_v (t_1 - t_{\text{п}}) + c_{\text{л}} (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda)$$

В итоге мы получим такую окончательную формулу:

$$m_2 = c_v \rho V (t_1 - t) / (c_v (t_1 - t_{\text{п}}) + c_{\text{л}} (t_{\text{п}} - t_2) + \lambda)$$

Переведём объем из литров в кубические метры: $100 \text{ л} = 0,1 \text{ м}^3$

Произведём расчет численного ответа:

$$m_2 = 4200 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot (80 - 30) / (4200 \cdot (80 - 0) + 2100 \cdot (20 - 0) + 330 \cdot 103) = 29,7 \text{ кг}$$

Ответ: 29,7 кг.

Задача 43

Условие задачи:

В калориметр налили 500 г воды, имеющей температуру 40°C , и положили кусок льда массы 100 г, имеющей температуру -10°C . Найти температуру содержимого калориметра после установления теплового равновесия. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Дано:

$m_1=500$ г, $t_1=40$ °C, $m_2=100$ г, $t_2=-10$ °C, $t=?$

Решение задачи:

В условии не указано явно, что лёд весь растает, поэтому нам следует проверить следующее условие (условие того, что весь лёд растает):

$$Q_1 \geq Q_2 + Q_3$$

В этой формуле:

Q_1 – количество теплоты, выделяющейся при охлаждении воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры плавления льда t_n ($t_n=0$ °C);

Q_2 – количество теплоты, необходимое на нагревание льда массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления t_n ;

Q_3 – количество теплоты, необходимое на плавление льда массой m_2 .

Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$c_{\text{в}} m_1 (t_1 - t_n) \geq c_{\text{л}} m_2 (t_n - t_2) + \lambda m_2$$

Удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}}$ равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}}$ равна 2100 Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда равна 330 кДж/кг.

Переведём массы в систему СИ:

$$500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}$$

$$100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

Проверим, выполняется ли неравенство:

$$4200 \cdot 0,5 \cdot (40 - 0) \geq 2100 \cdot 0,1 \cdot (0 - (-10)) + 330 \cdot 103 \cdot 0,1$$
$$84000 \text{ Дж} \geq 35100 \text{ Дж}$$

Видно, что неравенство выполняется, значит лёд всё-таки весь растает, поэтому воспользуемся уравнением теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Здесь Q_4 – количество теплоты, необходимое на нагревание воды массой m_2 (образованной при таянии льда) от температуры t_n до температуры t .

Значит:

$$c_{\text{в}} m_1 (t_1 - t) = c_{\text{л}} m_2 (t_n - t_2) + \lambda m_2 + c_{\text{в}} m_2 (t - t_n)$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства:

$$c_{\text{в}} m_1 t_1 - c_{\text{в}} m_1 t = c_{\text{л}} m_2 t_n - c_{\text{л}} m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_{\text{в}} m_2 t - c_{\text{в}} m_2 t_n$$

Так как $t_n=0$ °C, то все члены с множителем t_n равны нулю.

$$c_{\text{в}} m_1 t_1 - c_{\text{в}} m_1 t = -c_{\text{л}} m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_{\text{в}} m_2 t$$

Все члены с множителем t перенесём в правую сторону, остальные члены – в левую сторону.

$$c_{\text{в}} m_1 t_1 + c_{\text{л}} m_2 t_2 - \lambda m_2 = c_{\text{в}} m_2 t + c_{\text{в}} m_1 t$$

$$c_{\text{в}} m_1 t_1 + c_{\text{л}} m_2 t_2 - \lambda m_2 = c_{\text{в}} t (m_1 + m_2)$$

$$t = \frac{c_{\text{в}} m_1 t_1 + c_{\text{л}} m_2 t_2 - \lambda m_2}{c_{\text{в}} (m_1 + m_2)}$$

Посчитаем ответ:

$$t = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 40 + 2100 \cdot 0,1 \cdot (-10) - 330 \cdot 103 \cdot 0,1}{4200 \cdot (0,5 + 0,1)} = 19,4 \text{ °C}$$

Ответ: 19,4 °C.

Задача 44

Условие задачи:

В сосуд, содержащий 1 кг льда при температуре 0 °С, влили 330 г воды при температуре 50 °С. Если пренебречь потерями теплоты и теплоёмкостью сосуда, то после смешения какая масса льда в твердом состоянии останется в сосуде?

Дано:

$$m_1=1 \text{ кг}, t_1=0 \text{ }^{\circ}\text{C}, m_2=330 \text{ г}, t_2=50 \text{ }^{\circ}\text{C}, m=?$$

Решение задачи:

В условии сказано, что часть льда не растает. Если начальная масса льда равна m_1 , в результате теплообмена с водой растает лёд массой Δm , то оставшаяся искомая масса льда m равна:

$$m=m_1-\Delta m(1)$$

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

В этой формуле Q_1 – количество теплоты, необходимое для того, чтобы расплавить лёд массой Δm , Q_2 – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры льда t_1 .

Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$\lambda \Delta m = c m_2 (t_2 - t_1)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°С).

$$\Delta m = c m_2 (t_2 - t_1) \lambda$$

Полученное выражение подставим в формулу (1), так мы будем иметь решение задачи в общем виде.

$$m = m_1 - c m_2 (t_2 - t_1) \lambda$$

Переведём массу воды m_2 в килограммы:

$$330 \text{ г} = 0,33 \text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$m = 1 - 4200 \cdot 0,33 \cdot (50 - 0) \cdot 330 \cdot 10^3 = 0,79 \text{ кг}$$

Ответ: 0,79 кг.

Задача 45

Условие задачи:

Слой льда толщиной 4,2 см имеет температуру 0 °С. Какова минимальная толщина слоя воды при температуре 306 °К, которую нужно налить на лёд, чтобы он весь растаял?

Дано:

$$H=4,2 \text{ см}, t_1=0 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_2=306 \text{ }^{\circ}\text{K}, h=?$$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

В этом равенстве Q_1 – количество теплоты, необходимое для плавления льда некоторой массы m_1 , Q_2 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды некоторой массы m_2 от температуры T_2 до температуры плавления льда T_n ($T_n=273 \text{ }^{\circ}\text{K}$).

Распишем эти количества теплоты, тогда получим такое равенство:

$$\lambda m_1 = c m_2 (T_2 - T_n)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость воды c – 4200 Дж/(кг·°C).

Распишем массы льда и воды через их плотности и объёмы, при этом будем считать, что площади льда и воды одинаковы.

$$\lambda \rho_{\text{л}} S H = c \rho_{\text{в}} S h (T_2 - T_n)$$

Плотность льда $\rho_{\text{л}}$ равна 900 кг/м³, плотность воды $\rho_{\text{в}}$ равна 1000 кг/м³.

$$\lambda \rho_{\text{л}} H = c \rho_{\text{в}} h (T_2 - T_n)$$

$$h = \lambda \rho_{\text{л}} H / c \rho_{\text{в}} (T_2 - T_n)$$

Задача решена в общем виде. Чтобы получить численный ответ, переведём высоту слоя льда H в метры:

$$4,2 \text{ см} = 0,042 \text{ м}$$

Произведём вычисления:

$$h = 330 \cdot 103 \cdot 900 \cdot 0,042 / 4200 \cdot 1000 \cdot (306 - 273) = 0,09 \text{ м} = 9 \text{ см}$$

Ответ: 9 см.

Задача 46

Условие задачи:

В калориметр, содержащий 100 г льда при температуре 0 °C, налили 150 г воды, имеющей температуру 50 °C. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь. Найти температуру после установления теплового равновесия.

Дано:

$$m_1 = 100 \text{ г}, t_1 = 0 \text{ °C}, m_2 = 150 \text{ г}, t_2 = 50 \text{ °C}, t = ?$$

Решение задачи:

Давайте проверим такое условие:

$$Q_2 > Q_1$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой m_1 ; Q_2 – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления льда t_1 .

Распишем количества теплоты Q_1 и Q_2 по известным формулам:

$$c m_2 (t_2 - t_1) > \lambda m_1$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

Переведём массы m_1 и m_2 в систему СИ:

$$100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$150 \text{ г} = 0,15 \text{ кг}$$

Тогда:

$$4200 \cdot 0,15 \cdot (50 - 0) > 330 \cdot 103 \cdot 0,1$$

$$31500 \text{ Дж} > 33000 \text{ Дж}$$

Условие не выполняется. О чем это говорит? Это значит, что вода охладится до температуры льда, но при этом часть льда останется в твердом состоянии (то есть он не весь растает). Поскольку разности температур больше не будет, то теплообмен прекратится. Поэтому температура теплового равновесия t равна 0 °C.

Ответ: 0 °С.

Самостоятельная работа по теме «Фазовые переходы»

Задача 1

Условие задачи:

Сколько требуется энергии для испарения 4 кг воды, взятой при температуре кипения?

Дано:

$m=4$ кг, $t=100$ °С, $Q=?$

Решение задачи:

Для того, чтобы определить количество теплоты Q , необходимое для испарения воды, взятой при температуре кипения, нужно воспользоваться формулой:

$$Q=Lm$$

Здесь L – удельная теплота парообразования воды, равная 2,26 МДж/кг.

Посчитаем численный ответ:

$$Q=2,26 \cdot 106 \cdot 4=9,04 \cdot 106 \text{ Дж}=9040 \text{ кДж}$$

Ответ: 9040 кДж.

Задача 2

Условие задачи:

Из 450 г водяного пара с температурой 373 °К образовалась вода. Сколько теплоты при этом выделилось?

Дано:

$m=450$ г, $T=373$ °К, $Q=?$

Решение задачи:

Указанная в условии температура ($T=373$ °К) в шкале Цельсия равна 100 °С. При образовании воды из пара указанной температуры выделяется количество теплоты Q , которое можно найти по формуле:

$$Q=Lm$$

В этой формуле L – удельная теплота парообразования воды, равная 2,26 МДж/кг.

Переведём массу пара из грамм в килограммы, то есть в систему СИ:

$$450 \text{ г}=0,45 \text{ кг}$$

Произведём расчет ответа: $Q=2,26 \cdot 106 \cdot 0,45=1,017 \cdot 106 \text{ Дж}=1017 \text{ кДж}$

Ответ: 1017 кДж.

Задача 3

Условие задачи:

Сколько тепла выделится при конденсации 10 г пара и охлаждении получившейся воды до 60 °С?

Дано:

$m=10$ г, $t=60$ °С, $Q=?$

Решение задачи:

Искомое количество теплоты Q можно найти как следующую сумму:

$$Q=Q_1+Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, выделяемое при конденсации пара массой m , Q_2 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды массой m от температуры конденсации пара ($t_k=100\text{ }^\circ\text{C}$) до температуры t .

Распишем количества теплоты Q_1 и Q_2 по известным формулам:

$$Q=Lm+cm(t_k-t)$$

Удельная теплота конденсации пара (она же удельная теплота парообразования воды) L равна $2,26\text{ МДж/кг}$, удельная теплоёмкость воды c равна $4200\text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$.

Переведём массу m в систему СИ:

$$10\text{ г}=0,01\text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$Q=2,26\cdot 106\cdot 0,01+4200\cdot 0,01\cdot (100-60)=24280\text{ Дж}$$

Ответ: 24280 Дж.

Задача 4

Условие задачи:

Монету из вещества с плотностью 9000 кг/м^3 и удельной теплоёмкостью $0,22\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ положили на тающий лёд. Какую минимальную температуру имела монета, если она полностью погрузилась в лёд?

Дано:

$$\rho=9000\text{ кг/м}^3, c=0,22\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}, t=?$$

Решение задачи:

Если монета полностью погрузилась в лёд, значит при теплообмене был растоплен объём льда, равный объёму монеты. При этом минимум начальной температуры монеты соответствует тому случаю, когда после расплавления льда такого же объёма, как и монета, конечная температура монеты будет равна $0\text{ }^\circ\text{C}$ (то есть температуре плавления льда t_n).

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

В этом равенстве Q_1 – количество теплоты, необходимое для плавления льда некоторой массы m_1 ; Q_2 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении монеты некоторой массы m_2 от температуры t до температуры t_n .

Распишем количества теплоты Q_1 и Q_2 по известным формулам:

$$\lambda m_1=cm_2(t-t_n)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг .

Неизвестные массы m_1 и m_2 выразим через плотности соответствующих веществ и их объёмы (а они равны, как было сказано выше).

$$\lambda \rho_1 V=c\rho V(t-t_1)$$

Плотность льда ρ_1 равна 900 кг/м^3 . $\lambda \rho_1=c\rho(t-t_1)$

$$t=\lambda \rho_1 c\rho +t_n$$

Произведём вычисления:

$$t=330\cdot 103\cdot 9000,22\cdot 103\cdot 9000+0=150\text{ }^\circ\text{C}=423\text{ }^\circ\text{K}$$

Ответ: 423 °K.

Задача 5

Условие задачи:

На сколько возрастёт потенциальная энергия взаимодействия между молекулами при превращении 2 кг льда в воду при температуре плавления льда?

Дано:

$m=2$ кг, $\Delta U=?$

Решение задачи:

Изменение потенциальной энергии взаимодействия (то есть внутренней энергии) ΔU равно переданному количеству теплоты Q :

$$\Delta U = Q$$

Количество теплоты Q , которое необходимо для плавления льда массой m , можно найти по формуле:

$$Q = \lambda m$$

В этой формуле λ – удельная теплота плавления льда, равная 330 кДж/кг.

Значит: $\Delta U = \lambda m$

Произведём расчёт численного ответа задачи:

$$\Delta U = 330 \cdot 103 \cdot 2 = 660 \cdot 103 \text{ Дж} = 0,66 \text{ МДж}$$

Ответ: 0,66 МДж.

Задача 6

Условие задачи:

Кусок свинца массой 1,6 кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты 54,5 кДж. Какова была начальная температура свинца?

Дано:

$m=1,6$ кг, $\alpha=0,5$, $Q=54,5$ кДж, $t=?$

Решение задачи:

Данное в условии задачи количество теплоты Q равно следующей сумме:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания свинца массой m от искомой температуры t до температуры плавления t_n ($t_n=327$ °C), Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления половины (а части) свинца.

Распишем указанные количества теплоты по известным формулам:

$$Q = cm(t_n - t) + \alpha \lambda m$$

Удельная теплоёмкость свинца равна 130 Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления свинца равна 25 кДж/кг.

Выразим необходимую температуру t :

$$t_n - t = \frac{Q - \alpha \lambda m c m}{c m}$$

$$t = t_n - \frac{Q - \alpha \lambda m c m}{c m}$$

Подставим значения величин в итоговую формулу и посчитаем численный ответ задачи.

$$t = 327 - \frac{54,5 \cdot 103 - 0,5 \cdot 25 \cdot 103 \cdot 1,6}{130 \cdot 1,6} = 161,1 \text{ °C} = 434,1 \text{ °K}$$

Ответ: 434,1 К.

Задача 7

Условие задачи:

В теплоизолированном сосуде находится вода при 273 °К. Выкачивая из сосуда воздух, добились того, что при интенсивном испарении части воды остальная часть её обратилась в лёд – определить, какая. Удельная теплота парообразования при 273 °К – 2,5 МДж/кг.

Дано:

$T=273\text{ °К}$, $L=2,5\text{ МДж/кг}$, $\alpha=?$

Решение задачи:

Сосуд теплоизолирован, значит подвод теплоты извне отсутствует, поэтому количество теплоты Q_1 , необходимое для испарения воды некоторой массы m_1 , равно количеству теплоты Q_2 , выделяющейся при превращении в лёд воды некоторой массы m_2 .

$$Q_1=Q_2$$

Распишем Q_1 и Q_2 по известным формулам:

$$Lm_1=\lambda m_2$$

Удельная теплота кристаллизации (или плавления – это то же самое) воды λ равна 330 кДж/кг.

$$m_1=\lambda m_2 L(1)$$

Пусть изначально в сосуде находилась масса воды m . Такая вся вода либо превратилась в пар, либо превратилась в лёд, то справедливо равенство:

$$m_1+m_2=m$$

Учитывая (1), равенство примет вид: $\lambda m_2 L+m_2=m$

$$m_2(\lambda L+1)=m$$

$$m_2(\lambda+LL)=m(2)$$

Искомую величину α следует искать по формуле: $\alpha=m_2 m$

Поэтому делим обе части равенства (2) на m , тогда: $\alpha(\lambda+LL)=1$

$$\alpha=L\lambda+L$$

Произведём расчёт ответа:

$$\alpha=2,5 \cdot 106330 \cdot 103+2,5 \cdot 106=0,88$$

Ответ: 0,88.

Задача 8

Условие задачи:

На нагревание 5 кг воды от 303 °К до кипения и на обращение в пар при температуре кипения некоторой её массы затрачено 2,81 МДж теплоты. Определить массу образовавшегося пара.

Дано:

$m=5\text{ кг}$, $T=303\text{ °К}$, $Q=2,81\text{ МДж}$, $\Delta m=?$

Решение задачи:

Количество теплоты Q равно сумме количества теплоты Q_1 и Q_2 :

$$Q=Q_1+Q_2$$

В этой формуле Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m от температуры T до температуры кипения ($T_k=373\text{ °К}$), Q_2 – количество теплоты, необходимое для превращения в пар воды массой Δm .

Тогда:

$$Q = cm(T_k - T) + L\Delta m$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота парообразования воды L равна 2,26 МДж/кг.

Выразим искомую массу пара Δm : $\Delta m = Q$ — найдём вычисления:

$$\Delta m = 2,81 \cdot 106 - 4200 \cdot 5 \cdot (373 - 303) / 2,26 \cdot 106 = 0,593 \text{ кг}$$

Ответ: 0,593 кг.

Задача 9

Условие задачи:

Сколько было затрачено бензина в нагревателе с КПД 32%, если с его помощью 4 кг воды были нагреты на 100 °C и при этом 3% её превратилось в пар?

Дано:

$$\eta = 32\%, m_1 = 4 \text{ кг}, \Delta t = 100 \text{ °C}, \alpha = 3\%, m_2 = ?$$

Решение задачи:

КПД (коэффициент полезного действия) равен отношению полезной работы нагревателя к затраченной, поэтому:

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 (1)$$

Полезная работа нагревателя равна сумме количества теплоты Q_1 , необходимого для изменения температуры воды массой m_1 на величину Δt , и количества теплоты Q_2 , нужного для испарения α части воды массой m_1 . Поэтому:

$$A_{\text{п}} = Q_1 + Q_2$$
$$A_{\text{п}} = cm_1\Delta t + \alpha Lm_1 (2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота парообразования воды L равна 2,26 МДж/кг.

Затраченная работа нагревателя равна количеству теплоты Q_3 , выделяющейся при сгорании бензина некоторой массы m_2 , значит:

$$A_3 = Q_3$$
$$A_3 = qm_2 (3)$$

Удельная теплота сгорания бензина q равна 46 МДж/кг.

Учитывая выражения (2) и (3), формула (1) примет вид:

$$\eta = cm_1\Delta t + \alpha Lm_1 / qm_2$$

Откуда масса бензина m_2 равна:

$$m_2 = m_1 (c\Delta t + \alpha L) / \eta q$$

Посчитаем ответ (КПД и долю превратившейся в пар воды подставляем в долях единицы):

$$m_2 = 4 \cdot (4200 \cdot 100 + 0,03 \cdot 2,26 \cdot 106) / 0,32 \cdot 46 \cdot 106 = 0,133 \text{ кг}$$

Ответ: 0,133 кг.

Задача 10

Условие задачи:

При охлаждении 40 кг жидкого олова, взятого при температуре плавления 505 °K, выделилось 4,62 МДж теплоты. Определить конечную температуру этого олова после охлаждения.

Дано:

$m=40$ кг, $T_{\text{п}}=505$ °K, $Q=4,62$ МДж, $T=?$

Решение задачи:

Количество теплоты Q можно определить следующим образом:

$$Q=Q_1+Q_2$$

В этой формуле Q_1 – количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации олова массой m , Q_2 – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении твёрдого олова массой m от температуры $T_{\text{п}}$ до искомой температуры T .

Поэтому: $Q=\lambda m+cm(T_{\text{п}} - T)$

Удельная теплота кристаллизации (она же удельная теплота плавления) олова λ равна 58 кДж/кг, удельная теплоёмкость олова c равна 250 Дж/(кг·°C).

Тогда искомую конечную температуру олова следует находить по формуле:

$$T=T_{\text{п}}-Q-\lambda mcm$$

Посчитаем ответ:

$$T=505-4,62 \cdot 10^6 / (58 \cdot 10^3 + 250 \cdot 40) = 275 \text{ K} = 2 \text{ °C}$$

Ответ: 2 °C.

Задача 11

Условие задачи:

Нагретый алюминиевый куб положили на лёд, и он полностью погрузился в лёд. До какой температуры был нагрет куб? Температура льда 0 °C, потерями тепла пренебречь.

Дано:

$t_{\text{л}}=0$ °C, $t=?$

Решение задачи:

Если куб полностью погрузился в лёд, то при теплообмене он растопил лёд объемом, равным собственному объему.

При этом минимум начальной температуры куба соответствует случаю, когда теплообмен сразу же прекратится, как только будет растоплен лёд нужного объема (то есть температура куба станет равной температуре плавления льда, как только полностью куб погрузится в лёд).

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2$$

В этом равенстве Q_1 – количество теплоты, необходимое для плавления льда некоторой массы m_1 , Q_2 – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении алюминиевого куба некоторой массы m_2 от температуры t до температуры плавления льда $t_{\text{п}}$.

Поэтому: $\lambda m_1=cm_2(t-t_{\text{п}})$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость алюминия c равна 880 Дж/(кг·°C).

Распишем массы через плотности соответствующих веществ и их объемы (а они равны, как сказано выше):

$$\lambda \rho_1 V = c \rho_2 V (t - t_n)$$

Плотность льда ρ_1 равна 900 кг/м^3 , плотность алюминия ρ_2 равна 2700 кг/м^3 .

$$\lambda \rho_1 = c \rho_2 (t - t_n)$$

Откуда искомая температура t равна:

$$t = \lambda \rho_1 / c \rho_2 + t_n$$

Численный ответ задачи равен:

$$t = 330 \cdot 103 \cdot 900 / 880 \cdot 2700 + 0 = 125 \text{ }^\circ\text{C} = 398 \text{ K}$$

Ответ: 398 K.

Задача 12

Условие задачи:

Водяной пар массой 200 кг при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$ пропустили через воду при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Масса воды 4000 кг . До какой температуры нагрелась вода?

Дано:

$$m_1 = 200 \text{ кг}, t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}, t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}, m_2 = 4000 \text{ кг}, t = ?$$

Решение задачи:

В задачах, где происходят фазовые переходы, желательно проводить следующую оценку. В противном случае, если Вы начнете решать задачу, сразу используя уравнение теплового баланса, то можете получить неверный ответ (хотя он достаточно легко распознаётся).

Определим количество теплоты Q_1 , которое выделится при конденсации водяного пара массой m_1 . Это легко сделать по следующей формуле:

$$Q_1 = L m_1$$

Здесь L – удельная теплота парообразования (конденсации) воды, равная $2,26 \text{ МДж/кг}$.

$$Q_1 = 2,26 \cdot 106 \cdot 200 = 452 \cdot 106 \text{ Дж}$$

Также определим количество теплоты Q_2 , необходимое для нагревания воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры кипения t_1 . $Q_2 = c m_2 (t_1 - t_2)$

В этой формуле c – удельная теплоёмкость воды, равная $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Тогда:

$$Q_2 = 4200 \cdot 4000 \cdot (100 - 20) = 1344 \cdot 106 \text{ Дж}$$

Так как $Q_2 > Q_1$, значит конечным результатом пропускания воды через пар будет нагревание воды до некоторой температуры t , лежащей в интервале от t_2 до t_1 . В принципе от этой оценки можно было отказаться, поскольку в условии явно спрашивается «до какой температуры нагрелась вода». Мы это сделали исключительно в учебных целях.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_3 = Q_4(1)$$

В этом равенстве Q_3 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды (образовавшейся из пара) массой m_1 от температуры кипения t_1 до

искомой температуры t , Q_4 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры t .

Распишем равенство (1):

$$Lm_1 + cm_1(t_1 - t) = cm_2(t - t_2)$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства:

$$Lm_1 + cm_1t_1 - cm_1t = cm_2t - cm_2t_2$$

Соберем в правой части все члены с множителем t , вынесем его за скобки, а в другой – все остальные:

$$Lm_1 + cm_1t_1 + cm_2t_2 = ct(m_1 + m_2)$$

В итоге мы получим такое решение задачи в общем виде:

$$t = \frac{Lm_1 + c(m_1t_1 + m_2t_2)}{c(m_1 + m_2)}$$

Посчитаем ответ:

$$t = \frac{2,26 \cdot 106 \cdot 200 + 4200 \cdot (200 \cdot 100 + 4000 \cdot 20)}{4200 \cdot (200 + 4000)} = 49,4 \text{ } ^\circ\text{C} = 322,4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Ответ: 322,4 К.

Задача 13

Условие задачи:

Комок мокрого снега массой 0,3 кг поместили в 1,2 л воды при температуре 21 °С. После того как весь лёд растаял, температура воды понизилась до 6 °С. Сколько воды содержалось в комке снега?

Дано:

$$m_1 = 0,3 \text{ кг}, V_2 = 1,2 \text{ л}, t_2 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}, t = 6 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta m = ?$$

Решение задачи:

Пусть в комке мокрого снега содержится жидкая вода массой Δm , тогда масса льда в этом комке равна $(m_1 - \Delta m)$. При этом температура и жидкой воды, и льда равна температуре плавления льда t_n ($t_n = 0^\circ \text{C}$).

Так как мы явно знаем, что весь лёд растает (это сказано в условии), то запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

В равенстве Q_1 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой $(m_1 - \Delta m)$, Q_2 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_1 от температуры t_n до температуры t , Q_3 – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры t .

$$\text{Тогда: } \lambda(m_1 - \Delta m) + cm_1(t - t_n) = cm_2(t_2 - t)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°С).

Массу воды m_2 выразим через плотность воды ρ (она равна 1000 кг/м³) и её объем V_2 .

$$\lambda(m_1 - \Delta m) + cm_1(t - t_1) = c\rho V_2(t_2 - t)$$

Выразим искомую массу воды Δm , содержащейся в комке мокрого снега:

$$\lambda(m_1 - \Delta m) = c\rho V_2(t_2 - t) - cm_1(t - t_1)$$

$$m_1 - \Delta m = \frac{c\rho V_2(t_2 - t) - cm_1(t - t_1)}{\lambda}$$

$$\Delta m = m_1 - \frac{c\rho V_2(t_2 - t) - cm_1(t - t_1)}{\lambda}$$

Задача решена. Для получения численного ответа переведем объем воды V_2 в систему СИ:

$$1,2\text{л}=0,0012\text{м}^3$$

Численный ответ задачи:

$$\Delta m = 0,3 - 4200 \cdot 1000 \cdot 0,0012 \cdot (21 - 6) - 4200 \cdot 0,3 \cdot (6 - 0) = 330 \cdot 103 = 0,094\text{кг} = 94\text{г}$$

Ответ: 94 г.

Задача 14

Условие задачи:

В калориметре находится 1 кг льда при -40°C . В него впускают 1 кг пара при 120°C . Определите установившуюся температуру, если теплоёмкость пара $2,2\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

Дано:

$$m_1 = 1\text{ кг}, t_1 = -40^\circ\text{C}, m_2 = 1\text{ кг}, t_2 = 120^\circ\text{C}, c_3 = 2,2\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K}), t = ?$$

Решение задачи:

В этой задаче нужно провести оценку. Решая её «в лоб», Вы получите неверный ответ. Для начала определим количество теплоты Q_1 , которое необходимо для нагревания льда до температуры плавления $t_{\text{п}}$ ($t_{\text{п}} = 0^\circ\text{C}$).

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_{\text{п}} - t_1)$$

Удельная теплоёмкость льда c_1 равна $2100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

$$Q_1 = 2100 \cdot 1 \cdot (0 - (-40)) = 84000\text{ Дж} = 84\text{ кДж}$$

Определим количество теплоты Q_2 , необходимое для плавления льда массой m_1 , по формуле:

$$Q_2 = \lambda m_1$$

Удельная теплота плавления льда λ равна $330\text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_2 = 330 \cdot 103 \cdot 1 = 330000\text{ Дж} = 330\text{ кДж}$$

Определим количество теплоты Q_3 , выделяющееся при охлаждении водяного пара от температуры t_2 до температуры конденсации $t_{\text{к}}$ ($t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$).

$$Q_3 = c_3 m_2 (t_2 - t_{\text{к}})$$

$$Q_3 = 2200 \cdot 1 \cdot (120 - 100) = 44000\text{ Дж} = 44\text{ кДж}$$

Определим количество теплоты Q_4 , выделяющееся при конденсации пара массой m_2 , по такой известной формуле: $Q_4 = L m_2$

Удельная теплота конденсации пара L равна $2,26\text{ МДж}/\text{кг}$. Тогда:

$$Q_4 = 2,26 \cdot 106 \cdot 1 = 2260000\text{ Дж} = 2260\text{ кДж}$$

Теперь проверим выполнение следующего неравенства:

$$Q_1 + Q_2 < Q_3 + Q_4$$

$$84 + 330 < 44 + 2260$$

$$414\text{ кДж} < 2304\text{ кДж}$$

Так как равенство выполняется, значит в ходе теплообмена весь лёд точно превратится в воду, при этом какая-то часть пара сконденсируется (поскольку $Q_1 + Q_2 > Q_3$). Тогда давайте определим количество теплоты Q_5 , которое необходимо для нагревания воды (образовавшейся из льда) от температуры плавления льда $t_{\text{п}}$ до температуры кипения $t_{\text{кип}}$ ($t_{\text{кип}} = 100^\circ\text{C}$).

$$Q_5 = c_2 m_1 (t_{\text{кип}} - t_{\text{п}})$$

Удельная теплоёмкость воды c_2 равна $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

$$Q_5 = 4200 \cdot 1 \cdot (100 - 0) = 420000 \text{ Дж} = 420 \text{ кДж}$$

Проверим такое неравенство:

$$\begin{aligned} Q_1 + Q_2 + Q_5 &< Q_3 + Q_4 \\ 84 + 330 + 420 &< 44 + 2260 \\ 834 \text{ кДж} &< 2304 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Поскольку неравенство выполняется, значит вода, образовавшаяся из льда, нагреется до температуры кипения, при этом лишь часть пара сконденсируется. Температура смеси станет равной $t_{\text{кип}}$ (или t_k), то есть 100°C или 373°K , и теплообмен прекратится.

Ответ: 373°K .

Задача 15

Условие задачи:

Под невесомым поршнем в цилиндре находится 1 кг воды при температуре 0°C . В воду опускают кусок железа массой 1 кг, нагретый до 1100°C . На какую высоту поднимется поршень. Атмосферное давление 100 кПа, площадь поршня 1000 см^2 . Теплоотдачей и теплоемкостью цилиндра пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}, t_1 = 0^\circ\text{C}, m_2 = 1 \text{ кг}, t_2 = 1100^\circ\text{C}, p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}, S = 1000 \text{ см}^2, h = ?$$

Решение задачи:

Из условия понятно, что вода в результате теплообмена превратится в пар. Нам нужно узнать, превратится ли вся вода в пар, если да, то будет ли нагреваться пар выше температуры кипения воды. Для этого выполним следующие действия.

Определим количество теплоты Q_1 , необходимое для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры кипения $t_{\text{кип}}$ ($t_{\text{кип}} = 100^\circ\text{C}$). Это можно сделать по формуле:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_{\text{кип}} - t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$$Q_1 = 4200 \cdot 1 \cdot (100 - 0) = 420000 \text{ Дж} = 420 \text{ кДж}$$

Далее определим количество теплоты Q_2 , необходимое для парообразования воды массой m_1 , по формуле:

$$Q_2 = L m_1$$

Удельная теплота парообразования воды L равна $2,26 \text{ МДж}/\text{кг}$.

$$Q_2 = 2,26 \cdot 10^6 \cdot 1 = 2260000 \text{ Дж} = 2260 \text{ кДж}$$

Также найдём количество теплоты Q_3 , выделяемое при охлаждении куска железа массой m_2 от температуры t_2 до температуры кипения воды $t_{\text{кип}}$.

$$Q_3 = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{кип}})$$

Удельная теплоёмкость железа c_2 равна $460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$$Q_3 = 460 \cdot 1 \cdot (1100 - 100) = 460000 \text{ Дж} = 460 \text{ кДж}$$

Так как $Q_3 > Q_1$, значит вода станет превращаться в пар. Но поскольку $Q_3 < Q_1 + Q_2$, то лишь часть воды превратиться в пар. На основании этого запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_4 = Q_3$$

Здесь Q_4 (в отличие от Q_2) – количество теплоты, необходимое для парообразования части воды массой Δm . Тогда:

$$c_1 m_1 (t_{\text{кип}} - t_1) + L \Delta m = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{кип}})$$

Значит испарилась масса воды Δm , которую можно найти по формуле:

$$\Delta m = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{кип}}) - c_1 m_1 (t_{\text{кип}} - t_1) / L \quad (1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для водяного пара:

$$pV = \Delta m M R T_{\text{кип}}$$

Молярная масса водяного пара M равна 0,018 кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Поршень придёт в равновесие, когда давление водяного пара p станет равным атмосферному $p_{\text{атм}}$, поскольку поршень невесом. При этом поршень поднимется на высоту h , и водяной пар займёт объем V , равный произведению Sh . Поэтому:

$$p_{\text{атм}} Sh = \Delta m M R T_{\text{кип}}$$

Выразим искомую высоту подъема поршня h : $h = \Delta m R T_{\text{кип}} / p_{\text{атм}} S M$

Учитывая ранее полученное выражение (1), получим такое решение задачи в общем виде:

$$h = (c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{кип}}) - c_1 m_1 (t_{\text{кип}} - t_1)) R T_{\text{кип}} / p_{\text{атм}} S M L$$

Переведём площадь поршня S и температуру кипения $T_{\text{кип}}$ в систему СИ:

$$1000 \text{ см}^2 = 1000 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ }^\circ\text{K}$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$h = (460 \cdot 1 \cdot (1100 - 100) - 4200 \cdot 1 \cdot (100 - 0)) \cdot 8,31 \cdot 373 / (100 \cdot 103 \cdot 1000 \cdot 10^{-4} \cdot 0,018 \cdot 2,26 \cdot 10^6) = 0,305 \text{ м}$$

Ответ: 0,305 м.

Задача 16

Условие задачи:

Сколько энергии нужно затратить, чтобы 6 кг льда при $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ обратить в пар с температурой $100 \text{ }^\circ\text{C}$?

Дано:

$$m = 6 \text{ кг}, t_1 = -20 \text{ }^\circ\text{C}, t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}, Q = ?$$

Решение задачи:

Искомое количество теплоты Q можно найти как следующую сумму:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

В этой формуле:

Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания льда массой m от температуры t_1 до температуры плавления $t_{\text{п}}$ ($t_{\text{п}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$);

Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой m ;

Q_3 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m (образованной при таянии льда) от температуры $t_{\text{п}}$ до температуры кипения $t_{\text{кип}}$ ($t_{\text{кип}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$);

Q_4 – количество теплоты, необходимое для парообразования воды массой m .

Распишем указанные количества теплоты, тогда получим:

$$Q = c_1 m(t_{\text{п}} - t_1) + \lambda m + c_2 m(t_{\text{кип}} - t_1) + Lm$$

$$Q = m(c_1(t_{\text{п}} - t_1) + \lambda + c_2(t_{\text{кип}} - t_1) + L)$$

Здесь c_1 – удельная теплоёмкость льда, равная 2100 Дж/(кг·°C), λ – удельная теплота плавления льда, равная 330 кДж/кг, c_2 – удельная теплоёмкость воды, равная 4200 Дж/(кг·°C), L – удельная теплота парообразования воды, равная 2,26 МДж/кг.

Посчитаем ответ к задаче:

$$Q = 6 \cdot (2100 \cdot (0 - (-20)) + 330 \cdot 103 + 4200 \cdot (100 - 0) + 2,26 \cdot 106) = 18,3 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 18,3 \text{ МДж}$$

Ответ: 18,3 МДж.

Задача 17

Условие задачи:

В сосуд, содержащий 10 кг льда при 0 °C, влили 3 кг воды при 90 °C. Какая установится температура в сосуде?

Дано:

$$m_1 = 10 \text{ кг}, t_1 = 0 \text{ °C}, m_2 = 3 \text{ кг}, t_2 = 90 \text{ °C}, t = ?$$

Решение задачи:

Давайте определим количество теплоты Q_1 , необходимое для плавления льда массой m_1 , по формуле:

$$Q_1 = \lambda m_1$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

$$Q_1 = 330 \cdot 103 \cdot 10 = 3300000 \text{ Дж} = 3300 \text{ кДж}$$

Также определим количество теплоты Q_2 , выделяемое при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления льда t_1 , по такой формуле:

$$Q_2 = c m_2 (t_2 - t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C).

$$Q_2 = 4200 \cdot 3 \cdot (90 - 0) = 1134000 \text{ Дж} = 1134 \text{ кДж}$$

Так как $Q_2 < Q_1$, значит вода остынет до температуры плавления льда t_1 , при этом лишь часть льда растает. Теплообмен прекратится, поскольку температура и льда, и воды станет равной 0 °C (273 °K).

Ответ: 273 К.

Задача 18

Условие задачи:

В теплоизолированный сосуд малой теплоёмкости налили 0,4 кг воды при 293 °K и положили 0,1 кг льда при температуре 256 °K. Сколько воды будет в калориметре после установления теплового равновесия?

Дано:

$$m_1 = 0,4 \text{ кг}, T_1 = 293 \text{ °K}, m_2 = 0,1 \text{ кг}, T_2 = 256 \text{ K}, m = ?$$

Решение задачи:

Для начала произведём следующую оценку. Определим количество теплоты Q_1 , выделяемое при охлаждении воды массой m_1 от температуры T_1 до температуры плавления льда T_n ($T_n=273^\circ\text{K}$), по следующей формуле:

$$Q_1=c_1m_1(T_1-T_n)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

$$Q_1=4200\cdot 0,4\cdot(293-273)=33600\text{Дж}=33,6\text{кДж}$$

Далее определим количество теплоты Q_2 , необходимое для нагревания льда массой m_2 от температуры T_2 до температуры плавления льда T_n , по аналогичной формуле:

$$Q_2=c_2m_2(T_n-T_2)$$

Удельная теплоёмкость льда c_2 равна $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

$$Q_2=2100\cdot 0,1\cdot(273-256)=3570\text{Дж}=3,57\text{кДж}$$

В конце концов узнаем количество теплоты Q_3 , необходимое для плавления льда массой m_2 : $Q_3=\lambda m_2$

Удельная теплота плавления льда λ равна $330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_3=330\cdot 103\cdot 0,1=33000\text{Дж}=33\text{кДж}$$

Так как видно, что $Q_1>Q_2$, значит лёд будет плавиться, но поскольку $Q_1<Q_2+Q_3$, значит не весь лёд растает. Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2+Q_4$$

Здесь Q_4 – количество теплоты, необходимое для плавления части льда массой Δm . Тогда имеем:

$$c_1m_1(T_1-T_n)=c_2m_2(T_n-T_2)+\lambda\Delta m$$

Выразим массу растаявшего льда Δm :

$$\Delta m=c_1m_1(T_1-T_n)-c_2m_2(T_n-T_2)\lambda(1)$$

Искомую массу воды m после установления теплового равновесия можно найти по формуле:

$$m=m_1+\Delta m$$

Учитывая выражения (1), получим решение задачи в общем виде:

$$m=m_1+c_1m_1(T_1-T_n)-c_2m_2(T_n-T_2)\lambda$$

Посчитаем ответ:

$$m=0,4+4200\cdot 0,4\cdot(293-273)-2100\cdot 0,1\cdot(273-256)330\cdot 103=0,491\text{кг}=491\text{г}$$

Ответ: 491 г.

Задача 19

Условие задачи:

В холодильник, потребляющий мощность 200 Вт , поместили воду массой 2 кг при температуре 20°C . Через 30 мин вся вода превратилась в лёд. Какое количество теплоты выделилось при этом в комнате?

Дано:

$$N=200 \text{ Вт}, m=2 \text{ кг}, t=20^\circ\text{C}, \tau=30 \text{ мин}, Q_1=?$$

Решение задачи:

Вообще, в задаче идет речь про холодильную машину, и без знания этой темы будет довольно сложно разобраться в ней.

В обратных циклах нагревателем называют более горячее тело, хотя оно получает тепло (в отличие от нагревателя в прямых циклах), а холодильником –

более холодное, хотя оно отдает тепло (в отличие от холодильника в прямых циклах).

Рабочее тело (жидкость в системе конденсатора и испарителя) получает от холодильника количество теплоты Q_2 , отдавая нагревателю количество теплоты Q_1 , которое больше полученного количества теплоты Q_2 на величину работы электродвигателя холодильника A .

Значит:

$$Q_1 = Q_2 + A(1)$$

Величина отданного нагревателю количества теплоты Q_1 и есть количество теплоты, выделившееся в комнате.

Очевидно, что величину Q_2 следует искать по формуле:

$$Q_2 = Q_{21} + Q_{22}$$

Здесь Q_{21} – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды массой m от температуры t до температуры кристаллизации воды t_k ($t_k = 0^\circ\text{C}$); Q_{22} – количество теплоты, выделяемое при кристаллизации воды массой m . Распишем указанные количества теплоты по известным формулам, тогда получим:

$$Q_2 = cm(t - t_k) + \lambda m(2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота кристаллизации воды λ равна 330 кДж/кг .

Работу электродвигателя A легко найти по формуле:

$$A = N\tau(3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$Q_1 = cm(t - t_1) + \lambda_m + N\tau$$

Переведём время работы в систему СИ:

$$30 \text{ мин} = 30 \cdot 60 \text{ с} = 1800 \text{ с}$$

Произведём вычисления:

$$Q_1 = 4200 \cdot 2 \cdot (20 - 0) + 330 \cdot 103 \cdot 2 + 200 \cdot 1800 = 1188 \cdot 103 \text{ Дж} = 1188 \text{ кДж}$$

Ответ: 1188 кДж.

Задача 20

Через воду, имеющую температуру 10°C , пропускают водяной пар при 100°C . Сколько

Условие задачи:

Через воду, имеющую температуру 10°C , пропускают водяной пар при 100°C . Сколько процентов составит масса воды, образовавшейся из пара, от всей массы воды в сосуде в момент, когда её температура равна 50°C ?

Дано:

$$t_1 = 10^\circ\text{C}, t = 100^\circ\text{C}, t = 50^\circ\text{C}, \alpha = ?$$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

В этом равенстве:

Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды некоторой массы m от температуры t_1 до температуры t ;

Q_2 – количество теплоты, выделяемое при конденсации пара некоторой массы Δm ;

Q_3 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды некоторой массы Δm , образовавшейся из пара, от температуры t_2 до температуры t .

Расписав приведённые количества теплоты, получим такое равенство:

$$cm(t-t_1)=L\Delta m+c\Delta m(t_2-t)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота конденсации пара L равна $2,26 \text{ МДж}/\text{кг}$.

Выразим массу m :

$$m=L\Delta m+c\Delta m(t_2-t)c(t-t_1)$$

$$m=\Delta m(L+c(t_2-t))c(t-t_1)(1)$$

Вообще искомую величину α нужно искать по формуле: $\alpha=\Delta m m + \Delta m$

Подставим выражение (1) в эту формулу:

$$\alpha=\Delta m \Delta m (L+c(t_2-t))c(t-t_1)+\Delta m$$

Сократим и числитель, и знаменатель на Δm :

$$\alpha=1L+c(t_2-t)c(t-t_1)+1$$

Домножим и числитель, и знаменатель на $c(t-t_1)$:

$$\alpha=c(t-t_1)L+c(t_2-t)+c(t-t_1)$$

Также произведём некоторые преобразования (раскроем скобки в знаменателе):

$$\alpha=c(t-t_1)L+ct_2-ct+ct-ct_1$$

$$\alpha=c(t-t_1)L+ct_2-ct_1$$

$$\alpha=c(t-t_1)L+c(t_2-t_1)$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$\alpha=4200\cdot(50-10)2,26\cdot106+4200\cdot(100-10)=0,064=6,4\%$$

Ответ: 6,4%.

Задача 21

Условие задачи:

Струя стогоградусного водяного пара направляется на кусок льда массой 10 кг с температурой 0°C . Какая установится температура после того, как лед растает, если масса израсходованного пара 2 кг ?

Дано:

$$m_1=10 \text{ кг}, t_1=0^\circ\text{C}, m_2=2 \text{ кг}, t=?$$

Решение задачи:

Определим количество теплоты Q_1 , необходимое для плавления льда массой m_1 , по известной формуле:

$$Q_1=\lambda m_1$$

Удельная теплота плавления льда λ равна $330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_1=330\cdot103\cdot10=3300\cdot103\text{Дж}=3300\text{Дж}$$

Далее определим количество теплоты Q_2 , необходимое для нагревания воды массой m_1 , образовавшейся из льда, от температуры плавления льда t_1 до температуры кипения воды t_k ($t_k=100^\circ\text{C}$). Это можно сделать по формуле:

$$Q_2=cm_1(t_k-t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

$$Q_2 = 4200 \cdot 10 \cdot (100 - 0) = 4200 \cdot 103 \text{ Дж} = 4200 \text{ кДж}$$

И также определим количество теплоты Q_3 , выделяемое при конденсации пара массой m_2 , по формуле:

$$Q_3 = L m_2$$

Удельная теплота конденсации пара L равна 2,26 МДж/кг.

$$Q_3 = 2,26 \cdot 106 \cdot 2 = 4520 \cdot 103 \text{ Дж} = 4520 \text{ кДж}$$

Давайте проанализируем полученные результаты. Так как $Q_3 > Q_1$, значит весь лёд растает. Но так как $Q_3 < Q_1 + Q_2$, значит весь пар сконденсируется, а далее будет происходить теплообмен между водой, образовавшейся из льда, и водой, образовавшейся из пара.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_4 = Q_3 + Q_5$$

В этом равенстве Q_4 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до искомой температуры t ; Q_5 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_k до искомой температуры t .

Распишем указанные количества теплоты по формулам, тогда получим следующее равенство:

$$\lambda m_1 + c m_1 (t - t_1) = L m_2 + c m_2 (t_k - t)$$

Раскроем скобки в обеих частях равенства:

$$\lambda m_1 + c m_1 t - c m_1 t_1 = L m_2 + c m_2 t_k - c m_2 t$$

Перенесем в левую часть все члены с множителем t , вынесем его за скобки, остальные члены перенесем в правую часть.

$$c t (m_1 + m_2) = L m_2 - \lambda m_1 + c m_2 t_k + c m_1 t_1$$

$$t = \frac{L m_2 - \lambda m_1 + c m_2 t_k + c m_1 t_1}{c (m_1 + m_2)}$$

$$t = \frac{L m_2 - \lambda m_1 + c (m_2 t_k + m_1 t_1)}{c (m_1 + m_2)}$$

Задача в общем виде решена.

Произведем расчет ответа:

$$t = \frac{2,26 \cdot 106 \cdot 2 - 330 \cdot 103 \cdot 10 + 4200 \cdot (2 \cdot 100 + 10 \cdot 0)}{4200 \cdot (10 + 2)} \approx 41^\circ \text{C} = 314^\circ \text{K}$$

Ответ: 314 К.

Задача 22

В 5 кг воды, температура которой 288°K , опущен 1 кг льда с температурой 270°K . Какая установится температура после теплообмена?

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг}, T_1 = 288^\circ \text{K}, m_2 = 1 \text{ кг}, T_2 = 270^\circ \text{K}, T = ?$$

Решение задачи:

Определим количество теплоты Q_1 , которое выделяется при охлаждении воды массой m_1 от температуры T_1 до температуры плавления льда T_n ($T_n = 273^\circ \text{K}$). Используем следующую формулу:

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_1 - T_n)$$

Удельная теплоемкость воды c_1 равна 4200 Дж/(кг·°C).

$$Q_1 = 4200 \cdot 5 \cdot (288 - 273) = 315000 \text{ Дж} = 315 \text{ кДж}$$

Далее определим количество теплоты Q_2 , которое необходимо для нагревания льда массой m_2 от температуры T_2 до температуры плавления льда T_n , по аналогичной формуле:

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_n - T_2)$$

Удельная теплоемкость льда c_2 равна 2100 Дж/(кг·°C).

$$Q_2 = 2100 \cdot 1 \cdot (273 - 270) = 6300 \text{ Дж} = 6,3 \text{ кДж}$$

Также определим количество теплоты Q_3 , необходимое для плавления льда массой m_2 , по формуле:

$$Q_3 = \lambda m_2$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

$$Q_3 = 330 \cdot 103 \cdot 1 = 330 \cdot 103 \text{ Дж} = 330 \text{ кДж}$$

Произведем анализ полученных результатов. Так как $Q_1 > Q_2$, то лёд нагреется до температуры плавления и начнет плавиться. Но так как $Q_1 < Q_2 + Q_3$, то вода, остыв до температуры T_n , не сможет растопить весь лёд. Так как температура всех компонентов станет одинаковой, то теплообмен прекратится. Поэтому температура теплового равновесия равна 0 °C (273 °K).

Ответ: 0 °C.

Задача 23

Условие задачи:

В литр воды при 20 °C бросили комок мокрого снега массой 250 г. Когда весь снег растаял, то общая температура стала равной 5 °C. Определить количество воды в комке снега.

Дано:

$$V_1 = 1 \text{ л}, t_1 = 20 \text{ °C}, m_2 = 250 \text{ г}, t = 5 \text{ °C}, \Delta m = ?$$

Решение задачи:

Пусть в комке мокрого снега содержится вода массой Δm , тогда в нём же содержится лёд массой $(m_2 - \Delta m)$. Температура комка очевидно равна температуре плавления льда

$$t_n (t_n = 0 \text{ °C}).$$

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды некоторой массой m_1 от температуры t_1 до температуры t ; Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой $(m_2 - \Delta m)$; Q_3 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_2 от температуры плавления льда t_n ($t_n = 0 \text{ °C}$) до температуры t .

Распишем эти количества теплоты по формулам, тогда получим:

$$cm_1(t_1 - t) = \lambda(m_2 - \Delta m) + cm_2(t - t_n)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

Массу m_1 выразим через плотность воды ρ (равная 1000 кг/м³) и объем V_1 .

$$c\rho V_1(t_1 - t) = \lambda(m_2 - \Delta m) + cm_2(t - t_n)$$

Осталось только выразим искомую массу воды в комке мокрого снега Δm :

$$m_2 - \Delta m = c\rho V_1(t_1 - t) - cm_2(t - t_n)\lambda$$

$$\Delta m = m_2 - c_p V_1 (t_1 - t) - c m_2 (t - t_n) \lambda$$

Мы решили задачу в общем виде. Теперь переведем объем V_1 и массу m_2 в систему СИ:

$$1\text{л} = 10^{-3}\text{м}^3$$

$$250\text{г} = 0,25\text{кг}$$

Посчитаем ответ:

$$\Delta m = 0,25 - 4200 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - 5) - 4200 \cdot 0,25 \cdot (5 - 0) 330 \cdot 103 = 0,075\text{кг} = 75\text{г}$$

Ответ: 75 г.

Задача 24

Условие задачи:

Колба, теплоемкостью которой можно пренебречь, содержит 600 г воды при 80 °С. Какое количество льда при температуре -15 °С нужно добавить в воду, чтобы окончательная температура смеси была 50 °С?

Дано:

$$m_1 = 600\text{ г}, t_1 = 80\text{ °С}, t_2 = -15\text{ °С}, t = 50\text{ °С}, m_2 = ?$$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры t ; Q_2 – количество теплоты, необходимое для нагревания льда массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления t_n ($t_n = 0\text{ °С}$); Q_3 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой m_2 ; Q_4 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_2 (образованной при таянии льда) от температуры t_n до температуры t .

Распишем количества теплоты по известным формулам:

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t_n - t_2) + \lambda m_2 + c_1 m_2 (t - t_n)$$

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = m_2 (c_2 (t_n - t_2) + \lambda + c_1 (t - t_n))$$

Удельная теплоемкость воды c_1 равна 4200 Дж/(кг·°С), удельная теплоемкость льда c_2 равна 2100 Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

$$m_2 = c_1 m_1 (t_1 - t) / (c_2 (t_n - t_2) + \lambda + c_1 (t - t_n))$$

Переведем массу m_1 в систему СИ: 600г = 0,6кг

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$m_2 = 4200 \cdot 0,6 \cdot (80 - 50) / (2100 \cdot (0 - (-15)) + 330 \cdot 103 + 4200 \cdot (50 - 0)) = 0,132\text{кг}$$

Ответ: 0,132 кг.

Задача 25

Условие задачи:

На электрической плитке мощностью 600 Вт находится чайник с двумя литрами воды. Как долго была включена плитка, если вода и чайник нагрелись от 20 до 100 °С, и 50 г воды испарилось? КПД плитки 80%, теплоемкость чайника 500 Дж/К.

Дано:

$N=600 \text{ Вт}$, $V=2 \text{ л}$, $t_1=20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2=100 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta m=50 \text{ г}$, $\eta=80\%$, $C=500 \text{ Дж/К}$, $\tau=?$

Решение задачи:

КПД электрической плитки η можно найти как отношение её полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе A_3 .

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезную работу $A_{\text{п}}$ можно найти как следующую сумму:

$$A_{\text{п}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания чайника от температуры t_1 до температуры t_2 ; Q_2 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды некоторой массы m от температуры t_1 до температуры t_2 ; Q_3 – количество теплоты, необходимое для превращения в пар воды массой Δm .

Расписав указанные количества теплоты по формулам, получим:

$$A_{\text{п}} = C(t_2 - t_1) + cm(t_2 - t_1) + L\Delta m$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; удельная теплота парообразования воды L равна $2,26 \text{ МДж/кг}$.

Массу воды m распишем как произведение плотности воды ρ ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$) на объем воды V .

$$A_{\text{п}} = C(t_2 - t_1) + c\rho V(t_2 - t_1) + L\Delta m \quad (2)$$

Затраченную работу плитки A_3 легко определить через мощность плитки N и время работы τ по формуле:

$$A_3 = N\tau \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$\eta = C(t_2 - t_1) + c\rho V(t_2 - t_1) + L\Delta m / N\tau$$

$$\tau = C(t_2 - t_1) + c\rho V(t_2 - t_1) + L\Delta m / \eta N$$

Мы решили задачу в общем виде. Перед расчетом численного ответа переведем объем V в кубические метры, массу Δm в килограммы, КПД η – в доли единицы.

$$2 \text{ л} = 0,002 \text{ м}^3$$

$$50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$$

$$80\% = 0,8$$

Произведём вычисления:

$$\tau = 500 \cdot (100 - 20) + 4200 \cdot 1000 \cdot 0,002 \cdot (100 - 20) + 2,26 \cdot 106 \cdot 0,050,8 \cdot 600 = 1719 \text{ с}$$

Ответ: 1719 с.

Задача 26

Условие задачи:

В условиях Севера пресную воду получают из снега. Сколько дров нужно израсходовать, чтобы 1500 кг снега, взятого при температуре $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, обратить в воду с температурой $5 \text{ }^\circ\text{C}$? КПД установки 30% . Удельная теплота сгорания дров равна 10 МДж/кг .

Дано:

$$m_1=1500 \text{ кг}, t_1=-10 \text{ }^\circ\text{C}, t_2=5 \text{ }^\circ\text{C}, \eta=30\%, q=10 \text{ МДж/кг}, m_2=?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия установки η равен отношению полезной работы установки $A_{\text{п}}$ к затраченной работе A_3 .

$$\eta = A_{\text{п}} A_3 (1)$$

Полезную работу $A_{\text{п}}$ можно найти следующим образом:

$$A_{\text{п}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

В этой формуле: Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания льда массой m_1 от температуры t_1 до температуры плавления льда $t_{\text{п}}$ ($t_{\text{п}} = 0^\circ\text{C}$); Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой m_1 ; Q_3 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_1 (получившейся при таянии льда) от температуры $t_{\text{п}}$ до температуры t .

Тогда:

$$A_{\text{п}} = c_1 m_1 (t_{\text{п}} - t_1) + \lambda m_1 + c_2 m_1 (t_2 - t_{\text{п}})$$

$$A_{\text{п}} = m_1 (c_1 (t_{\text{п}} - t_1) + \lambda + c_2 (t_2 - t_{\text{п}})) (2)$$

Удельная теплоёмкость льда c_1 равна $2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; удельная теплота плавления льда λ равна $330 \text{ кДж}/\text{кг}$; удельная теплоёмкость воды c_2 равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Затраченная работа A_3 равна количеству теплоты, выделяемой при сгорании дров массой m_2 , поэтому:

$$A_3 = q m_2 (3)$$

Полученные выражения (2) и (3) подставим в формулу (1):

$$\eta = m_1 (c_1 (t_{\text{п}} - t_1) + \lambda + c_2 (t_2 - t_{\text{п}})) q m_2$$

$$m_2 = m_1 (c_1 (t_{\text{п}} - t_1) + \lambda + c_2 (t_2 - t_{\text{п}})) \eta q$$

Посчитаем ответ:

$$m_2 = 1500 \cdot (2100 \cdot (0 - (-10)) + 330 \cdot 103 + 4200 \cdot (5 - 0)) 0,3 \cdot 10 \cdot 106 = 186 \text{ кг}$$

Ответ: 186 кг.

Задача 27

Условие задачи:

Тающий лёд массой $0,5 \text{ кг}$ погрузили в калориметр с $0,3 \text{ кг}$ воды при температуре 80°C . Определить установившуюся температуру.

Дано:

$$m_1 = 0,5 \text{ кг}, m_2 = 0,3 \text{ кг}, t_2 = 80^\circ\text{C}, t = ?$$

Решение задачи:

Определим количество теплоты Q_1 , которое необходимо для плавления льда массой m_1 :

$$Q_1 = \lambda m_1$$

Удельная теплота плавления льда λ равна $330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_1 = 330 \cdot 103 \cdot 0,5 = 165000 \text{ Дж} = 165 \text{ кДж}$$

Теперь определим количество теплоты Q_2 , которое выделится при охлаждении воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления льда $t_{\text{п}}$ ($t_{\text{п}} = 0^\circ\text{C}$).

Это можно сделать по следующей формуле:

$$Q_2 = c m_2 (t_2 - t_{\text{п}})$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$$Q_2 = 4200 \cdot 0,3 \cdot (80 - 0) = 100800 \text{ Дж} = 100,8 \text{ кДж}$$

Видно, что даже если вода остынет максимально, то есть до температуры t_n , то выделившегося количества теплоты всё равно не хватит, чтобы растопить весь лёд, так как $Q_1 > Q_2$. Значит температура теплового равновесия равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($273\text{ }^{\circ}\text{K}$).

Ответ: $273\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Задача 28

Условие задачи:

При замораживании некоторого вещества в холодильнике потребовалось 4 мин для того, чтобы охладить его жидкость от 4 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и еще $1\text{ ч } 40\text{ мин}$, чтобы превратить её в кристалл. Определить удельную теплоту плавления этого вещества, если его теплоёмкость в жидком состоянии $4200\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

Дано:

$\tau_1 = 4\text{ мин}$, $t_1 = 4^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 0^{\circ}\text{C}$, $\tau_2 = 1\text{ ч } 40\text{ мин}$, $c = 4200\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, $\lambda = ?$

Решение задачи:

Чтобы охладить тело некоторой массы m от температуры t_1 до температуры t_2 , нужно отвести количество теплоты Q_1 , которое можно найти по формуле:

$$Q_1 = cm(t_1 - t_2) \quad (1)$$

Чтобы превратить тело из жидкости в кристалл, нужно отвести количество теплоты Q_2 , определяемое формулой:

$$Q_2 = \lambda m \quad (2)$$

Нужно понимать, что в холодильнике отводимая от тела тепловая мощность N остаётся постоянной. Учитывая то, что количество теплоты равно произведению тепловой мощности на время, имеем такую систему:

$$\{ Q_1 = N\tau_1, Q_2 = N\tau_2$$

Принимая во внимание ранее полученные формулы (1) и (2), система примет такой вид:

$$\{ N\tau_1 = cm(t_1 - t_2), N\tau_2 = \lambda m$$

Поделим нижнее равенство системы на верхнее, тогда получим:
 $\lambda c(t_1 - t_2) = \tau_2 \tau_1$

$$\lambda = c(t_1 - t_2) \tau_2 \tau_1$$

Задача решена в общем виде.

Переведём время τ_1 и τ_2 в систему СИ:

$$4\text{ мин} = 240\text{ с}$$

$$1\text{ ч } 40\text{ мин} = 100\text{ с} = 6000\text{ мин}$$

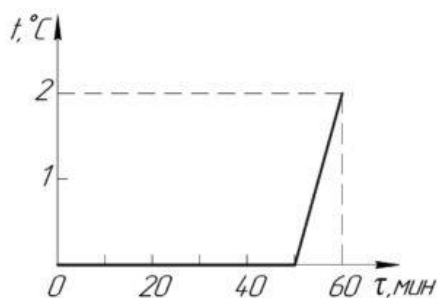
Посчитаем ответ к задаче:

$$\lambda = 4200 \cdot 103 \cdot (4 - 0) \cdot 6000 \cdot 240 = 42 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} = 0,42 \text{ ГДж/кг}$$

Ответ: $0,42\text{ ГДж/кг}$.

Задача 29

Условие задачи:



В ведре находится смесь воды со льдом массой $m=10$ кг. Ведро внесли в комнату и сразу же начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры смеси от времени изображена на рисунке. Определить массу льда в ведре в момент внесения его в комнату.

Дано:

$m=10$ кг, $\Delta m=?$

Решение задачи:

Время плавления льда в смеси τ_1 равно 50 мин, время нагревания воды τ_2 равно 10 мин, температура t_1 равна 0°C , температура t_2 равна 2°C (смотрите схему).

Чтобы расплавить лёд массой Δm , содержащийся в смеси, нужно количество теплоты Q_1 , которое можно определить по формуле:

$$Q_1 = \lambda \Delta m \quad (1)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

Для нагревания воды массой m (после расплавления льда) от температуры t_1 до температуры t_2 необходимо количество теплоты Q_2 , определяемое по формуле:

$$Q_2 = cm(t_2 - t_1) \quad (2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C).

Вообще, смесь воды со льдом будет нагреваться, поскольку будет происходить теплообмен с воздухом комнаты. При этом нет причин полагать, что подводимая тепловая мощность N (от воздуха комнаты) меняется со временем. Так как количество теплоты равно произведению тепловой мощности на время, то можно получить такую систему:

$$\{ Q_1 = N\tau_1 \quad Q_2 = N\tau_2$$

Учитывая формулы (1) и (2), система примет вид:

$$\{ N\tau_1 = cm(t_2 - t_1) \quad N\tau_2 = \lambda \Delta m$$

Поделим нижнее равенство на верхнее, тогда:

$$\lambda \Delta m cm(t_2 - t_1) = \tau_2 \tau_1$$

$$\Delta m = cm(t_2 - t_1) \tau_2 \lambda \tau_1$$

Переведём время τ_1 и τ_2 в систему СИ:

$$50 \text{ мин} = 3000 \text{ с}$$

$$10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$$

Произведём вычисления:

$$\Delta m = 4200 \cdot 10 \cdot (2 - 0) \cdot 3000 / 330 \cdot 103 \cdot 600 = 1,27 \text{ кг}$$

Ответ: 1,27 кг.

Задача 30

Условие задачи:

В сосуд с водой объемом 0,25 л при 20 °С поместили 50 г расплавленного свинца с температурой 400 °С. Какая температура установится в результате теплообмена в сосуде? Удельные теплоёмкости расплава и твердого свинца считать одинаковыми.

Дано:

$V_1=0,25$ л, $t_1=20$ °С, $m_2=50$ г, $t_2=400$ °С, $t=?$

Решение задачи:

В этой задаче нужно обязательно произвести оценку. Давайте для начала определим количество теплоты Q_1 , которое необходимо для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры кипения t_k ($t_k=100$ °С). Это можно сделать по следующей формуле:

$$Q_1=c_1m_1(t_k-t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна 4200 Дж/(кг·°С).

Массу m_1 представим как произведение плотности воды ρ (она равна 1000 кг/м³) на объем V_1 , тогда:

$$Q_1=c_1\rho V_1(t_k-t_1)$$

Посчитаем численное значение Q_1 (объем при расчете мы перевели в кубические метры):

$$Q_1=4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (100-20)=84000 \text{ Дж}$$

Так как температура расплавленного свинца t_2 больше температуры его плавления t_n ($t_n=327$ °С), то определим количество теплоты Q_2 , выделяемое при охлаждении расплава свинца от температуры t_2 до температуры t_n .

$$Q_2=c_2m_2(t_2-t_n)$$

Удельная теплоёмкость расплава свинца (и твёрдого свинца) c_2 равна 130 Дж/(кг·°С).

$$Q_2=130 \cdot 0,05 \cdot (400-327)=474,5 \text{ Дж}$$

Количество теплоты Q_3 , выделяемое при кристаллизации свинца массой m_2 , определим по формуле:

$$Q_3=\lambda m_2$$

Удельная теплота кристаллизации (плавления) свинца λ равна 25 кДж/кг.

$$Q_3=25 \cdot 10^3 \cdot 0,05=1250 \text{ Дж}$$

Количество теплоты Q_4 , выделяемое при охлаждении свинца массой m_2 от температуры t_n до температуры t_k , равно:

$$Q_4=c_2m_2(t_n-t_k)$$

$$Q_4=130 \cdot 0,05 \cdot (327-100)=1475,5 \text{ Дж}$$

Видно, что $Q_1 > Q_2 + Q_3 + Q_4$, значит температура теплового равновесия будет лежать в пределах от t_1 до t_k . Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_5=Q_2+Q_3+Q_4$$

Здесь Q_5 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры t ; Q_6 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении свинца массой m_2 от температуры t_n до температуры t . Тогда:

$$c_1m_1(t-t_1)=c_2m_2(t_2-t_n)+\lambda m_2+c_2m_2(t_n-t)$$

$$c_1m_1(t-t_1)=c_2m_2(t_2-t)+\lambda m_2$$

Раскроем скобки:

$$c_1 m_1 t - c_1 m_1 t_1 = c_2 m_2 t_2 - c_2 m_2 t + \lambda m_2$$

Все члены с множителем t перенесем в левую сторону, вынесем его за скобки, остальные перенесем в правую.

$$t(c_1 m_1 + c_2 m_2) = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2$$

$$t = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2 / (c_1 m_1 + c_2 m_2)$$

Массу m_1 представим как произведение плотности воды ρ на объем V_1 , как это уже было сделано выше:

$$t = c_1 \rho V_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2 / (c_1 \rho V_1 + c_2 m_2)$$

Переведем некоторые величины в систему СИ:

$$0,25 \text{ л} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$$

Численно температура t равна:

$$t = (4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 20 + 130 \cdot 0,05 \cdot 400 + 25 \cdot 103 \cdot 0,05) / (4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} + 130 \cdot 0,05) = 23,5^\circ \text{ C} = 296,5^\circ \text{ K}$$

Ответ: 296,5 °K.

Задача 31

Условие задачи:

В сосуд, содержащий 2,3 кг воды при 20 °C, бросают кусок стали, который передает воде 4,6 МДж энергии. Найдите массу воды, обратившейся в пар. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

Дано:

$$m = 2,3 \text{ кг}, t = 20^\circ \text{ C}, Q = 4,6 \text{ МДж}, \Delta m = ?$$

Решение задачи:

Переданную воде энергию Q можно записать как следующую сумму:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m от температуры t до температуры кипения t_k ($t_k = 100^\circ \text{ C}$); Q_2 – количество теплоты, необходимое для парообразования воды искомой массы Δm . Тогда:

$$Q = cm(t_k - t) + L\Delta m$$

Удельная теплоемкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота парообразования L равна 2,26 МДж/кг.

Выразим массу Δm :

$$\Delta m = (Q - cm(t_k - t)) / L$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$\Delta m = (4,6 \cdot 10^6 - 4200 \cdot 2,3 \cdot (100 - 20)) / 2,26 \cdot 10^6 = 1,693 \text{ кг} = 1693 \text{ г}$$

Ответ: 1693 г.

Задача 32

Условие задачи:

Калориметр содержит 250 г воды при температуре 15 °C. В воду бросили 20 г мокрого снега. В результате температура в калориметре понизилась на 5 °C. Сколько воды было в снеге?

Дано:

$m_1=250$ г, $t_1=15$ °C, $m_2=20$ г, $\Delta t=5$ °C, $\Delta m=?$

Решение задачи:

Пусть в комке мокрого снега была вода массой Δm , тогда масса содержащегося в нём льда – $(m_2-\Delta m)$. Из условия понятно, что конечная температура смеси равна $(t_1-\Delta t)$.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2+Q_3$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры $(t_1-\Delta t)$; Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой $(m_2-\Delta m)$; Q_3 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_2 от температуры плавления льда t_n ($t_n=0$ °C) до температуры $(t_1-\Delta t)$.

Распишем все указанные количества теплоты, тогда получим такое равенство:

$$cm_1(t_1 - (t_1-\Delta t))=\lambda(m_2-\Delta m)+cm_2((t_1-\Delta t) - t_n)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда L равна 330 кДж/кг.

$$cm_1\Delta t=\lambda(m_2-\Delta m)+cm_2(t_1-\Delta t-t_n)$$

$$\lambda(m_2-\Delta m)=c(m_1\Delta t-m_2(t_1-\Delta t-t_n))$$

$$m_2-\Delta m=c(m_1\Delta t-m_2(t_1-\Delta t-t_n))\lambda$$

$$\Delta m=m_2-c(m_1\Delta t-m_2(t_1-\Delta t-t_n))\lambda$$

Задача решена в общем виде. Перед подстановкой значений в формулу, переведем некоторые величины в систему СИ:

$$250\text{г}=0,25\text{кг}$$

$$20\text{г}=0,02\text{кг}$$

Считаем численный ответ:

$$\Delta m=0,02-4200\cdot(0,25\cdot 5-0,02\cdot(15-5-0))330\cdot 10^3=0,0066\text{кг}=6,6\text{г}$$

Ответ: 6,6 г.

Задача 33

Условие задачи:

В калориметр теплоёмкостью 1254 Дж/К бросили 30 г мокрого снега, т.е. смеси снега с водой. Сколько было там собственно снега, если температура в калориметре понизилась от 24 до 16 °C.

Дано:

$C=1254$ Дж/К, $m=30$ г, $t_1=24$ °C, $t_2=16$ °C, $\Delta m=?$

Решение задачи:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1=Q_2+Q_3(1)$$

В этом уравнении: Q_1 – количество теплоты, которое выделится при охлаждении калориметра от температуры t_1 до температуры t_2 ; Q_2 – количество теплоты, необходимое для плавления льда искомой массы Δm , содержащегося в мокром снеге; Q_3 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды

массой m , получившейся из мокрого снега, от температуры плавления льда t_n ($t_n=0\text{ }^{\circ}\text{C}$) до температуры t_2 .

Распишем указанные количества теплоты, тогда уравнение (1) примет следующий вид:

$$C(t_1-t_2)=\lambda\Delta m+c_1m(t_2-t_n)$$

Напомним, что удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг , удельная теплоёмкость воды c_1 равна $4200\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Выразим массу льда в комке мокрого снега Δm :

$$\Delta m=C(t_1-t_2)-c_1m(t_2-t_n)\lambda$$

Перед расчетом ответа, переведём массу m в систему СИ:

$$30\text{ г}=0,03\text{ кг}$$

Численный ответ к задаче равен:

$$\Delta m=1254\cdot(24-16)-4200\cdot0,03\cdot(16-0)330\cdot103=0,0243\text{ кг}=24,3\text{ г}$$

Ответ: 24,3 г.

Задача 34

Условие задачи:

Сосуд, содержащий воду, внесли в теплую комнату, причем за 15 мин температура воды повысилась на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сколько нужно времени, чтобы в этой комнате растаял лёд той же массы, что и вода?

Дано:

$$\tau_1=15\text{ мин}, \Delta t=4\text{ }^{\circ}\text{C}, \tau_2=?$$

Решение задачи:

Чтобы изменить температуру воды некоторой массы m на величину Δt , необходимо количество теплоты Q_1 , которое определяется по формуле:

$$Q_1=cm\Delta t(1)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

А вот чтобы расплавить лёд такой же массы m , нужно количество теплоты Q_2 , определяемое по другой формуле:

$$Q_2=\lambda m(2)$$

Удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг .

Как вы должны понимать, вода нагревается (а лёд – плавится) из-за того, что происходит теплообмен с тёплым воздухом комнаты. Нет причин полагать, что подводимая тепловая мощность от воздуха N , т.е. количество теплоты, которое передаётся воздухом за единицу времени, меняется со временем. Поскольку количество теплоты равно произведению тепловой мощности на время, мы можем получить такую систему:

$$\{Q_1=N\tau_1 Q_2=N\tau_2$$

Учитывая полученные ранее выражения (1) и (2), система примет вид:

$$\{N\tau_1=cm\Delta t N\tau_2=\lambda m$$

Поделим нижнее равенство на верхнее, тогда:

$$\tau_2\tau_1=\lambda c\Delta t$$

$$\tau_2=\tau_1\lambda c\Delta t$$

Мы решили задачу в общем виде. Переведём время τ_1 в систему СИ:

$$15\text{ мин}=15\cdot60\text{ с}=900\text{ с}$$

Посчитаем ответ:

$$\tau_2 = 900 \cdot 330 \cdot 1034200 \cdot 4 = 17679 \text{ с} = 294,6 \text{ мин}$$

Ответ: 294,6 мин.

Задача 35

Условие задачи:

Алюминиевый чайник массой 0,4 кг, в котором находится 2 кг воды при 10 °С, помещают на газовую горелку с КПД 40%. Какова мощность горелки, если через 10 мин вода закипела, причем 20 г воды выкипело?

Дано:

$$m_1 = 0,4 \text{ кг}, m_2 = 2 \text{ кг}, t_2 = 10 \text{ °С}, \eta = 40\%, \tau = 10 \text{ мин}, \Delta m = 20 \text{ г}, N = ?$$

Решение задачи:

КПД горелки η определяют как отношение её полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной работе A_3 .

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3 \quad (1)$$

Полезную работу горелки $A_{\text{п}}$ можно найти как следующую сумму:

$$A_{\text{п}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагревания алюминиевого чайника массой m_1 от температуры t_2 до температуры кипения воды t_k ($t_k = 100 \text{ °С}$); Q_2 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_2 от температуры t_2 до температуры кипения t_k ; Q_3 – количество теплоты, необходимое для парообразования части воды массой Δm .

Если расписать все перечисленные количества теплоты по формулам, тогда формула (2) примет такой вид:

$$A_{\text{п}} = c_1 m_1 (t_k - t_2) + c_2 m_2 (t_k - t_2) + L \Delta m$$

$$A_{\text{п}} = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (t_k - t_2) + L \Delta m \quad (3)$$

Удельная теплоёмкость алюминия c_1 равна 880 Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость воды c_2 равна 4200 Дж/(кг·°С), удельная теплота парообразования воды L равна 2,26 МДж/кг.

Затраченную работу горелки A_3 выразим через искомую мощность N и время работы τ :

$$A_3 = N \tau \quad (4)$$

Подставим выражения (3) и (4) в формулу (1):

$$\eta = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (t_k - t_2) + L \Delta m / N \tau$$

$$N = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (t_k - t_2) + L \Delta m / \eta \tau$$

Мы получили решение задачи в общем виде. Теперь переведём КПД η в доли единицы, время τ – в секунды, а массу Δm – в килограммы:

$$40\% = 0,4$$

$$10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$$

$$20 \text{ г} = 0,02 \text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$N = (880 \cdot 0,4 + 4200 \cdot 2) (100 - 10) + 2,26 \cdot 10^6 \cdot 0,02 / 0,4 \cdot 600 = 3470 \text{ Вт}$$

Ответ: 3470 Вт.

Задача 36

Условие задачи:

В латунный калориметр массы 0,3 кг, содержащий 1 кг воды при 18 °С, опускается кусок льда, взятый при температуре –8 °С. После того как весь лёд растаял, температура воды стала равной 10 °С. Найти массу опущенного в воду льда.

Дано:

$m_1=0,3$ кг, $m_2=1$ кг, $t_2=18$ °С, $t_3=-8$ °С, $t=10$ °С, $m_3=?$

Решение задачи:

После опускания льда в воду в системе будет происходить теплообмен, в результате которого лёд растает, а температура воды (и калориметра) станет равной t . Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1+Q_2=Q_3+Q_4+Q_5$$

Здесь: Q_1 – количество теплоты, отданное латунным калориметром массой m_1 при охлаждении от температуры t_2 до температуры t ; Q_2 – количество теплоты, отданное водой m_2 при охлаждении от температуры t_2 до температуры t ; Q_3 – количество теплоты, полученное льдом искомой массы m_3 при нагревании от температуры t_3 до температуры плавления t_n ($t_n=0$ °С); Q_4 – количество теплоты, необходимое для плавления льда массой m_3 ; Q_5 – количество теплоты, полученное водой массой m_3 (образованной при таянии льда) при нагревании от температуры плавления льда t_n до температуры t .

Распишем все указанные количества теплот, тогда получим такое равенство:

$$c_1m_1(t_2-t)+c_2m_2(t_2-t)=c_3m_3(t_n-t_3)+\lambda m_3+c_2m_3(t_3-t_n) \\ (c_1m_1+c_2m_2)(t_2-t)=m_3(c_3(t_n-t_3)+\lambda+c_2(t_3-t_n))$$

В этом равенстве c_1 – удельная теплоёмкость латуни, равная 380 Дж/(кг·°С); c_2 – удельная теплоёмкость воды, равная 4200 Дж/(кг·°С); c_3 – удельная теплоёмкость льда, равная 2100 Дж/(кг·°С); λ – удельная теплота плавления льда, равная 330 кДж/кг.

В итоге решение задачи в общем виде выглядит так:

$$m_3=(c_1m_1+c_2m_2)(t_2-t)/[c_3(t_n-t_3)+\lambda+c_2(t_3-t_n)]$$

Подставив численные значения известных величин, посчитаем численный ответ к этой задаче:

$$m_3=(380 \cdot 0,3 + 4200 \cdot 1)(18 - 10) / [2100 \cdot (0 - (-8)) + 330 + 4200 \cdot (10 - 0)] = 0,089 \text{ кг} = 89 \text{ г}$$

Ответ: 89 г.

Задача 37**Условие задачи:**

В калориметр, содержащий 1,5 кг воды при 20 °С, положили 1 кг льда, имеющего температуру –10 °С. Какая температура установится в калориметре?

Дано:

$m_1=1,5$ кг, $t_1=20$ °С, $m_2=1$ кг, $t_2=-10$ °С, $t=?$

Решение задачи:

Из условия задачи совершенно непонятно, растает ли лёд полностью, а может он вообще даже не начнёт плавиться. Значит нам нужно провести

оценку. Для начала определим численно количество теплоты Q_1 , выделяемое водой массой m_1 при охлаждении от температуры t_1 до температуры плавления льда t_n ($t_n=0\text{ }^{\circ}\text{C}$), по формуле:

$$Q_1=c_1m_1(t_1-t_n)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

$$Q_1=4200\cdot 1,5\cdot (20-0)=126000\text{ Дж}=126\text{ кДж}$$

Далее посчитаем численно количество теплоты Q_2 , необходимое для нагревания льда массой m_2 от температуры t_2 до температуры плавления льда t_n , по формуле:

$$Q_2=c_2m_2(t_n-t_2)$$

Удельная теплоёмкость льда c_2 равна $2100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

$$Q_2=2100\cdot 1\cdot (0-(-10))=21000\text{ Дж}=21\text{ кДж}$$

И напоследок определим количество теплоты Q_3 , необходимое для плавления льда массой m_2 , по следующей известной формуле:

$$Q_3=\lambda m_2$$

Удельная теплота плавления льда λ равна $330\text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_3=330\cdot 103\cdot 1=330000\text{ Дж}=330\text{ кДж}$$

Видно, что $Q_1>Q_2$, значит всё-таки лёд начнет таять. Но так как $Q_1<Q_2+Q_3$, то теплоты, выделяемой при охлаждении воды, не хватит на плавление всего льда. Получается, что вода остынет до температуры плавления льда, и теплообмен прекратится. Значит в калориметре установится температура $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (или $273\text{ }^{\circ}\text{K}$).

Ответ: $273\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Задача 38

Условие задачи:

В сосуд с водой объемом $0,25\text{ л}$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ поместили 50 г расплавленного свинца с температурой $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какая температура установится в результате теплообмена в сосуде? Удельные теплоёмкости расплава и твёрдого свинца считать одинаковыми.

Дано:

$$V_1=0,25\text{ л}, t_1=20\text{ }^{\circ}\text{C}, m_2=50\text{ г}, t_2=350\text{ }^{\circ}\text{C}, t=?$$

Решение задачи:

Полностью аналогичная задача уже была представлена на сайте, правда в ней расплавленный свинец имел температуру $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Можете прорешать её после этой, дабы закрепить свои навыки.

В этой задаче нужно обязательно произвести оценку. Давайте для начала определим количество теплоты Q_1 , которое необходимо для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры кипения t_k ($t_k=100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это можно сделать по следующей формуле:

$$Q_1=c_1m_1(t_k-t_1)$$

Удельная теплоёмкость воды c_1 равна $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Массу m_1 представим как произведение плотности воды ρ (она равна $1000\text{ кг}/\text{м}^3$) на объем V_1 , тогда:

$$Q_1=c_1\rho V_1(t_k-t_1)$$

Посчитаем численное значение Q_1 (объем при расчете мы перевели в кубические метры):

$$Q_1 = 4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20) = 84000 \text{ Дж}$$

Так как температура расплавленного свинца t_2 больше температуры его плавления t_n ($t_n = 327^\circ \text{C}$), то определим количество теплоты Q_2 , выделяемое при охлаждении расплава свинца от температуры t_2 до температуры t_n .

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_n)$$

Удельная теплоёмкость расплава свинца (и твёрдого свинца) c_2 равна $130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$.

$$Q_2 = 130 \cdot 0,05 \cdot (350 - 327) = 149,5 \text{ Дж}$$

Количество теплоты Q_3 , выделяемое при кристаллизации свинца массой m_2 , определим по формуле:

$$Q_3 = \lambda m_2$$

Удельная теплота кристаллизации (плавления) свинца λ равна $25 \text{ кДж}/\text{кг}$.

$$Q_3 = 25 \cdot 103 \cdot 0,05 = 1250 \text{ Дж}$$

Количество теплоты Q_4 , выделяемое при охлаждении свинца массой m_2 от температуры t_n до температуры t_k , равно:

$$Q_4 = c_2 m_2 (t_n - t_k)$$

$$Q_4 = 130 \cdot 0,05 \cdot (327 - 100) = 1475,5 \text{ Дж}$$

Видно, что $Q_1 > Q_2 + Q_3 + Q_4$, значит температура теплового равновесия будет лежать в пределах от t_1 до t_k . Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_5 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Здесь Q_5 – количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_1 от температуры t_1 до температуры t ; Q_6 – количество теплоты, выделяемое при охлаждении свинца массой m_2 от температуры t_n до температуры t . Тогда:

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t_n) + \lambda m_2 + c_2 m_2 (t_n - t)$$

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t) + \lambda m_2$$

Раскроем скобки:

$$c_1 m_1 t - c_1 m_1 t_1 = c_2 m_2 t_2 - c_2 m_2 t + \lambda m_2$$

Все члены с множителем t перенесем в левую сторону, вынесем его за скобки, остальные перенесем в правую.

$$t(c_1 m_1 + c_2 m_2) = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2$$

$$t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Массу m_1 представим как произведение плотности воды ρ на объем V_1 , как это уже было сделано выше:

$$t = \frac{c_1 \rho V_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + \lambda m_2}{c_1 \rho V_1 + c_2 m_2}$$

Переведём некоторые величины в систему СИ:

$$0,25 \text{ л} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$$

Численно температура t равна:

$$t = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 20 + 130 \cdot 0,05 \cdot 350 + 25 \cdot 103 \cdot 0,05}{4200 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} + 130 \cdot 0,05} = 23,2^\circ \text{C} = 296,7^\circ \text{K}$$

Ответ: $296,7^\circ \text{K}$.

«Изменение внутренней энергии тела при совершении работы»

Задача 1

Условие задачи:

Стальной шар падает с высоты 15 м. При ударе о землю вся накопленная им энергия превращается в тепло. На сколько градусов повысится температура шара?

Дано:

$h=15$ м, $\Delta t=?$

Решение задачи:

В условии задачи не говорится о потерях энергии, поэтому согласно закону сохранения энергии (ЗСЭ) потенциальная энергия шара на высоте h перейдёт во внутреннюю энергию при ударе о землю. Хотя, если быть точнее, потенциальная энергия сначала полностью перейдёт в кинетическую энергию (перед ударом о землю), а последняя при ударе пойдёт на изменение внутренней энергии.

$$mgh = cm\Delta t$$

$$gh = c\Delta t$$

В это равенстве c – удельная теплоёмкость стали, равная 460 Дж/(кг·°C).

$$\Delta t = gh/c$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$\Delta t = 10 \cdot 15 / 460 = 0,33 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,33 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Ответ: 0,33 °K.

Задача 2

Условие задачи:

Многократное перегибание алюминиевой проволоки массой 2 г нагревает её на 40 °C. Какая была совершена работа, если только 30% её пошло на нагревание проволоки?

Дано:

$m=2$ г, $\Delta t=40$ °C, $\alpha=30\%$, $A=?$

Решение задачи:

В условии сказано, что только α процентов совершенной работы A пошло на нагревание проволоки (т.е. изменение её внутренней энергии посредством передачи количества теплоты Q), поэтому справедливо равенство:

$$Q = \alpha A$$

Откуда: $A = Q/\alpha$

Количество теплоты Q , необходимое для изменения температуры проволоки из алюминия массой m на величину Δt , определяют по формуле:

$$Q = cm\Delta t$$

Здесь c – удельная теплоёмкость алюминия, равная 880 Дж/(кг·°C).

Окончательная формула для нахождения ответа к вопросу задачи будет выглядеть так:

$$A = cm\Delta t/\alpha$$

Переведём массу проволоки m в килограммы, а величину α – в доли единиц:

$$2\Gamma = 0,002\text{кг}$$

$$30\% = 0,3$$

Осталось только посчитать численный ответ:

$$A = 880 \cdot 0,002 \cdot 400,3 = 234,7\text{Дж}$$

Ответ: 234,7 Дж.

Задача 3

Условие задачи:

На сколько температура воды у основания водопада с высотой 20 м больше чем у вершины? Считать, что вся механическая энергия идет на нагревание воды.

Дано:

$$h = 20\text{ м}, \Delta t = ?$$

Решение задачи:

Рассмотрим произвольную малую массу воды m , которая падает с водопада.

Начальная потенциальная энергия этой массы воды перейдёт полностью у основания водопада в кинетическую энергию, которая в свою очередь перейдет во внутреннюю энергию в результате удара. Видно, что промежуточный переход энергии в кинетическую не имеет значения, поэтому закон сохранения энергии (ЗСЭ) запишется в таком виде:

$$mgh = cm\Delta t$$

$$gh = c\Delta t$$

Здесь c – удельная теплоёмкость воды, равная $4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Решение этой задачи в общем виде выглядит так:

$$\Delta t = gh/c$$

Произведём расчёт ответа:

$$\Delta t = 10 \cdot 20 / 4200 = 0,05\text{ }^\circ\text{C}$$

Ответ: 0,05 °C.

Задача 4

Условие задачи:

При трении двух тел, теплоёмкости которых по 800 Дж/К , температура через 1 мин повысилась на $30\text{ }^\circ\text{K}$. Найти среднюю мощность при трении.

Дано:

$$C = 800\text{ Дж/К}, \tau = 1\text{ мин}, \Delta T = 30\text{ }^\circ\text{K}, N = ?$$

Решение задачи:

Среднюю мощность N найдём как отношение работы при трении A ко времени τ :

$$N = A/\tau$$

Работа A равна суммарному изменению внутренней энергии двух тел:

$$A = 2\Delta W$$

Изменение внутренней энергии ΔW легко найти по такой формуле (обратите внимание, что в условии дана теплоёмкость, а не удельная теплоёмкость, поэтому формула выглядит именно так):

$$\Delta W = C \Delta T$$

Если подставить две последние формулы в первую, то получим:

$$N = 2C \Delta T \tau$$

Переведём время τ в систему СИ:

$$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$$

Посчитаем ответ:

$$N = 2 \cdot 800 \cdot 3060 = 800 \text{ Вт} = 0,8 \text{ кВт}$$

Ответ: 0,8 кВт.

Задача 5

Условие задачи:

Найти высоту, на которой потенциальная энергия груза массой 1000 кг равна количеству теплоты, выделяющейся при замерзании 0,1 кг воды, взятой при температуре плавления.

Дано:

$$m_1 = 1000 \text{ кг}, m_2 = 0,1 \text{ кг}, h = ?$$

Решение задачи:

Из условия задачи ясно, что имеет место следующее равенство:

$$E_{\text{п}} = Q(1)$$

Потенциальную энергию $E_{\text{п}}$ груза массой m_1 и количество теплоты Q , выделяющееся при замерзании воды массой m_2 , можно найти по следующим формулам:

$$\{ E_{\text{п}} = m_1 g h, Q = \lambda m_2$$

Удельная теплота кристаллизации воды λ (она же удельная теплота плавления льда) равна 330 кДж/кг.

В таком случае равенство (1) примет вид:

$$m_1 g h = \lambda m_2$$

Откуда искомую высоту h можно найти по формуле:

$$h = \lambda m_2 / m_1 g$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$h = 330 \cdot 10^3 \cdot 0,1 / 1000 \cdot 10 = 3,3 \text{ м}$$

Ответ: 3,3 м.

Задача 6

Условие задачи:

Чему равна высота водопада, если температура воды у его основания на 0,05 °С больше, чем у вершины? Считайте, что вся механическая энергия идет на нагревание воды.

Дано:

$$\Delta t = 0,05 \text{ °С}, h = ?$$

Решение задачи:

Рассмотрим очень маленький объем воды массой m . Потенциальная энергия этой массы воды сначала полностью перейдет в кинетическую у основания водопада, а последняя при ударе перейдет во внутреннюю (из-за этого вода и нагревается).

Учитывая, что потерь энергии нет (так как вся энергия идет на нагревание воды), запишем закон сохранения энергии (ЗСЭ):

$$E_{\text{п}} = Q$$

Распишем потенциальную энергию $E_{\text{п}}$ и количество теплоты Q по известным формулам:

$$mgh = cm\Delta t$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Массу m можно сократить в обеих частях полученного равенства, поэтому:

$$gh = c\Delta t$$

Тогда высоту водопада h можно найти по формуле:

$$h = c\Delta t/g$$

Произведём вычисления:

$$h = 4200 \cdot 0,0510 = 21 \text{ м}$$

Ответ: 21 м.

Задача 7

Условие задачи:

С какой высоты упал свинцовый шар, если при падении изменение его температуры составило $1,5^\circ\text{C}$, удар абсолютно неупругий, а на нагревание пошло 40% начальной энергии шара?

Дано:

$$\Delta t = 1,5^\circ\text{C}, \alpha = 40\%, h = ?$$

Решение задачи:

Пусть масса свинцового шара равна m .

Начальная потенциальная энергия свинцового шара перед ударом полностью перейдет в кинетическую энергию, а последняя при ударе — во внутреннюю энергию, причём только α часть потенциальной энергии (а значит и кинетической, согласно закону сохранения энергии) пойдёт на нагревание.

$$Q = \alpha E(1)$$

Другая часть энергии, вероятно, пойдёт на изменение внутренней энергии пола (проще говоря, нагревание пола при ударе шара), иначе ей больше некуда деться, так как удар абсолютно неупругий, а это значит, что шар полностью остановится.

Если расписать количество теплоты Q и начальную потенциальную энергию E , то равенство (1) примет такой вид:

$$cm\Delta t = \alpha mgh$$

Удельная теплоёмкость свинца c равна $130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Неизвестная масса шара m сокращается в обеих частях равенства:

$$c\Delta t = \alpha gh$$

$$h = c\Delta t / \alpha g$$

Произведём вычисление ответа (величину α следует подставлять выраженной в долях единицы):

$$h=130\cdot 1,50,4\cdot 10=48,75\text{м}$$

Ответ: 48,75 м.

Задача 8

Условие задачи:

Вода падает с высоты 60 м. На сколько температура воды внизу водопада выше, чем наверху? Считать, что на нагревание воды идёт 70% всей работы, совершаемой при падении.

Дано:

$$h=60\text{ м}, \alpha=70\%, \Delta t=?$$

Решение задачи:

Рассмотрим некоторый объем воды очень маленькой массы m .

При падении с высоты сила тяжести совершает над этой массой воды положительную работу, которую можно определить по формуле:

$$A=mgh$$

В условии говорится, что на нагревание воды идёт лишь α часть работы A , поэтому:

$$Q=\alpha A$$

$$Q=\alpha mgh(1)$$

С другой стороны, количество теплоты Q , которое необходимо для увеличения температуры воды массой m на величину Δt , можно найти так:

$$Q=cm\Delta t(2)$$

Удельная теплоёмкость воды c равна $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Приравняем (1) и (2), тогда:

$$\alpha mgh=cm\Delta t$$

$$\alpha gh=c\Delta t$$

В итоге разницу температуры воды у вершины и основания водопада Δt , можно найти по такой формуле:

$$\Delta t=\alpha gh/c$$

Ответ задачи равен (величину α подставляем не в процентах, а в долях единицы):

$$\Delta t=0,7\cdot 10\cdot 60/4200=0,1\text{ }^\circ\text{C}$$

Ответ: 0,1 °C.

Задача 9

Условие задачи:

Снежок, летящий со скоростью 20 м/с, ударяется в стену. Какая часть его расплавится, если температура окружающей среды $0\text{ }^\circ\text{C}$, а вся кинетическая энергия превращается во внутреннюю?

Дано:

$$v=20\text{ м/с}, \alpha=?$$

Решение задачи:

Пусть m – полная масса снежка, а Δm – масса расплавившейся части снежка. Тогда величину α следует искать по формуле:

$$\alpha = \Delta m m (1)$$

В условии сказано, что вся кинетическая энергия превращается во внутреннюю, значит справедливо равенство:

$$E = Q (2)$$

Кинетическую энергию снежка массой m до удара E и количество теплоты Q , необходимое для плавления части снежка массой Δm , можно найти по формулам:

$$E = mv_{22}^2$$

$$Q = \lambda \Delta m$$

Как известно, удельная теплота плавления льда λ равна 330 кДж/кг.

Тогда равенство (2) примет вид:

$$mv_{22}^2 = \lambda \Delta m$$

Поделим обе части равенства на величину Δm , тогда:

$$v_{22}^2 = \lambda \Delta m m$$

Учитывая формулу (1):

$$v_{22}^2 = \lambda \alpha$$

Откуда часть снежка α , которая расплавится при ударе о стенку, можно найти по формуле:

$$\alpha = v_{22}^2 \lambda$$

Посчитаем численный ответ задачи:

$$\alpha = 2022 \cdot 330 \cdot 10^3 = 6 \cdot 10^{-4} = 0,06\%$$

Ответ: 0,06%.

Задача 10

Условие задачи:

Стальной шар, падая свободно, достиг скорости 41 м/с и, ударившись о землю, подскочил на высоту 1,6 м. Определите изменение температуры шара при ударе, считая, что при ударе меняется только внутренняя энергия шара. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$$v = 41 \text{ м/с}, h = 1,6 \text{ м}, \Delta t = ?$$

Решение задачи:

Нулевой уровень потенциальной энергии выберем на уровне поверхности Земли.

При ударе часть начальной кинетической энергии E_{k0} перейдёт во внутреннюю (изменение внутренней энергии равно количеству теплоты Q), но часть – останется в виде кинетической E_k , которая в ходе дальнейшего движения до высоты h перейдёт в потенциальную E_p . Запишем закон сохранения энергии (ЗСЭ) для момента удара и для движения после удара:

$$\{E_{k0} = Q + E_k, E_k = E_p\}$$

Эти два равенства, очевидно, можно записать в виде одного:

$$E_{k0} = Q + E_p$$

Распишем начальную кинетическую энергию E_{k0} , количество теплоты Q , необходимое для изменения температуры стального шара на неизвестную величину Δt , потенциальную энергию $E_{\text{п}}$ на высоте h по известным формулам, тогда получим:

$$mv_{22} = cm\Delta t + mgh$$

Удельная теплоёмкость стали c равна $460 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$. Сократим массу m в обеих частях уравнения:

$$v_{22} = c\Delta t + gh$$

Откуда искомое изменение температуры Δt найдём по формуле:

$$\Delta t = \frac{v_{22}^2 - 2gh}{2c}$$

Произведём вычисления:

$$\Delta t = \frac{412^2 - 2 \cdot 10 \cdot 1,62 \cdot 460}{2 \cdot 460} = 1,8 \text{ }^\circ\text{C} = 1,8 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ответ: $1,8 \text{ }^\circ\text{K}$.

Задача 11

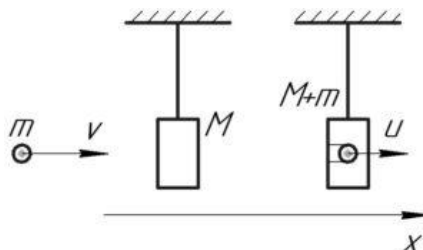
Условие задачи:

Свинцовая пуля массой 10 г , летящая горизонтально со скоростью 100 м/с , попадает в деревянный брусок массой 1 кг , подвешенный на длинной нити. На сколько градусов нагрелась пуля, если 70% выделенной при ударе теплоты пошло на её нагревание?

Дано:

$m=10 \text{ г}$, $v=100 \text{ м/с}$, $M=1 \text{ кг}$, $\alpha=70\%$, $\Delta t=?$

Решение задачи:



Так как в условии не говорится о том, что пуля пройдет насквозь через деревянный брусок, значит всё-таки пуля застряла в бруске. Получается, что имеет место абсолютно неупругий удар (а это значит, что часть кинетической энергии перейдет во внутреннюю). Пусть u – скорость бруска после попадания (вместе с пулей). Запишем закон сохранения импульса (ЗСИ) в проекции на ось x :

$$mv = (m+M)u$$

Откуда:

$$u = \frac{mv}{m+M} \quad (1)$$

Теперь запишем закон сохранения энергии (ЗСЭ): $mv_{22} = (m+M)u_{22} + Q$

Подставим выражение (1) в полученное уравнение:

$$mv_{22} = (m+M) \frac{m^2 v^2}{(m+M)^2} + Q$$

$$mv_{22} = \frac{m^2 v^2}{m+M} + Q$$

Выразим количество теплоты Q , выделившееся при ударе:

$$Q = mv_{22} - \frac{m^2 v^2}{m+M} = \frac{m v^2 (m+M) - m^2 v^2}{m+M}$$

$$Q = \frac{m M v^2}{m+M} \quad (2)$$

Обратите внимание, что лишь α часть количества теплоты Q пошла на нагревание пули (остальная часть могла, например, пойти на нагревание бруска):

$$Q_1 = \alpha Q \quad (3)$$

Количество теплоты Q_1 , необходимое для изменения температуры пули на величину Δt , также определим по формуле:

$$Q_1 = cm\Delta t \quad (4)$$

Удельная теплоёмкость свинца c равна $130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Учитывая (3) и (4), имеем:

$$cm\Delta t = \alpha Q$$

Подставим в полученное равенство выражение (2):

$$cm\Delta t = \alpha m M v_{22} (m + M)$$

$$c\Delta t = \alpha M v_{22} (m + M)$$

$$\Delta t = \alpha M v_{22} c (m + M)$$

Переведём массу пули m в килограммы, а величину α – в доли единицы:

$$10\text{г} = 0,01\text{кг}$$

$$70\% = 0,7$$

Посчитаем численный ответ задачи:

$$\Delta t = 0,7 \cdot 1 \cdot 10022 \cdot 130 \cdot (0,01 + 1) = 26,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 26,7 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Ответ: $26,7 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Задача 12

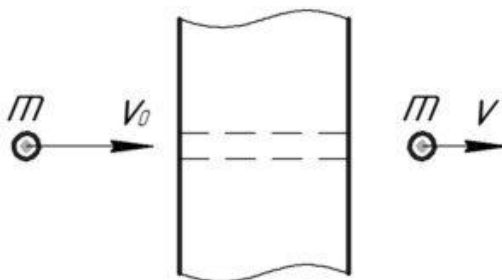
Условие задачи:

Свинцовая пуля, летящая со скоростью 430 м/с , пробивает стену, причем скорость её уменьшается до 200 м/с . Какая часть пули при этом расплавится? Начальная температура пули $50 \text{ } ^\circ\text{C}$, на нагревание пули затрачивается 50% потерянной кинетической энергии.

Дано:

$$v_0 = 430 \text{ м/с}, v = 200 \text{ м/с}, t_0 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}, \alpha = 50\%, \beta = ?$$

Решение задачи:



Пусть m – масса пули, а Δm – масса части пули, расплавившейся при пробивании стены. Тогда искомую величину β , очевидно, будем находить по формуле:

$$\beta = \Delta m / m \quad (1)$$

Выделившееся при прохождении пули сквозь стену количество теплоты Q равно изменению кинетической энергии пули (по закону сохранения энергии), поэтому:

$$Q = m v_{02} - m v_{22}$$

$$Q=0,5m(v_{20} - v_2)(2)$$

В условии говорится, что на нагревание пули затрачивается лишь α часть потерянной кинетической энергии (другая часть, вероятно, «нагревает» стену), поэтому справедливо:

$$Q_1=\alpha Q(3)$$

Чтобы часть пули расплавилась, она обязательно должна нагреться до температуры плавления ($t_{\text{п}}=327^\circ\text{C}$). Количество теплоты Q_1 необходимо искать по формуле:

$$Q_1=cm(t_{\text{п}} - t_0)+\lambda\Delta m(4)$$

Здесь c – удельная теплоёмкость свинца, равная $130 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, λ – удельная теплота плавления свинца, равная $25 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Приравняем (3) и (4), тогда получим:

$$\alpha Q=cm(t_{\text{п}} - t_0)+\lambda\Delta m$$

Также, учитывая (2), это уравнение примет вид:

$$0,5\alpha m(v_{20} - v_2)=cm(t_{\text{п}} - t_0)+\lambda\Delta m$$

Обе части поделим на величину m :

$$0,5\alpha(v_{20} - v_2)=c(t_{\text{п}} - t_0)+\lambda\Delta m$$

Учитывая формулу (1), имеем:

$$0,5\alpha(v_{20} - v_2)=c(t_{\text{п}} - t_0)+\lambda\beta$$

В итоге, решение задачи в общем виде следующее:

$$\beta=0,5\alpha(v_{20} - v_2) - c(t_{\text{п}} - t_0)\lambda$$

Подставив все величины в последнюю формулу (величину α подставляем в долях единицы), посчитаем ответ:

$$\beta=0,5\cdot0,5\cdot(4302 - 2002) - 130\cdot(327 - 50)25\cdot10^3=8,6\cdot10 - 3=0,86\%$$

Ответ: 0,86%.

Задача 13

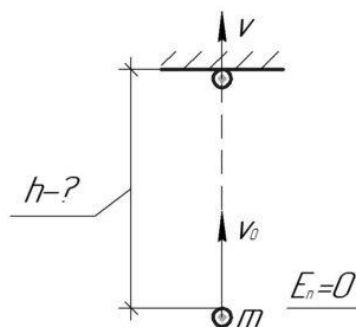
Условие задачи:

При выстреле вертикально вверх свинцовая пуля ударила о неупругое тело и расплавилась. На какой высоте произошло это столкновение, если начальная скорость пули 510 м/с , а температура 27°C . 50% выделившейся теплоты пошло на нагревание.

Дано:

$v_0=510 \text{ м/с}$, $t_0=27^\circ\text{C}$, $\alpha=50\%$, $h=?$

Решение задачи:



Выберем нуль потенциальной энергии на уровне начального положения пули.

Начальная кинетическая энергия пули $E_{к0}$ перейдёт на высоте h (то есть перед ударом) в потенциальную энергию $E_{п}$ и кинетическую энергию $E_{к}$. В момент удара о неупругое тело кинетическая энергия $E_{к}$ перейдёт в теплоту Q , часть которой увеличивает внутреннюю энергию пули (из-за этого она и плавится).

Запишем закон сохранения энергии для двух описанных случаев:

$$\{E_{к0}=E_{п}+E_{к}E_{к}=Q$$

Очевидно, что два этих уравнения можно записать в виде одного:

$$E_{к0}=E_{п}+Q(1)$$

Обратите внимание, что Q – это полное выделившееся количество теплоты. По условию лишь 50% (α часть) выделившейся теплоты пошло на нагревание пули, поэтому справедливо:

$$Q_1=\alpha Q(2)$$

С другой стороны, чтобы расплавить пулю, её необходимо сначала нагреть до температуры плавления ($t_{п}=327^{\circ}\text{C}$). Поэтому количество теплоты Q_1 также можно выразить следующим способом:

$$Q_1=cm(t_{п}-t_0)+\lambda m(3)$$

Здесь c – удельная теплоёмкость свинца, равная $130 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$, λ – удельная теплота плавления свинца, равная $25 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Приравняем (2) и (3) и выразим Q :

$$\alpha Q=cm(t_{п}-t_0)+\lambda m$$

$$Q=m\alpha(c(t_{п}-t_0)+\lambda)$$

Получившееся выражение для количества теплоты Q подставим в (1), также в равенстве (1) распишем начальную кинетическую энергию пули $E_{к0}$ и потенциальную энергию $E_{п}$ по известным формулам, тогда получим:

$$mv_{202}=mgh+m\alpha(c(t_{п}-t_0)+\lambda)$$

Обе части сократим на массу пули m :

$$0,5v_{20}=gh+1\alpha(c(t_{п}-t_0)+\lambda)$$

Осталось только выразить высоту h :

$$h=1g(0,5v_{20}-1\alpha(c(t_{п}-t_0)+\lambda))$$

Посчитаем ответ, подставив значения всех величин в последнюю формулу (величины, данные в процентах, следует подставлять в долях единицы):

$$h=110(0,5\cdot 5102-10,5(130\cdot(327-27)+25\cdot 103))=205\text{м}$$

Ответ: 205 м.

Задача 14

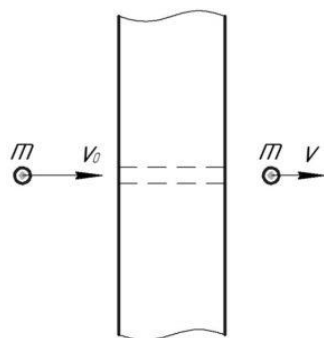
Условие задачи:

Свинцовая пуля пробивает доску, при этом её скорость падает с 400 до 200 м/с. Какая часть пули расплавится? Нагреванием доски пренебречь. Начальная температура пули 27°C .

Дано:

$$v_0=400 \text{ м/с}, v=200 \text{ м/с}, t_0=27^{\circ}\text{C}, \alpha=?$$

Решение задачи:



Согласно закону сохранения энергии, количество теплоты Q , выделившееся при пробивании доски пулей, равно изменению кинетической энергии пули, поэтому верно записать:

$$Q = mv_{20}^2 - mv_2^2$$

$$Q = 0,5m(v_{20}^2 - v_2^2) \quad (1)$$

Пусть m – полная масса пули, а Δm – масса расплавившейся части пули. Величину α тогда следует искать по формуле:

$$\alpha = \Delta m m \quad (2)$$

Чтобы расплавить часть пули массой Δm , необходимо сначала всю пулю массой m нагреть до температуры плавления ($t_{\text{п}} = 327^\circ\text{C}$). Учитывая, что нагреванием доски можно пренебречь, количество теплоты Q также можно выразить следующим образом:

$$Q = cm(t_{\text{п}} - t_0) + \lambda \Delta m \quad (3)$$

Удельная теплоёмкость свинца c равна $130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления свинца λ равна $25 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Приравняем (1) и (3), тогда получим:

$$0,5m(v_{20}^2 - v_2^2) = cm(t_{\text{п}} - t_0) + \lambda \Delta m$$

Теперь поделим обе части уравнения на массу пули m :

$$0,5(v_{20}^2 - v_2^2) = c(t_{\text{п}} - t_0) + \lambda \Delta m m$$

Учитывая, что $\alpha = \Delta m m$ (смотрите формулу (2)), имеем:

$$0,5(v_{20}^2 - v_2^2) = c(t_{\text{п}} - t_0) + \lambda \alpha$$

Осталось только выразить величину α :

$$\alpha = 0,5(v_{20}^2 - v_2^2) - c(t_{\text{п}} - t_0) \lambda$$

Произведём вычисления:

$$\alpha = 0,5 \cdot (4002^2 - 2002^2) - 130 \cdot (327 - 27) 25 \cdot 103 = 0,84$$

Ответ: 0,84.

Задача 15

Условие задачи:

Железный метеорит влетает в атмосферу Земли со скоростью $1,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$, имея температуру 300°K . Если 80% кинетической энергии метеорита при движении в атмосфере переходит в его внутреннюю энергию, то какая часть массы метеорита расплавится.

Дано:

$$v = 1,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}, T = 300^\circ\text{K}, \alpha = 80\%, \beta = ?$$

Решение задачи:

Если 80% (α часть) кинетической энергии E_k метеорита при движении в атмосфере переходит в его внутреннюю энергию (в виде количества теплоты Q), то верно записать:

$$Q = \alpha E_k$$

Кинетическую энергию E_k легко определить по формуле: $E_k = mv_{22}$

Тогда:

$$Q = \alpha mv_{22} \quad (1)$$

С другой стороны, количество теплоты Q можно выразить так:

$$Q = cm(T_{\text{п}} - T) + \lambda \Delta m \quad (2)$$

Здесь c – удельная теплоёмкость железа, равная 460 Дж/(кг·К), $T_{\text{п}}$ – температура плавления железа, равная 1673 °К (или 1400 °С), λ – удельная теплота плавления железа, равная 270 кДж/кг.

Приравняем выражения (1) и (2):

$$\alpha mv_{22} = cm(T_{\text{п}} - T) + \lambda \Delta m$$

Обе части равенства поделим на массу метеорита m , тогда:

$$0,5\alpha v_2 = c(T_{\text{п}} - T) + \lambda \Delta m$$

Отношение Δm (массы расплавившейся части метеорита) и m (полной массы метеорита) есть искомая величина β , поэтому:

$$0,5\alpha v_2 = c(T_{\text{п}} - T) + \lambda \beta$$

В итоге получим:

$$\beta = 0,5\alpha v_2 - c(T_{\text{п}} - T) / \lambda$$

Подставим все величины в формулу (α – в долях единицы!) и посчитаем численный ответ задачи:

$$\beta = 0,5 \cdot 0,8 \cdot (1,5 \cdot 10^3)^2 - 460 \cdot (1673 - 300) / 270 \cdot 10^3 = 0,994$$

Полученное число очень близко к единице, значит метеорит практически полностью расплавится.

Ответ: 0,994.

Задача 16

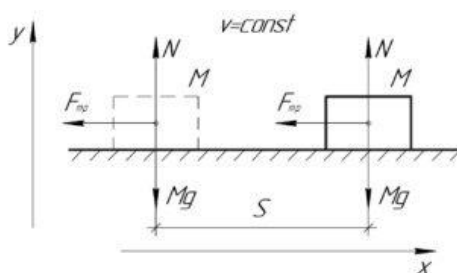
Условие задачи:

Сани массы 300 кг равномерно движутся по горизонтальной снежной поверхности. Температура снега равна 0 °С, коэффициент трения полозьев саней о снег равен 0,033. Сколько снега расплавится под полозьями саней на пути в 1 км, если всё количество теплоты от трения идёт на плавление снега?

Дано:

$M = 300$ кг, $t_0 = 0$ °С, $\mu = 0,033$, $S = 1$ км, $m = ?$

Решение задачи:



Количество теплоты Q , необходимое для плавления снега искомой массы m , равно модулю работы силы трения скольжения $A_{\text{тр}}$, действующей на сани.

$$Q = |A_{\text{тр}}| \quad (1)$$

Понятно, что указанное количество теплоты Q можно определить по формуле:

$$Q = \lambda m \quad (2)$$

Здесь λ – удельная теплота плавления снега, равная 330 кДж/кг.

Модуль (то есть абсолютную величину) работы силы трения скольжения найдём по формуле: |

$$|A_{\text{тр}}| = F_{\text{тр}} S$$

Саму силу трения скольжения найдём следующим образом ($N = Mg$ по первому закону Ньютона в проекции на ось y):

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg$$

Тогда:

$$|A_{\text{тр}}| = \mu MgS \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в равенство (1): $\lambda m = \mu MgS$

$$m = \mu MgS / \lambda$$

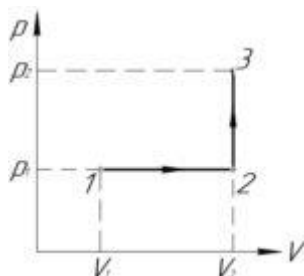
Задача решена в общем виде, теперь посчитаем численный ответ:

$$m = 0,033 \cdot 300 \cdot 10 \cdot 103330 / 103 = 0,3 \text{ кг}$$

Ответ: 0,3 кг.

Задача 17

Условие задачи:

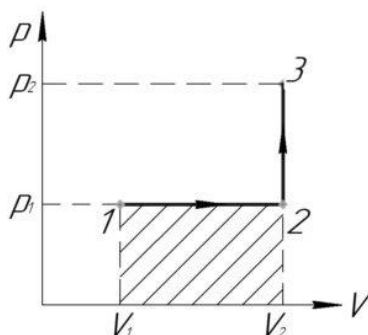


$V_1 = 2$ л, $V_2 = 3$ л, $p_1 = 400$ кПа. Найти работу газа, совершенную в процессе 1-2-3 (схема к задаче приведена справа).

Дано:

$V_1 = 2$ л, $V_2 = 3$ л, $p_1 = 400$ кПа, $p_2 = 600$ кПа, $A = ?$

Решение задачи:



Работа газа A , совершенная в процессе 1-2-3, равна сумме работ газа в процессах 1-2 и 2-3.

$$A = A_{1-2} + A_{2-3} \quad (1)$$

Процесс 1-2 – изобарный, поэтому работу газа A_{1-2} в этом процессе следует искать по такой формуле (численно работа равна площади фигуры под графиком процесса, на схеме к решению – заштриховано):

$$A_{1-2} = p_1(V_2 - V_1)$$

Процесс 2-3 – изохорный, работа газа A_{2-3} в этом процессе равна нулю, так как газ не изменяет своего объема (площадь фигуры под графиком этого процесса в координатах p - V также равна нулю).

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

В итоге формула (1) примет такой вид:

$$A = p_1(V_2 - V_1)$$

Переведем объемы газа V_1 и V_2 в систему СИ: $2\text{ л} = 2 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$

$$3\text{ л} = 3 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$$

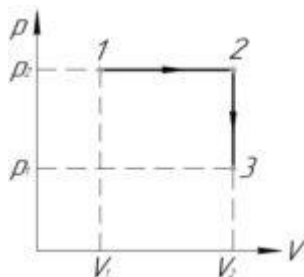
Посчитаем ответ:

$$A = 400 \cdot 10^3 \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) = 400\text{ Дж}$$

Ответ: 400 Дж.

Задача 18

Условие задачи:

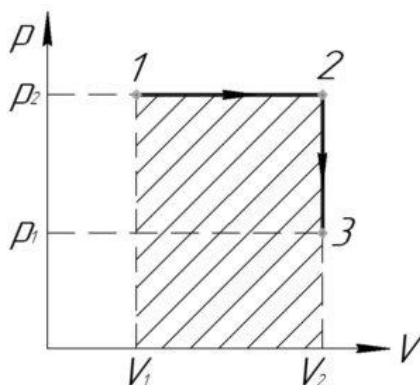


$V_1 = 1,5\text{ л}$, $V_2 = 3,5\text{ л}$, $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$, $p_2 = 5 \cdot 10^5\text{ Па}$. Найти работу газа в процессе 1-2-3 (схема, приведённая к условию задачи, приведена справа).

Дано:

$V_1 = 1,5\text{ л}$, $V_2 = 3,5\text{ л}$, $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$, $p_2 = 5 \cdot 10^5\text{ Па}$, $A = ?$

Решение задачи:



Работа газа A в процессе 1-2-3 равна сумме работ газа в процессах 1-2 и 2-3, поэтому верно записать:

$$A = A_{1-2} + A_{2-3}$$

Процесс 1-2 является изобарным, то есть происходящим под постоянным давлением. Известно, что работу газа $A_1 - 2$ в таком процессе можно определить так:

$$A_1 - 2 = p_2(V_2 - V_1)$$

Кстати, работа газа $A_1 - 2$ численно равна площади фигуры под графиком процесса, на схеме к решению она показана заштрихованной.

Процесс 2-3 проходит при неизменном объеме, то есть он является изохорным. Работа газа $A_2 - 3$ равна нулю, поскольку газ не меняет своего объема. Также на схеме видно, что и площадь фигуры под графиком процесса 2-3 также равна нулю.

$$A_2 - 3 = 0$$

С учётом вышесказанного имеем:

$$A = p_2(V_2 - V_1)$$

Переведём объёмы V_1 и V_2 в систему СИ: $1,5 \text{ л} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

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

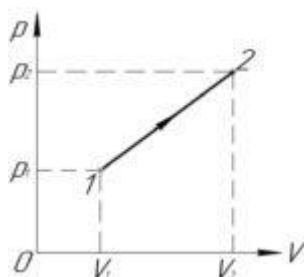
Произведём расчёт численного ответа задачи:

$$A = 5 \cdot 10^5 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}) = 1000 \text{ Дж}$$

Ответ: 1000 Дж.

Задача 19

Условие задачи:

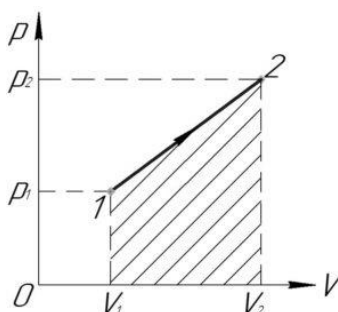


$V_1 = 1 \text{ л}$, $V_2 = 2 \text{ л}$, $p_1 = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $p_2 = 10^5 \text{ Па}$. Найти работу газа в процессе 1-2 (схема, приведённая к условию задачи, показана справа).

Дано:

$V_1 = 1 \text{ л}$, $V_2 = 2 \text{ л}$, $p_1 = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $p_2 = 10^5 \text{ Па}$, $A = ?$

Решение задачи:



Чтобы найти работу газа A в процессе 1-2, необходимо знать тот факт, что работа газа равна численно площади фигуры под графиком процесса, изображенного в координатах p - V (на схеме к решению задачи — заштрихована).

Причём если газ расширяется, то работа имеет положительное значение (как в нашем случае), иначе – отрицательное.

Фигура под графиком указанного процесса является трапецией, её площадь нужно находить как произведение полусуммы оснований на высоту, поэтому:

$$A = (p_1 + p_2) \cdot (V_2 - V_1)$$

Переведём объёмы газа V_1 и V_2 , приведённые в литрах, в систему СИ:

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

$$2\text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Посчитаем ответ к задаче:

$$A = (0,6 \cdot 10^5 + 10^5) \cdot (2 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}) = 80 \text{ Дж}$$

Ответ: 80 Дж.

Задача 20

Условие задачи:

Укажите, в каком из случаев работу внешних сил по изменению состояния идеального газа (из состояния 1 в состояние 2) можно вычислять по формуле $A = -p(V_2 - V_1)$, где p – давление, V – объём газа.

Решение задачи:

Во время чтения условия задачи нужно обратить внимание на тот факт, что идёт речь о работе внешних сил, а не о работе газа! Как известно, работа газа $A_{\text{г}}$ и работа внешних сил A связаны соотношением: $A_{\text{г}} = -A$

Если по условию работа внешних сил определяется по формуле $A = -p(V_2 - V_1)$, то работу газа можно найти так:

$$A_{\text{г}} = p(V_2 - V_1)$$

Полученная формула совпадает с формулой нахождения работы газа при изобарном расширении (если $V_2 > V_1$).

Ответ: изобарное расширение газа.

Самостоятельная работа по теме

«Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при изменении объема»

Задача 1

Условие задачи:

Какова температура одноатомного идеального газа, если известно, что внутренняя энергия 2 моль составляет 54,2 кДж.

Дано:

$$\nu = 2 \text{ моль}, U = 54,2 \text{ кДж}, T = ?$$

Решение задачи:

Внутреннюю энергию одноатомного идеального газа U можно определить по формуле:

$$U = 3\nu RT$$

У частицы одноатомного газа имеется 3 степени свободы, поэтому в формуле фигурирует цифра 3. Также в этой формуле R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К).

Выразим из формулы (1) искомую температуру газа T :

$$T=2U_{3v}R$$

Посчитаем ответ:

$$T=2 \cdot 54,2 \cdot 1033 \cdot 2 \cdot 8,31 = 2174,1 \text{ } ^\circ\text{K} = 1901,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: 1901,1 °C.

Задача 2

Условие задачи:

На сколько увеличится внутренняя энергия 1,5 моль гелия при нагревании на 40 °K?

Дано:

$$\nu=1,5 \text{ моль, } \Delta T=40 \text{ } ^\circ\text{K, } \Delta U=?$$

Решение задачи:

Гелий (He) является одноатомным газом, изменение внутренней энергии ΔU идеального одноатомного газа при увеличении температуры можно определить по формуле:

$$\Delta U=3\nu R \Delta T$$

В этой формуле R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·°K).

Как видно, приведенной формулы достаточно, чтобы получить ответ к вопросу задачи.

Посчитаем ответ:

$$\Delta U=32 \cdot 1,5 \cdot 8,31 \cdot 40 = 747,9 \text{ Дж}$$

Ответ: 747,9 Дж.

Задача 3

Условие задачи:

Газ, занимающий объем 6,6 л, расширяется при постоянном давлении 515 кПа до объема 33 л. Какая работа совершается газом?

Дано:

$$V_1=6,6 \text{ л, } p=515 \text{ кПа, } V_2=33 \text{ л, } A=?$$

Решение задачи:

Согласно условию, газ расширяется при постоянном давлении p от объема V_1 до объема V_2 , то есть имеет место изобарное расширение газа. Работу газа A в таком случае можно определить так:

$$A=p(V_2 - V_1)$$

Переведём объёмы газа V_1 и V_2 в систему СИ (из литров в кубические метры):

$$6,6 \text{ л} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$33 \text{ л} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Произведём расчёт численного ответа:

$$A=515 \cdot 103 \cdot (33 \cdot 10^{-3} - 6,6 \cdot 10^{-3}) = 13596 \text{ Дж}$$

Ответ: 13596 Дж.

Задача 4

Условие задачи:

При сжатии газа внешними силами была совершена работа 12 кДж. Какую работу при этом совершил газ?

Дано:

$$A_{\text{вн}} = 12 \text{ кДж}, A = ?$$

Решение задачи:

Работа газа A и работа внешних сил $A_{\text{вн}}$ связаны очень простым соотношением:

$$A = -A_{\text{вн}}$$

То есть работа газа A и работа внешних сил $A_{\text{вн}}$ равны по величине, но противоположны по знаку. Поэтому:

$$A = -12 \text{ кДж}$$

Ответ: -12 кДж.

Задача 5**Условие задачи:**

Газ, занимающий объем 460 л при температуре 280 °К, нагрели до 295 °К. Найти работу, совершенную газом, если давление не менялось и было равно 999 кПа.

Дано:

$$V_1 = 460 \text{ л}, T_1 = 280 \text{ К}, T_2 = 295 \text{ °К}, p = 999 \text{ кПа}, A = ?$$

Решение задачи:

Давление газа не менялось, значит был совершен изобарный процесс ($p = \text{const}$). Причём из условия понятно, что газ нагревают, значит его объем увеличится, поэтому, если быть точнее, происходило изобарное расширение. Работу газа A в таком случае можно найти по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1) \quad (1)$$

Конечный объем газа V_2 неизвестен, но его можно выразить из закона Гей-Люссака:

$$V_1 T_1 = V_2 T_2$$

$$V_2 = V_1 T_2 T_1^{-1} \quad (2)$$

Подставим выражение (2) в формулу (1):

$$A = p(V_1 T_2 T_1^{-1} - V_1)$$

$$A = p V_1 (T_2 T_1^{-1} - 1)$$

Задача решена в общем виде.

Теперь переведем начальный объем газа V_1 в систему СИ:

$$460 \text{ л} = 0,46 \text{ м}^3$$

Посчитаем ответ:

$$A = 999 \cdot 103 \cdot 0,46 \cdot (295/280 - 1) = 24618,2 \text{ Дж} \approx 24,6 \text{ кДж}$$

Ответ: 24,6 кДж.

Задача 6**Условие задачи:**

Углекислый газ массой 220 г имеет температуру 290 °К. Определить работу газа при изобарном расширении от объема 2,4 до 7,2 дм³.

Дано:

$m=220 \text{ г}$, $T=290 \text{ °К}$, $V_1=2,4 \text{ дм}^3$, $V_2=7,2 \text{ дм}^3$, $A=?$

Решение задачи:

Работу газа A при изобарном расширении определяют по формуле:

$$A=p(V_2 - V_1)(1)$$

Мы не знаем давление газа p , но его можно выразить, если записать уравнение Клапейрона-Менделеева для начального состояния (температура T указана именно для этого состояния, хотя это и не совсем понятно из условия):

$$pV_1=mMRT$$

Здесь M – молярная масса углекислого газа, равная 44 г/моль или $0,044 \text{ кг/моль}$, R – универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

Из уравнения выразим неизвестное давление p и подставим в формулу (1):

$$p=mRTMV_1$$
$$A=mRTMV_1(V_2 - V_1)$$

Задача решена. Переведём значения массы газа и его объемов в систему СИ:

$$220\text{г}=0,22\text{кг}$$
$$2,4\text{дм}^3=2,4 \cdot 10^{-3}\text{м}^3$$
$$7,2\text{дм}^3=7,2 \cdot 10^{-3}\text{м}^3$$

Произведём расчет ответа:

$$A=0,22 \cdot 8,31 \cdot 290 \cdot 0,044 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3} - 2,4 \cdot 10^{-3}) = 24099 \text{ Дж}$$

Ответ: 24099 Дж.

Задача 7

Условие задачи:

Определить работу, которую совершает газ при изобарном нагревании на 50 °С , если он занимал при 17 °С и давлении 10^5 Па объем $0,75 \text{ м}^3$.

Дано:

$\Delta t=50 \text{ °С}$, $t_1=17 \text{ °С}$, $p=10^5 \text{ Па}$, $V_1=0,75 \text{ м}^3$, $A=?$

Решение задачи:

Работу газа A при изобарном нагревании (расширении) определяют по формуле:

$$A=p(V_2 - V_1)$$

Раскроем скобки, тогда:

$$A=pV_2 - pV_1(1)$$

Теперь запишем дважды уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{pV_1=\nu RT_1(2) pV_2=\nu RT_2$$

Учитывая эти два уравнения системы, формула (1) примет вид:

$$A=\nu RT_2 - \nu RT_1$$

$$A=\nu R(T_2 - T_1)$$

Разность конечной T_2 и начальной T_1 температур есть изменение температуры ΔT , поэтому:

$$A=\nu R\Delta T(3)$$

Отлично, осталось только выразить неизвестное количество вещества ν из уравнения (2) и подставить его в формулу (3):

$$\nu = \frac{pV_1}{RT_1}$$

$$A = pV_1 \frac{RT_1}{RT_1} R \Delta T = pV_1 \Delta T$$

Мы решили задачу в общем виде. Перед расчётом ответа нужно начальную температуру газа t_1 перевести в Кельвины, то есть в единицы системы СИ. Интересно, но величина изменения температуры Δt в различных шкалах одинакова.

$$17^\circ\text{C} = 290^\circ\text{K}$$

Численно работа газа A равна:

$$A = 105 \cdot 0,75 \cdot 50290 = 12931 \text{ Дж} \approx 13 \text{ кДж}$$

Ответ: 13 кДж.

Задача 8

Условие задачи:

Газ был нагрет изобарно от 285 до 360°K . Какую работу совершил при этом газ, если его начальное давление $0,19$ МПа, а начальный объем 6 м^3 ?

Дано:

$$T_1 = 285^\circ\text{K}, T_2 = 360^\circ\text{K}, p = 0,19 \text{ МПа}, V_1 = 6 \text{ м}^3, A = ?$$

Решение задачи:

Газ нагревался изобарно ($p = \text{const}$), а значит его объем увеличивался. Поэтому, если быть точнее, происходило изобарное расширение газа. Работу газа A в таком случае можно найти по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1)$$

Раскроем скобки в этой формуле:

$$A = pV_2 - pV_1 \quad (1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$pV_1 = \nu RT_1 \quad (2) \quad pV_2 = \nu RT_2$$

С учётом этих двух уравнений, формула (1) преобразуется в такой вид:

$$A = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Количество вещества ν выразим из уравнения (2):

$$\nu = \frac{pV_1}{RT_1}$$

Полученное выражение подставим в формулу (3), так мы получим окончательное решение задачи в общем виде:

$$A = pV_1 \frac{R}{RT_1} (T_2 - T_1)$$

$$A = pV_1 (T_2/T_1 - 1)$$

Численное значение работы газа A равно:

$$A = 0,19 \cdot 106 \cdot 6 \cdot (360/285 - 1) = 300000 \text{ Дж} = 0,3 \text{ МДж}$$

Ответ: 0,3 МДж.

Задача 9

Условие задачи:

На сколько изменится внутренняя энергия восьми молей идеального одноатомного газа при изобарном нагревании от 350 до 380°K ?

Дано:

$\nu=8$ моль, $T_1=350$ °К, $T_2=380$ °К, $p=\text{const}$, $\Delta U=?$

Решение задачи:

Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры. Получается, если Вы знаете как меняется температура, то Вам совершенно неважно, какой производился процесс. Изменение внутренней энергии ΔU идеального одноатомного газа можно находить по формуле:

$$\Delta U = 32\nu R \Delta T$$

Или так, что одно и то же:

$$\Delta U = 32\nu R (T_2 - T_1)$$

Произведём вычисления (универсальная газовая постоянная R равна $8,31$ Дж/(моль·°К)):

$$\Delta U = 32 \cdot 8 \cdot 8,31 \cdot (380 - 350) = 2991,6 \text{ Дж}$$

Ответ: 2991,6 Дж.

Задача 10

Условие задачи:

Вычислить работу, которую совершают 2 моля идеального газа при изобарном нагревании на 1 °К.

Дано:

$\nu=2$ моль, $\Delta T=1$ °К, $p=\text{const}$, $A=?$

Решение задачи:

При изобарном нагревании ($p=\text{const}$) газа его объем увеличивается. Работу газа при изобарном расширении определяют по такой формуле:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1 \quad (1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{ pV_1 = \nu RT_1 \quad pV_2 = \nu RT_2$$

Универсальная газовая постоянная R равна $8,31$ Дж/(моль·К).

Тогда формулу (1) можно переписать в следующем виде:

$$A = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R (T_2 - T_1)$$

Или, что то же самое:

$$A = \nu R \Delta T$$

Произведём расчёт численного ответа:

$$A = 2 \cdot 8,31 \cdot 1 = 16,62 \text{ Дж}$$

Ответ: 16,62 Дж.

Задача 11

Условие задачи:

На сколько изменится давление идеального одноатомного газа, если его внутреннюю энергию увеличить на 78 Дж? Газ находится в баллоне емкостью $4,3$ л.

Дано:

$\Delta U=78$ Дж, $V=4,3$ л, $\Delta p=?$

Решение задачи:

Изменение внутренней энергии газа ΔU определяется по формуле:

$$\Delta U = 32\nu R \Delta T \quad (1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа, принимая во внимание тот факт, что был произведён изохорный процесс ($V = \text{const}$):

$$\{p_1 V = \nu R T_1 \quad p_2 V = \nu R T_2$$

От нижнего уравнения отнимем верхнее, тогда:

$$(p_2 - p_1) V = \nu R (T_2 - T_1)$$

$$\Delta p V = \nu R \Delta T$$

Тогда формула (1) примет такой вид:

$$\Delta U = 32 \Delta p V$$

Осталось только выразить искомое изменение давления Δp :

$$\Delta p = 2 \Delta U / 3V$$

Задача решена в общем виде. Переведём объем баллона в систему СИ:

$$4,3 \text{ л} = 0,0043 \text{ м}^3$$

Посчитаем численный ответ:

$$\Delta p = 2 \cdot 783 \cdot 0,0043 = 12093 \text{ Па}$$

Ответ: 12093 Па.

Задача 11

Условие задачи:

Во сколько раз изменится внутренняя энергия идеального газа, если его давление и абсолютная температура увеличатся в 2 раза?

Дано:

$$p_2 = 2p_1, \quad T_2 = 2T_1, \quad U_2/U_1 = ?$$

Решение задачи:

Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры и определяет число степеней свободы (для одноатомного газа, например, равное 3), ν – количество вещества, R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К), T – абсолютная температура газа.

Таким образом, искомое отношение U_2/U_1 равно:

$$U_2/U_1 = i_2 \nu R T_2 / i_2 \nu R T_1 = T_2/T_1$$

По условию абсолютная температура увеличится в 2 раза ($T_2 = 2T_1$), поэтому:

$$U_2/U_1 = 2T_1/T_1 = 2$$

Ответ: увеличится в 2 раза.

Задача 12

Условие задачи:

Внутренняя энергия одноатомного газа массой m при температуре T равна U . Сколько молекул содержит эта масса газа?

Дано:

$$m, T, U, N = ?$$

Решение задачи:

Внутреннюю энергию идеального одноатомного газа U определяют по формуле:

$$U = 3\nu RT \quad (1)$$

Здесь ν – количество вещества, которое можно определить как отношение общего числа молекул N к числу Авогадро N_A :

$$\nu = N/N_A$$

Тогда формула (1) станет такой:

$$U = 3N N_A R T$$

Выразим искомое число молекул N :

$$N = 2U / (N_A R T)$$

Известно, что произведение постоянной Больцмана k на число Авогадро N_A равно универсальной газовой постоянной R , поэтому:

$$R = k N_A \Rightarrow N A R = 1 k$$

В конце концов имеем:

$$N = 2U / (3kT)$$

Ответ: $N = 2U / (3kT)$.

Задача 13

Условие задачи:

На сколько градусов надо нагреть газ, чтобы его объем увеличился вдвое по сравнению с объемом при 0°C ?

Дано:

$$t_1 = 0^\circ\text{C}, V_2 = 2V_1, \Delta T = ?$$

Решение задачи:

Автор задачи подразумевает, что над газом производят изобарный процесс ($p = \text{const}$). Это далеко не очевидно, но не зная этого, решить задачу не получится. Запишем закон Гей-Люссака:

$$V_1 T_1 = V_2 T_2$$

Тогда конечная температура газа T_2 равна:

$$T_2 = T_1 V_2 / V_1$$

По условию объем газа увеличивается вдвое ($V_2 = 2V_1$), поэтому:

$$T_2 = T_1 V_2 / V_1 = 2T_1$$

Изменение температуры газа ΔT равно:

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2T_1 - T_1 = T_1$$

Получается, что искомое изменение температуры ΔT равно начальной температуре газа, выраженной в Кельвинах (и только в них, поскольку результат был получен из закона Гей-Люссака, в котором температура фигурирует в абсолютной шкале).

Переведем температуру T_1 в абсолютную шкалу температур:

$$0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 273^\circ\text{K} = 273^\circ\text{C}$$

Изменение температуры одинаково, что выражена в Кельвинах, что и в градусах Цельсия.

Ответ: 273°C .

Задача 14

Условие задачи:

Один моль газа, имевший начальную температуру 300 °К, изобарно расширился, совершив работу 1250 Дж. Во сколько раз при этом увеличился объем газа?

Дано:

$\nu=1$ моль, $T_1=300$ °К, $p=\text{const}$, $A=1250$ Дж, $V_2/V_1=?$

Решение задачи:

Работу газа A при изобарном расширении можно определить по формуле:

$$A=p(V_2-V_1)=pV_2-pV_1(1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для двух состояний газа – начального и конечного:

$$\{pV_1=\nu RT_1 \quad pV_2=\nu RT_2$$

Тогда формулу (1) можно переписать в виде:

$$A=\nu RT_2 - \nu RT_1=\nu R(T_2-T_1)$$

При изобарном расширении газа его температура увеличивается, то есть $T_2>T_1$. Пусть ΔT – это величина изменения абсолютной температуры газа, тогда:

$$A=\nu R\Delta T$$

Выразим это изменение температуры ΔT , оно нам понадобится далее:

$$\Delta T=A/\nu R(2)$$

Запишем закон Гей-Люссака, поскольку в задаче идёт речь об изобарном процессе ($p=\text{const}$):

$$V_1T_1=V_2T_2$$

Тогда искомое отношение объемов V_2/V_1 равно:

$$V_2/V_1=T_2/T_1$$

Очевидно, что $T_2=T_1+\Delta T$, поэтому:

$$V_2/V_1=T_1+\Delta T/T_1=1+\Delta T/T_1$$

Подставим в последнюю формулу ранее полученное выражение (2):

$$V_2/V_1=1+A/\nu RT_1$$

Считаем ответ:

$$V_2/V_1=1+1250/1 \cdot 8,31 \cdot 300=1,5$$

Ответ: 1,5.

Задача 15

Условие задачи:

19 м³ воздуха имеют температуру 50 °С. Какую работу совершит воздух, расширяясь изобарно при давлении 200 кПа, если его нагреть на 17 °С?

Дано:

$V_1=19$ м³, $t_1=50$ °С, $p=\text{const}$, $p=200$ кПа, $\Delta t=17$ °С, $A=?$

Решение задачи:

Работу газа A при изобарном расширении можно определить по формуле:

$$A=p(V_2-V_1)(1)$$

Запишем два раза уравнение Клапейрона-Менделеева – для начального и конечного состояния газа:

$$\{pV_1 = \nu RT_1, pV_2 = \nu R(T_1 + \Delta T)\}$$

Поделим нижнее уравнение системы на верхнее:

$$V_2 V_1 = T_1 + \Delta T T_1$$

$$V_2 V_1 = 1 + \Delta T T_1$$

Откуда выразим конечный объем газа V_2 :

$$V_2 = V_1(1 + \Delta T T_1)$$

Подставим полученное выражение в формулу (1), тогда:

$$A = p(V_1(1 + \Delta T T_1) - V_1) = p(V_1 + V_1 \Delta T T_1 - V_1)$$

В итоге получим такое решение задачи:

$$A = pV_1 \Delta T T_1$$

Переведём начальную температуру t_1 из градусов Цельсия в Кельвины:

$$50\text{ }^\circ\text{C} = 323\text{ }^\circ\text{K}$$

Изменение температуры в разных шкалах равно одной и той же численной величине, поэтому её переводить не нужно.

Посчитаем ответ к задаче:

$$A = 200 \cdot 103 \cdot 19 \cdot 17323 = 200000 \text{ Дж} = 0,2 \text{ МДж}$$

Ответ: 0,2 МДж.

Задача 16

Условие задачи:

Объем 120 г кислорода при изобарном нагревании увеличился в два раза. Определите работу при расширении. Начальная температура 292 °К.

Дано:

$$m = 120 \text{ г}, p = \text{const}, V_2 = 2V_1, T_1 = 292\text{ }^\circ\text{K}, A = ?$$

Решение задачи:

Работу при изобарном расширении газа A определяют по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1)$$

По условию задачи объем кислорода увеличился в два раза, то есть $V_2 = 2V_1$, поэтому:

$$A = p(2V_1 - V_1) = pV_1(1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального состояния газа:

$$pV_1 = mMR T_1$$

Молярная масса кислорода M (химическая формула O_2) равна 0,032 кг/моль (32 г/моль).

С учетом этого уравнения формула (1) примет вид:

$$A = mMR T_1$$

Мы решили задачу в общем виде. Переведём массу кислорода в систему СИ и посчитаем численный ответ:

$$120 \text{ г} = 0,12 \text{ кг}$$

$$A = 0,120,032 \cdot 8,31 \cdot 292 = 9099,45 \text{ Дж}$$

Ответ: 9099,45 Дж.

Задача 17

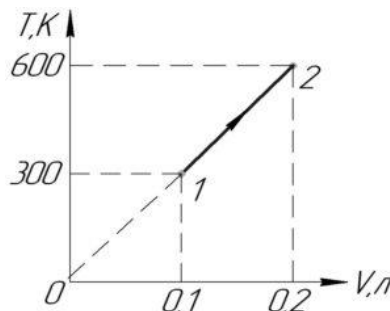
Условие задачи:

На диаграмме T (температура) – V (объем) график процесса представляет собой прямую, соединяющую точки $(300\text{ }^{\circ}\text{K}; 0,1\text{ л})$, $(600\text{ }^{\circ}\text{K}; 0,2\text{ л})$. Определить работу одного моля идеального газа при расширении от 0,1 до 0,2 л.

Дано:

$T_1=300\text{ }^{\circ}\text{K}$, $V_1=0,1\text{ л}$, $T_2=600\text{ }^{\circ}\text{K}$, $V_2=0,2\text{ л}$, $\nu=1\text{ моль}$, $A=?$

Решение задачи:



Легко заметить, что отношение объема газа к температуре всегда остаётся постоянным:

$$V_1 T_1 = V_2 T_2$$

Переведём объемы газа в систему СИ:

$$0,1\text{ л} = 0,1 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$$

$$0,2\text{ л} = 0,2 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$$

Тогда:

$$0,1 \cdot 10^{-3} 300 = 0,2 \cdot 10^{-3} 600 = 3,33 \cdot 10^{-7}$$

Указанное равенство является законом Гей-Люссака, значит процесс 1-2 является изобарным ($p=\text{const}$). Кстати, это также означает, что продолжение графика процесса 1-2 попадёт в начало координат (смотрите схему к решению).

Работу идеального газа при изобарном расширении A находят таким образом:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1 \quad (1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния газа в точках 1 и 2:

$$\{pV_1 = \nu RT_1 \quad pV_2 = \nu RT_2$$

Тогда формула (1) станет такой:

$$A = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R(T_2 - T_1)$$

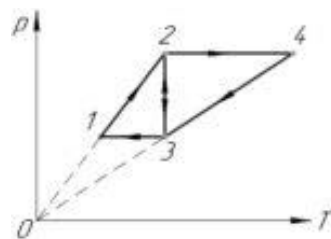
Задача решена в общем виде. Произведём расчёт численного ответа:

$$A = 1 \cdot 8,31 \cdot (600 - 300) = 2493\text{ Дж} = 2,49\text{ кДж}$$

Ответ: 2,49 кДж.

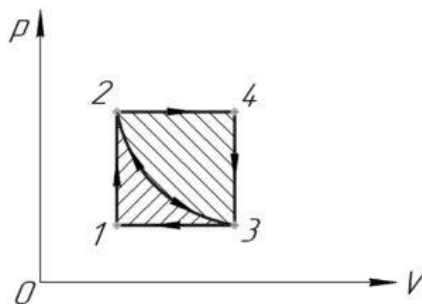
Задача 18

Условие задачи:



Над идеальным газом проводят два замкнутых процесса. Какое соотношение между работами газа в этих процессах верное? (Схема, приведённая к условию задачи, показана справа).

Решение задачи:



Найти соотношение между работами – это значит определить, какая работа больше, а какая – меньше.

Чтобы узнать, в каком из циклов газ совершает большую работу, нужно перестроить эти циклы в координатах p - V . Для этого нужно разобраться с каждым процессом.

Процесс 1-2 – изохорный ($V=\text{const}$), поскольку в координатах p - T он представляет собой прямую, продолжение которой проходит через начало координат. Поэтому $V_1=V_2$. На графике видно, что $p_2>p_1$. Аналогично процесс 4-3 является изохорным, при этом $p_4>p_3$ и $V_4=V_3$.

Процесс 3-1 – изобарный ($p=\text{const}$), так же как и процесс 2-4 (а это значит, что $p_1=p_3$ и $p_2=p_4$). Так как $T_3>T_1$ и $T_4>T_2$, то по закону Гей-Люссака $V_3>V_1$ и $V_4>V_2$.

И, наконец, процесс 2-3 – изотермический ($T=\text{const}$), поэтому $T_2=T_3$, то есть точки 2 и 3 на графике p - V будут лежать на изотерме (гиперболе).

Работа цикла равна численно площади этого цикла в координатах p - V (на схеме к решению заштрихованы – у каждого цикла в разную сторону). Если цикл обходится по часовой стрелке (а у наших двух циклов это так и происходит), то работа газа положительна, в противном случае – отрицательна.

По полученному графику p - V видно, что работа цикла A_{123} меньше, чем работа цикла A_{243} , так как площадь, ограниченная последним циклом, больше. Поэтому:

$$A_{243} > A_{123}$$

Ответ: $A_{243} > A_{123}$.

Задача 19

Условие задачи:

Некоторое количество газа нагревается от температуры 300 до 400 °К. При этом объем газа изменяется пропорционально температуре. Начальный объем газа 3 л.

Дано:

$T_1=300\text{ °K}$, $T_2=400\text{ °K}$, $VT=\text{const}$, $V_1=3\text{ л}$, $p_2=100\text{ кПа}$, $A=?$

Решение задачи:

Если объем газа меняется пропорционально температуре, то есть $VT=\text{const}$, значит над газом производят изобарный процесс. При этом легко прийти к выводу, что давление газа в процессе равно известному конечному давлению p_2 .

Если в изобарном процессе газ нагревается, значит его объем увеличивается. Работу газа A при изобарном расширении определяют по формуле:

$$A=p_2(V_2-V_1)=p_2V_2-p_2V_1(1)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{p_2V_1=vRT_1(2)p_2V_2=vRT_2$$

Принимая во внимание эти два уравнения, формула (1) примет вид:

$$A=vRT_2-vRT_1=vR(T_2-T_1)$$

Неизвестное количество вещества v выразим из уравнения (2):

$$v=p_2V_1RT_1$$

В конце концов получим:

$$A=p_2V_1RT_1R(T_2-T_1)=p_2V_1T_1(T_2-T_1)$$

$$A=p_2V_1(T_2T_1-1)$$

Переведем начальный объем газа V_1 в систему СИ:

$$3\text{ л}=3\cdot 10^{-3}\text{ м}^3$$

Посчитаем ответ:

$$A=100\cdot 10^3\cdot 3\cdot 10^{-3}\cdot (400\cdot 300-1)=100\text{ Дж}=0,1\text{ кДж}$$

Ответ: 0,1 кДж.

Задача 20

Условие задачи:

Газ изобарно увеличился в объеме в три раза при давлении 3000 кПа. Определить первоначальный объем газа, если для увеличения его объема потребовалось совершить работу 12,6 кДж?

Дано:

$p=\text{const}$, $V_2=3V_1$, $p=3000\text{ кПа}$, $A=12,6\text{ кДж}$, $V_1=?$

Решение задачи:

Работу газа при изобарном увеличении объема A определяют по формуле:

$$A=p(V_2-V_1)$$

В условии задачи сказано, что объем газа увеличился в 3 раза, то есть $V_2=3V_1$, тогда:

$$A=p(3V_1-V_1)=2pV_1$$

Откуда искомый начальный объем газа V_1 равен:

$$V_1=A/2p$$

Задача решена в общем виде. Посчитаем численный ответ:

$$V_1 = 12,6 \cdot 1032 \cdot 3000 \cdot 103 = 0,0021 \text{ м}^3 = 2100 \text{ см}^3$$

Ответ: 2100 см³.

Задача 21

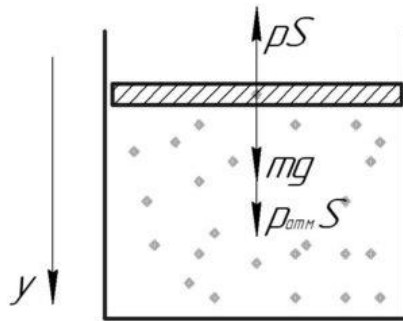
Условие задачи:

В цилиндре находится газ, удерживаемый в объеме 1 м³ силой тяжести поршня и силой атмосферного давления. При нагревании объем газа возрастает в 2 раза, и газ совершает работу 110 кДж. Найти массу поршня, если его площадь 0,005 м². $p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$.

Дано:

$$V_1 = 1 \text{ м}^3, V_2 = 2V_1, A = 110 \text{ кДж}, S = 0,005 \text{ м}^2, p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}, m = ?$$

Решение задачи:



На поршень действуют три силы: сила давления газа pS , сила атмосферного давления $p_{\text{атм}}S$ и сила тяжести mg (смотрите схему). Если газ нагревают медленно, то поршень в каждый момент времени будет находиться в равновесии. Запишем первый закон Ньютона в проекции на ось y :

$$p_{\text{атм}}S + mg = pS$$

Откуда выразим давление газа в цилиндре p :

$$p = p_{\text{атм}} + mgS(1)$$

Видно, что давление газа меняться в течение процесса нагревания не будет, значит мы имеем дело с изобарным процессом ($p = \text{const}$). Если газ нагревать изобарно, то он будет расширяться. Работу газа при изобарном расширении определяют по известной формуле:

$$A = p(V_2 - V_1)$$

Известно, что объем газа увеличивается в 2 раза, то есть $V_2 = 2V_1$. Учитывая ранее полученную формулу (1), имеем:

$$A = (p_{\text{атм}} + mgS)(2V_1 - V_1)$$

$$A = (p_{\text{атм}} + mgS)V_1$$

В этом равенстве известно всё, кроме искомой массы поршня m , поэтому осталось только выразить её, чем мы сейчас и займёмся.

$$p_{\text{атм}} + mgS = AV_1$$

$$mgS = AV_1 - p_{\text{атм}}$$

$$m = Sg(AV_1 - p_{\text{атм}})$$

Произведём расчёт численного ответа задачи:

$$m = 0,00510 \cdot (110 \cdot 1031 - 100 \cdot 103) = 5 \text{ кг}$$

Ответ: 5 кг.

Задача 22

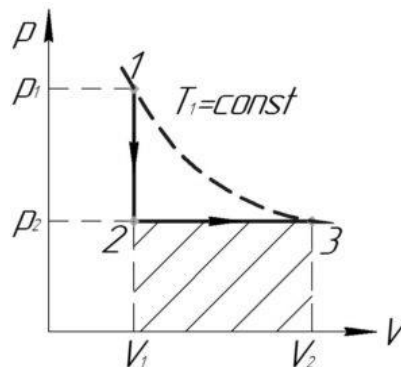
Условие задачи:

Газообразный водород массой 1 кг при начальной температуре 300 °К охлаждают изохорически так, что его давление падает в 3 раза. Затем газ расширяют при постоянном давлении. Найти произведённую газом работу, если в конечном состоянии его температура оказалось равной первоначальной.

Дано:

$m=1$ кг, $T_1=300$ °К, $V=\text{const}$, $p_2=p_3$, $p=\text{const}$, $T_3=T_1$, $A=?$

Решение задачи:



Изобразим произведённые над газом процессы в координатах p - V (смотрите схему к решению).

Процесс 1-2 – изохорный ($V=\text{const}$). Если давление газа в изохорном процессе падает, то по закону Шарля температура газа уменьшается. Работа газа A_{12} в этом процессе равна нулю, поскольку газ не изменяет своего объема. Площадь фигуры под графиком этого процесса, которая численно равна работе газа, также равна нулю.

Процесс 2-3 – изобарный ($p=\text{const}$), работу газа A_{23} в этом процессе можно найти как площадь фигуры под графиком этого процесса (на схеме – заштриховано).

$$A_{23}=p_2(V_2 - V_1)$$

Искомая суммарная работа газа A равна сумме работ газа в процессах 1-2 и 2-3:

$$A=A_{12}+A_{23}$$

Так как $A_{12}=0$, то имеем:

$$A=p_2(V_2-V_1)=p_2V_2-p_2V_1(1)$$

В условии сказано, что конечная температура газа T_3 равна начальной T_1 , то есть эти точки лежат на одной изотерме (разумеется условной). Запишем закон Бойля-Мариотта для точек 1 и 3:

$$p_2V_2=p_1V_1(2)$$

Учитывая, что давление газа p_2 в 3 раза меньше давления p_1 ($p_2=p_1/3$), и равенство (2), формула (1) примет вид:

$$A=A_{23}=p_1V_1-1/3p_1V_1=2/3p_1V_1$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния газа в точке 1:

$$p_1V_1=mMRT_1$$

Молярная масса водорода (химическая формула H_2) равна 2 г/моль (в СИ – 0,002 кг/моль).

Тогда решение задачи получится таким:

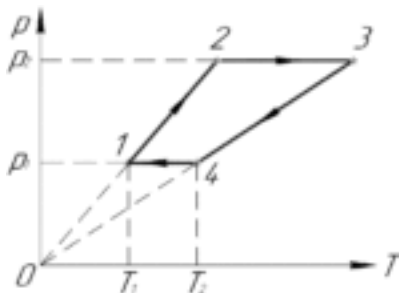
$$A = 23mRT_1$$

Подставим значения величин в эту формулу и посчитаем численный ответ задачи:

$$A = 23 \cdot 10,002 \cdot 8,31 \cdot 300 = 831000 \text{ Дж} = 831 \text{ кДж}$$

Ответ: 831 кДж.

Задача 23

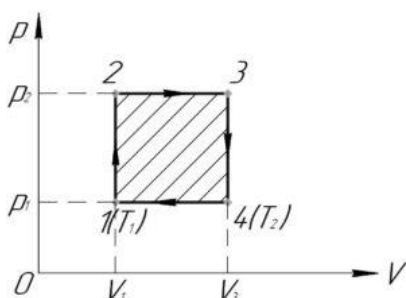


Определите работу, совершаемую одним молем газа за цикл, если $p_2/p_1 = 2$, $T_1 = 280^\circ\text{K}$, $T_2 = 360^\circ\text{K}$ (схема к условию приведена справа).

Дано:

$\nu = 1$ моль, $p_2/p_1 = 2$, $T_1 = 280^\circ\text{K}$, $T_2 = 360^\circ\text{K}$, $A = ?$

Решение задачи:



Приведённый в условии график для нахождения работы газа в цикле A перестроим в координатах p - V . Для этого нужно произвести анализ каждого из процессов.

Итак, начнём. Процесс 1-2 – изохорный ($V = \text{const}$), поскольку график этого процесса в координатах p - T лежит на прямой, проходящей через начало координат. Так как температура газа в процессе увеличивается, то по закону Шарля давление растёт (хотя это итак понятно из исходного графика). Аналогично, изохорным является процесс 3-4, но так как температура газа в этом процессе уменьшается, то будет уменьшаться и давление.

Процесс 2-3 – изобарный ($p = \text{const}$). Температура газа в процессе растёт, поэтому по закону Гей-Люссака будет увеличиваться и объём. Также изобарным является процесс 4-1. Объём газа в этом процессе уменьшается, так как уменьшается температура.

С учётом всего вышесказанного получим следующий график (смотрите схему к решению).

Работа газа в цикле A равна площади этого цикла в координатах p - V . Если цикл обходится по часовой стрелке, то работа положительна (что имеет место в нашем случае), иначе – отрицательна. Тогда:

$$A = (p_2 - p_1)(V_3 - V_1) \quad (1)$$

Запишем закон Гей-Люссака для изобарного процесса 4-1:

$$V_3 T_2 = V_1 T_1$$

$$V_3 = V_1 T_2 T_1 \quad (2)$$

Учитывая выражение (2) и то, что по условию $p_2 p_1 = 2$, формула (1) примет вид:

$$A = (2p_1 - p_1)(V_1 T_2 T_1 - V_1) = p_1 V_1 (T_2 T_1 - 1)$$

Теперь запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния газа в точке 1:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

Тогда:

$$A = \nu R T_1 (T_2 T_1 - 1)$$

$$A = \nu R (T_2 - T_1)$$

Посчитаем ответ:

$$A = 1 \cdot 8,31 \cdot (360 - 280) = 664,8 \text{ Дж}$$

Ответ: 664,8 Дж.

Задача 24

Условие задачи:

Два теплоизолированных сосуда соединены трубкой с закрытым краном. В первом сосуде находится 2 моля гелия при температуре 200 К, а во втором – 3 моля гелия при температуре 300 °К. Кран открывают. Определить температуру в сосудах.

Дано:

$$\nu_1 = 2 \text{ моль}, T_1 = 200 \text{ °К}, \nu_2 = 3 \text{ моль}, T_2 = 300 \text{ °К}, T = ?$$

Решение задачи:

Поскольку после открытия крана газу в сосудах не будет передано количество теплоты, и над ним не будет совершена работа, то общая внутренняя энергия молекул гелия будет оставаться неизменной согласно первому закону термодинамики. Поэтому:

$$U_1 + U_2 = U$$

Распишем внутренние энергии по известным формулам, тогда получим:

$$32\nu_1 R T_1 + 32\nu_2 R T_2 = 32(\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T$$

Откуда искомая температура гелия T после открытия крана равна:

$$T = \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 / \nu_1 + \nu_2$$

Произведём вычисления:

$$T = 2 \cdot 200 + 3 \cdot 300 / 2 + 3 = 260 \text{ К} = -13 \text{ °С}$$

Ответ: -13 °С.

*Самостоятельная работа по теме
«Первый закон термодинамики. Тепловой двигатель»*

Задача 1

Условие задачи:

Газ при изотермическом расширении получил 10 кДж теплоты. Чему равна совершенная газом работа?

Дано:

$T = \text{const}$, $Q = 10$ кДж, $A = ?$

Решение задачи:

Первый закон термодинамики гласит, что количество теплоты Q , переданное газу, идёт на изменение его внутренней энергии ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Над газом производят изотермический процесс, то есть $T = \text{const}$ или $\Delta T = 0$. Так как внутренняя энергия зависит только от температуры, а она меняться в рассматриваемом процессе не будет, значит:

$$\Delta U = 0$$

Учитывая это, из формулы (1) следует, что:

$$A = Q$$

$$A = 10 \text{ кДж}$$

Ответ: 10 кДж.

Задача 2

Условие задачи:

Какое количество теплоты получил гелий массой 1,6 г при изохорном нагревании на 120 °К?

Дано:

$m = 1,6$ г, $V = \text{const}$, $\Delta T = 120$ °К, $Q = ?$

Решение задачи:

Согласно первому закону термодинамики количество теплоты Q , переданное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q = \Delta U + A(1)$$

В изохорном процессе ($V = \text{const}$) работа газа равна нулю, поскольку объем газа не изменяется.

$$A = 0(2)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного газа ΔU (гелий таковым и является) можно найти по формуле:

$$\Delta U = 32mMR\Delta T(3)$$

Молярная масса гелия (химическая формула He) равна 0,004 кг/моль.

Формула (1) с учётом выражений (2) и (3) станет такой:

$$Q = 32mMR\Delta T$$

Переведём массу гелия m из граммов в килограммы:

$$1,6 \text{ г} = 0,0016 \text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$Q=320,00160,004 \cdot 8,31 \cdot 120=598,3 \text{ Дж}$$

Ответ: 598,3 Дж.

Задача 3

Условие задачи:

В адиабатическом процессе газ совершил работу 50 кДж. Чему равно приращение его внутренней энергии?

Дано:

$$Q=0, A=50 \text{ кДж}, \Delta U=?$$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Согласно этому закону количество теплоты Q , переданное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

Адиабатический процесс – это процесс, совершаемый без теплообмена с окружающей средой, то есть $Q=0$. Тогда из равенства (1) следует:

$$Q=0 \Rightarrow \Delta U+A=0$$

$$\Delta U=-A$$

$$\Delta U=-50 \text{ кДж}$$

Ответ: –50 кДж.

Задача 4

Условие задачи:

Сколько тепла получил газ, если известно, что для его сжатия была совершена работа 8 кДж, а приращение внутренней энергии составило 24,5 кДж?

Дано:

$$A_{\text{над}}=8 \text{ кДж}, \Delta U=24,5 \text{ кДж}, Q=?$$

Решение задачи:

Воспользуемся первым законом термодинамики, согласно которому количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Прошу обратить Ваше внимание на то, что в данном случае не газ совершал работу, а над газом совершали работу. Кстати, газ не может сжиматься сам – это ещё один довод в пользу того, что работу совершали именно внешние силы.

Между работой газа A и работой внешних сил над газом $A_{\text{над}}$ существует следующее простое соотношение:

$$A=-A_{\text{над}}$$

Тогда равенство (1) примет такой вид:

$$Q=\Delta U-A_{\text{над}}$$

Посчитаем ответ:

$$Q=24,5-8=16,5\text{кДж}$$

Ответ: 16,5 кДж.

Задача 5

Условие задачи:

При адиабатном расширении внутренняя энергия газа уменьшилась на 120 Дж. Какую работу совершил газ?

Дано:

$$Q=0, \Delta U=-120 \text{ Дж}, A=?$$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики, согласно которому количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A :

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Адиабатный процесс – это процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой, то есть $Q=0$. Тогда равенство (1) примет вид:

$$\Delta U+A=0$$

Откуда искомая работа газа A равна:

$$A=-\Delta U$$

$$A=-(-120)=120\text{Дж}$$

Ответ: 120 Дж.

Задача 6

Условие задачи:

При изохорном нагревании 10 г неона его температура увеличилась на 205 °К. Сколько тепла было передано газу?

Дано:

$$V=\text{const}, m=10 \text{ г}, \Delta T=205 \text{ °К}, Q=?$$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Изменение внутренней энергии неона ΔU при увеличении температуры на ΔT , учитывая то, что неон является одноатомный газом (то есть число степеней свободы атом неона равно 3), можно определить по формуле:

$$\Delta U=32mMR\Delta T(2)$$

В этой формуле M – молярная масса неона Ne, равная 20 г/моль (0,02 кг/моль).

Работа газа A в изохорном процессе равна нулю, так как газ не изменяет своего объема.

$$A=0(3)$$

Формула (1) с учётом полученных выражений (2) и (3) примет вид:

$$Q=32mMR\Delta T$$

Переведём массу неона m в систему СИ:

$$10\text{г}=0,01\text{кг}$$

Произведём расчёт численного ответа:

$$Q=32 \cdot 0,010,02 \cdot 8,31 \cdot 205=1277,7 \text{ Дж}$$

Ответ: 1277,7 Дж.

Задача 7

Условие задачи:

Определить, какое количество теплоты надо сообщить неону массой 400 г, чтобы изохорно нагреть его на 10 К.

Дано:

$m=400 \text{ г}$, $V=\text{const}$, $\Delta T=10 \text{ К}$, $Q=?$

Решение задачи:

Первый закон термодинамики говорит, что количество теплоты Q , переданное газу, идёт на изменение его внутренней энергии ΔU и совершение газом работы A против внешних сил.

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Неон Ne – одноатомный газ с молярной массой M , равной 20 г/моль (или 0,02 кг/моль). Поэтому изменение его внутренней энергии ΔU при нагревании на величину ΔT можно определить по формуле:

$$\Delta U=32mMR\Delta T(2)$$

В изохорном процессе ($V=\text{const}$) работа газа A равна нулю, поскольку объём газа не изменяется.

$$A=0(3)$$

Учитывая (2) и (3), формула (1) примет вид:

$$Q=32mMR\Delta T$$

Перед подстановкой величин в последнюю формулу и дальнейшим расчётом ответа необходимо перевести массу неона m в систему СИ:

$$400 \text{ г}=0,4 \text{ кг}$$

Посчитаем ответ:

$$Q=32 \cdot 0,40,02 \cdot 8,31 \cdot 10=2493 \text{ Дж}$$

Ответ: 2493 Дж.

Задача 8

Условие задачи:

Какой процесс произошёл при сжатии идеального газа, если работа, совершаемая внешними силами над газом, равна изменению внутренней энергии газа?

Дано:

$$A_{\text{над}}=\Delta U$$

Решение задачи:

Давайте запишем первое начало термодинамики, согласно которому количество теплоты Q , сообщённое газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Приведённая в условии работа внешних сил над газом $A_{\text{над}}$ связана с работой газа A по формуле:

$$A_{\text{над}}=-A \Rightarrow A=-A_{\text{над}}$$

Тогда равенство (1) примет вид:

$$Q = \Delta U - A_{\text{над}}$$

По условию задачи работа внешних сил равна изменению внутренней энергии газа, то есть $A_{\text{над}} = \Delta U$, поэтому:

$$Q = \Delta U - \Delta U$$

$$Q = 0$$

Газовый процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой ($Q=0$), называется адиабатным.

Ответ: адиабатный.

Задача 9

Условие задачи:

При постоянном давлении 5 молям одноатомного газа сообщили теплоту 10 кДж. Определите изменение температуры газа.

Дано:

$p = \text{const}$, $\nu = 5$ моль, $Q = 10$ кДж, $\Delta T = ?$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного газа ΔU можно легко определить по формуле:

$$\Delta U = 3/2 \nu R \Delta T(2)$$

Работу газа A в изобарном процессе определяют по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1(3)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{ pV_1 = \nu RT_1 \quad pV_2 = \nu RT_2$$

Тогда формулу (3) можно записать в следующем виде:

$$A = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R(T_2 - T_1)$$

$$A = \nu R \Delta T(4)$$

Подставим полученные выражения (2) и (4) в формулу (1), тогда:

$$Q = 3/2 \nu R \Delta T + \nu R \Delta T$$

$$Q = 5/2 \nu R \Delta T$$

Откуда нужно нам изменение температуры газа ΔT равно:

$$\Delta T = 2Q/5\nu R$$

Посчитаем численный ответ:

$$\Delta T = 2 \cdot 10 \cdot 1035 \cdot 5 \cdot 8,31 = 96,3 \text{ К} = 96,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: 96,3 °C.

Задача 10

Условие задачи:

В закрытом сосуде объемом 2,5 л находится гелий при температуре 17 °C и давлении 15 кПа. Гелий охлаждают до 0 °C. Вычислить количество отданного газом тепла.

Дано:

$V = 2,5$ л, $t_1 = 17$ °C, $p = 15$ кПа, $t_2 = 0$ °C, $Q = ?$

Решение задачи:

Поскольку охлаждение гелия проводят в закрытом сосуде, значит имеет место изохорный процесс ($V=\text{const}$).

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Изменение внутренней энергии гелия (гелий – одноатомный газ) ΔU найдём благодаря такой формуле:

$$\Delta U=32\nu R(T_2-T_1)(2)$$

Работа газа A в изохорном процессе равна нулю.

$$A=0(3)$$

Полученные выражения (2) и (3) подставим в формулу (1), тогда:

$$Q=32\nu R(T_2-T_1)(4)$$

Чтобы найти неизвестное количество вещества ν , запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального состояния газа:

$$pV=\nu RT_1$$

$$\nu=pVRT_1$$

Последнее полученное выражение подставим в формулу (4), тогда получим:

$$Q=3pV_2RT_1R(T_2-T_1)=3pV_2T_1(T_2-T_1)$$

$$Q=32pV(T_2T_1-1)$$

Задача решена. Переведём объем – в кубические метры, а температуры – в Кельвины.

$$2,5\text{л}=2,5\cdot 10^{-3}\text{м}^3$$

$$17\text{ }^{\circ}\text{C}=290\text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$0\text{ }^{\circ}\text{C}=273\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Произведём вычисления:

$$Q=32\cdot 15\cdot 103\cdot 2,5\cdot 10^{-3}\cdot (273-290)=-3,3\text{Дж}$$

Мы получили отрицательный ответ, поскольку газ отдавал тепло. В ответе укажем абсолютное значение, поскольку в условии требовалось «вычислить количество отданного газом тепла».

Ответ: 3,3 Дж.

Задача 11**Условие задачи:**

Один моль идеального газа, находящегося при температуре T_0 , нагревают. Какое количество теплоты нужно подвести к газу, чтобы изобарически увеличить его объем втрое?

Дано:

$$\nu=1\text{ моль}, T_0, p=\text{const}, V_1=3V_0, Q=?$$

Решение задачи:

Автор задачи не указал каким является газ, поэтому мы будем решать эту задачу из предположения, что он одноатомный.

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного газа ΔU определяют по формуле (у одноатомного газа – 3 степени свободы):

$$\Delta U = 3\nu R \Delta T \quad (2)$$

Если газ нагревать изобарно, то его объем будет увеличиваться (это видно из закона Гей-Люссака, смотрите ниже). Работу газа A при изобарном расширении можно найти по формуле:

$$A = p(V_1 - V_0) = pV_1 - pV_0 \quad (3)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния рассматриваемого газа:

$$\{ pV_0 = \nu RT_0 \quad pV_1 = \nu RT_1$$

С помощью этих уравнений формулу (3) можно переписать в виде:

$$A = \nu RT_1 - \nu RT_0 = \nu R(T_1 - T_0)$$

$$A = \nu R \Delta T \quad (4)$$

Полученные выражения (2) и (4) подставим в формулу (1), тогда:

$$Q = 3\nu R \Delta T + \nu R \Delta T$$

$$Q = 5\nu R \Delta T \quad (5)$$

Изменение температуры и объема в изобарном процессе описывается законом Гей-Люссака:

$$V_0 T_0 = V_1 T_1$$

Выразим конечную температуру газа T_1 :

$$T_1 = T_0 V_1 / V_0$$

В условии говорится, что объем увеличивается втрое ($V_1 = 3V_0$), поэтому:

$$T_1 = T_0 \cdot 3V_0 / V_0 = 3T_0$$

Тогда изменение температуры газа ΔT равно:

$$\Delta T = T_1 - T_0 = 3T_0 - T_0$$

$$\Delta T = 2T_0$$

Это выражение подставим в формулу (5), таким образом, мы получим решение задачи в общем виде:

$$Q = 5\nu R \cdot 2T_0 = 5\nu RT_0$$

Ответ: $5\nu RT_0$.

Задача 12

Условие задачи:

Закрытый баллон емкостью 50 л содержит аргон под давлением 200 кПа. Каким будет давление газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

Дано:

$$V_0 = 50 \text{ л}, p_0 = 200 \text{ кПа}, Q = 3 \text{ кДж}, p_1 = ?$$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики. Согласно этому закону количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Аргон A_r – одноатомный газ, изменение его внутренней энергии можно легко найти по такой формуле:

$$\Delta U = 3\nu R \Delta T \quad (2)$$

Также легко догадаться, что над газом производят изохорный процесс, так как баллон закрытый. Работа газа A в изохорном процессе равна нулю.

$$A=0(3)$$

Формула (1) с учётом выражений (2) и (3) примет вид:

$$Q=32\nu R\Delta T(4)$$

Кстати, из этой формулы видно, что при сообщении газу в баллоне количества теплоты его температура будет увеличиваться. А значит (по закону Шарля) будет увеличиваться и давление.

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{p_0V=\nu RT_0 p_1V=\nu RT_1$$

Из нижнего уравнения отнимем верхнее, тогда:

$$(p_1-p_0)V=\nu R(T_1-T_0)$$

$$(p_1-p_0)V=\nu R\Delta T$$

С учётом последнего полученного выражения формулу (4) можно записать в виде:

$$Q=32(p_1-p_0)V$$

Осталось только выразить искомое конечное давление газа p_1 :

$$p_1=p_0+2Q_3V$$

Перед подстановкой значений величин в формулу переведём объём баллона в систему СИ:

$$50\text{л}=0,05\text{м}^3$$

Посчитаем ответ:

$$p_1=200\cdot 10^3+2\cdot 3\cdot 10^3\cdot 0,05=240000\text{Па}=240\text{кПа}$$

Ответ: 240 кПа.

Задача 13

Условие задачи:

При изобарном расширении газа на $0,5\text{ м}^3$ ему было передано $0,26\text{ МДж}$ теплоты. Рассчитать изменение внутренней энергии газа, если его давление 200 кПа .

Дано:

$$p=\text{const}, \Delta V=0,5\text{ м}^3, Q=0,26\text{ МДж}, p=200\text{ кПа}, \Delta U=?$$

Решение задачи:

Первое начало термодинамики гласит, что количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A против внешних сил.

$$Q=\Delta U+A(1)$$

Работу газа A в изобарном процессе легко найти по формуле:

$$A=p\Delta V$$

Подставим это выражение в формулу (1), тогда:

$$Q=\Delta U+p\Delta V$$

Теперь отсюда выразим искомое изменение внутренней энергии ΔU :

$$\Delta U=Q-p\Delta V$$

Посчитаем ответ:

$$\Delta U = 0,26 \cdot 10^6 - 200 \cdot 103 \cdot 0,5 = 160000 \text{ Дж} = 0,16 \text{ МДж}$$

Ответ: 0,16 МДж.

Задача 14

Условие задачи:

В изотермическом процессе газ совершил работу 2 кДж. На сколько увеличится внутренняя энергия этого газа, если ему сообщить количество теплоты втрое большее, чем в первом случае, а процесс проводить изохорически?

Дано:

$$A_1 = 2 \text{ кДж}, Q_2 = 3Q_1, \Delta U_2 = ?$$

Решение задачи:

Первый закон термодинамики говорит, что количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A . Запишем этот закон для проводимых над газом изотермического и изохорного процесса:

$$\{ Q_1 = \Delta U_1 + A_1, Q_2 = \Delta U_2 + A_2$$

Так как внутренняя энергия газа (идеального) зависит только от температуры, то в изотермическом процессе изменение внутренней энергии ΔU_1 равно нулю.

$$\Delta U_1 = 0$$

Работа газа в изохорном процессе A_2 равна нулю, так как в таком процессе газ не изменяет своего объема.

$$A_2 = 0$$

Тогда система примет такой вид:

$$\{ Q_1 = A_1, Q_2 = \Delta U_2$$

По условию $Q_2 = 3Q_1$, поэтому:

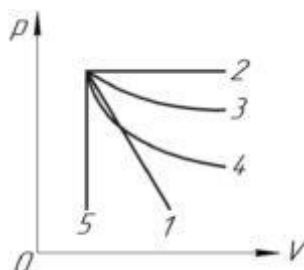
$$\Delta U_2 = 3A_1$$

$$\Delta U_2 = 3 \cdot 2 \cdot 103 = 6000 \text{ Дж} = 6 \text{ кДж}$$

Ответ: 6 кДж.

Задача 15

Условие задачи:



Какой график соответствует процессу, в котором температура газа изменяется только за счёт его работы?

Решение задачи:

Температуру газа можно изменить, либо сообщив количество теплоты Q газу, либо совершив работу A . Так как в условии сказано,

что температура газа изменяется только за счёт его работы, значит $Q=0$, то есть имеет место адиабатный процесс.

График адиабатного процесса представляется собой кривую в координатах p - V , причем эта кривая идёт круче изотермы, то есть этому процессу соответствует график 4.

Ответ: 4.

Задача 16

Условие задачи:

Количество теплоты, передаваемое газу, одинаково. В каком газовом процессе нагрев газа максимален?

Решение задачи:

Для решения этой задачи необходимо воспользоваться первым законом термодинамики. Согласно этому закону количество теплоты Q , переданное газу, идёт на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A . Запишем закон в математической форме:

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Если нагрев газа будет максимальным (то есть изменение его абсолютной температуры ΔT), то будет максимальным и изменение его внутренней энергии ΔU . Согласно формуле (1) максимальное изменение внутренней энергии газа возможно лишь при случае, когда работа газа A равна нулю. Это имеет место в изохорном процессе – работа газа в нём равна нулю, так как газ не меняет своего объема.

Ответ: в изохорном процессе.

Задача 17

Условие задачи:

Сколько молей одноатомного газа нагрели на 10 К, если количество подведенной теплоты равно 249 Дж? Процесс нагревания изохорический.

Дано:

$$\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{K}, Q = 249 \text{ Дж}, V = \text{const}, \nu = ?$$

Решение задачи:

Чтобы найти количество подведённой теплоты Q , запишем первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа ΔU можно определить по такой формуле:

$$\Delta U = 3\nu R \Delta T(2)$$

Работа газа A в изохорическом процессе ($V = \text{const}$) равна нулю, поскольку газ не изменяет в таком процессе своего объема.

$$A = 0(3)$$

Формула (1) с учётом полученных выражений (2) и (3) примет вид:

$$Q = 3\nu R \Delta T$$

Откуда выразим количество вещества ν :

$$\nu = \frac{Q}{3R \Delta T}$$

Задача решена, теперь подставим численные значения величин в формулу и посчитаем ответ:

$$\nu = 2 \cdot 2493 \cdot 8,31 \cdot 10 = 2 \text{ моль}$$

Ответ: 2 моль.

Задача 18

Условие задачи:

Один моль одноатомного идеального газа нагревается при постоянном объеме до температуры 280 °K. Какое количество теплоты необходимо сообщить ему, чтобы давление увеличилось в 3 раза?

Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}, V = \text{const}, T_2 = 280 \text{ °K}, p_2 = 3p_1, Q = ?$$

Решение задачи:

Согласно первому закону термодинамики количество теплоты Q , подведённое к газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A . Запишем закон в математической форме:

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Внутренняя энергия идеального газа зависит исключительно от температуры, её изменение ΔU возможно найти по формуле:

$$\Delta U = 3\nu R \Delta T$$

Работа газа A в изохорном процессе ($V = \text{const}$) равна нулю:

$$A = 0$$

Учитывая два последних полученных выражения, формула (1) примет вид:

$$Q = 3\nu R \Delta T \quad (2)$$

Для определения изменения абсолютной температуры газа ΔT в изохорном процессе необходимо найти начальную температуру газа T_1 , для чего воспользуемся законом Шарля:

$$p_1 T_1 = p_2 T_2$$

Откуда:

$$T_1 = T_2 p_1 p_2$$

По условию задачи давление увеличилось в 3 раза, то есть $p_2 = 3p_1$, поэтому:

$$T_1 = T_2 p_1 3p_1 = 13T_2$$

Найдём изменение температуры газа ΔT :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_2 - 13T_2$$

$$\Delta T = -12T_2$$

Тогда формула (2) с учётом этого выражения станет такой:

$$Q = 3\nu R \cdot 12T_2$$

$$Q = 12\nu R T_2$$

Произведём расчёт численного ответа задачи:

$$Q = 1 \cdot 8,31 \cdot 280 = 2326,8 \text{ Дж}$$

Ответ: 2326,8 Дж.

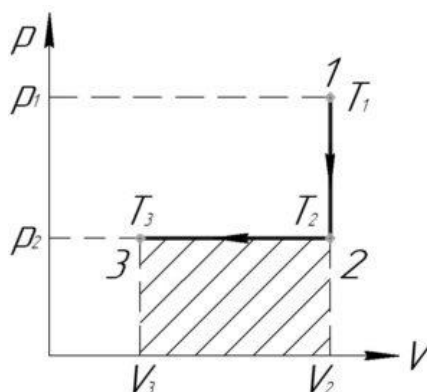
Задача 19

Идеальный одноатомный газ в количестве 5 моль сначала охлаждают при постоянном объеме от температуры 600 °К до температуры 400 К, а затем продолжают охлаждать при постоянном давлении до температуры 300 К. Какое количество теплоты отводят при этом от газа?

Дано:

$\nu=5$ моль, $T_1=600$ °К, $T_2=400$ °К, $T_3=300$ °К, $Q=?$

Решение задачи:



На схеме показан график производимых над газом процессов в координатах p - V .

В общем случае первый закон термодинамики гласит, что количество теплоты Q , подведённое к газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Процесс 1-2 – изохорный ($V = \text{const}$), работа газа в этом процессе A_{12} равна нулю. Изменение внутренней энергии ΔU_{12} легко найти по формуле:

$$\Delta U_{12} = 32\nu R(T_2 - T_1)$$

Тогда количество теплоты Q_{12} согласно формуле (1) можно найти так:

$$Q_{12} = 32\nu R(T_2 - T_1)$$

Процесс 2-3 – изобарный ($p = \text{const}$). Изменение внутренней энергии ΔU_{23} найдём аналогично по формуле:

$$\Delta U_{23} = 32\nu R(T_3 - T_2)$$

Работу газа A_{23} в изобарном процессе определяют так:

$$A_{23} = p_2(V_3 - V_2) = p_2 V_3 - p_2 V_2$$

Интересно, что абсолютное значение этого выражения численно равно площади фигуры под графиком 2-3 (на схеме заштриховано).

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния газа в точках 2 и 3:

$$\{ p_2 V_2 = \nu R T_2 \quad p_2 V_3 = \nu R T_3$$

Тогда имеем:

$$A_{23} = \nu R T_3 - \nu R T_2 = \nu R(T_3 - T_2)$$

Количество теплоты Q_{23} согласно формуле (1) можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{23} &= 32\nu R(T_3 - T_2) + \nu R(T_3 - T_2) \\ Q_{23} &= 52\nu R(T_3 - T_2) \end{aligned}$$

Искомое количество теплоты Q равно сумме количеств теплоты в каждом из процессов, то есть:

$$Q = Q_{12} + Q_{23}$$

Тогда:

$$Q = 32\nu R(T_2 - T_1) + 52\nu R(T_3 - T_2)$$

$$Q = 12\nu R(3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2)$$

$$Q = 12\nu R(5T_3 - 2T_2 - 3T_1)$$

Посчитаем ответ:

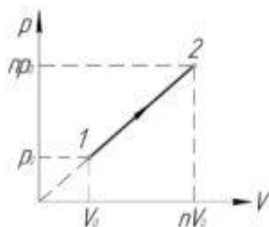
$$Q = 12 \cdot 5 \cdot 8,31 \cdot (5 \cdot 300 - 2 \cdot 400 - 3 \cdot 600) = -22853 \text{ Дж} \approx -23 \text{ кДж}$$

Знак «минус» означает, что теплота отводилась от газа. В ответе запишем абсолютное значение, так как спрашивается «какое количество теплоты отводят от газа».

Ответ: 23 кДж.

Задача 20

Условие задачи:

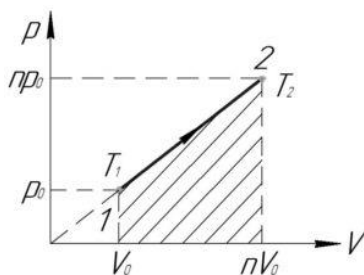


Один моль идеального одноатомного газа находится при нормальных условиях. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы провести процесс, показанный на рисунке? $n=1,2$.

Дано:

$\nu=1$ моль, $n=1,2$, $Q=?$

Решение задачи:



Воспользуемся первым законом термодинамики:

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Изменение внутренней энергии газа ΔU определим по известной формуле:

$$\Delta U = 32\nu R(T_2 - T_1)(2)$$

Чтобы определить конечную температуру газа T_2 , запишем для газа в состояниях 1 и 2 уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$\{ p_0 V_0 = \nu R T_1(3) \quad np_0 \cdot nV_0 = \nu R T_2$$

Нижнее уравнение системы поделим на верхнее, тогда:

$$T_2 T_1 = n_2$$

$$T_2 = n_2 T_1$$

Тогда формула (2) станет такой:

$$\Delta U = 32\nu R(n_2 T_1 - T_1) = 32\nu R T_1 (n_2 - 1) \quad (4)$$

Работа газа A равна площади фигуры под графиком процесса (на схеме к решению – заштриховано). Эта фигура является трапецией, её площадь (a , следовательно, и работу) найдём по формуле:

$$A = 12(p_0 + np_0)(nV_0 - V_0)$$

$$A = 12p_0 V_0 (n+1)(n-1)$$

$$A = 12p_0 V_0 (n_2 - 1)$$

А учитывая уравнение (3), имеем:

$$A = 12\nu R T_1 (n_2 - 1) \quad (5)$$

В формулу (1) подставим полученные выражения (4) и (5):

$$Q = 32\nu R T_1 (n_2 - 1) + 12\nu R T_1 (n_2 - 1)$$

$$Q = 2\nu R T_1 (n_2 - 1)$$

Нормальным условиям соответствует температура T_1 , равная 273°К (0°С). Посчитаем ответ:

$$Q = 2 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 273 \cdot (1,22 - 1) = 1996,1 \text{ Дж}$$

Ответ: 1996,1 Дж.

Задача 21

Условие задачи:

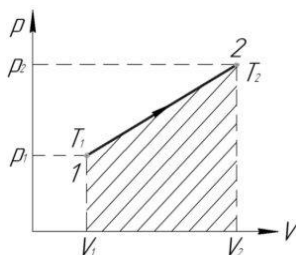
При расширении одноатомного газа от $0,2$ до $0,5 \text{ м}^3$ его давление росло линейно с объемом от 400 до 800 кПа соответственно. Какое количество теплоты было подведено к газу?

Дано:

$$V_1 = 0,2 \text{ м}^3, V_2 = 0,5 \text{ м}^3, p_1 = 400 \text{ кПа}, p_2 = 800 \text{ кПа}, Q = ?$$

Решение задачи:

График процесса, происходящего с газом, изображен на схеме.



Запишем первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа ΔU определяют так:

$$\Delta U = 32\nu R(T_2 - T_1) = 32(\nu R T_2 - \nu R T_1)$$

Запишем дважды уравнение Клапейрона-Менделеева для состояния газа в точках 1 и 2:

$$\{ p_1 V_1 = \nu R T_1, p_2 V_2 = \nu R T_2$$

Тогда изменение внутренней энергии ΔU можно будет определить по формуле:

$$\Delta U = 32(p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad (2)$$

Работу газа A в процессе 1-2 можно найти как площадь фигуры под графиком этого процесса (на схеме — заштриховано). Кстати, эта работа положительна, так как объем газа увеличивается. Фигура под графиком представляет собой трапецию, её площадь найдём как полупроизведение суммы оснований на высоту.

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1), так мы получим решение задачи в общем виде:

$$Q = 32(p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)$$

Посчитаем численный ответ задачи:

$$Q = 32(800 \cdot 103 \cdot 0,5 - 400 \cdot 103 \cdot 0,2) + \frac{1}{2}(400 \cdot 103 + 800 \cdot 103)(0,5 - 0,2) = 660000 \text{ Дж} = 0,66 \text{ МДж}$$

Ответ: 0,66 МДж.

Задача 22

Условие задачи:

Двигатель Дизеля, КПД которого равен 35%, за некоторое время выбросил в атмосферу 420 Дж теплоты. Определите работу, совершенную двигателем за это время.

Дано:

$$\eta = 35\%, Q_x = 420 \text{ Дж}, A = ?$$

Решение задачи:

КПД теплового двигателя определяют по такой формуле:

$$\eta = \frac{A}{Q_H}$$

Известно, что количество теплоты Q_H , подведённое нагревателем, количество теплоты Q_x , отведённое холодильником, и работа двигателя A связаны формулой:

$$Q_H = Q_x + A$$

Тогда имеем:

$$\eta = \frac{A}{Q_x + A}$$

Перемножим «крест-накрест», все члены с множителем A перенесём в левую сторону, а остальные — в правую:

$$A = \eta Q_x + \eta A$$

$$A - \eta A = \eta Q_x$$

$$A(1 - \eta) = \eta Q_x$$

Откуда искомая работа двигателя A равна:

$$A = \eta Q_x \frac{1}{1 - \eta}$$

Посчитаем ответ (КПД η подставляем в долях единицы):

$$A = 0,35 \cdot 420 \frac{1}{1 - 0,35} = 226 \text{ Дж} \approx 0,23 \text{ кДж}$$

Ответ: 0,23 кДж.

Задача 23

Условие задачи:

Коэффициент полезного действия тепловой машины 20%. Какую работу совершает машина, если нагреватель сообщает ей 102 кДж тепла?

Дано:

$\eta=20\%$, $Q_n=102$ Дж, $A=?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия тепловой машины можно определить как отношение работы A к количеству теплоты Q_n , подведённое нагревателем:

$$\eta = \frac{A}{Q_n}$$

Откуда работа машины A равна:

$$A = \eta Q_n$$

Задача решена. Переведём КПД из процентов в доли единицы:

$$20\% = 0,2$$

Произведём расчёт численного ответа:

$$A = 0,2 \cdot 102 \cdot 103 = 20400 \text{ Дж} = 20,4 \text{ кДж}$$

Ответ: 20,4 кДж.

Задача 24

Условие задачи:

Определить коэффициент полезного действия теплового двигателя, если температура холодильника 280°К , а температура нагревателя втрое больше.

Дано:

$T_x=280^\circ\text{К}$, $T_n=3T_x$, $\eta=?$

Решение задачи:

КПД (коэффициент полезного действия) можно найти по следующей формуле:

$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n}$$

В условии задачи говорится, что температура нагревателя втрое больше температуры холодильника ($T_n=3T_x$), поэтому:

$$\eta = \frac{3T_x - T_x}{3T_x} = \frac{2T_x}{3T_x} = 0,667$$

Задача решена. Интересно, но решение не зависит от данной в условии температуры холодильника T_x .

Ответ: 0,667.

Задача 25

Условие задачи:

Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу 1 кДж и отдаёт холодильнику 650 Дж теплоты. Определить КПД тепловой машины.

Дано:

$A=1$ кДж, $Q_x=650$ Дж, $\eta=?$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия тепловой машины (не только идеальной, вообще любой) определяют по следующей формуле:

$$\eta = \frac{A}{Q_n}$$

Известно, что количество теплоты Q_n , отданное нагревателем, количество теплоты Q_x , принятое холодильником, и работа тепловой машины A связаны такой формулой:

$$Q_n = Q_x + A$$

Тогда:

$$\eta = A/Q_x + A$$

Задача решена в общем виде, теперь посчитаем ответ:

$$\eta = 1000650 + 1000 = 0,606$$

Ответ: 0,606.

Задача 26

Условие задачи:

В идеальной тепловой машине температура нагревателя в три раза выше температуры холодильника. Нагреватель передал газу 42 кДж теплоты. Какую работу совершил газ?

Дано:

$$T_n = 3T_x, Q_n = 42 \text{ кДж}, A = ?$$

Решение задачи:

В общем случае КПД любой тепловой машины можно определить по формуле:

$$\eta = A/Q_n$$

Откуда искомая работа газа A равна:

$$A = \eta Q_n (1)$$

КПД идеальной тепловой машины (и только такой!) также можно определить по такой формуле:

$$\eta = T_n - T_x / T_n$$

По условию температура нагревателя в три раза выше температуры холодильника, то есть $T_n = 3T_x$, тогда:

$$\eta = 3T_x - T_x / 3T_x = 2T_x / 3T_x = 2/3$$

Тогда по формуле (1):

$$A = 2/3 Q_n$$

Численно работа тепловой машины A равна:

$$A = 2/3 \cdot 42 \cdot 10^3 = 28000 \text{ Дж} = 28 \text{ кДж}$$

Ответ: 28 кДж.

Задача 27

Идеальная тепловая машина совершает работу 200 Дж, при этом холодильнику

Условие задачи:

Идеальная тепловая машина совершает работу 200 Дж, при этом холодильнику передаётся 300 Дж энергии. Определить КПД тепловой машины.

Дано:

$$A = 200 \text{ Дж}, Q_x = 300 \text{ Дж}, \eta = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия любой тепловой машины можно определить по такой формуле:

$$\eta = A/Q_n$$

Известно, что количество теплоты Q_n , переданное нагревателем, количество теплоты Q_x , принятое холодильником, и работа тепловой машины A связаны формулой:

$$Q_n = Q_x + A$$

Тогда первая формула примет вид:

$$\eta = \frac{A}{Q_x + A}$$

Задача решена, посчитаем ответ задачи:

$$\eta = \frac{200}{300 + 200} = 0,4$$

Ответ: 0,4.

Задача 28

Условие задачи:

Каков КПД идеальной паровой турбины, если пар поступает в турбину при температуре 480°C , а оставляет её – при 30°C ?

Дано:

$$t_n = 480^\circ\text{C}, t_x = 30^\circ\text{C}, \eta = ?$$

Решение задачи:

КПД идеального теплового двигателя (идеальный – значит работающий по циклу Карно) определяют из формулы:

$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n}$$

Температуры в этой формуле фигурируют в Кельвинах, а в условии даны в градусах Цельсия, поэтому нужно перевести их из одной единицы измерения в другую.

$$480^\circ\text{C} = 753^\circ\text{K}$$

$$30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K}$$

Число коэффициент полезного действия η равен:

$$\eta = \frac{753 - 303}{753} = 0,598$$

Ответ: 0,598.

Задача 29

Условие задачи:

КПД тепловой машины равен 15%. Какое количество теплоты передано от нагревателя рабочему веществу за время, в течение которого машиной совершена полезная работа 150 Дж?

Дано:

$$\eta = 15\%, A = 150 \text{ Дж}, Q_n = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия η любой тепловой машины можно определить по такой простой формуле:

$$\eta = \frac{A}{Q_n}$$

Откуда искомое количество теплоты Q_n , переданное от нагревателя рабочему веществу, равно:

$$Q_n = \frac{A}{\eta}$$

Для правильного расчёта ответа КПД нужно подставлять в долях единицы:

$$15\% = 0,15$$

Произведём вычисления:

$$Q_H = 1500,15 = 1000 \text{ Дж}$$

Ответ: 1000 Дж.

Задача 30

Условие задачи:

В результате циклического процесса газ совершил работу 100 Дж и передал холодильнику 400 Дж теплоты. Определить коэффициент полезного действия цикла.

Дано:

$$A = 100 \text{ Дж}, Q_x = 400 \text{ Дж}, \eta = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия цикла η будем определять по такой формуле:

$$\eta = A Q_H (1)$$

Известно, что сумма количества теплоты Q_x , переданного газом холодильнику, и работы газа A равна количеству теплоты Q_H , переданное нагревателем газу, то есть:

$$Q_H = Q_x + A$$

Тогда формула (1) примет вид:

$$\eta = A Q_x + A$$

Численно КПД цикла η равен:

$$\eta = 100 / 400 + 100 = 0,2$$

Ответ: 0,2.

Задача 31

Условие задачи:

Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура нагревателя 400 °С, холодильника 20 °С. Время выполнения одного цикла 1 секунда. Найти мощность двигателя, если количество тепла, получаемое от нагревателя за цикл, равно 1100 Дж.

Дано:

$$t_H = 400 \text{ °С}, t_x = 20 \text{ °С}, \tau = 1 \text{ с}, Q_H = 1100 \text{ Дж}, N = ?$$

Решение задачи:

Мощность двигателя N – это работа, совершаемая двигателем за единицу времени. Если за время τ проходит один цикл, и газ совершает работу A , то мощность двигателя можно найти по формуле:

$$N = A \tau (1)$$

КПД любой тепловой машины η можно определять по формуле:

$$\eta = A Q_H$$

Откуда:

$$A = \eta Q_H (2)$$

Если тепловая машина работает по циклу Карно, то она является идеальной. КПД идеальной тепловой машины также можно определить по формуле:

$$\eta = T_H - T_x T_H (3)$$

Подставим (3) в (2), а полученное – в (1), тогда:

$$N = (T_H - T_x) Q_H T_H \tau$$

Температуры нагревателя и холодильника следует перевести в Кельвины:

$$400\text{ }^{\circ}\text{C} = 673\text{ K}$$

$$20\text{ }^{\circ}\text{C} = 293\text{ K}$$

Посчитаем ответ:

$$N = (673 - 293) \cdot 1100673 \cdot 1 = 621,1\text{ Вт}$$

Ответ: 621,1 Вт.

Задача 32

Условие задачи:

Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает от нагревателя за каждый цикл 2500 Дж теплоты. Температура нагревателя 400 °К, холодильника 300 °К. Определить работу, совершаемую машиной за 1 цикл.

Дано:

$$Q_H = 2500\text{ Дж}, T_H = 400\text{ }^{\circ}\text{K}, T_x = 300\text{ K}, A = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия η любой тепловой машины легко определить по такой формуле:

$$\eta = A Q_H$$

Откуда искомая работа машины за один цикл A равна:

$$A = \eta Q_H (1)$$

Так как рассматриваемая тепловая машина работает по циклу Карно, то есть она является идеальной, значит её КПД также можно определить по формуле:

$$\eta = T_H - T_x T_H$$

Подставим это выражение в формулу (1):

$$A = (T_H - T_x) Q_H T_H$$

Задача решена в общем виде, давайте произведём расчёт численного ответа:

$$A = (400 - 300) \cdot 2500400 = 625\text{ Дж}$$

Ответ: 625 Дж.

Задача 33

Условие задачи:

Тепловая машина имеет максимальный КПД 35%. Определить температуру нагревателя, если температура холодильника 312 °С.

Дано:

$$\eta = 35\%, t_x = 312\text{ }^{\circ}\text{C}, T_H = ?$$

Решение задачи:

Тепловая машина будет иметь наибольший (максимальный) коэффициент полезного действия (КПД), если она будет работать по циклу Карно. Тогда КПД машины η можно определить из следующей формулы:

$$\eta = T_H - T_x T_H (1)$$

В правой части формулы поделим почленно числитель на знаменатель:

$$\eta = 1 - T_x T_H$$

Тогда:

$$T_x T_H = 1 - \eta$$

$$T_H = T_x (1 - \eta)$$

Задача решена. Так как в формулу (1) температуры подставляются выраженными в абсолютной шкале температур, то переведём температуру холодильника t_x в Кельвины:

$$312\text{ }^{\circ}\text{C} = 585\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Численно температура нагревателя T_H равна (КПД подставили в долях единицы):

$$T_H = 585(1 - 0,35) = 900\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Ответ: 900 К.

Задача 34

Условие задачи:

Тепловая машина с максимально возможным КПД имеет в качестве нагревателя резервуар с кипящей водой при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в качестве холодильника – сосуд со льдом при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какая масса льда растает при совершении машиной работы 10 МДж ?

Дано:

$$t_H = 100\text{ }^{\circ}\text{C}, t_x = 0\text{ }^{\circ}\text{C}, A = 10\text{ МДж}, m = ?$$

Решение задачи:

Так как в тепловой машине холодильником является сосуд со льдом, то при передаче холодильнику количества теплоты Q_x будет плавиться лёд некоторой массы m . При этом справедлива формула:

$$Q_x = \lambda m$$

$$m = Q_x \lambda (1)$$

Здесь λ – удельная теплота плавления льда, равна 330 кДж/кг .

Коэффициент полезного действия любой тепловой машины η можно определить по формуле:

$$\eta = A Q_H (2)$$

Работа машины A , количество теплоты Q_H , переданное нагревателем, и количество теплоты Q_x , отданное холодильнику, связаны формулой:

$$Q_H = Q_x + A (3)$$

Подставим выражение (3) в формулу (2):

$$\eta = A Q_x + A$$

Перемножим это равенство «крест-накрест»:

$$A = \eta Q_x + \eta A$$

В левую сторону перенесём все члены с множителем A , вынесем его за скобки, остальные оставим в правой и выразим количество теплоты Q_x :

$$A(1 - \eta) = \eta Q_x$$

$$Q_x = A(1 - \eta) \eta = A(1 - \eta)(4)$$

Поскольку рассматриваемая тепловая машина является идеальной, то её КПД η также можно находить по формуле:

$$\eta = T_H - T_X T_H$$

Поставим полученное выражение в формулу (4):

$$Q_X = A(T_H T_H - T_X - 1)$$

$$Q_X = A T_H - T_H + T_X T_H - T_X$$

$$Q_X = A T_X T_H - T_X$$

И наконец, подставим это выражение в формулу (1):

$$m = A T_X \lambda (T_H - T_X)$$

Перед расчётом численного ответа, переведём температуры из градусов Цельсия в Кельвины:

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} = 373\text{ }^{\circ}\text{K}$$

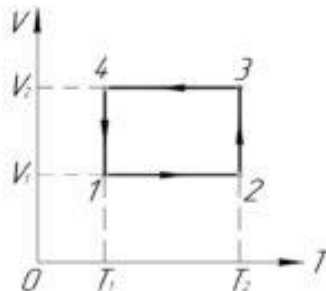
Численно масса растаявшего льда m равна:

$$m = 10 \cdot 106 \cdot 273330 \cdot 103 \cdot (373 - 273) = 82,73 \text{ кг}$$

Ответ: 82,73 кг.

Задача 35

Условие задачи:

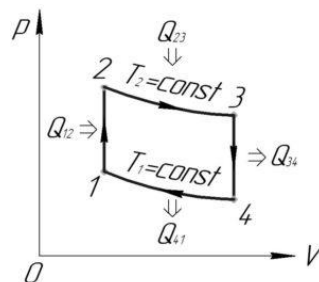


Над одним молем идеального газа совершают цикл, показанный на рисунке. Определить КПД цикла, если работа газа на участке 2-3 равна 2 кДж, а на участке 1-4 равна 1,5 кДж. $T_1 = 300\text{ }^{\circ}\text{K}$, $T_2 = 2T_1$.

Дано:

$\nu = 1$ моль, $A_{23} = 2$ кДж, $A_{14} = 1,5$ кДж, $T_1 = 300\text{ K}$, $T_2 = 2T_1$, $\eta = ?$

Решение задачи:



Изобразим проводимый над газом цикл в координатах p - V (смотрите схему к решению).

Коэффициент полезного действия цикла η будем определять по следующей формуле:

$$\eta = A Q_H(1)$$

Из графика цикла в координатах p - V видно, что работа газа в процессах 1-2 и 3-4 равна нулю (так площадь фигур под графиками этих процессов равна нулю). Тогда работа цикла A равна:

$$A = A_{23} + A_{41}$$

Понятно, что $A_{41} = -A_{14}$, поэтому:

$$A = A_{23} - A_{14} \quad (2)$$

Чтобы найти количество теплоты Q_H , нужно найти все процессы в цикле, в которых тепло подводилось к газу. Для этого нам понадобится первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A \quad (3)$$

Также изменение внутренней энергии газа ΔU следует искать по формуле (будем считать, что газ одноатомный, иначе задачу решить не получится):

$$\Delta U = 32\nu R \Delta T \quad (4)$$

Рассмотрим изохорный процесс 1-2 ($V = \text{const}$). Работа газа A_{12} в этом процессе равна нулю. Тогда по формулам (3) и (4) количество теплоты Q_{12} равно:

$$Q_{12} = 32\nu R \Delta T_{12} \quad (5)$$

Так как в изохорном процессе 1-2 давление увеличивается, значит по закону Шарля увеличивается и температура (то есть $\Delta T_{12} > 0$). Поэтому согласно формуле (5) можно сделать вывод, что $Q_{12} > 0$, то есть в этом процессе тепло подводится к газу. Также:

$$Q_{12} = 32\nu R (T_2 - T_1)$$

В условии говорится, что $T_2 = 2T_1$, поэтому:

$$Q_{12} = 32\nu R (2T_1 - T_1)$$

$$Q_{12} = 32\nu R T_1 \quad (6)$$

Если Вы проведёте аналогичные рассуждения для другого изохорного процесса 3-4, то придёте к выводу, что $Q_{34} < 0$, то есть в этом процессе теплота отводится от газа.

Теперь рассмотрим изотермический процесс 2-3 ($T = \text{const}$). Так как температура газа в этом процессе постоянна, значит изменение внутренней энергии газа ΔU_{23} по формуле (4) равно нулю. По формулам (3) и (4) количество теплоты Q_{23} равно:

$$Q_{23} = A_{23} \quad (7)$$

Так как газ в этом процессе расширяется, то $A_{23} > 0$ (также это понятно из условия, поскольку дано численное значение A_{23}), значит согласно формуле (7) в процессе 2-3 теплота подводилась к газу.

Проведя аналогичные рассуждения для другого изотермического процесса 4-1, Вы придёте к выводу, что $Q_{41} < 0$, то есть в этом процессе теплота отводится от газа.

Получается, что теплота к газу подводилась только в процессах 1-2 и 2-3, поэтому количество теплоты Q_H равно:

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23}$$

Учитывая формулы (6) и (7), получим:

$$Q_H = 32\nu R T_1 + A_{23} \quad (8)$$

Чтобы получить окончательную формулу для расчёта КПД η , подставим в формулу (1) выражения (2) и (8):

$$\eta = \frac{A_{23} - A_{14}}{32\nu R T_1 + A_{23}}$$

Посчитаем численный ответ:

$$\eta = 2000 - 150032 \cdot 1,8,31 \cdot 300 + 2000 = 0,0871 = 8,71\%$$

Ответ: 8,71%.

Задача 36

Условие задачи:

В некотором процессе внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, а газ совершил работу 500 Дж. Какая теплота сообщена газу?

Дано:

$$\Delta U = -300 \text{ Дж}, A = 500 \text{ Дж}, Q = ?$$

Решение задачи:

Согласно первому закону термодинамики, количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A$$

Посчитаем ответ:

$$Q = -300 + 500 = 200 \text{ Дж}$$

Ответ: 200 Дж.

Задача 37

Условие задачи:

При изобарном расширении гелия совершена работа, равная 500 Дж. Какое количество теплоты было подведено к гелию?

Дано:

$$p = \text{const}, A = 500 \text{ Дж}, Q = ?$$

Решение задачи:

Применим первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A(1)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного (гелий — одноатомный газ) идеального газа ΔU определяют так:

$$\Delta U = 3/2 \nu R \Delta T(2)$$

Работу газа в изобарном процессе A можно найти по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1(3)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$\{ pV_1 = \nu RT_1, pV_2 = \nu RT_2$$

Тогда формулу (3) можно записать в виде:

$$A = \nu RT_2 - \nu RT_1$$

$$A = \nu R \Delta T(4)$$

Подставим в формулу (1) выражения (2) и (4), тогда:

$$Q = 3/2 \nu R \Delta T + \nu R \Delta T$$

$$Q = 5/2 \nu R \Delta T$$

Если учесть равенство (4), окончательно получим:

$$Q = 5/2 A$$

Количество подведённой теплоты Q равно:

$$Q = 5/2 \cdot 500 = 1250 \text{ Дж}$$

Ответ: 1250 Дж.

Задача 38

Условие задачи:

Если в некотором процессе газу сообщено 900 Дж теплоты, а газ при этом совершил работу 500 Дж, то как изменилась внутренняя энергия газа?

Дано:

$Q=900$ Дж, $A=500$ Дж, $\Delta U=?$

Решение задачи:

Первый закон термодинамики гласит, что количество теплоты Q , подведённое к газу, идёт на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A .

$$Q=\Delta U+A$$

Выразим из этого равенства изменение внутренней энергии ΔU :

$$\Delta U=Q-A$$

Произведём вычисления:

$$\Delta U=900-500=400\text{ Дж}$$

Так как величина ΔU получалась положительной, значит внутренняя энергия увеличилась.

Ответ: увеличилась на 400 Дж.

Задача 39

Условие задачи:

В некотором процессе газу сообщено 800 Дж теплоты, а его внутренняя энергия уменьшилась на 200 Дж. Найти работу газа в этом процессе.

Дано:

$Q=800$ Дж, $\Delta U=-200$ Дж, $A=?$

Решение задачи:

Запишем первый закон термодинамики. Согласно этому закону количество теплоты Q , сообщенное газу, расходуется на изменение его внутренней энергии ΔU и на совершение газом работы A , то есть:

$$Q=\Delta U+A$$

Выразим из равенства искомую работу газа A :

$$A=Q-\Delta U$$

Посчитаем численный ответ:

$$A=800 - (-200)=1000\text{ Дж}$$

Ответ: 1000 Дж.

Задача 40

Условие задачи:

В некотором процессе газу сообщено 900 Дж теплоты, а его внутренняя энергия увеличилась на 400 Дж. Найти работу газа в этом процессе.

Дано:

$Q=900$ Дж, $\Delta U=400$ Дж, $A=?$

Решение задачи:

Первый закон термодинамики гласит, что подведённое к газу количество теплоты Q идёт на изменение внутренней энергии газа ΔU и на совершение газом работы A :

$$Q = \Delta U + A$$

Выразим работу газа A :

$$A = Q - \Delta U$$

Произведём вычисления:

$$A = 900 - 400 = 500 \text{ Дж}$$

Ответ: 500 Дж.

Задача 41

Условие задачи:

В идеальном тепловом двигателе за счёт каждого килоджоуля энергии, полученной от нагревателя, производится работа, равная 450 Дж. Во сколько раз абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника?

Дано:

$$Q_H = 1 \text{ кДж}, A = 450 \text{ Дж}, T_H T_x = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия (КПД) η любого теплового двигателя можно определить по формуле:

$$\eta = A Q_H (1)$$

Если тепловой двигатель работает по циклу Карно, то есть является идеальным, то его КПД также возможно найти по формуле:

$$\eta = T_H - T_x T_H$$

Поделим числитель почленно на знаменатель в правой части формулы:

$$\eta = 1 - T_x T_H (2)$$

Приравняем правые части формул (1) и (2), тогда:

$$A Q_H = 1 - T_x T_H$$

$$T_x T_H = 1 - A Q_H$$

$$T_x T_H = Q_H - A Q_H$$

Так как нужно найти значение $T_H T_x$, то есть обратное полученное нами, перевернём дроби по обе части равенства:

$$T_H T_x = Q_H Q_H - A$$

Посчитаем численный ответ задачи:

$$T_H T_x = 1000 \cdot 1000 - 450 = 1,82$$

Ответ: в 1,82 раза.

Задача 42

Условие задачи:

В идеальном тепловом двигателе за счёт каждого килоджоуля энергии, полученной от нагревателя, производится работа, равная 450 Дж. Во сколько раз абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника?

Дано:

$$Q_H = 1 \text{ кДж}, A = 450 \text{ Дж}, T_H T_x = ?$$

Решение задачи:

Коэффициент полезного действия (КПД) η любого теплового двигателя можно определить по формуле:

$$\eta = A Q_H (1)$$

Если тепловой двигатель работает по циклу Карно, то есть является идеальным, то его КПД также возможно найти по формуле:

$$\eta = T_H - T_x T_H$$

Поделим числитель почленно на знаменатель в правой части формулы:

$$\eta = 1 - T_x T_H (2)$$

Приравняем правые части формул (1) и (2), тогда:

$$A Q_H = 1 - T_x T_H$$

$$T_x T_H = 1 - A Q_H$$

$$T_x T_H = Q_H - A Q_H$$

Так как нужно найти значение $T_H T_x$, то есть обратное полученное нами, перевернём дроби по обе части равенства:

$$T_H T_x = Q_H Q_H - A$$

Посчитаем численный ответ задачи:

$$T_H T_x = 10001000 - 450 = 1,82$$

Ответ: в 1,82 раза.

Задача 43

Условие задачи:

Температура нагревателя идеального теплового двигателя равна 327°C , а температура холодильника 27°C . Если этот двигатель совершил работу в 700 Дж , то чему равно полученное от нагревателя количество теплоты?

Дано:

$$t_H = 327^\circ\text{C}, t_x = 27^\circ\text{C}, A = 700 \text{ Дж}, Q_H = ?$$

Решение задачи:

КПД любого теплового двигателя η можно найти по такой формуле:

$$\eta = A Q_H$$

Если тепловой двигатель работает по циклу Карно, то есть является идеальным, то его КПД также можно определить так:

$$\eta = T_H - T_x T_H$$

Тогда имеем:

$$A Q_H = T_H - T_x T_H$$

Откуда искомое количество теплоты Q_H , полученное от нагревателя, равно:

$$Q_H = A T_H T_H - T_x$$

Переведём данные в условии температуры в систему СИ:

$$327^\circ\text{C} = 600^\circ\text{K}$$

$$27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$$

Посчитаем ответ:

$$Q_H = 700 \cdot 600600 - 300 = 1400 \text{ Дж} = 1,4 \text{ кДж}$$

Ответ: 1,4 кДж.

Задания для проведения текущего контроля обучающихся в форме практических занятий

Указания по выполнению практического занятия:

1. Повторить теоретический материал по теме занятия.
2. Ознакомиться с порядком выполнения работы, расчётными формулами.
3. Выполнить расчет индивидуального задания согласно варианту. При необходимости построить графики и диаграммы.
4. По полученным результатам сформулировать вывод по работе.
5. Оформить отчет о проделанной работе на отдельных листах формата А 4 и сдать преподавателю на проверку.

Раздел 1. Техническая термодинамика

Тема 1.2. Газовые законы Практическая работа № 1 Основные газовые законы – 4 часа

Состояние газа характеризуется его температурой, давлением и объемом. Если температура газа равна 0 °С, а давление равно давлению равно нормальному атмосферному (101,325 кПа или 760 мм. рт. ст.), то условия при которых находится газ, называют *нормальными*. Объем, занимаемый газом при этих условиях, принято обозначать через V_0 , а давление – через P_0 .

Согласно закона Бойля – Мариотта, при постоянной температуре давление, производимое данной массой газа, обратно пропорционально объему газа: $P_2/P_1 = V_1/V_2$ или $PV = \text{const}$.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Пример 1.1. При некоторой температуре давление газа, занимающего объем 3 л, равно 93,3 кПа (700 мм. рт. ст.) Каким станет давление, если, не изменяя температуры, уменьшить объем газа до 2,8 л?

Решение. Обозначив искомое давление через P_2 , можно записать

$$P_2/93,3 = 3/2,8. \text{ Отсюда: } P_2/93,3 \cdot 3/2,8 = 100 \text{ кПа (750 мм. рт. ст.)}$$

По закону Гей – Люссака при постоянном давлении объем газа изменяется прямо пропорционально абсолютной температуре (T): $V_1/T_1 = V_2/T_2$ или $V/T = \text{const}$.

Пример 1.2. При 27 °С объем газа равен 600 мл. Какой объем займет газ при 57 °С, если давление будет оставаться постоянным?

Решение. Обозначим искомый объем через V_2 , а соответствующую ему температуру через T_2 . По условию задачи $V_1 = 600$ мл, $T_1 = 273 + 27 = 300$ °К и $T_2 = 273 + 57 = 330$ °К. Подставляя эти значения в выражение закона Гей-Люссака, получим: $60/300 = V_2/330$, откуда $V_2 = 600 \cdot 330/300 = 660$ мл.

При постоянном объеме давление газа изменяется пропорционально абсолютной температуре: $P_1/T_1 = P_2/T_2$

Пример 1.3. При 15 °С давление в баллоне с кислородом равно $91,2 \cdot 10^2$ кПа. При какой температуре оно станет равным $101,33 \cdot 10^2$ кПа?

Решение. Пусть искомая температура T_2 . По условию задачи $T_1 = 273 + 25 = 298$ °К, $P_1 = 91,2 \cdot 10^2$ кПа, $P_2 = 101,33 \cdot 10^2$ кПа. Подставляя эти значения в последнее уравнение, находим: $T_2 = 101,33 \cdot 10^2 \cdot 298 / (91,2 \cdot 10^2) = 320$ °К или 47 °С.

Зависимость между объемом газа, давлением и температурой можно выразить общим уравнением, объединяющим законы Бойля-Мариотта и Гей-Люссака: $PV/T = P_0V_0/T_0$

где: P и V – давление и объем газа при данной температуре T ; P_0 и V_0 – давление и объем газа при нормальных условиях.

Приведенное уравнение позволяет находить любую из указанных величин, если известны остальные.

Пример 1.4. При 25°С и давлении 99,3 кПа (745 мм.рт.ст.) некоторое количество газа занимает объем 152 мл. Найти, какой объём займет это же количество газа при 0°С и давлении 101,33 кПа.

Решение. Подставляя данные задачи в последнее уравнение, получаем:

$$V_0 = PVT_0/P_0T = 9,3 \cdot 152 \cdot 273 / (101,33 \cdot 298) = 136,5 \text{ мл}$$

Парциальное давление газа

Парциальным давлением газа в смеси называется давление, которое производил бы этот газ, занимая при тех же физических условиях объем всей газовой смеси.

Пример 1.5. Смешивают 2л O_2 или SO_2 , взятых при одинаковом давлении, равном 100 кПа (750 мм. рт. ст.); объем смеси 6 л. Определить парциальное давление газов в смеси.

Решение. По условию задачи объем кислорода увеличился после смешения в $6/2=3$ раза, объем диоксида серы – в $6/4 = 1,5$ раза. Во столько же раз уменьшились парциальные давления газов.

Следовательно: $P_{O_2} = 100/3 = 33,3$ кПа, $P_{SO_2} = 100/1,5 = 66,7$ кПа.

Согласно закону парциальных давлений, *общее давление смеси газов, не вступивших друг с другом в химическое взаимодействие, равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь.*

Пример 1.6. Смешивают 3л CO_2 ; с 4л O_2 и 6л N_2 До смешения давление CO_2 ; O_2 и N_2 составляло соответственно 96,108 и 90,6 кПа. Общий объем смеси 10 л. Определить давление смеси.

Решение.

Аналогично решению предыдущей задачи находим парциальные давления отдельных газов:

$$P_{O_2} = 108 \cdot 4/10 = 43,2 \text{ кПа} \quad P_{CO_2} = 96 \cdot 3/10 = 28,8 \text{ кПа} \quad P_{N_2} = 90,6 \cdot 6/10 = 54,4 \text{ кПа}$$

Общее давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений:

$$P = 28,8 + 43,2 + 54,4 = 126,4 \text{ кПа}$$

Если газ собран над жидкостью, то при расчетах следует иметь в виду, что его давление является парциальным и равно разности общего давления газовой

смеси и парциального давления пара жидкости.

Пример 1.7. Какой объем займут при нормальных условиях 120 мл азота, собранного над водой при 20°C и давлении 100 кПа (750 мм. рт. ст.)? Давление насыщенного пара воды при 20°C равно 2,3 кПа.

Решение.

Парциальное давление азота равно разности общего давления и парциального давления пара воды: $P_{N_2} = P - P_{H_2O} = 100 - 2,3 = 97,7$ кПа

Обозначив искомый объем через V_0 и используя объединенное уравнение законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, находим:

$$V_0 = PVT_0/TP_0 = 97,7 \cdot 120 \cdot 273/(293 \cdot 101,3) = 108 \text{ мл}$$

Вопросы и упражнения для самоподготовки:

1. При 17°C некоторое количество газа занимает объем 580 мл. Какой объем займет это же количество газа при 100°C, если давление его останется неизменным?
2. Давление газа, занимающего объем 2,5 л равно 121,6 кПа (912 мм. рт. ст.) Чему будет равно давление, если не изменяя температуры, сжать газ до объема в 1 л.?
3. На сколько градусов надо нагреть газ, находящийся в закрытом сосуде при 0°C, чтобы давление его увеличилось вдвое?
4. При 27°C и давлении 720 мм. рт. ст. объем газа равен 5 л. Какой объем займет это же количество газа при 39°C и давлении 104 кПа?
5. При 7°C давление газа в закрытом сосуде равно 96,0 кПа. Каким станет давление, если охладить сосуд до – 33°C?
6. При нормальных условиях 1 г воздуха занимает объем 773 мл. Какой объем займет та же масса воздуха при 0°C и давлении, равном 93,3 кПа (700 мм. рт. ст.)?
7. Давление газа в закрытом сосуде при 12°C равно 100 кПа (750 мм. ст. рт.) Каким станет давление газа, если нагреть сосуд до 30°C?
8. В стальном баллоне вместимостью 12 л находится при 27°C кислород под давлением 15,2 МПа. Какой объем кислорода, находящегося при нормальных условиях, можно получить из такого баллона?
9. Температура азота, находящегося в стальном баллоне под давлением 12,5 МПа равна 17°C. Предельное давление для баллона 20,3 МПа. При какой температуре давление азота достигнет предельного значения?
10. При давлении 98,7 кПа и температура 91°C некоторое количество газа занимает объем 680 мл. Найти объем газа при нормальных условиях.
11. При взаимодействии 1,28 г металла с водой выделилось 380 мл водорода, измеренного при 21°C и давлении 104,5 кПа (784 мм. рт. ст.). Найти эквивалентную массу металла.
12. Как следует изменить условия, чтобы увеличение массы данного газа не привело к возрастанию его объема: а) понизить температуру; б) увеличить давление; в) нельзя подобрать условий?
13. Какие значения температуры и давления соответствует нормальным условиям для газов: а) $t=25^\circ\text{C}$, $P=760$ мм. ст. рт.; б) $t=0^\circ\text{C}$, $P=1,013 \cdot 10^5$ Па; в)

$t=0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=760\text{ мм. рт. ст.}$?

Практическая работа № 2
Параметры состояния рабочего тела. Уравнения идеального газа.
Определение теплоемкости идеальных газов – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что понимается под термодинамической системой?
2. Назовите основные термические параметры состояния рабочего тела и напишите их размерность.
3. В чем состоит различие между абсолютным, атмосферным, барометрическим давлениями?
 1. Дайте определение идеального газа.
 2. Дайте определение обратимого и необратимого равновесного и неравновесного процессов.
 3. Какие параметры входят в уравнение состояния идеального газа?
 4. Объясните физический смысл удельной газовой и универсальной газовой постоянных и напишите их размерности.
 5. Напишите уравнение состояния для 1 кг, m кг, I кмоль, μ кмоль идеального газа.
 6. Дайте определения основных законов для идеального газа.
 7. Что называется газовой смесью?
 8. В чем сущность закона Дальтона?
 9. Напишите соотношения между массовыми и объемными долями.
 10. Как определить среднюю молярную массу и удельную газовую постоянную смеси?
 11. Дайте определение удельной теплоемкости.
 12. Запишите соотношения между массовой, объемной и мольной (молярной) теплоемкостями.
 13. В чем отличие понятий "истинная теплоемкость" и "средняя теплоемкость"?
 14. Как определить среднюю теплоемкость в интервале температур $t_1...t_2$, пользуясь таблицей теплоемкости?
 15. Объясните смысл величин, входящих в уравнение Майера.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 2.1. Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду, показывает разрежение $P_v = 60\text{ кПа}$ при температуре ртути в вакуумметре $t_1=25^{\circ}\text{C}$. Давление атмосферы по ртутному барометру $P_0 = 102,4\text{ кПа}$ при температуре ртути $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$. Определить абсолютное давление в сосуде.

Решение. Приводим показания ртутных приборов к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ по формуле:

$$P_0 = P \cdot (1 - \beta \cdot t), \quad (2.1)$$

где P - показания ртутного прибора при $t\text{ }^{\circ}\text{C}$, Па ;

t - температура ртути в приборе, °C;

$\beta = 1,72 \cdot 10^{-4}$ 1/град - коэффициент объемного расширения ртути.

Подставив исходные данные в формулу, получим:

$$P_{e_0} = 60 \cdot 10^3 \cdot (1 - 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot 25) = 59740 \text{ кПа};$$

$$P_{e_0} = 102,4 \cdot 10^3 \cdot (1 - 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot 20) = 102050 \text{ кПа};$$

Абсолютное давление в сосуде равно разности между атмосферным и вакуумметрическим давлением в сосуде:

$$P_a = 102050 - 59740 = 42310 \text{ Па} = 42,31 \text{ кПа}.$$

Ответ: абсолютное давление в сосуде равно 42,31 кПа.

Задача 2.2. После пуска ДВС давление сжатого воздуха в пусковом баллоне понизилось от $P_1 = 3,5$ до $P_2 = 2,9$ МПа. Определить объем израсходованного воздуха при давлении и температуре окружающей среды соответственно $P_o = 100,8$ кПа и $t_o = 18$ °C, если вместимость пускового баллона $V = 0,2$ м³, температура воздуха в баллоне до пуска ДВС $t_1 = 18$ °C, после пуска $t_2 = 10$ °C.

Решение. Запишем уравнения состояния для трех состояний газа:

– состояние газа в баллоне до пуска ДВС:

$$P_1 V = m_1 R T_1, \quad (2.2)$$

– состояние газа в баллоне после пуска ДВС: $P_2 V = m_2 R T_2, \quad (2.3)$

– состояние газа в окружающей среде: $P_o V_o = m_o R T_o, \quad (2.4)$

где $R = 287,3$ Дж/кг·°K – удельная газовая постоянная для воздуха (П. «А»);

m - масса воздуха в соответствующих состояниях, кг.

Абсолютная температура газа:

$$T_1 = 18 + 273 = 291 \text{ К}; \quad T_2 = 10 + 273 = 283 \text{ °K}.$$

Определим массу воздуха, содержащегося в баллоне, до пуска ДВС:

$$m_1 = \frac{P_1 V}{R T_1} = \frac{3,5 \cdot 10^6 \cdot 0,2}{287,3 \cdot 291} = 8,37 \text{ кг}.$$

Масса воздуха, оставшегося в баллоне после пуска ДВС:

$$m_2 = \frac{P_2 V}{R T_2} = \frac{2,9 \cdot 10^6 \cdot 0,2}{287,3 \cdot 283} = 7,13 \text{ кг}.$$

Масса израсходованного воздуха:

$$m_o = m_1 - m_2 = 8,37 - 7,13 = 1,24 \text{ кг}.$$

Объем израсходованного воздуха:

$$V_o = \frac{m_o R T_o}{P_o} = \frac{1,24 \cdot 287 \cdot 291}{100,8 \cdot 10^3} = 1,027 \text{ м}^3.$$

Ответ: объем израсходованного воздуха равен 1,027 м³.

Задача 2.3. Объемные доли компонентов смеси идеальных газов равны: $H_2O - 40\%$, $O_2 - 10\%$, $N_2 - 50\%$. Давление смеси $P_{см} = 0,15$ МПа при

температуре 100 °С. Найти парциальные давления компонентов, молярную массу смеси, массовые доли компонентов, газовую постоянную смеси, а также плотность смеси при условиях, указанных в задаче.

Решение. Парциальные давления компонентов смеси определяются по формуле:

$$P_i = r_i \cdot P_{см}, \quad (2.5)$$

где r_i - объемная доля i -го компонента смеси.

Таким образом: $r_{H_2O} = 0,4$; $r_{O_2} = 0,1$; $r_{N_2} = 0,5$.

Парциальные давления компонентов: $P_{H_2O} = 0,4 \cdot 0,15 \cdot 10^6 = 60$ кПа;

$$P_{O_2} = 0,1 \cdot 0,15 \cdot 10^6 = 15 \text{ кПа}; P_{N_2} = 0,5 \cdot 0,15 \cdot 10^6 = 75 \text{ кПа}.$$

Молярная масса смеси:

$$\mu_{см} = \sum r_i \mu_i, \quad (2.6)$$

где μ_i - молярная масса i -го компонента смеси.

Тогда:

$$\begin{aligned} \mu_{см} &= \sum r_i \mu_i = r_{H_2O} \mu_{H_2O} + r_{O_2} \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = \\ &= 0,4 \cdot 18 + 0,1 \cdot 32 + 0,5 \cdot 28 = 24,4 \text{ кг/кмоль} \end{aligned}$$

Удельная газовая постоянная смеси:

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}} = \frac{8314}{24,4} = 340,7 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

Массовые доли компонентов смеси: $g_i = \frac{r_i \mu_i}{\mu_{см}}$

$$\begin{aligned} g_{H_2O} &= \frac{0,4 \cdot 18}{24,4} = 0,3 & g_{N_2} &= \frac{0,5 \cdot 28}{24,4} = 0,57 \\ g_{O_2} &= \frac{0,1 \cdot 32}{24,4} = 0,13 \\ \sum g_i &= 0,3 + 0,13 + 0,57 = 1. \end{aligned}$$

Плотность смеси определим из уравнения состояния:

$$P_{см} \cdot v_{см} = R_{см} \cdot T_{см}. \quad (2.7)$$

Так как $v_{см} = \frac{1}{\rho_{см}}$, то

$$\rho_{см} = \frac{P_{см}}{R_{см} \cdot T_{см}} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{340,7 \cdot 373} = 1,18 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $P_{H_2O} = 60$ кПа; $P_{O_2} = 15$ кПа; $P_{N_2} = 75$ кПа; $\mu_{см} = 24,4$ кг/кмоль; $g_{H_2O} = 0,3$; $g_{O_2} = 0,13$; $g_{N_2} = 0,57$; $R_{см} = 340,7$ Дж/кг·К; $\rho_{см} = 1,18$ кг/м³.

Задача 2.4. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном давлении для азота в пределах 300...600 °С, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Решение. Среднее значение теплоемкости в интервале от t_1 до t_2 определяется по формуле:

$$c_m = \frac{q}{t_2 - t_1}, \quad (2.8)$$

где t_1, t_2 начальная и конечная температуры соответственно, °С или °К;

q - количество теплоты, подводимой к единице количества газа (или отводимой от него) при изменении температуры газа пределах от t_1 до t_2 .

Количество теплоты, участвующей в процессе при постоянном давлении:

$$q_p = c_{pm2} \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_{pm1} \Big|_0^{t_1} \cdot t_1, \quad (2.9)$$

где $c_{pm1} \Big|_0^{t_1}, c_{pm2} \Big|_0^{t_2}$ - средние значения массовой изобарной теплоемкости в интервалах температур от 0 до t_1 и от 0 до t_2 соответственно.

Тогда массовая изобарная теплоемкость при нагреве от t_1 до t_2 определяется по формуле:

$$c_{pm} = \frac{c_{pm2} \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_{pm1} \Big|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1}. \quad (2.10)$$

Пользуясь таблицей теплоемкости для азота (П. «В»), получим:

$$c_{pm1} \Big|_0^{300} = 1,0488 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К};$$

$$c_{pm2} \Big|_0^{600} = 1,076 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}, \text{ поэтому для азота:}$$

$$c_{pm} = \frac{1,076 \cdot 600 - 1,0488 \cdot 300}{600 - 300} = 1,1032 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Ответ: среднее значение массовой изобарной теплоемкости для азота при нагреве от 300 до 600 °С равно 1,1032 кДж/кг·°К.

Задача 2.5. Смесь идеального газа массой $m = 30$ кг, заданная объемными долями: H_2O -40%, O_2 -10%, N_2 -50% и занимающая объем $V_1 = 35 \text{ м}^3$, нагревается при постоянном давлении от температуры $t_1 = 100$ °С до температуры $t_2 = 200$ °С, а затем охлаждается при постоянном объеме до исходной температуры t_1 .

Определить теплоту 1 кг смеси в процессах. Расчет проиллюстрировать изображением процессов в vP - и sT -диаграммах. Задачу решать с учетом нелинейной зависимости теплоемкостей газа от температуры.

Решение.

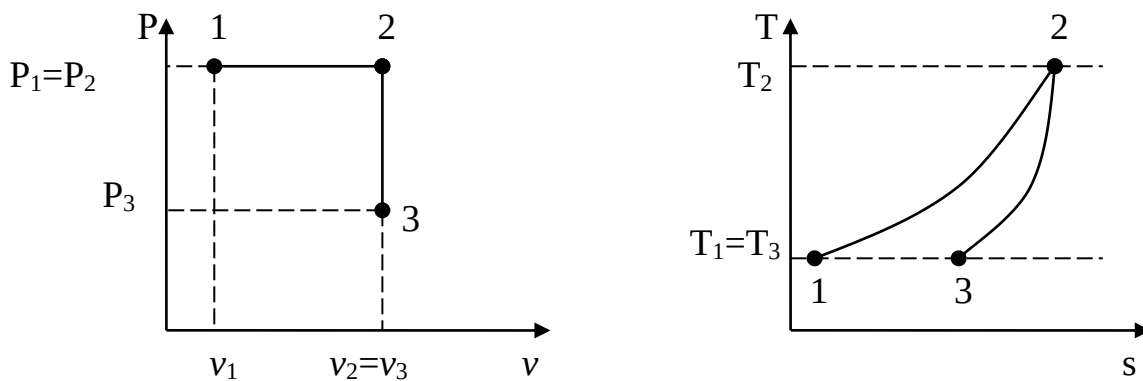


Рисунок 2.1 – К задаче 2.5.

Молярная масса смеси:

$$\begin{aligned}\mu_{см} &= \sum r_i \mu_i = r_{H_2O} \mu_{H_2O} + r_{O_2} \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = \\ &= 0,4 \cdot 18 + 0,1 \cdot 32 + 0,5 \cdot 28 = 24,4 \text{ кг/моль}\end{aligned}$$

Удельная газовая постоянная смеси:

$$R = \frac{8314}{\mu_{см}} = \frac{8314}{24,4} = 340,7 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

Массовые доли компонентов смеси: $g_i = \frac{r_i \mu_i}{\mu_{см}}$

$$\begin{aligned}g_{H_2O} &= \frac{0,4 \cdot 18}{24,4} = 0,3; & g_{N_2} &= \frac{0,5 \cdot 28}{24,4} = 0,57; \\ g_{O_2} &= \frac{0,1 \cdot 32}{24,4} = 0,13. & \sum g_i &= 0,3 + 0,13 + 0,57 = 1.\end{aligned}$$

Массовые изобарные теплоемкости компонентов смеси при нагреве от $t_1 = 100^\circ \text{C}$ до $t_2 = 200^\circ \text{C}$ определяются по формуле:

$$\begin{aligned}c_p^i &= \frac{c_p^i \Big|_{t_2} \cdot t_2 - c_p^i \Big|_{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1}. \\ c_p^{H_2O} &= \frac{1,8937 \cdot 200 - 1,8728 \cdot 100}{200 - 100} = 1,9146 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}; \\ c_p^{O_2} &= \frac{0,9232 \cdot 200 - 0,9353 \cdot 100}{200 - 100} = 0,9111 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}; \\ c_p^{N_2} &= \frac{1,0434 \cdot 200 - 1,0404 \cdot 100}{200 - 100} = 1,0464 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.\end{aligned}$$

Теплоемкость газовой смеси:

$$\begin{aligned}c_p^{см} &= \sum c_p^i \cdot g_i = c_p^{H_2O} \cdot g_{H_2O} + c_p^{O_2} \cdot g_{O_2} + c_p^{N_2} \cdot g_{N_2} = \\ &= 1,9146 \cdot 0,3 + 0,9111 \cdot 0,13 + 1,0464 \cdot 0,57 = 1,2893 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.\end{aligned}$$

Теплота, подведенная в процессе 1-2:

$$q_{1-2} = c_p^{см} \cdot (t_2 - t_1) = 1,2893 \cdot 100 = 128,93 \text{ кДж/кг}.$$

Массовую изохорную теплоемкость смеси определяем из уравнения Майера:

$$c_v^{с.м} = c_p^{с.м} - R = 1,2893 - 0,3407 = 0,9486 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Теплота, отведенная в процессе 2-3:

$$q_{2-3} = c_v^{с.м} \cdot (t_3 - t_2) = 0,9486 \cdot (-100) = -94,86 \text{ кДж/кг}.$$

Ответ: $q_{1-2} = 128,93 \text{ кДж/кг}$; $q_{2-3} = -94,86 \text{ кДж/кг}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 2.6. Определить абсолютное давление в паровом котле, если манометр показывает 0,25 МПа, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 700 мм рт. ст. при температуре 20 °С.

Ответ: $P = 0,343 \text{ МПа}$.

Задача 2.7. В баллоне емкостью 60 л находится водород при давлении 5 МПа в температуре 30 °С. Определить массу газа в баллоне.

Ответ: $m_{H_2} = 0,24 \text{ кг}$.

Задача 2.8. Масса воздуха, заключенного между крышкой цилиндра и поршнем компрессора, равна 0,5 кг. Диаметр цилиндра 0,5 м, давление и температура внутри цилиндра 0,35 МПа и 400 °К соответственно. При неизменном давлении движущийся без трения поршень перемещается на 20 см.

Определить начальное расстояние поршня от крышки цилиндра и температуру в цилиндре после перемещения поршня.

Ответ: $X = 0,64 \text{ м}$; $T_1 = 495 \text{ °К}$; $T_2 = 305 \text{ °К}$.

Задача 2.9. Объемный состав сухих продуктов сгорания органического топлива следующий: $CO_2 = 12,3 \%$; $O_2 = 7,2 \%$; $N_2 = 80,5 \%$.

Найти молярную массу и газовую постоянную смеси, а также плотность и удельный объем продуктов сгорания при давлении 100 кПа и температуре 800 °С.

Ответ: $\mu = 30,3 \text{ кг/кмоль}$; $R = 274 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$; $\rho = 0,34 \text{ кг/м}^3$; $v = 2,94 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Задача 2.10. Объемные доли компонентов влажного воздуха: кислорода $O_2 - 21 \%$, азота $N_2 - 78,1 \%$; водяного пара $H_2O - 0,9 \%$. Определить массовые доли, парциальные давления компонентов воздуха при давлении смеси 0,1 МПа, газовую постоянную воздуха и его плотность при нормальных условиях.

Ответ: $g_{O_2} = 0,234$; $g_{N_2} = 0,76$; $g_{H_2O} = 0,006$; $P_{O_2} = 21,0 \text{ кПа}$;

$$P_{N_2} = 78,1 \text{ кПа}; P_{H_2O} = 0,9 \text{ кПа}; R = 289 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°К}; \rho_{см} = 1,18 \text{ кг/м}^3$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Исследование термодинамических процессов идеального газа – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Сформулируйте первый закон термодинамики и напишите его аналитическое выражение.
2. От каких параметров состояния зависит внутренняя энергия газов?
3. Чем являются теплота и работа - функцией процесса или состояния? Почему?
4. Что такое энтальпия и энтропия? В чем заключается их физический смысл?
5. Как определить приращение энтропии идеального газа в зависимости от основных термических параметров состояния?
6. Как определить работу и теплоту процесса на vP - и sT - диаграммах?
7. В каком случае теплота, работа, изменение внутренней энергии и энтропии считаются положительными? отрицательными?
8. В каком термодинамическом процессе вся теплота идет на совершение работы?
9. В каком термодинамическом процессе работа не совершается?
10. В каком термодинамическом процессе работа совершается за счет изменения внутренней энергии?
11. В каком термодинамическом процессе показатель политропы равен нулю?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 3.1. Воздух массой 10 кг расширяется изотермически при $t_1 = 400^\circ\text{C}$ от начального давления $P_1 = 800$ кПа до конечного объема $V_2 = 5$ м³. Определить начальный объем, конечное давление, работу расширения, теплоту процесса, изменение энтропии, энтальпии и внутренней энергии.

Решение. Начальный объем определяем из уравнения состояния для m кг газа:

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{10 \cdot 287,3 \cdot 673}{800 \cdot 10^3} = 2,417 \text{ м}^3.$$

Конечное давление определяем из соотношения параметров в изотермическом процессе:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}, \quad (3.1)$$

$$\text{тогда: } P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = 800 \cdot \frac{2,417}{5} = 386,72 \text{ кПа}$$

Работу расширения в изотермическом процессе определяем по формуле:

$$L_{1-2} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.2)$$

После подстановки данных имеем:

$$L_{1-2} = 800 \cdot 2,417 \cdot \ln \frac{5}{2,417} = 1405,6 \text{ кДж.}$$

В изотермическом процессе вся теплота расходуется на совершение работы, поэтому в данном случае $Q_{1-2} = L_{1-2} = 1405,6$ кДж.

Изменение энтропии в изотермическом процессе находим по формуле:

$$\Delta S_{1-2} = R \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (3.3)$$

тогда $\Delta S_{1-2} = 0,2873 \cdot \ln \frac{5}{2,417} = 0,21 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$

Энтальпия и внутренняя энергия идеального газа в изотермическом процессе не изменяются, таким образом, $\Delta I_{1-2} = 0$ и $\Delta U_{1-2} = 0$.

Ответ: $V_1 = 2,417 \text{ м}^3$; $P_2 = 386,72 \text{ кПа}$; $Q_{1-2} = L_{1-2} = 1405,6 \text{ кДж}$;

$$\Delta S_{1-2} = 0,21 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}; \Delta I_{1-2} = 0 \text{ и } \Delta U_{1-2} = 0.$$

Задача 3.2. Сухой воздух массой 1 кг совершает прямой термодинамический цикл, состоящий из четырех последовательных термодинамических процессов.

Заданные параметры для воздуха: $P_1 = 0,3 \text{ МПа}$, $T_1 = 300 \text{ К}$, $P_2 = 0,2 \text{ МПа}$, $T_3 = 273 \text{ }^\circ\text{К}$. Процессы: 1-2 - $s = \text{const}$; 2-3 - $v = \text{const}$; 3-4 - $s = \text{const}$; 4-1 - $P = \text{const}$.

Требуется:

1. Рассчитать давление P , удельный объем v , температуру воздуха T для основных точек цикла.
2. Для каждого из процессов определить значения показателей политропы n , теплоемкости c , вычислить изменение внутренней энергии Δu , энтальпии Δi , энтропии Δs , теплоту процесса q , работу процесса l , располагаемую работу l_0 .
3. Определить суммарные количества подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, работу цикла $l_{\text{ц}}$, термический КПД цикла η .
4. Построить цикл в vP - и sT - координатах.

Принять газовую постоянную $R = 287,3 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{К)}$, теплоемкость при постоянном давлении $c_p = 1,025 \text{ кДж/(кгК)}$, что соответствует свойствам сухого воздуха при $T = 273 \text{ }^\circ\text{К}$.

Решение.

1. Определим параметры в характерных точках.

$$\text{Точка 1. } T_1 = \frac{P_1 v_1}{R} = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 0,45}{287,3} = 313 \text{ К}.$$

Точка 2. Процесс 1-2 – адиабатный

$$\text{Показатель адиабаты: } k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1,025}{0,738} = 1,4;$$

$$c_v = c_p - R = 1,025 - 0,2873 = 0,738 \text{ кДж/(кгК)}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,45 \cdot \left(\frac{0,2}{1,2} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,125 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 313 \cdot \left(\frac{1,2}{0,2} \right)^{0,286} = 523 \text{ К.}$$

Точка 3. Процесс 2-3 – изохорный $\Rightarrow v_3 = v_2 = 0,125 \text{ м}^3/\text{кг}$.

$$P_3 = \frac{P_2 \cdot T_3}{v_3} = \frac{287,3 \cdot 573}{0,125} = 1,3 \text{ МПа.}$$

Точка 4. $v_4 = v_3 \cdot \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,125 \cdot \left(\frac{1,3}{0,2} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$.

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 573 \cdot \left(\frac{0,2}{1,3} \right)^{0,286} = 335 \text{ К}$$

Таблица 3.1 – Результаты вычислений

Термические параметры	Точка цикла			
	1	2	3	4
P , МПа	0,2	1,2	1,3	0,2
v , м ³ /кг	0,45	0,125	0,125	0,5
T , К	313	523	573	335

2. Рассчитаем параметры процессов.

Процесс 1-2 – адиабатный: $q = 0$.

Показатель политропы рассчитаем по формуле:

$$n = \frac{\lg \frac{P_2}{P_1}}{\lg \frac{v_1}{v_2}} = 1,4. \quad (3.4) \text{ Для данного процесса: } n = \frac{\lg \frac{1,2}{0,2}}{\lg \frac{0,45}{0,06}} = 1,4.$$

Теплоемкость:

$$c = c_v \frac{n - k}{n - 1}. \quad (3.5)$$

В адиабатном процессе теплоемкость равна нулю, т.к. $n = k$:

$$c = 0,738 \cdot \frac{1,4 - 1,4}{1,4 - 1} = 0.$$

Изохорная теплоемкость: $c_v = c_p - R = 1,025 - 0,2873 = 0,738 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$

Изменение внутренней энергии и энтальпии:

$$\Delta u_{1-2} = c_v (T_2 - T_1) = 0,738 \cdot (523 - 313) = 154,98 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{1-2} = c_p (T_2 - T_1) = 1,025 \cdot (523 - 313) = 215,25 \text{ кДж/кг}.$$

Изменение энтропии определяется по формуле:

$$\Delta s = \int \frac{dq}{T}. \quad (3.6)$$

Т.к. в адиабатном процессе $dq = 0$, то и $\Delta s = 0$.

В адиабатном процессе работа совершается за счет изменения внутренней энергии:

$$l = -\Delta u, \quad (3.7)$$

тогда: $l = -\Delta u = -154,98$ кДж/кг.

Располагаемая работа в адиабатном процессе в k раз больше работы изменения объема: $l_0 = k \cdot l = 1,4 \cdot (-154,98) = -216,98$ кДж/кг.

Процесс 2-3 – изохорный: $v_2 = v_3$.

В изохорном процессе показатель политропы равен бесконечности:

$$n = \frac{\lg \frac{P_2}{P_3}}{\lg \frac{v_3}{v_2}} = \infty.$$

$$c = c_v \frac{n - k}{n - 1} = c_v = 0,738 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Изменение внутренней энергии и энтальпии:

$$\Delta u_{2-3} = c_v (T_3 - T_2) = 0,738 \cdot (573 - 523) = 36,9 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{2-3} = c_p (T_3 - T_2) = 1,025 \cdot (573 - 523) = 51,25 \text{ кДж/кг}.$$

Изменение энтропии в изохорном процессе определяется по формуле:

$$\Delta s = c_v \ln \frac{T_j}{T_i}, \quad (3.8)$$

$$\text{Тогда в данном случае: } \Delta s = c_v \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,738 \cdot \ln \frac{573}{523} = 0,07 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

В изохорном процессе вся теплота расходуется на изменение внутренней энергии: $q = \Delta u = 36,9$ кДж/кг.

Работа в изохорном процессе равна нулю за счет того объем остается постоянным: $l = \int_{v_1}^{v_2} P dv = 0$.

Располагаемая работа: $l_0 = -v \cdot (P_3 - P_2) = -0,125 \cdot (1,3 - 1,2) = 12,5$ кДж/кг

Процесс 3-4 - адиабатный: $q = 0$.

$$n = \frac{\lg \frac{P_4}{P_3}}{\lg \frac{v_3}{v_4}} = \frac{\lg \frac{0,2}{1,3}}{\lg \frac{0,125}{0,5}} = 1,4; \quad c = c_v \frac{n - k}{n - 1} = 0.$$

$$\Delta u_{3-4} = c_v (T_4 - T_3) = 0,738 \cdot (335 - 573) = -175,6 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{3-4} = c_p (T_4 - T_3) = 1,025 \cdot (335 - 573) = -243,95 \text{ кДж/кг};$$

$$l = -\Delta u = 175,6 \text{ кДж/кг}; \quad l_0 = k \cdot l = 1,4 \cdot 175,6 = 245,84 \text{ кДж/кг}; \quad \Delta s = 0$$

Процесс 4-1 – изобарный: $P = \text{const}$, т.е. $P_4 = P_1$.

Таким образом, $n = 0$.

Теплоемкость процесса: $c = c_v \frac{n-k}{n-1} = c_v \cdot k = c_p = 1,025 \text{ кДж/(кг·К)}$.

$$\Delta u_{4-1} = c_v (T_1 - T_4) = 0,738 \cdot (313 - 335) = -16,24 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{4-1} = c_p (T_1 - T_4) = 1,025 \cdot (313 - 335) = -22,55 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_1}{T_4} = 1,025 \cdot \ln \frac{313}{335} = -0,07 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$q_{4-1} = c_p (T_1 - T_4) = \Delta i_{4-1} = -22,55 \text{ кДж/кг};$$

$$l = P_4 \cdot (v_1 - v_4) = 0,2 \cdot 10^3 \cdot (0,45 - 0,5) = -10 \text{ кДж/кг}; \quad l_0 = - \int_{P_{21}}^{P_3} v dP = 0.$$

3. Определим суммарные количества подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, работу цикла $l_{ц}$, термический КПД цикла η_t .

Подведенная теплота: $q_1 = q_{2-3} = 36,9 \text{ кДж/кг}$.

Отведенная теплота: $q_2 = +|q_{4-1}| = 22,55 \text{ кДж/кг}$.

Работа цикла: $l_{ц} = |q_1| - |q_2| = 36,9 - 22,55 = 14,35 \text{ кДж/кг}$.

Термический КПД цикла η_t : $\eta_t = \frac{l_{ц}}{q_1} = \frac{14,35}{36,9} = 39 \%$

4. Для построения цикла в координатах sT необходимо определить значение энтропии s_i (Дж/кг·К) для каждой характерной точки цикла по формуле:

$$s_i = c_p \ln \frac{T_i}{T_H} - R \ln \frac{P_i}{P_H}. \quad (3.9)$$

Далее получаем:

$$s_1 = c_p \ln \frac{T_1}{T_H} - R \ln \frac{P_1}{P_H} = 1,025 \ln \frac{313}{273} - 0,2873 \ln \frac{0,2}{0,1} = -0,06 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$s_2 = c_p \ln \frac{T_2}{T_H} - R \ln \frac{P_2}{P_H} = 1,025 \ln \frac{523}{273} - 0,2873 \ln \frac{1,2}{0,1} = -0,06 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$s_3 = c_p \ln \frac{T_3}{T_H} - R \ln \frac{P_3}{P_H} = 1,025 \ln \frac{573}{273} - 0,2873 \ln \frac{1,3}{0,1} = 0,01 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$s_4 = c_p \ln \frac{T_4}{T_H} - R \ln \frac{P_4}{P_H} = 1,025 \ln \frac{335}{273} - 0,2873 \ln \frac{0,2}{0,1} = 0,01 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Вычислим значения изменения энтропии в термодинамическом цикле:

$$\Delta s_{1-2} = s_2 - s_1 = -0,06 + 0,06 = 0 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$\Delta s_{2-3} = s_3 - s_2 = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$\Delta s_{3-4} = s_4 - s_3 = 0,01 - 0,01 = 0 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$\Delta s_{4-1} = s_1 - s_4 = -0,06 - 0,01 = -0,07 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Вычисленные значения изменения энтропии совпадают со значениями,

полученными для процессов цикла через основные термодинамические параметры.

Таблица 3.2 – Результаты вычислений энтропии в точках цикла

	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
T, K	313	523	573	335
$s, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	- 0,06	- 0,06	0,01	0,01

Цикл в vP – координатах строим, используя результаты вычислений п.1 (таблица 2):

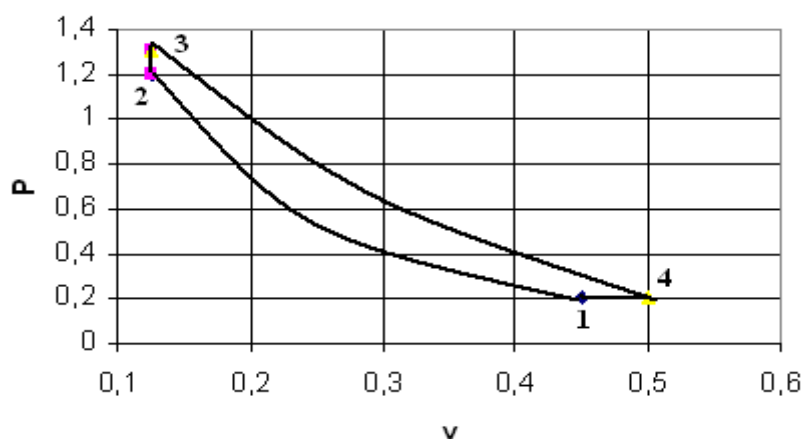


Рисунок 3.1 – Цикл в vP -координатах

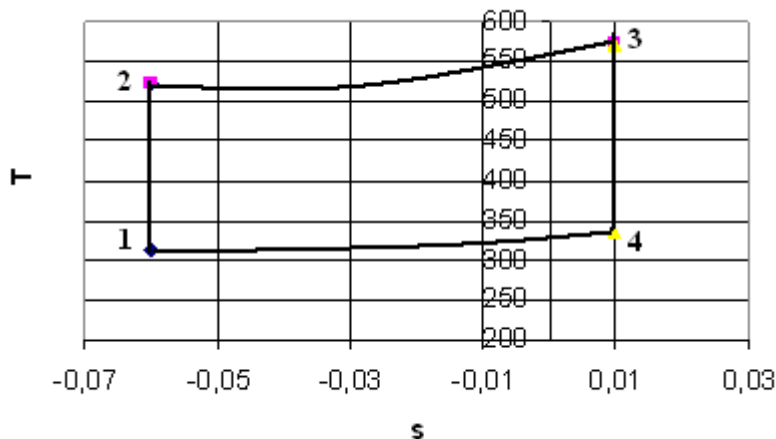


Рисунок 3.2 – Цикл в sT – диаграмме

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 3.3. Какое количество теплоты необходимо подвести к воздуху в закрытом сосуде объемом $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$, если начальная температура $t_1 = 100^\circ \text{C}$, давление $P_1 = 300 \text{ кПа}$, а конечная температура $t_2 = 500^\circ \text{C}$? Определить также массу воздуха и конечное давление. Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.

Ответ: $m = 1,4 \text{ кг}$; $Q = 412 \text{ кДж}$; $P_2 = 623 \text{ кПа}$.

Задача 3.4. В изохорном процессе температура окиси углерода массой $m =$

2,1 кг с начальным давлением $P_1 = 0,12$ МПа изменяется от $t_1 = 25^\circ\text{C}$ до $t_2 = 63^\circ\text{C}$. Определить параметры состояния рабочего тела в точках 1 и 2, а также теплоту, энтальпию и изменение внутренней энергии 1 кг окиси углерода в процессе. Принять $c_p = 1,0464$ кДж/кг·К, $R = 296,8$ кДж/кг·К. Изобразить процесс в vP - и sT -диаграммах.

Ответ: $T_1 = 298$ К; $v_1 = 0,735$ м³/кг; $T_2 = 336$ К; $v_2 = 0,735$ м³/кг; $P_2 = 135,69$ кПа; $l = 0$; $\Delta q = \Delta u = 39,76$ кДж/кг.

Задача 3.5. Воздух массой $m = 1,9$ кг с начальным давлением $P_1 = 0,22$ МПа адиабатно расширяется. При этом его температура изменяется от $t_1 = 65^\circ\text{C}$ до $t_2 = 21^\circ\text{C}$. Определить параметры состояния рабочего тела в точках 1 и 2, а также теплоту, энтальпию и изменение внутренней энергии 1 кг азота в процессе. Принять $c_p = 1,0121$ кДж/кг·К, $R = 287$ кДж/кг·К.

Представить процесс в vp - и sT -диаграммах.

Ответ: $T_1 = 338$ К; $v_1 = 0,38$ м³/кг; $T_2 = 294$ К; $v_2 = 0,54$ м³/кг; $P_2 = 156,68$ кПа; $\Delta q = 0$; $\Delta u = 44,53$ кДж/кг; $l = -44,53$ кДж/кг.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Тема 1.4. Цикл Карно

Расчет циклов паротурбинных установок (ПТУ) – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем отличается паротурбинная установка от двигателей внутреннего сгорания?
2. Чем отличается паровой цикл Ренкина от парового цикла Карно?
3. Изобразить цикл Ренкина в vP – и sT – и si – координатах.
4. Каково влияние начального давления пара на термический КПД цикла Ренкина?
5. Каково влияние конечных параметров пара на термический КПД цикла Ренкина?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 4.1. Определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла Ренкина, количество подведенной и отведенной теплоты, работу цикла, теоретическую мощность турбины, термический КПД, если давление в котле $P_1 = 10$ МПа, температура пара перед турбиной и $t_1 = 500^\circ\text{C}$, давление конденсации пара $P_2 = 0,005$ МПа, расход пара $M = 1200$ т/ч.

Решение. Точка 1. На si -диаграмме (П. «М») определим точку 1, характеризующую состояние и параметры рабочего тела перед турбиной.

$P_1 = 10$ МПа, $t_1 = 500^\circ\text{C}$, $i_1 = 3375$ кДж/кг, $s_1 = 6,6$ кДж/кг·К.

Точка 2 характеризует состояние и параметры рабочего тела на выходе из турбины. Процесс расширения пара на лопатках турбины считают адиабатным, поэтому $s_2 = s_1 = 6,6$ кДж/кг·К. Далее по si -диаграмме определяем:

$P_2 = 0,005$ МПа, $i_2 = 2010$ кДж/кг, $v_2 = 22$ м³/кг, $t_2 = 32,88^\circ\text{C}$.

Пар влажный Точка 3. Конденсат (по таблице водяного пара, (П. «Л»))

$$P_3 = P_2 = 0,005 \text{ МПа}, s_3 = 0,48 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}, i_3 = 137,8 \text{ кДж/кг}, v_2 = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}, \\ t_3 = t_2 = 32,88^\circ\text{C}, i'_3 \approx i_3 = 137,8 \text{ кДж/кг}.$$

Точка 4. Кипящая жидкость (по таблице водяного пара)

$$P_4 = P_1 = 10 \text{ МПа}, s_4 = 3,4 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}, \\ i_3 = 1408 \text{ кДж/кг}, v_3 = 0,00145 \text{ м}^3/\text{кг}, t_4 = 311^\circ\text{C}.$$

Точка 5. Сухой насыщенный пар (по таблице водяного пара)

$$P_5 = P_1 = 10 \text{ МПа}, s_5 = 5,6 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}, i_5 = 2725 \text{ кДж/кг}, \\ v_2 = 0,018 \text{ м}^3/\text{кг}, t_5 = t_4 = 311^\circ\text{C}.$$

Подведенная теплота:

$$q_1 = i_1 - i'_3 \approx i_1 - i_3; \quad (4.1)$$

отведенная теплота:

$$q_2 = i_2 - i_3, \quad (4.2)$$

тогда: $q_1 = 3375 - 137,8 = 3237,2 \text{ кДж/кг}; \quad q_2 = i_2 - i_3 = 2010 - 137,8 = 1872,2 \text{ кДж/кг}.$

Работа цикла: $l = q_1 - q_2 = 3237,2 - 1872,2 = 1365 \text{ кДж/кг}.$

$$\text{Термический КПД цикла: } \eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{1365}{3237,2} = 0,42$$

$$\text{Теоретическая мощность турбины: } N_T = m \cdot l = \frac{1200 \cdot 1000}{3600} \cdot 1365 = 455$$

МВт.

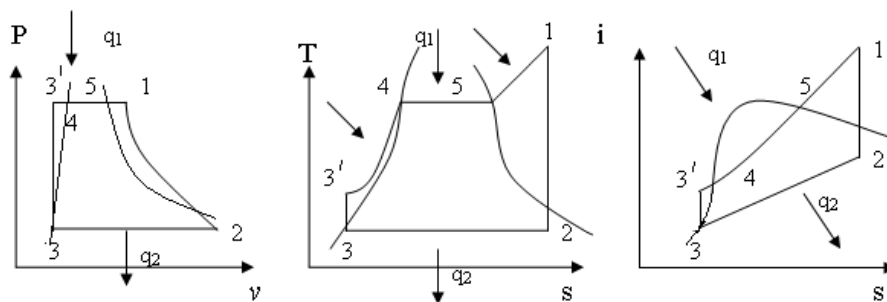


Рисунок 4.1 – К задаче 4.1.

Задача 4.2. Определить КПД идеального цикла Ренкина при начальной температуре пара $t_1 = 500^\circ\text{C}$ и конечном давлении $P_2 = 0,01 \text{ МПа}$. Задачу решить при условии, что начальное давление:

1) $P_1 = 2,0 \text{ МПа}$; 2) $P_1 = 5,0 \text{ МПа}$; 3) $P_1 = 10,0 \text{ МПа}$.

Решение. Термический КПД идеального цикла Ренкина:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3}. \quad (4.3)$$

Энтальпии определяем из таблицы и диаграммы водяного пара (П. «Л», «М»):

1) $i_1 = 3470 \text{ кДж/кг}; i_2 = 2360 \text{ кДж/кг}; i_3 = 190 \text{ кДж/кг};$

$$\eta_{t1} = \frac{3470 - 2360}{3470 - 192} = 0,34.$$

2) $i_1 = 3440 \text{ кДж/кг}; i_2 = 2210 \text{ кДж/кг}; i_3 = 190 \text{ кДж/кг};$

$$\eta_{t_2} = \frac{3440 - 2210}{3440 - 192} = 0,38.$$

3) $i_1 = 3380$ кДж/кг; $i_2 = 2100$ кДж/кг; $i_3 = 190$ кДж/кг;

$$\eta_{t_3} = \frac{3380 - 2100}{3380 - 192} = 0,402.$$

Ответ: $\eta_{t_1} = 0,34$; $\eta_{t_2} = 0,38$; $\eta_{t_3} = 0,402$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 4.3. Определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла Ренкина, количество подведенной и отведенной теплоты, работу цикла, теоретическую мощность турбины, термический КПД, если давление в котле

$P_1 = 9$ МПа, температура пара перед турбиной и $t_1 = 400^\circ\text{C}$, давление конденсации пара $P_2 = 0,005$ МПа, расход пара $M = 1050$ т/ч.

Ответ: $q_1 = 2972,21$ кДж/кг, $q_2 = 1752,21$ кДж/кг, $l = 1220$ кДж/кг. $\eta_t = 0,41$.

Задача 4.4. В паротурбинном двигателе определить количество отводимой в конденсаторе теплоты, если давление в конденсаторе $P_k = 0,005$ МПа, а степень сухости пара, поступающего в конденсатор $x = 0,9$. Количество пара поступающего в конденсатор $G = 6$ кг/с.

Ответ: $Q_2 = 13093,2$ кДж/кг,

Задача 4.5. Определить КПД идеального цикла Ренкина при начальном давлении пара $P_1 = 4$ МПа и начальной температуре $t_1 = 500^\circ\text{C}$. Задачу решить при условии, что конечное давление: 1) $P_2 = 0,2$ МПа; 2) $P_2 = 0,05$ МПа; 3) $P_2 = 0,005$ МПа.

Ответ: $\eta_{t_1} = 0,255$; $\eta_{t_2} = 0,3158$; $\eta_{t_3} = 0,387$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема 1.5. Циклы ДВС

Расчет циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Расчет циклов газотурбинных установок (ГТУ) – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите основные характеристики циклов.
2. Что такое степень сжатия?
3. Что такое степень повышения давления?
4. Что такое степень предварительного расширения?
5. Опишите цикл двигателя с изобарным подводом теплоты.
6. Опишите цикл двигателя с изохорным подводом теплоты.
7. Опишите цикл двигателя со смешанным подводом теплоты.
8. Описать цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты.
9. В чем отличие циклов ГТУ от циклов ДВС?

10. Изобразить цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты в vP – и sT – координатах.
11. Изобразить цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты и полной регенерацией в vP – и sT – координатах.
12. Описать цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты и полной регенерацией.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 5.1. Для идеального цикла двигателя внутреннего сгорания с изохорным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, полученную работу и термический КПД, если начальные параметры рабочего тела $P_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 17^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 4,0$ и степень повышения давления $\lambda = 3,5$ рабочее тело – воздух. $R = 287,3$ Дж/кг·К, $c_p = 1,01$ Дж/кг·К, $c_v = 0,72$ Дж/кг·К.

Решение.

Определим параметры в характерных точках цикла.

Точка 1. $P_1 = 0,1$ МПа, $T_1 = 17 + 273 = 290$ К.

Удельный объем определим из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287,3 \cdot 290}{0,1 \cdot 10^6} = 0,83 \text{ м}^3/\text{кг}$$

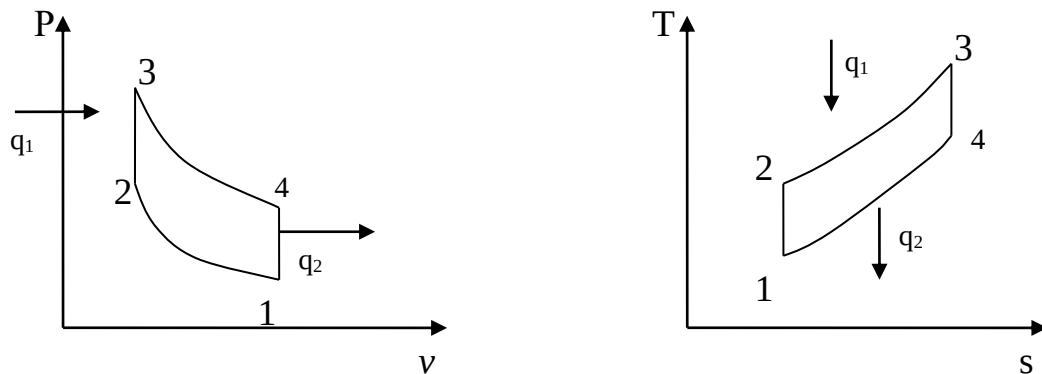


Рисунок 5.1 – К задаче 5.1.

Точка 2. Степень сжатия определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}, \quad (5.1)$$

$$\text{тогда } v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,83}{4,0} = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Из соотношения параметров в адиабатном процессе 1-2 определим абсолютное давление: $P_2 = P_1 \varepsilon^k = 0,1 \cdot 4,0^{1,4} = 0,7$ МПа.

Температура из уравнения состояния:

$$T_2 = \frac{P_2 v_2}{R} = \frac{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,21}{287,3} = 512 \text{ К.}$$

Точка 3. Процесс 2-3 – изохорный, т.е. $v_3 = v_2 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$. Из соотношения параметров в изохорном процессе: $\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda \Rightarrow T_3 = \lambda \cdot T_2, P_3 = \lambda \cdot P_2$, тогда

$$T_3 = 3,5 \cdot 512 = 1792 \text{ К, } P_3 = 3,5 \cdot 0,7 = 2,45 \text{ МПа}$$

Точка 4. $v_4 = v_1 = 0,83 \text{ м}^3/\text{кг}$.

В адиабатном процессе 3-4:

$$P_4 = P_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = 2,45 \cdot \left(\frac{0,21}{0,83} \right)^{1,4} = 0,36 \text{ МПа.}$$

$$T_4 = \frac{P_4 v_4}{R} = \frac{0,36 \cdot 10^6 \cdot 0,83}{287,3} = 1040 \text{ К.}$$

Подведенная теплота в процессе 2-3:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2); \quad (5.2)$$

отведенная теплота в процессе 4-1:

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1); \quad (5.3)$$

работа цикла:

$$l = q_1 - q_2; \quad (5.4)$$

термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{l}{q_1}, \quad (5.5)$$

тогда: $q_1 = 0,72 \cdot (1792 - 512) = 921,6 \text{ кДж/кг}$,

$$q_2 = 0,72 \cdot (1040 - 290) = 540 \text{ кДж/кг.}$$

$$l = 921,6 - 540 = 381,6 \text{ кДж/кг; } \eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{381,6}{921,6} = 0,41.$$

Ответ: $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $T_1 = 17 + 273 = 290 \text{ К}$, $v_1 = 0,83 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_2 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$, $P_2 = 0,7 \text{ МПа}$, $T_2 = 512 \text{ К}$; $v_3 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$, $T_3 = 1792 \text{ К}$, $P_3 = 2,45 \text{ МПа}$; $v_4 = 0,83 \text{ м}^3/\text{кг}$, $P_4 = 0,36 \text{ МПа}$, $T_4 = 1040 \text{ К}$; $q_1 = 921,6 \text{ кДж/кг}$; $q_2 = 540 \text{ кДж/кг}$; $l = 381,6 \text{ кДж/кг}$; $\eta_t = 0,41$.

Задача 5.2. Для идеального цикла двигателя внутреннего сгорания с изобарным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, полученную работу и термический КПД, если начальные параметры рабочего тела $P_1 = 0,16 \text{ МПа}$, $t_1 = 27^\circ\text{С}$, степень сжатия $\varepsilon = 13,4$ и степень предварительного расширения $\rho = 1,3$, рабочее тело – воздух. $R = 287,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, $c_p = 1,01 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, $c_v = 0,72 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

Решение.

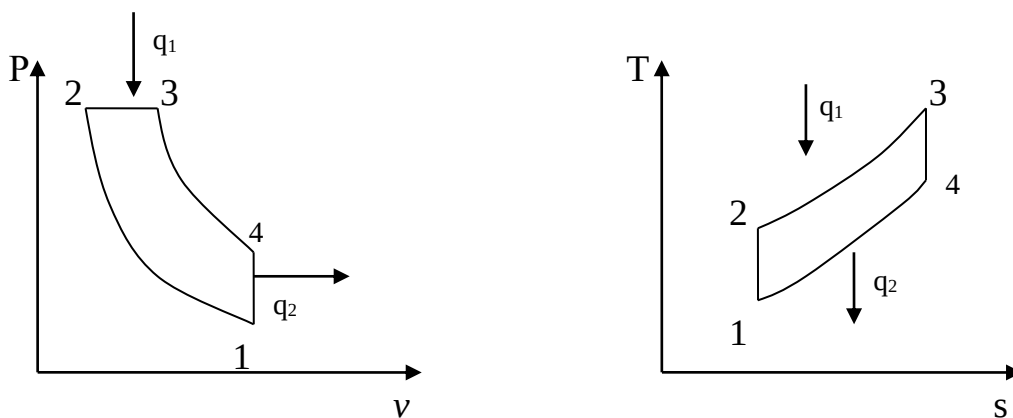


Рисунок 5.2 – К задаче 5.2.

Определим параметры в характерных точках цикла.

Точка 1. $P_1 = 0,16$ МПа, $T_1 = 27 + 273 = 300$ К,

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287,3 \cdot 300}{0,16 \cdot 10^6} = 0,54 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Точка 2. $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,54}{13,4} = 0,04 \text{ м}^3/\text{кг}$

$$P_2 = P_1 \varepsilon^k = 0,16 \cdot 13,4^{1,4} = 6,05 \text{ МПа}; \quad T_2 = \frac{P_2 v_2}{R} = \frac{6,05 \cdot 10^6 \cdot 0,04}{287,3} = 842 \text{ К}.$$

Точка 3. Процесс 2-3 – изобарный. Соотношение параметров в изобарном процессе: $P_3 = P_2 = 6,05$ МПа

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \Rightarrow T_3 = \rho \cdot T_2, v_3 = \rho \cdot v_2.$$

$$T_3 = 1,3 \cdot 842 = 1094,6 \text{ К}, \quad v_3 = 1,3 \cdot 0,04 = 0,052 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Точка 4. $v_4 = v_1 = 0,54 \text{ м}^3/\text{кг}$, $P_4 = P_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = 6,05 \cdot \left(\frac{0,052}{0,54} \right)^{1,4} = 0,23 \text{ МПа}.$

$$T_4 = \frac{P_4 v_4}{R} = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 0,54}{287,3} = 429 \text{ К}.$$

Подведенная теплота: $q_1 = c_p (T_3 - T_2) = 1,01 \cdot (1094,6 - 842) = 255 \text{ кДж/кг}$

Отведенная теплота: $q_2 = c_v (T_4 - T_1) = 0,72 \cdot (429 - 300) = 93 \text{ кДж/кг}$

Работа цикла: $l = q_1 - q_2 = 255 - 93 = 162 \text{ кДж/кг}$

Термический КПД цикла: $\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{162}{255} = 0,63.$

Ответ: $P_1 = 0,16$ МПа, $T_1 = 300$ К, $v_1 = 0,54 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_2 = 0,04 \text{ м}^3/\text{кг}$,
 $P_2 = 6,05$ МПа, $T_2 = 842$ К; $P_3 = 6,05$ МПа, $T_3 = 1094,6$ К, $v_3 = 0,052 \text{ м}^3/\text{кг}$;
 $v_4 = 0,54 \text{ м}^3/\text{кг}$, $P_4 = 0,23$ МПа, $T_4 = 429$ К; $q_1 = 255 \text{ кДж/кг}$; $q_2 = 93 \text{ кДж/кг}$;
 $l = 162 \text{ кДж/кг}$; $\eta_t = 0,63.$

Задача 5.3. Для идеального цикла газотурбинной установки с изобарным

подводом теплоты определить параметры рабочего тела в характерных точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу, термический КПД, если начальные параметры рабочего тела $P_1 = 0,1$ МПа и $t_1 = 15$ °С, степень повышения давления в компрессоре $\beta = 6,0$ и температура рабочего тела в конце подвода теплоты $t_3 = 600$ °С. Рабочее тело – воздух. $R = 287,3$ Дж/кг·К, $c_p = 1,01$ Дж/кг·К

Решение. Точка 1. $P_1 = 0,1$ МПа, $T_1 = 15 + 273 = 288$ К,

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287,3 \cdot 288}{0,1 \cdot 10^6} = 0,83 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Точка 2. $\beta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_2 = P_1 \cdot \beta = 0,1 \cdot 6,0 = 0,6$ МПа.

$$v_2 = v_1 \left(\frac{1}{\beta} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,83 \cdot \left(\frac{1}{6,0} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,23 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_2 = \frac{P_2 v_2}{R} = \frac{0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,23}{287,3} = 480 \text{ К}.$$

Точка 3. $T_3 = 600 + 273 = 873$ К; $P_3 = P_2 = 0,6$ МПа;

$$v_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287,3 \cdot 873}{0,6 \cdot 10^6} = 0,42 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Точка 4. $P_4 = P_1 = 0,1$ МПа.

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 873 \cdot \left(\frac{1}{6,0} \right)^{0,286} = 523 \text{ К}; \quad v_4 = \frac{RT_4}{P_4} = \frac{287,3 \cdot 523}{0,1 \cdot 10^6} = 1,5 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Подведенная теплота: $q_1 = c_p (T_3 - T_2) = 1,01(873 - 480) = 396,93$ кДж/кг.

Отведенная теплота: $q_2 = c_p (T_4 - T_1) = 1,01 \cdot (523 - 288) = 237,35$ кДж/кг.

Работа цикла: $l = q_1 - q_2 = 396,93 - 237,35 = 159,58$ кДж/кг.

Термический КПД цикла: $\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{159,58}{396,93} = 0,4$.

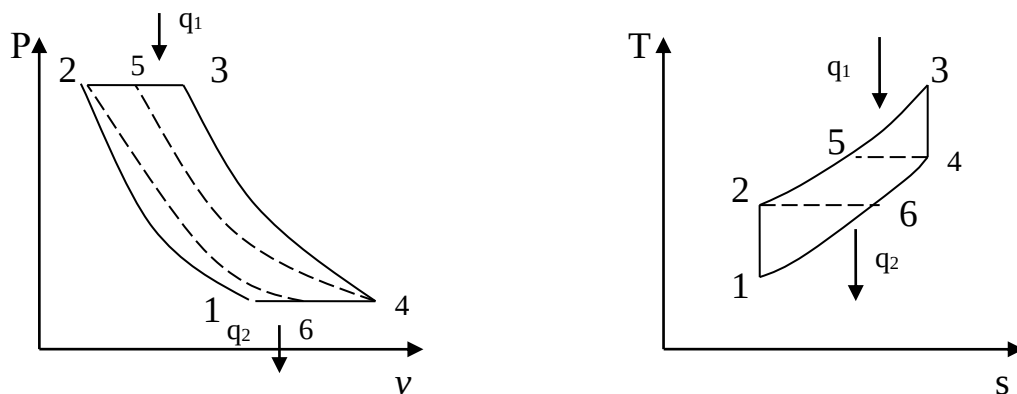


Рисунок 5.3 – К задачам 5.3. и 5.4.

Ответ: $P_1 = 0,1$ МПа, $T_1 = 288$ К, $v_1 = 0,83$ м³/кг; $P_2 = 0,6$ МПа; $v_2 = 0,23$ м³/кг, $T_2 = 480$ К; $T_3 = 873$ К; $P_3 = 0,6$ МПа; $v_3 = 0,42$ м³/кг; $P_4 = 0,1$ МПа, $T_4 = 523$ К; $v_4 = 1,5$ м³/кг; $q_1 = 396,93$ кДж/кг; $q_2 = 237,35$ кДж/кг; $l = 159,58$ кДж/кг; $\eta_t = 0,4$.

Задача 5.4. Решить предыдущую задачу при условии, что производится полная регенерация.

В цикле с регенерацией: $T_4 = T_5$; $T_2 = T_6$

Подведенная теплота: $q_1^{pez} = c_p(T_3 - T_5) = 1,01(873 - 523) = 353,5$ кДж/кг.

Отведенная теплота: $q_2^{pez} = c_p(T_6 - T_1) = 1,01(480 - 288) = 193,92$ кДж/кг.

Работа цикла: $l^{pez} = q_1^{pez} - q_2^{pez} = 353,5 - 193,92 = 159,58$ кДж/кг.

Термический КПД цикла: $\eta_t^{pez} = \frac{l^{pez}}{q_1^{pez}} = \frac{159,58}{353,5} = 0,45$.

Ответ: $q_1^{pez} = 353,5$ кДж/кг; $q_2^{pez} = 193,92$ кДж/кг; $l^{pez} = 159,58$ кДж/кг; $\eta_t^{pez} = 0,45$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 5.5. Для идеального цикла двигателя внутреннего сгорания с изобарным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, полученную работу и термический КПД, если начальные параметры рабочего тела $P_1 = 0,15$ МПа, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 13,6$ и степень предварительного расширения $\rho = 1,4$, рабочее тело – воздух. $R = 287,3$ Дж/кг·К, $c_p = 1,01$ Дж/кг·К, $c_v = 0,72$ Дж/кг·К.

Ответ: $q_1 = 42,4$ кДж/кг; $q_2 = 131,8$ кДж/кг; $l = 210,6$ кДж/кг; $\eta_t = 0,61$.

Задача 5.6. Сравнить цикл задачи 4.1 с циклом с изобарным подводом теплоты при условии, что в сравниваемых циклах одинаковы отведенная теплота и степень сжатия.

Ответ: $q_1 = 753$ кДж/кг; $\eta_t = 0,28$.

Задача 5.7. Сравнить цикл задачи 4.2 с циклом с изохорным подводом теплоты при условии, что в сравниваемых циклах одинаковы отведенная теплота и максимальные параметры состояния рабочего тела.

Ответ: $q_1 = 176,3$ кДж/кг; $\eta_t = 0,47$.

Задача 5.8. Для идеального цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты и полной регенерацией определить параметры рабочего тела в характерных точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу, термический КПД, если начальные параметры рабочего тела $P_1 = 0,15$ МПа и $t_1 = 20^\circ\text{C}$, степень повышения давления в компрессоре $\beta = 6,5$ и температура рабочего тела в конце подвода теплоты $t_3 = 650^\circ\text{C}$. Рабочее тело – воздух. $R = 287,3$ Дж/кг·К, $c_p = 1,01$ Дж/кг·К. Сравнить данный цикл с циклом

ГТУ без регенерации.

Ответ: $q_1 = 428,24$ кДж/кг, $q_2 = 249,47$ кДж/кг, $l = 178,77$ кДж/кг, $\eta_t = 0,42$;
 $q_1^{pez} = 386,83$ кДж/кг, $q_2^{pez} = 208,06$ кДж/кг, $l^{pez} = 178,77$ кДж/кг, $\eta_t^{pez} = 0,45$.

Задача 5.9. Для цикла газотурбинного двигателя с изобарным процессом подвода теплоты определить удельное количество подводимой теплоты, если начальное давление $P_1 = 0,1$ МПа, начальная температура $T_1 = 300$ К, степень повышения давления в компрессоре $\beta = 6$, максимальная температура цикла $T_3 = 1500$ К. В качестве рабочего тела принять воздух $R = 287,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $k = 1,4$.

Ответ: $q_1 = 1009$ кДж/кг.

Задача 5.10. Решить предыдущую задачу при условии, что цикл ГТУ проходит с полной регенерацией.

Ответ: $q_2^{pez} = 607$ кДж/кг.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема 1.9. Процессы преобразования и перегрева пара Водяной пар. Параметры состояния.

Исследованию процессов водяного пара – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем отличается испарение от кипения?
2. Увеличится или уменьшится удельный объем сухого насыщенного пара при повышении его давления?
3. Что такое теплота парообразования?
4. Что такое степень сухости?
5. Как определить параметры кипящей воды?
6. Как определить параметры сухого насыщенного пара?
7. Как определить теплоту перегрева пара?
8. Как изображаются процессы водяного пара на si –, vP – и sT – диаграммах?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 6.1. Состояние водяного пара задано параметрами: $P_1 = 2$ МПа, $t_1 = 550$ °С. Определить, пользуясь si – диаграммой начальное состояние пара и его параметры (i, s, v, P, t), а также параметры и состояние пара, если происходит его адиабатное расширение до давления $P_2 = 0,02$ МПа. Определить также работу, совершенную паром при адиабатном расширении.

Решение. Пользуясь si – диаграммой (П. «М») определим начальное состояние пара. На пересечении изобары $P_1 = 2$ МПа и изотермы $t_1 = 550$ °С обозначим точку 1, определяющую начальное состояние и параметры водяного

пара. В точке 1 пар перегретый. Параметры пара: $P_1 = 2$ МПа, $t_1 = 550$ °С, $i_1 = 3600$ кДж/кг, $s_1 = 6,7$ кДж/кг·К, $v = 0,19$ м³/кг.

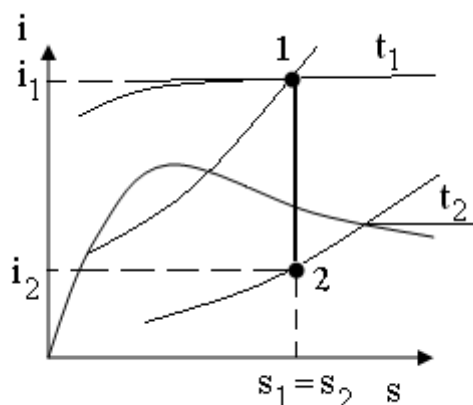


Рисунок 6.1 – К задаче 6.1.

Для определения параметров пара после адиабатного расширения нанесем на диаграмму адиабату 1-2 ($s_1 = s_2 = 6,7$ кДж/кг·К) и обозначим точку 2, определяющую состояние и параметры пара. В точке 2 пар влажный. Параметры пара: $P_2 = 0,02$ МПа, $i_2 = 2500$ кДж/кг, $s_2 = s_1 = 6,7$ кДж/кг·К, $v_2 = 7,5$ м³/кг. Температуру пара можно определить из таблицы водяного пара (П. «Л») или по диаграмме на пересечении изобары с верхней пограничной кривой. Таким образом, $t_2 = 60$ °С. Степень сухости $x = 0,95$.

Работу, совершенную в адиабатном процессе определим по формуле:

$$l_{1-2} = (i_1 - P_1 v_1) - (i_2 - P_2 v_2), \quad (6.1)$$

тогда $l_{1-2} = (3600 - 2000 \cdot 0,19) - (2500 - 20 \cdot 7,5) = 870$ кДж/кг.

Ответ: Точка 1 – пар перегретый, $P_1 = 2$ МПа, $t_1 = 550$ °С, $i_1 = 3600$ кДж/кг, $s_1 = 6,7$ кДж/кг·К, $v = 0,19$ м³/кг; точка 2 – пар влажный, $P_2 = 0,02$ МПа, $t_2 = 60$ °С, $i_1 = 3600$ кДж/кг, $s_2 = s_1 = 6,7$ кДж/кг·К, $v_2 = 7,5$ м³/кг. $l_{1-2} = 870$ кДж/кг.

Задача 6.2. В цилиндре под поршнем при давлении $P_1 = 9$ МПа и степени сухости $x_1 = 0,125$ находится водяной пар, первоначальный объем которого $V_1 = 10,4$ м³. К пару изотермически подводится теплота в количестве $Q = 6400$ МДж. Затем пар адиабатно расширяется до давления $P = 0,01$ МПа.

Определить параметры состояния пара (P, t, v, i, s) в конце изотермического подвода теплоты и адиабатного расширения, суммарное изменение его внутренней энергии и работу, произведенную в процессах. Представить процессы в sT - и si -диаграммах.

Решение. Параметры воды (v', i', s') и сухого насыщенного пара (v'', i'', s'')

при $P_1 = 9$ МПа определим из таблицы (П «Л»): $t = 303,3$ °С

($T = 303,3 + 273 = 576,3$ К), $v' = 0,0014$ м³/кг; $i' = 1364$ кДж/кг; $s' = 3,29$ кДж/кг·К;

$v'' = 0,0205$ м³/кг; $i'' = 2743$ кДж/кг; $s'' = 5,68$ кДж/кг·К.

Параметры влажного пара определяют по формулам:

$$v_x = (v'' - v') \cdot x + v'; \quad (6.2)$$

$$i_x = (i'' - i') \cdot x + i'; \quad (6.3)$$

$$s_x = (s'' - s') \cdot x + s'. \quad (6.4)$$

Определим параметры пара в начале подвода теплоты (точка 1). Пар влажный.

$$v_1 = (v'' - v') \cdot x + v' = (0,0205 - 0,0014) \cdot 0,125 + 0,0014 = 0,004 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$i_1 = (i'' - i') \cdot x + i' = (2743 - 1364) \cdot 0,125 + 1364 = 1536 \text{ кДж/кг};$$

$$s_1 = (s'' - s') \cdot x + s' = (5,68 - 3,29) \cdot 0,125 + 3,29 = 3,59 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

$$\text{Масса пара: } m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{10,4}{0,004} = 2600 \text{ кг}.$$

Изменение энтропии в процессе подвода теплоты:

$$\Delta s = \frac{Q}{m \cdot T} = \frac{6400 \cdot 10^3}{2600 \cdot 558,8} = 4,4 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Энтропия пара в конце подвода теплоты:

$$s_2 = s_1 + \Delta s = 3,43 + 4,4 = 7,83 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

По s_2 и $t_2 = t_1 = \text{const}$ на si -диаграмме (П. «М») определим точку 2.

Параметры пара в конце изотермического подвода теплоты:

$$i_2 = 3080 \text{ кДж/кг}, P_2 = 0,21 \text{ МПа}, v_2 = 1,3 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Изменение внутренней энергии пара: $\Delta u_{1-2} = (i_2 - P_2 v_2) - (i_1 - P_1 v_1)$

$$\Delta u_{1-2} = (3080 - 210 \cdot 1,3) - (1440,6 - 7000 \cdot 0,004) = 1394,4 \text{ кДж/кг}.$$

$$\Delta U_{1-2} = m \cdot \Delta u_{1-2} = 2600 \cdot 1394,4 = 3625,4 \text{ МДж}.$$

Работу пара определим из первого закона термодинамики:

$$l_{1-2} = q_{1-2} - \Delta u_{1-2} = \frac{Q}{m} - \Delta u_{1-2} = \frac{6,4 \cdot 10^6}{2600} - 1394,4 = 1067,1 \text{ кДж/кг}.$$

$$L_{1-2} = m \cdot l_{1-2} = 2600 \cdot 1067,1 = 2774,5 \text{ МДж}.$$

Точка 3. $s_3 = s_2 = 7,83 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$

Параметры пара в конце адиабатного расширения:

$$i_3 = 2490 \text{ кДж/кг}, P_3 = 0,01 \text{ МПа}, v_3 = 15 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$\Delta u_{2-3} = (i_3 - P_3 v_3) - (i_2 - P_2 v_2).$$

$$\Delta u_{2-3} = (2490 - 10 \cdot 15) - (3080 - 210 \cdot 1,3) = -467 \text{ кДж/кг}.$$

$$\Delta U_{2-3} = \Delta u_{2-3} \cdot m = -467 \cdot 2600 = -1214,2 \text{ МДж}$$

$$l_{2-3} = -\Delta u_{2-3} = 467 \text{ кДж/кг}$$

$$L_{2-3} = m \cdot l_{2-3} = 2600 \cdot 467 = 1214,2 \text{ МДж}$$

Суммарное изменение внутренней энергии и работа, произведенную в процессах:

$$U_{1-2} = U_{1-2} + U_{2-3} = 3625,4 - 1214,2 = 2411,2 \text{ МДж}$$

$$L_{1-2} = L_{1-2} + L_{2-3} = 2774,5 + 1214,2 = 3988,7 \text{ МДж}$$

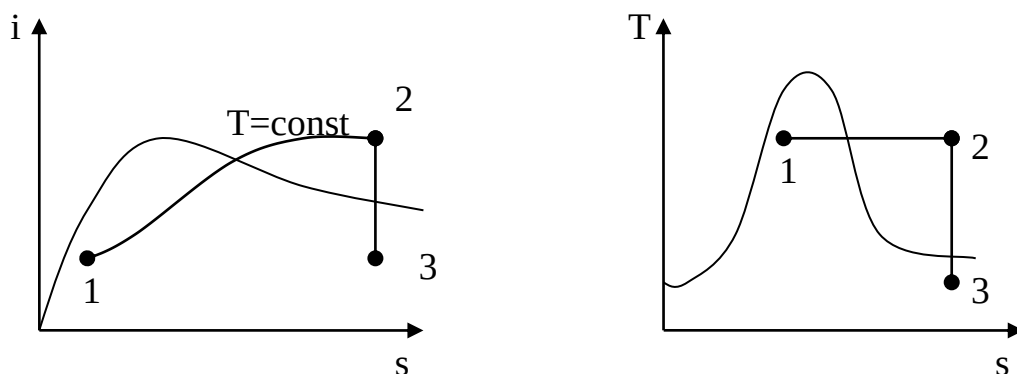


Рисунок 6.2 – К задаче 6.2.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 6.3. Определить, пользуясь si -диаграммой, энтропию, энтальпию и удельный объем водяного пара при давлении $P=0,01$ МПа и степени сухости $x=0,8$.

Ответ: $i_x=2108$ кДж/кг; $s_x=6,65$ кДж/кг·К; $v_x=13$ м³/кг.

Задача 6.4. Определить количество теплоты, затраченной на получение 1 кг пара при давлении 1,6 МПа и степени сухости 80%, если начальная температура воды 60°C.

Ответ: $q=2154$ кДж/кг.

Задача 6.5. При давлении 0,8 МПа вода нагрета до 140 °С. На сколько градусов нужно нагреть воду, чтобы началось кипение?

Ответ: $\Delta t=30,41$ °С

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема 1.10. Истечение и дросселирование газов и паров Истечение газов и паров – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Напишите уравнение первого закона термодинамики для потока.
2. Какие каналы называют соплами и диффузорами?
3. Изобразите графически располагаемую работу на vP - диаграмме.
4. Критическое отношение давлений и его определение.
5. Почему процесс истечения из сопел и насадок считают адиабатным?
6. Как определяется максимальный расход идеального газа?
7. Какой процесс называется дросселированием?
8. Как изменяется работоспособность водяного пара при дросселировании?
9. Когда, при каких условиях температура реального газа при дросселировании повышается, понижается, остается без изменения?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 7.1. Влажный пар с начальным давлением $P_1=2,0$ МПа и степенью

сухости $x_1=0,9$ вытекает через суживающееся сопло с площадью выходного сечения $f = 34 \text{ мм}^2$ в атмосферу с давлением $P_2 = 0,13 \text{ МПа}$.

Определить критическое давление, действительную скорость истечения и секундный расход пара, если скоростной коэффициент сопла равен φ . Скоростью пара на входе в сопло пренебречь.

Решение. Определим режим истечения пара:

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,13}{2,0} = 0,065 < \beta_{кр} \Rightarrow \text{режим истечения критический, скорость}$$

звуковая.

$$P_{2кр} = \beta_{кр} \cdot P_1 = 0,577 \cdot 2 = 1,154 \text{ МПа}.$$

Параметры пара на выходе из сопла определяем по si – диаграмме (П «М»):

$$P_{2кр} = 1,154 \text{ МПа}, s_{2кр} = 5,95 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}, i_{2кр} = 2515 \text{ кДж/кг}, v_{2кр} = 0,15 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретическая скорость пара на выходе из сопла:

$$w_{кр} = 44,7 \sqrt{i_1 - i_{2кр}}. \quad (7.1)$$

$$w_{кр} = 44,7 \sqrt{2610 - 2515} = 436 \text{ м/с}.$$

Действительная скорость пара на выходе из сопла:

$$w_{\partial} = \varphi \cdot w_{кр} = 0,89 \cdot 436 = 388 \text{ м/с}$$

Действительная энтальпия:

$$i_{\partial} = i_1 - \left(\frac{w_{\partial}}{44,7} \right)^2 = 2610 - \left(\frac{388}{44,7} \right)^2 = 2535 \text{ кДж/кг}, \text{ тогда } v_{\partial} = 0,16 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительный расход:

$$G = \frac{w_{\partial} \cdot f}{v_{\partial}}. \quad (7.2)$$

$$G = \frac{w_{\partial} \cdot f}{v_{\partial}} = \frac{388 \cdot 34 \cdot 10^{-6}}{0,16} = 0,082 \text{ кг/с}.$$

Ответ: $P_{2кр} = 1,154 \text{ МПа}; w_{\partial} = 388 \text{ м/с}; G = 0,082 \text{ м/с}.$

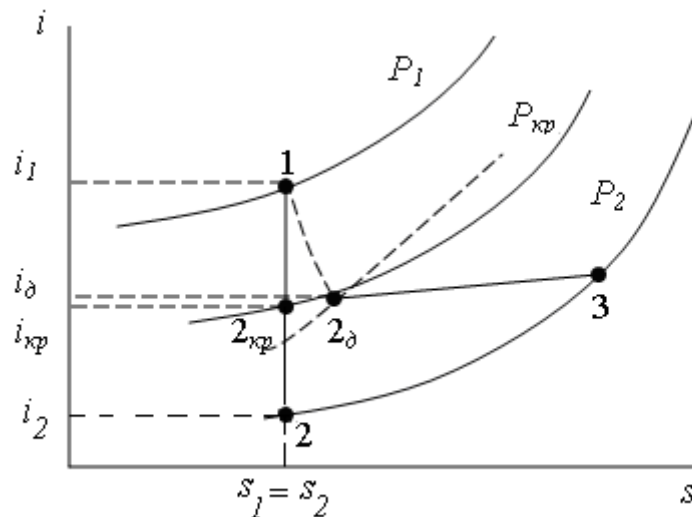


Рисунок 7.1. – К задачам 7.1 и 7.2

Задача 7.2. Решить предыдущую задачу при условии, что истечение пара происходит через сопло Лавала.

Решение. В этом случае скорость истечения больше критической. Она определяется из уравнения:

$$w_2 = 44,7\sqrt{i_1 - i_2}, \quad (7.3)$$

причем i_2 будет соответствовать состоянию пара в конце адиабатного расширения при $P_2 = 0,13$ МПа. Таким образом, пользуясь si -диаграммой, определим: $i_2 = 2180$ кДж/кг, тогда:

$$w_2 = 44,7\sqrt{2610 - 2180} = 927 \text{ м/с}$$

Ответ: $w_2 = 927$ м/с.

Задача 7.3. Воздух из резервуара с постоянным давлением $P_1 = 10$ МПа и температурой $t_1 = 15$ °С вытекает в атмосферу через трубку с внутренним диаметром 10 мм.

Определить скорость истечения воздуха и его секундный расход. Наружное давление принять равным 0,1 МПа. Процесс расширения воздуха считать адиабатным.

$$\beta = \frac{P_2}{P_1}$$

Решение. Определяем отношение β . Оно равно 1/100 и, следовательно, меньше критического отношения давлений для воздуха, составляющего 0,528. Поэтому скорость истечения будет равна критической и определится по формуле:

$$w_{кр} = 1,08 \cdot \sqrt{RT_1} = 1,08 \cdot \sqrt{287 \cdot 288} = 310 \text{ м/с}. \quad (7.4)$$

Секундный расход для критического режима течения:

$$G_{\max} = 0,686 f \sqrt{\frac{P_1}{v_1}}; \quad (7.5)$$

Площадь поперечного сечения выходного отверстия сопла:

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

Удельный объем воздуха на входе в сопло:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 288}{10 \cdot 10^6} = 8,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг};$$

следовательно, расход воздуха:

$$G_{\max} = 0,686 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{10 \cdot 10^6}{8,27 \cdot 10^{-3}}} = 1,87 \text{ кг/с}.$$

Ответ: $w_{кр} = 310 \text{ м/с}$; $G_{\max} = 1,87 \text{ кг/с}$.

Задача 7.4. В резервуаре, заполненном кислородом, поддерживают давление $P_1 = 5 \text{ МПа}$. Газ вытекает через суживающееся сопло в среду с давлением $P_2 = 4 \text{ МПа}$. Начальная температура кислорода 100°C .

Определить теоретическую скорость истечения и расход, если площадь выходного сечения сопла $f = 20 \text{ мм}^2$. Истечение считать адиабатным. Найти также теоретическую скорость истечения кислорода и его расход, если истечение будет происходить в атмосферу. Барометрическое давление принять равным $0,1 \text{ МПа}$.

Решение.

Отношение давлений составляет

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{40}{50} = 0,8; \beta_{кр} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр} = 0,528, \text{ т.е. } \beta > \beta_{кр}. \text{ Следовательно, скорость}$$

истечения будет меньше критической и определяется по формуле:

$$w = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (7.6)$$

Из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{259,8 \cdot 373}{5 \cdot 10^6} = 0,0194 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Далее имеем:

$$w = \sqrt{2 \frac{1,4}{0,4} 5 \cdot 10^6 \cdot 0,0194 \left[1 - \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{0,4}{1,4}} \right]} = 205 \text{ м/с}.$$

Секундный расход:

$$G = f \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{P_1}{v_1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (7.7)$$

$$G = 20 \cdot 10^{-6} \sqrt{2 \frac{1,4}{0,4} \frac{5 \cdot 10^6}{0,0194} \left[\left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{2}{1,4}} - \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{2,4}{1,4}} \right]} = 0,175 \text{ кг/с.}$$

Ответ: $w = 205 \text{ м/с}$; $G = 0,175 \text{ кг/с}$.

Задача 7.5. Решить предыдущую задачу при условии, что истечение кислорода происходит в атмосферу.

Решение. При истечении в атмосферу отношение давлений:

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{50} = 0,02; \beta_{кр} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр} = 0,528, \text{ т.е. } \beta < \beta_{кр}. \text{ Следовательно, скорость}$$

истечения в этом случае будет равна критической, а расход – максимальным.

$$w_{кр} = 1,08 \sqrt{RT_1} = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{8314}{32} 373} = 336 \text{ м/с.}$$

Максимальный расход:

$$G_{\max} = 0,686 f \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} = 0,686 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{5 \cdot 10^6}{0,0194}} = 0,22 \text{ кг/с.}$$

Ответ: $w_{кр} = 336 \text{ м/с}$; $G_{\max} = 0,22 \text{ кг/с}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 7.6. Воздух при постоянном давлении $P_1 = 6 \text{ МПа}$ и температурой $t_1 = 27^\circ \text{C}$ вытекает в среду с давлением $P_2 = 4 \text{ МПа}$. Определить теоретическую скорость и конечную температуру при адиабатном истечении.

Ответ: $w = 257 \text{ м/с}$; $t_2 = -6^\circ \text{C}$.

Задача 7.7. Найти теоретическую скорость адиабатного истечения азота и секундный расход, если $P_1 = 7 \text{ МПа}$, $P_2 = 4,5 \text{ МПа}$, $t_1 = 50^\circ \text{C}$, $F = 10 \text{ мм}^2$.

Ответ: $w = 282 \text{ м/с}$; $G = 0,148 \text{ кг/с}$.

Раздел 2. Основы теплопередачи

Тема 2.1. Виды теплообмена

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

Теплообмен при вынужденной конвекции – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется конвективным теплообменом?
2. Сформулируйте основной закон теплоотдачи конвекцией.

3. Дайте определения динамического и теплового пограничного слоев и объясните их физический смысл.
4. Назовите виды движения жидкости или газа. Объясните их физический смысл.
5. Какими числами подобия характеризуется конвективный теплообмен?
6. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Функцией каких параметров он является?
7. Каков механизм передачи теплоты при ламинарном и турбулентном движениях жидкости?
8. Что характеризуют числа Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля, Грасгофа и как они определяются?
9. До какого значения числа Рейнольдса поток жидкости не может переходить из ламинарного в турбулентный режим?
10. Какие уравнения подобия рекомендуется при исследовании ламинарного и турбулентного движения жидкости?
11. Какая температура является определяющей при вынужденном движении жидкости?
12. Какой размер является характерным при вынужденном движении жидкости в трубе?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 8.1. По горизонтально расположенной стальной трубе с диаметрами $d_e=110$ мм, $d_n=130$ мм и коэффициентом теплопроводности материала трубы $\lambda_1=50$ Вт/(м·К) со скоростью $w=2$ м/с течет вода с температурой $t_{ж1}=100$ °С. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого равна 2 °С, а коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху $\alpha_2=10$ Вт/(м²·К).

Определить коэффициент теплоотдачи α_1 от воды к внутренней поверхности трубы, коэффициент теплопередачи k и тепловой поток, отнесенный к 1 м длины трубы.

Решение. По таблице (П. «А») определим физические параметры воды при $t_{ж1}=100$ °С: $\lambda_{ж1}=0,683$ Вт/(м·К); $\nu_{ж1}=0,295 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $Pr_{ж1}=1,75$.

Определим число Рейнольдса по формуле:

$$Re_{ж} = \frac{wl}{\nu}, \quad (8.1)$$

где l - характерный размер.

Для данного случая:

$$Re_{ж1} = \frac{wd_B}{\nu_{ж1}} = \frac{2 \cdot 0,11}{0,295 \cdot 10^{-6}} = 7,46 \cdot 10^5.$$

Так как $Re_{ж1} > 10^4$, то режим движения – турбулентный.

Для определения среднего коэффициента теплоотдачи при развитом турбулентном движении может быть использована формула:

$$Nu_{ж1} = 0,021 Re_{ж1}^{0,8} Pr_{ж1}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr_{cm1}} \right)^{0,25}. \quad (8.2)$$

Учитывая, что коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы будет значительно больше коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху, примем $t_{cm1} \approx t_{ж1}$ и, следовательно, $Pr_{ж1} \approx Pr_{cm1}$, тогда:

$$Nu_{ж1} = 0,021 Re_1^{0,8} Pr_1^{0,43} = 0,021 \cdot (7,46 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 1,76^{0,43} = 1336,5.$$

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж}}{l}. \quad (8.3)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{ж1}}{d_в} = \frac{1336,5 \cdot 0,683}{0,11} = 8298,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Теплоотдача от внешней поверхности к воздуху осуществляется за счет естественной конвекции и по условию задачи $\alpha_2 = 10 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Линейный коэффициент теплопередачи равен:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ж1} d_в} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_н}{d_в} + \frac{1}{\alpha_{ж2} d_н}}. \quad (8.4)$$

После подстановки:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8298,4 \cdot 0,11} + \frac{1}{2 \cdot 50} \ln \frac{130}{110} + \frac{1}{10 \cdot 0,13}} = 1,295 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Тепловой поток, отнесенный к 1 м длины трубы, составляет:

$$q = k\pi(t_{ж1} - t_{ж2}) = 1,295 \cdot 3,14 \cdot (100 - 2) = 398,7 \text{ Вт/м}.$$

Ответ: $\alpha_1 = 8298,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $k = 1,295 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $q = 398,7 \text{ Вт/м}$.

Задача 8.2. Цилиндрическая труба с наружным диаметром 100 мм покрыта однослойной изоляцией с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{из} = 0,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к окружающей среде $\alpha_2 = 5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Целесообразно ли применять в данном случае изоляционный материал с заданными свойствами для уменьшения потерь теплоты?

Решение. Для эффективного использования изоляции с целью снижения потерь теплоты необходимо, чтобы критический диаметр изоляции был меньше внешнего диаметра оголенного трубопровода: $d_{кр} < d_н$. Условие уменьшения теплопотерь выражается соотношением:

$$\lambda_{из} \leq \frac{\alpha_2 \cdot d_н}{2}. \quad (8.5)$$

Определяем критический диаметр изоляции:

$$d_{кр} = \frac{2 \cdot \lambda_{из}}{\alpha_2} = \frac{2 \cdot 0,2}{5} = 0,08 \text{ м} = 80 \text{ мм.}$$

Ответ: в данном случае $d_{кр} < d_n$ и применение изоляционного материала с $\lambda_{из}=0,2 \text{ Вт/(м·К)}$ целесообразно.

Задача 8.3. Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды со скоростью $w=0,08 \text{ м/с}$ в горизонтальной трубе диаметром $d=0,008 \text{ м}$ и длиной 3 м , если температура воды $t_{жс}=90 \text{ °С}$, а температура внутренней поверхности трубы $t_{см}=30 \text{ °С}$.

Решение. При температуре воды $t_{жс}=90 \text{ °С}$ по таблице (П. «А») находим физические характеристики воды:

$$\lambda_{жс} = 0,68 \text{ Вт/(м·К)}; \nu_{жс} = 0,326 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \text{Pr}_{жс} = 1,95.$$

При температуре стенки $t_{см}=30 \text{ °С}$ число Прандтля: $\text{Pr}_{см} = 5,42$.

С учетом полученных значений определяем режим движения трубы в горизонтальной трубе: $\text{Re}_{жс} = \frac{wd}{\nu_{жс}} = \frac{0,08 \cdot 0,008}{0,325 \cdot 10^{-6}} = 1963,2$

Т.к. $\text{Re}_{жс} < 2300$, то режим движения – ламинарный.

При ламинарном режиме движения в трубе для определения коэффициента теплоотдачи используем формулы:

$$\text{Nu}_{жс} = 0,15 \text{Re}_{жс}^{0,33} \text{Pr}_{жс}^{0,43} \text{Gr}_{жс}^{0,1} \left(\frac{\text{Pr}_{жс}}{\text{Pr}_{см}} \right)^{0,25} \quad (8.6)$$

$$\alpha = \frac{\text{Nu}_{жс} \lambda_{жс}}{d} \quad (8.7)$$

Число Грасгофа:

$$\text{Gr}_{жс} = \frac{gd^3}{\nu_{жс}^2} \beta_2 \cdot \Delta t, \quad (8.8)$$

где $\Delta t = t_{жс} - t_{см} = 60 \text{ °С}$.

$$\text{Gr}_{жс} = \frac{9,81 \cdot 0,008^3}{(0,0326 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 6,95 \cdot 10^{-4} \cdot 60 = 1,97 \cdot 10^8.$$

По формулам (8.6) и (8.7) определяем число Нуссельта и коэффициент теплоотдачи от воды к поверхности трубы:

$$\text{Nu}_{жс2} = 0,15 \cdot (1963,2)^{0,33} \cdot (1,95)^{0,43} \cdot (1,97 \cdot 10^8)^{0,1} \cdot \left(\frac{1,95}{5,42} \right)^{0,25} = 12,76$$

$$\alpha = \frac{12,76 \cdot 0,68}{0,008} = 1085 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Поправку на длину трубы вводить не следует, т.к. $\frac{l}{d} = \frac{3}{0,008} = 375 > 50$.

Количество передаваемой теплоты через всю поверхность трубы:

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \alpha \cdot (t_{жс} - t_{см}) = 3,14 \cdot 0,008 \cdot 8 \cdot 1085 \cdot 60 = 13082 \text{ Вт.}$$

Ответ: $\alpha = 1085 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $Q = 13082 \text{ Вт}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 8.4. Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в горизонтальной трубе диаметром 0,02 м., длиной 10 м и со скоростью $w = 0,3 \text{ м/с}$, если температура воды 80°С , температура стенки трубы 30°С .

Ответ: $\alpha = 1879 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $Q = 59 \text{ Вт}$.

Задача 8.5. Гладкая пластина шириной 1,5 м и длиной $l = 2,0 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха с температурой $t_{жс} = 20^\circ\text{С}$ и со скоростью $w = 4,0 \text{ м/с}$. Определить коэффициент теплоотдачи α и тепловой поток Q , если температура поверхности плиты $t_{см} = 80^\circ\text{С}$.

Ответ: $\alpha = 13,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $Q = 2430 \text{ Вт}$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9

Теплообмен при свободной конвекции – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Опишите механизм возникновения свободного потока жидкости.
2. Что является определяющей температурой при свободной конвекции?
3. Как определить характерный размер при свободной конвекции
4. Какими уравнениями подобия определяется теплоотдача при свободном движении жидкости?
5. Опишите характерную картину свободного движения жидкости у вертикальной стенки.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 9.1. Охлаждение жидкости осуществляется в горизонтально расположенных трубах диаметром $d = 20,0 \text{ мм}$. Температура жидкости вдали от каждой трубы $t_{ж} = 100^\circ\text{С}$, температура на поверхности трубы $t_c = 20^\circ\text{С}$.

Определить коэффициент теплоотдачи и общую длину трубы, если необходимо отводить $Q = 8,0 \text{ кВт}$ тепла. Теплоноситель – вода.

Решение. Средняя температура пограничного слоя:

$$t_{ср} = \frac{t_{жс} + t_c}{2} = \frac{100 + 20}{2} = 60^\circ\text{С.}$$

По $t_{ср}$ определим параметры для теплоносителя (П. «А»):

$$\nu = 0,478 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad \beta = 5,11 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}, \quad \lambda = 65,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \quad \text{Pr} = 2,98$$

Критерий Нуссельта при свободной конвекции определяется по формуле

Михеева:

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (9.1)$$

Критерий Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta \cdot d^3 \cdot g}{\nu^2} \cdot (t_{ж} - t_c) = \frac{5,11 \cdot 10^{-4} \cdot 0,02^3 \cdot 9,8}{(0,478 \cdot 10^{-6})^2} \cdot (100 - 20) = 1,4 \cdot 10^7$$

$$\text{Произведение } (Gr \cdot Pr) = (1,4 \cdot 10^7 \cdot 2,98) = 4,2 \cdot 10^7$$

По произведению $(Gr \cdot Pr)$ определим (П. «В»): $c = 0,135$, $n = 0,33$

Тогда критерий Нуссельта:

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n = 0,135 \cdot (4,2 \cdot 10^7)^{0,33} = 44,2$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{44,2 \cdot 65,9 \cdot 10^{-2}}{0,02} = 1456 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{Q}{\alpha(t_{ж} - t_c)} = \frac{8,0 \cdot 10^3}{1456 \cdot (100 - 20)} = 0,07 \text{ м}^2.$$

$$\text{Длина трубы: } l = \frac{F}{\pi d} = \frac{0,07}{3,14 \cdot 0,020} = 1,15 \text{ м}.$$

Ответ: $\alpha = 1456 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$; $l = 1,15 \text{ м}$.

Задача 9.2. Определить критерий подобия Нуссельта для естественной конвекции вертикально расположенного цилиндра наружным диаметром $d_n = 0,25 \text{ м}$ и длиной $l = 1,5 \text{ м}$, если коэффициент теплоотдачи $\alpha = 50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а коэффициент теплопроводности пограничного слоя жидкости $\lambda = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Решение. При естественной конвекции вертикально расположенного цилиндра определяющим размером является его высота. Тогда критерий подобия Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{50 \cdot 1,5}{2,9 \cdot 10^{-2}} = 2586.$$

Ответ: $Nu = 2586$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 9.3. Охлаждение жидкости осуществляется в горизонтально расположенных трубах диаметром $d = 19,9 \text{ мм}$. Температура жидкости вдали от каждой трубы $t_{ж} = 125 \text{ }^\circ\text{С}$, температура на поверхности трубы $t_c = 45 \text{ }^\circ\text{С}$. Определить коэффициент теплоотдачи и общую длину трубы, если необходимо отводить $Q = 7,9 \text{ кВт}$ тепла. Теплоноситель – вода.

Ответ: $\alpha = 1904 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$; $l = 0,83 \text{ м}$.

Задача 9.4. Определить потерю теплоты при свободной конвекции вертикально расположенным трубопроводом диаметром 150 мм и высотой 5 м ,

если температура стенки трубопровода $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура окружающего воздуха $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ответ: $Q = 3613\text{ кВт}$

Тема 2.2. Теплопроводность

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10

Теплопроводность через плоские и цилиндрические однослойные и многослойные стенки – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите виды переноса теплоты. В чем их различие?
2. Что называется температурным полем?
3. Дайте определение градиента температуры. Какова его размерность?
4. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
5. Что характеризует коэффициент теплопроводности? Какова его размерность?
6. Каков закон распределения температур по толщине плоской и цилиндрической стенок?
7. Как определить температуру между слоями в многослойных плоских и цилиндрических стенках?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 10.1. Температуры на внешних поверхностях двухслойной стенки $t_1 = 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_3 = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, толщины первого и второго слоя $\delta_1 = 225\text{ мм}$ и $\delta_2 = 425\text{ мм}$, коэффициенты теплопроводности материала стенок $\lambda_1 = 1,5\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и $\lambda_2 = 1,2\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Определить величину удельного теплового потока, температуру на границе слоев, коэффициент теплопроводности эквивалентной стенки.

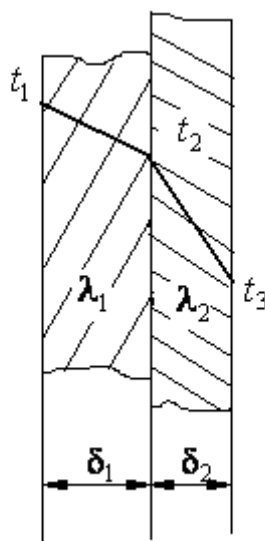


Рисунок 10.1. – К задаче 10.1.

Решение. Термические сопротивления стенок определяем по формуле:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (10.1)$$

$$R_I = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,225}{1,5} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_{II} = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,425}{1,2} = 0,35 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Суммарное термическое сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_I + R_{II} = 0,15 + 0,35 = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Удельный тепловой поток:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{R_{\Sigma}}. \quad (10.2)$$

$$q = \frac{t_1 - t_3}{R_{\Sigma}} = \frac{1300 - 75}{0,5} = 2450 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура на границе слоев:

$$t_2 = t_1 - qR_I = 1300 - 2450 \cdot 0,15 = 932,5^\circ\text{С}.$$

Коэффициент теплопроводности эквивалентной стенки:

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{R_{\Sigma}} = \frac{0,225 + 0,425}{0,5} = 1,3 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

Ответ: $q = 2450 \text{ Вт/м}^2$, $t_2 = 932,5^\circ\text{С}$, $\lambda_{\text{экв}} = 1,3 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Задача 10.2. Стальная труба с диаметрами $d_1=100 \text{ мм}$, $d_2=110 \text{ мм}$ ($\lambda_1= 50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$), покрыта изоляцией в два слоя одинаковой толщины $\delta_2 = \delta_3= 50 \text{ мм}$. Температура внутренней поверхности трубы $t_{cm1}=250^\circ\text{С}$, наружной поверхности изоляции $t_{cm4}= 50^\circ\text{С}$.

Определить потери теплоты через изоляцию с 1 м длины трубы и температуру на границе соприкосновения слоев изоляции, если первый слой изоляции, накладываемый на поверхность трубы, выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности $\lambda_2= 0,06 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, второй слой – из материала с $\lambda_3 = 0,12 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Решение. В случае многослойной цилиндрической стенки линейная плотность теплового потока q_l одинакова для каждого слоя. В общем случае для n слоёв:

$$q_l = \frac{\pi(t_{cm1} - t_{cm,n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \quad (10.3)$$

где $\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} = R_{\Sigma}$ - полное термическое сопротивление теплопроводности многослойной цилиндрической стенки.

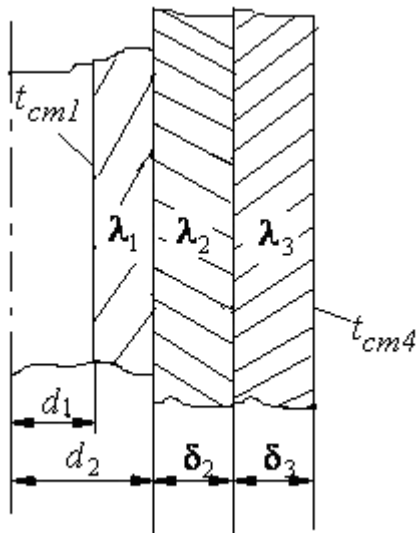


Рисунок 10.2. – К задаче 10.2.

Для рассматриваемого случая:

$$q_l = \frac{\pi(t_{cm1} - t_{cm4})}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_H}{d_e} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} =$$

$$= \frac{3,14 \cdot (250 - 50)}{\frac{1}{2 \cdot 50} \ln \frac{110}{100} + \frac{1}{2 \cdot 0,06} \ln \frac{210}{110} + \frac{1}{2 \cdot 0,12} \ln \frac{310}{210}} = 89,557 \text{ Вт/м.}$$

Температура на границе соприкосновения слоёв определяется по формуле:

$$t_{cm,n+1} = t_{cm1} - \frac{q_l \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right]}{\pi}. \quad (10.4)$$

Тогда в соответствии с условием задачи:

$$t_{cm3} = t_{cm1} - \frac{q_l \left[\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right]}{\pi}$$

$$t_{cm3} = 250 - \frac{89,557 \left[\frac{1}{2 \cdot 50} \ln \frac{110}{100} + \frac{1}{2 \cdot 0,06} \ln \frac{210}{110} \right]}{3,14} = 96,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: $q_l = 89,557 \text{ Вт/м}$, $t_{cm3} = 96,28 \text{ } ^\circ\text{C}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 10.3. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной 250 мм и слоя строительного войлока. Температура на внешней поверхности кирпичного слоя $t_{cm1} = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$, на внешней поверхности войлока $t_{cm3} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплопроводности красного кирпича и строительного войлока соответственно $\lambda_1 = 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ и $\lambda_2 = 0,0465 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$

и не зависят от температуры.

Определить температуру в плоскости соприкосновения слоёв и определить толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м^2 стенки камеры не превышает $q = 110 \text{ Вт/м}^2$.

Ответ: $t_{cm2} = 70,7 \text{ }^\circ\text{C}$, $\delta_2 = 19,3 \text{ мм}$.

Задача 10.4. Стальная труба с диаметрами $d_1 = 100 \text{ мм}$, $d_2 = 110 \text{ мм}$ покрыта слоем изоляции толщиной $\delta_{из} = 80 \text{ мм}$. Температура внутренней поверхности трубы $t_{cm1} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, наружной поверхности изоляции $t_{cm3} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda_1 = 50 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Определить потери теплоты через изоляцию с 1 м длины трубы и температуру на границе соприкосновения слоев трубы и изоляции, если слой изоляции выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности $\lambda_2 = 0,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Ответ: $q_l = 73,4 \text{ Вт/м}$, $t_{cm2} = 99,93 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тема 2.5. Передача теплоты излучением

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11

Теплообмен излучением – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется коэффициентами поглощения, отражения и пропускания?
2. Какой спектр излучения у твердых и газовых тел?
3. Что называется лучистым потоком тела?
4. Закон Планка.
5. Закон Вина.
6. Закон Стефана-Больцмана.
7. Коэффициент излучения абсолютно черного тела.
8. Серые тела. Что называется коэффициентом черноты?
9. Теплообмен излучением между параллельными пластинами.
10. Экраны.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 11.1. Определить поверхностную плотность потока излучения стенки с коэффициентом излучения $c_1 = 4,53 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}^4$ и между поверхностями с коэффициентами излучения $c_1 = c_2$, если температуры излучающих стенок $t_1 = 1027 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_2 = 427 \text{ }^\circ\text{C}$, а площади их поверхностей $F_1 = F_2 = F = 1,0 \text{ м}^2$.

Найти степень черноты стенок и длину волны, соответствующую максимальному излучению. Как изменится поверхностная плотность потока при установке между поверхностями $n = 1$ шт. экранов при условии $c_1 = c_2 = c_3$.

Решение. $T_1 = 1027 + 273 = 1300 \text{ К}$, $T_2 = 427 + 273 = 700 \text{ К}$.

Степень черноты стенок:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{c_1}{c_0} = \frac{4,53}{5,67} = 0,8, \text{ где } c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4 - \text{постоянная Больцмана.}$$

Энергия собственного излучения серого тела определяется по формуле:

$$E = c \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (11.1)$$

где c - коэффициент излучения серого тела.

Энергия собственного излучения стенок:

$$E_1 = c_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 = 4,53 \cdot \left(\frac{1300}{100} \right)^4 = 129381 \text{ Вт/м}^2$$

$$E_2 = c_2 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 = 4,53 \cdot \left(\frac{700}{100} \right)^4 = 10877 \text{ Вт/м}^2$$

Длины волн, соответствующие максимальному излучению:

$$\lambda_1 = \frac{2,9}{T_1} = \frac{2,9}{1300} = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$\lambda_2 = \frac{2,9}{T_2} = \frac{2,9}{700} = 4,14 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Если два тела с температурами T_1 и T_2 обмениваются лучистой энергией, разделены прозрачной средой, то удельный тепловой поток, переданный излучением, может быть определен по формуле:

$$q_{1,2} = \varepsilon_{np} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (11.2)$$

где ε_{np} - приведенная степень черноты:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}. \quad (11.3)$$

После подстановки:

$$q_{1,2} = 0,786 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{1300}{100} \right)^4 - \left(\frac{700}{100} \right)^4 \right] = 98934 \text{ Вт/м}^2$$

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1,0}{1,0} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,667 \text{ Вт/м}^2.$$

Тепловой поток при установке 1 экрана:

$$q_{1,2}^3 = \frac{q_{1,2}}{n+1} = \frac{98934}{1+1} = 49467 \text{ Вт/м}^2.$$

Ответ: $\lambda_1 = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ м; } \lambda_2 = 4,14 \cdot 10^{-3} \text{ м; } q_{1,2} = 98934 \text{ Вт/м}^2;$

$$q_{1,2}^{\circ} = 49467 \text{ Вт/м}^2.$$

Задача 11.2. Определить теплообмен излучением между двумя большими параллельно расположенными поверхностями с температурами $T_1 = 800 \text{ К}$ и $T_2 = 400 \text{ К}$. Коэффициент излучения первой поверхности $c_1 = 5,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$, второй - $c_2 = 4,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Потерю теплоты боковыми поверхностями не учитывать. Как изменится теплообмен, если при тех же условиях коэффициент излучения второй поверхности равен $c_2 = 0,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$?

Решение. Лучистый поток между параллельными поверхностями:

$$E = c_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (11.4)$$

где c_{np} - приведенный коэффициент излучения.

$$c_{np} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}}. \quad (11.5)$$

После подстановки получим:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{5,1} + \frac{1}{4,2} - \frac{1}{5,67}} \cdot \left[\left(\frac{800}{100} \right)^4 - \left(\frac{400}{100} \right)^4 \right] = 14899,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Лучистый поток между параллельными поверхностями при условии, что $c_2 = 0,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{5,1} + \frac{1}{0,4} - \frac{1}{5,67}} \cdot \left[\left(\frac{800}{100} \right)^4 - \left(\frac{400}{100} \right)^4 \right] = 1523,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Ответ: Расчет показывает, что замена одной поверхности полированным материалом ведет к уменьшению теплообмена лучистым потоком почти в 10 раз.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 11.3. Определить поверхностную плотность потока излучения стенки с коэффициентом излучения $c_1 = 4,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ и между поверхностями с коэффициентами излучения $c_1 = c_2$, если температуры излучающих стенок $t_1 = 1057 \text{ }^\circ\text{С}$ и $t_2 = 457 \text{ }^\circ\text{С}$, а площади их поверхностей $F_1 = F_2 = F = 1,4 \text{ м}^2$.

Найти степень черноты стенок и длину волны, соответствующую максимальному излучению. Как изменится поверхностная плотность потока при установке между поверхностями $n = 1$ шт. экранов при условии $c_1 = c_2 = c_3$.

Ответ: $\lambda_1 = 2,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\lambda_2 = 3,97 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $q_{1,2} = 133926 \text{ Вт/м}^2$; $q_{1,2}^{\circ} = 66963 \text{ Вт/м}^2$.

Задача 11.4. Между двумя поверхностями установлен экран, коэффициенты излучения их $c_1 = c_2 = 4,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, а температуры $T_1 = 600 \text{ К}$ и $T_2 = 300 \text{ К}$.

Определить теплообмен лучистым потоком до и после установки экрана и температуру экрана, если $c_{\text{эк}} = c_1 = c_2$.

Ответ: $E = 5056 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $E^{\circ} = 2528 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $T^{\circ} = 512 \text{ К}$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12

Тема 2.6. Теплообменные аппараты Расчет теплообменных аппаратов – 2 часа

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется теплообменным аппаратом?
2. На какие группы делятся теплообменные аппараты?
3. По каким схемам осуществляется движение жидкостей?
4. Напишите основные уравнения теплопередачи и теплового баланса.
5. Изобразите графики изменения температур рабочих жидкостей в аппаратах с прямотоком и противотоком.
6. Напишите уравнения среднелогарифмического температурного напора для аппаратов с прямотоком и противотоком?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 12.1. Определить площадь поверхности теплообмена рекуперативного водовоздушного теплообменника при прямоточной схеме движения теплоносителей, если массовый расход воздуха при нормальных условиях $m_n^{603d} = 20 \text{ кг}/\text{с}$, средний коэффициент теплопередачи от воздуха к воде $k = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, начальные и конечные температуры воздуха и воды равны соответственно $t_1' = 450^\circ\text{С}$, $t_1'' = 200^\circ\text{С}$, $t_2' = 20^\circ\text{С}$, $t_2'' = 100^\circ\text{С}$.

Определить также расход воды $m^{60ды}$ через теплообменник. Изобразить график изменения температур теплоносителей.

Массовые изобарные теплоемкости теплоносителей принять:

$c_p^{603d} = 1,01 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $c_p^{60ды} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Решение. Тепловой поток к воздуху:

$$Q = m_n^{603d} \cdot c_p^{603d} \cdot (t_1' - t_1'') = 20 \cdot 1,01 \cdot (450 - 200) = 5050 \text{ кВт}.$$

Расход воды в теплообменнике:

$$m^{60ды} = \frac{Q}{c_p^{60ды} \cdot (t_2'' - t_2')} = \frac{5050 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (100 - 20)} = 15 \text{ кг}/\text{с}.$$

Площадь поверхности теплообмена:

$$A = \frac{Q}{k\Delta t_{cp}}, \quad (12.1)$$

где Δt_{cp} - среднелогарифмический температурный напор, определяемый по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}. \quad (12.2)$$

При прямотоке:

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2' = 450 - 20 = 430^{\circ}\text{C}; \quad \Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2'' = 200 - 100 = 100^{\circ}\text{C}.$$

Тогда:

$$\Delta t_{cp} = \frac{430 - 100}{\ln \frac{430}{100}} = 226^{\circ}\text{C}.$$

$$A = \frac{5050 \cdot 10^3}{25 \cdot 226} = 894 \text{ м}^2.$$

Ответ: $m^{\text{воды}} = 15 \text{ кг/с}$; $A = 894 \text{ м}^2$.

Задача 12.2. Теплообменный аппарат, состоящий из овальных оребренных трубок, сечением 13,5х2,4 мм, должен рассеивать 35 кДж теплоты в секунду. Определить количество водяных трубок при их длине $l = 0,45 \text{ м}$, если коэффициент оребрения $\varphi = 2,18$. Материал стенки – медь ($\lambda = 390 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), коэффициенты теплоотдачи: от воды к стенке $\alpha_1 = 2500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$; от стенки к воздуху $\alpha_2 = 185 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Толщина стенки $\delta = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; средняя температура воды $\bar{t}_1 = 87,5^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха $\bar{t}_2 = 37,5^{\circ}\text{C}$.

Решение. Определяем коэффициент теплопередачи для ребристой поверхности:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \varphi + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \varphi + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2500} \cdot 2,18 + \frac{3 \cdot 10^{-4}}{390} \cdot 2,18 + \frac{1}{185}} = 159 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Площадь ребристой поверхности:

$$F_2 = \frac{Q}{k \cdot (\bar{t}_1 - \bar{t}_2)} = \frac{35000}{159 \cdot 50} = 4,4 \text{ м}^2$$

Площадь общей поверхности водяных трубок:

$$F_1 = \frac{F_2}{\varphi} = \frac{4,4}{2,18} = 2,0 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности одной трубки:

$$f = 2 \cdot (0,0135 + 0,0024) \cdot 0,45 = 0,0143 \text{ м}^2.$$

Количество трубок:

$$z = \frac{F_1}{f} = \frac{2.0}{0,0143} = 139,8.$$

Располагая трубки в решетке радиатора в три ряда, принимаем $z = 141$ шт, чтобы расположить по 47 штук в одном ряду.

Располагая трубки в решетке теплообменного аппарата в три ряда, принимаем

Ответ: $z = 141$ шт.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 12.5. Определить площадь поверхности нагрева рекуперативного водовоздушного теплообменника при прямоточной схеме движения теплоносителей, если объемный расход воздуха при нормальных условиях $V_H = 5,0 \cdot 10^4$ м³/ч, средний коэффициент теплопередачи от воздуха к воде $k = 21$ Вт/(м²·К), начальные и конечные температуры воздуха и воды равны соответственно $t_1' = 500^\circ\text{C}$, $t_1'' = 250^\circ\text{C}$, $t_2' = 10^\circ\text{C}$, $t_2'' = 90^\circ\text{C}$.

Определить также расход воды $m^{\text{воды}}$ через теплообменник. Изобразить графики изменения температур теплоносителей для обеих схем при различных соотношениях их условных эквивалентов.

Массовые изобарные теплоемкости теплоносителей принять:

$c_p^{\text{возд}} = 1,01$ кДж/(кг·К); $c_p^{\text{воды}} = 4,19$ кДж/(кг·К).

Ответ: $A = 732$ м²; $m^{\text{воды}} = 13,2$ кг/с.

Задача 12.3. Решить предыдущую задачу при условии, что схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате – противоточная.

Ответ: $A = 681$ м²; $m^{\text{воды}} = 13,2$ кг/с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 13

Решение задач – 4 часа

Задача 1. Определить коэффициент теплопроводности эквивалентной стенки для трехслойной плоской стенки толщинами $\delta_1 = 2$ мм, $\delta_2 = 5$ мм, $\delta_3 = 50$ мм, коэффициенты теплопроводности слоев которой соответственно равны, $\lambda_1 = 0,15$ Вт/м·к, $\lambda_2 = 45,5$ Вт/м·к, $\lambda_3 = 0,23$ Вт/м·к.

Задача 2. Определить термическое сопротивление цилиндрической стенки с внутренним диаметром $d_1 = 0,36$ м, наружным диаметром $d_2 = 0,46$ м, если труба изготовлена из стали с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 48$ Вт/м·к.

Задача 3. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной 250 мм и слоя строительного войлока. Температура на внешней поверхности кирпичного слоя $t_{cm1} = 120$ °С, на внешней поверхности войлока $t_{cm3} = 30$ °С. Коэффициенты теплопроводности красного кирпича и строительного войлока соответственно $\lambda_1 = 1,0$ Вт/(м·К) и $\lambda_2 = 0,07$ Вт/(м·К) и

не зависят от температуры.

Определить температуру в плоскости соприкосновения слоёв и определить толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м^2 стенки камеры не превышает $q = 120 \text{ Вт/м}^2$.

Задача 4. Определить критический диаметр изоляции, если коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_{\text{из}} = 0,175 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, а коэффициент теплоотдачи со стороны изоляции $\alpha_2 = 50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Задача 5. Определить оптимальный коэффициент оребрения для плоской ребристой поверхности если коэффициенты теплоотдачи соответственно равны $\alpha_1 = 2000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $\alpha_2 = 50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Задача 6. Определить критерий подобия Нуссельта для естественной конвекции вертикально расположенного цилиндра наружным диаметром $d_n = 0,25 \text{ м}$ и длиной $l = 1,5 \text{ м}$, если коэффициент теплоотдачи $\alpha = 500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а коэффициент теплопроводности пограничного слоя жидкости $\lambda = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Задача 7. Определить приведенный коэффициент излучения двух пластин, разделенных прозрачной средой, если степень черноты пластин соответственно равны $\varepsilon_1 = 0,7$, $\varepsilon_2 = 0,5$.

Задача 8. Определить теплоту, переданную излучением двух тел с температурами $T_1 = 400 \text{ К}$, $T_2 = 200 \text{ К}$, если $\varepsilon_{np} = 0,7$.

Задача 9. Воздух нагревается при постоянном объеме от 400 до $800 \text{ }^\circ\text{С}$. Начальное давление $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$. Определить количество подведенной теплоты Δq , изменение внутренней энергии Δu , изменение энтальпии Δi , энтропии Δs , работу $\Delta \ell$ 1 кг азота, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Задача 10. Воздух массой 1 кг совершает прямой цикл Карно при температуре горячего и холодного источников соответственно 327 и $27 \text{ }^\circ\text{С}$. Минимальное давление при этом составляет $0,12 \text{ МПа}$, максимальное – 2 МПа . Определить параметры в т. 1 и 2 и термический КПД цикла Карно. Изобразить цикл в vP - и sT – координатах.

Задача 11. К кипящей воде при давлении $P = 2 \text{ МПа} = \text{const}$ подводится теплота. При этом вода превращается в перегретый пар с температурой $t = 500 \text{ }^\circ\text{С}$. Определить затраченное количество теплоты.

Задача 12. Влажный воздух с начальными параметрами $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{С}$, $\phi = 40\%$ подогревается в калорифере до температуры $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{С}$. Определить конечные параметры воздуха: влагосодержание, парциальное давление, энтальпию, точку росы и количество теплоты, необходимой для нагрева 1 кг влажного воздуха.

Задача 13. Водяной пар с параметрами: $P_1 = 1 \text{ МПа}$, $x = 0,95$ вытекает через суживающееся сопло в среду с давлением $P_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Определить действительную скорость и расход пара на выходе из сопла, если $\phi = 0,85$, а $\beta_{кр} = 0,577$. Определить скорость пара, если истечение происходит через сопло

Лавая.

Задача 14. Водяной пар с параметрами: $P_1 = 1$ МПа, $x = 0,95$, а затем вытекает через суживающееся сопло в среду с давлением $P_2 = 0,2$ МПа. Определить действительную скорость и расход пара на выходе из сопла, если $\varphi = 0,85$, а $\beta_{кр} = 0,577$. Определить действительную скорость и расход, если пар перед расширением дросселируется до давления $P_1' = 0,5$ МПа.

Задача 15. Для поршневого ДВС с изобарным процессом подвода теплоты найти максимальную температуру цикла, если начальное давление $P_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $T_1 = 300$ К, степень сжатия $\varepsilon = 13,5$, степень предварительного расширения $\rho = 2,0$. В качестве рабочего тела принять воздух $R = 287,3$ Дж/(кг·К), $k = 1,4$.

Задача 16. Для цикла газотурбинного двигателя с изобарным процессом подвода теплоты определить удельное количество подводимой теплоты, если начальное давление $P_1 = 0,1$ МПа, начальная температура $T_1 = 300$ К, степень повышения давления в компрессоре $\beta = 6$, максимальная температура цикла $T_3 = 1500$ К. В качестве рабочего тела принять воздух $R = 287,3$ Дж/(кг·К), $k = 1,4$.

Темы рефератов

1. Термодинамическая система.
2. Параметры состояния идеального газа.
3. Уравнение состояния идеального газа. PV –координаты.
4. Теплоемкость газов. Определение. Виды теплоемкости.
5. Изобарная и изохорная теплоемкости.
6. Первый закон термодинамики.
7. Энтальпия, физический смысл.
8. Теплота и работа в термодинамических процессах.
9. Изменение внутренней энергии в термодинамических процессах.
- 10.Изохорный процесс.
- 11.Изобарный процесс.
- 12.Изотермический процесс.
- 13.Адиабатный процесс.
- 14.Второй закон термодинамики. Прямые и обратные циклы.
- 15.Прямой цикл Карно. Термический КПД цикла.
- 16.Цикл Отто.
- 17.Цикл Дизеля.
- 18.Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент.
- 19.Цикл воздушной холодильной машины.
- 20.Цикл поршневого компрессора.
- 21.Энтропия как параметр состояния термодинамической системы.
- 22.Влажный воздух. Основные характеристики влажного воздуха.
- 23.Паросиловые установки.
- 24.Цикл Ренкина.
- 25.Сопло Лаваля. Особенности конструкции.
- 26.Теплообмен. Температурное поле. Температурный градиент.
- 27.Основной закон теплопроводности (Закон Фурье).
- 28.Теплопроводность плоской однослойной и многослойной стенки.
- 29.Теплопроводность однослойной и многослойной цилиндрической стенки.
- 30.Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона–Рихмана.
- 31.Теория подобия. Критерии теплового подобия.
- 32.Теплоотдача при различных видах движения.
- 33.Теплообмен излучением.
- 34.Закон Планка.
- 35.Закон Винна.
- 36.Основное уравнение теплопередачи. Тепловое сопротивление.
- 37.Теплообменные аппараты, их классификация.
- 38.Эффективность теплообменников и способы ее повышения.
- 39.Теплоносители и их свойства.

Фонд тестовых заданий

1. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

- 1) 50
- 2) 30
- 3) 40
- 4) 20

2. Тепловой двигатель за один цикл получает от нагревателя 100 кДж теплоты и отдает холодильнику 60 кДж. Чему равен КПД этого двигателя (%)?

- 1) 60
- 2) 67
- 3) 40
- 4) 25

3. Каким должно быть отношение масс m_1/m_2 горячей и холодной воды для того, чтобы за счет охлаждения от 50°C до 30°C воды массы m_1 , вода массой m_2 нагрелась от 20° до 30°C?

- 1) 4
- 2) 2
- 3) 1
- 4) 1/2

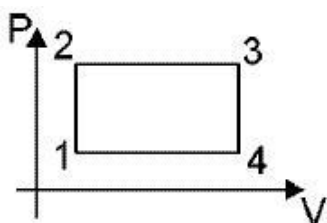
4. Тепловой двигатель с КПД 50% за один цикл отдает холодильнику 56 кДж теплоты. Какая работа им (кДж) совершается за один цикл?

- 1) 40
- 2) 28
- 3) 21
- 4) 56

5. Укажите единицу измерения величины, измеряемой произведением $p\Delta V$.

- 1) ватт
- 2) паскаль
- 3) литр
- 4) джоуль

6. Какой точке диаграммы изменения состояния идеального газа соответствует наибольшее значение внутренней энергии.



- 1) 3
- 2) 2
- 3) 4
- 4) 1

7. Какому количеству теплоты (МДж) эквивалентна работа, совершаемая за 1 ч двигателем мощностью 2 кВт?

- 1) 0,2
- 2) 2
- 3) 3,6
- 4) 7,2

8. Найдите работу, совершаемую двумя молями идеального газа при его изобарном нагревании на 100°C (Дж). $R=8,3\text{Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 166
- 2) 83
- 3) 830
- 4) 1660

9. При изохорном нагревании на 50 К идеальный газ получил 2 кДж теплоты. Какую работу совершил идеальный газ (Дж)?

- 1) 0,8
- 2) 1
- 3) 2
- 4) 0

10. Какой должна быть температура холодильника тепловой машины ($^{\circ}\text{C}$), чтобы максимальное значение КПД равнялось 50%? Температура нагревателя 327°C .

- 1) 35
- 2) 327
- 3) 27
- 4) 260

11. Температура нагревателя реальной тепловой машины 227°C , холодильника - $+27^{\circ}\text{C}$. За один цикл газ получает от нагревателя 64 кДж теплоты, а отдает холодильнику 48 кДж. Определите КПД машины (%).

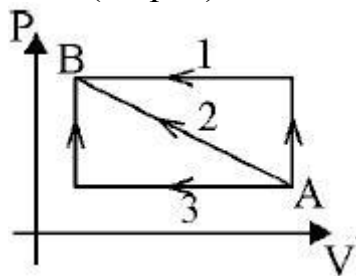
- 1) 35
- 2) 25
- 3) 15

4) 40

12. Какой процесс называется изотермическим? Процесс, происходящий...

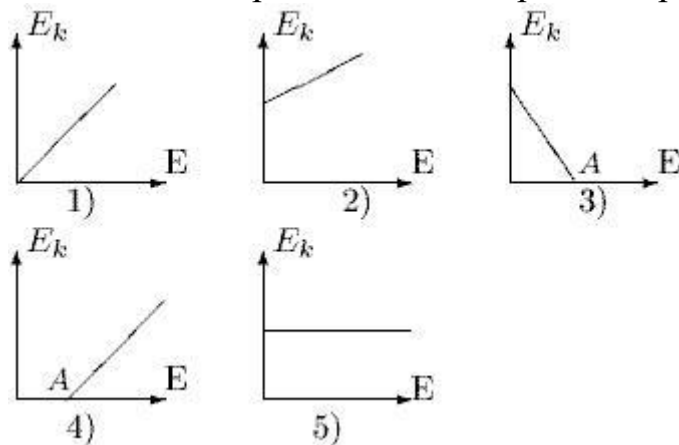
- 1) при постоянной температуре
- 2) при постоянном давлении
- 3) при постоянном объеме
- 4) при постоянной теплоемкости

13. Переход газа из состояния А в состояние В можно осуществить тремя способами (см.рис). В каком случае работа над газом минимальна?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) во всех случаях она одинакова

14. Чему равна внутренняя энергия (Дж) одного моля одноатомного идеального газа, который находится при температуре -73°C , ?



- 1) 830
- 2) 1246
- 3) 1660
- 4) 2490

15. Внутренняя энергия заданной массы m идеального газа зависит только от ...

- 1) объема
- 2) давления
- 3) формы сосуда
- 4) температуры

16. В воду температурой 15°C и объемом 2 л опустили неизвестный сплав массой 1 кг и температурой 90°C . В результате теплообмена установилась температура 20°C . Какова удельная теплоемкость сплава ($\text{Дж/кг}\cdot\text{K}$), если удельная теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$?

- 1) 400
- 2) 600
- 3) 1100
- 4) 1300

17. На сколько мегаджоулей отличается внутренняя энергия 2 кг водяного пара при температуре 100°C от внутренней энергии 2 кг воды при этой же температуре? $L_v=2,3 \text{ МДж/кг}$

- 1) на 4,6 МДж больше
- 2) на 2,3 МДж больше
- 3) не отличаются
- 4) на 2,3 МДж меньше

18. Сколько льда (кг) растает, если лед массой 5 кг и температурой 0°C опустить в воду массой 10 кг и температурой 0°C ?

- 1) 3
- 2) 2
- 3) 1
- 4) 0

19. Взято по одному молю гелия, неона и аргона при одинаковой температуре. У какого газа внутренняя энергия самая большая?

- 1) у всех газов одинакова
- 2) у аргона
- 3) у гелия
- 4) у неона

20. На сколько $^{\circ}\text{C}$ нужно нагреть 10 млн. т воды, чтобы ее масса увеличилась на 1 г? Удельная теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$.

- 1) 41
- 2) 12
- 3) 2,14
- 4) 21,4

21. Азот массой 20 кг нагревается при постоянном давлении от 0° до 200°C . Оцените, на сколько нанограммов увеличится масса азота? Удельная теплоемкость азота при постоянном давлении равна $1,05 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

- 1) 0
- 2) 4,7
- 3) 47
- 4) 470

22. Как изменится масса 1 кг воды при нагревании на 80 К? Удельная теплоемкость воды $4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

- 1) увеличится на $18,5 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$
- 2) не изменится
- 3) уменьшится на $18,5 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$
- 4) увеличится на $37 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$

23. На сколько (кг) возрастет масса 1 кг воды при повышении ее температуры на 81 К? $c=4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

- 1) $3,78 \cdot 10^{-12}$
- 2) $7,56 \cdot 10^{-12}$
- 3) $8,1 \cdot 10^{-13}$
- 4) $3,78 \cdot 10^{-13}$

24. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,6 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 5 кДж теплоты?

- 1) 40
- 2) 30
- 3) 50
- 4) 60

25. Какая сила (Н) совершает работу 100 Дж, равномерно перемещая тело на расстояние 40 см, если она действует под углом 30° к направлению перемещения?

- 1) 455
- 2) 173
- 3) 289
- 4) 53

26. На тело массой 4 кг, движущееся со скоростью 2 м/с, подействовала сила 10 Н, в результате чего скорость тела увеличилась до 5 м/с. Какую работу (Дж) совершила данная сила?

- 1) 34
- 2) 42
- 3) 24
- 4) 50

27. Какая работа (Дж) совершается при изохорном нагревании одного моля идеального газа на 20 К?

- 1) 4,05
- 2) при изохорном процессе работа не совершается
- 3) 8,31

4) 16,62

28. Как изменяется температура кристаллического тела с момента начала плавления до его окончания?

- 1) постепенно повышается
- 2) в начале плавления понижается, затем повышается
- 3) в начале плавления повышается, затем понижается
- 4) не изменяется

29. Вода превращается в лед при постоянной температуре 0°C . Поглощается или выделяется при этом энергия?

- 1) поглощается
- 2) выделяется
- 3) в зависимости от внешних условий может как поглощаться, так и выделяться
- 4) не поглощается и не выделяется

30. Какое количество теплоты (кДж) необходимо затратить, чтобы нагреть 2 кг воды от её температуры замерзания до температуры кипения (100°C)? Удельная теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

- 1) 420
- 2) 840
- 3) 8,4
- 4) 168

31. При адиабатном сжатии идеального газа внешними силами совершена работа 100 Дж. Как изменилась при этом внутренняя энергия этого газа?

- 1) увеличилась на 50 Дж
- 2) увеличилась на 100 Дж
- 3) уменьшилась на 100 Дж
- 4) не изменилась

32. Какое количество теплоты (кДж) необходимо затратить, чтобы расплавить 3 кг льда, взятого при температуре 0°C ? Удельная теплота плавления льда равна $330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

- 1) 660
- 2) 330
- 3) 110
- 4) 990

33. Смешали 30 л воды при 10°C и 50 л воды температурой 50°C . Определите температуру смеси.

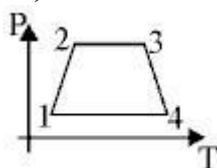
- 1) 40
- 2) 25
- 3) $[+]$ 35

4) 30

34. Какие из следующих процессов приводят к увеличению внутренней энергии тела: 1) нагревание; 2) охлаждение; 3) плавление; 4) кристаллизация; 5) парообразование; 6) конденсация; 7) ускоренное движение; 8) замедленное движение?

- 1) 1, 3 и 5
- 2) 1, 3, 5 и 7
- 3) 2, 4 и 6
- 4) 2, 4, 6 и 7

35. Какой точке изменения состояния идеального газа, приведённой на рисунке, соответствует наибольшее значение внутренней энергии?

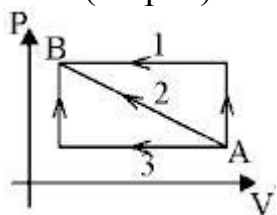


- 1) 1
- 2) 3
- 3) 2
- 4) 4

36. Взято по одному моллю гелия, неона и аргона при одинаковой температуре. У какого газа внутренняя энергия самая большая?

- 1) гелия
- 2) неона
- 3) у всех газов она одинакова
- 4) аргона

37. Переход газа из состояния А в состояние В можно осуществить тремя способами (см.рис). В каком случае работа над газом минимальна?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) во всех случаях работа одинакова

38. При изотермическом расширении от V_1 до V_2 один моль кислорода совершил работу 3 кДж. Какое количество теплоты при этом получил?

- 1) 3
- 2) 2

- 3) 1
- 4) 0

39. КПД идеального теплового двигателя равен 35%, температура холодильника - $+27^{\circ}\text{C}$. Определите температуру нагревателя ($^{\circ}\text{C}$).

- 1) 462
- 2) 189
- 3) 259
- 4) 522

40. Определите внутреннюю энергию двух молей одноатомного идеального газа (кДж) при температуре 300 К. $R=8,3$ Дж/(моль $\cdot$ К).

- 1) 7,47
- 2) 3,74
- 3) 1,66
- 4) 0,83

41. При адиабатном расширении идеальный газ совершил работу 200 Дж. Как изменилась при этом внутренняя энергия этого газа?

- 1) не изменилась
- 2) увеличилась на 200 Дж
- 3) уменьшилась на 200 Дж
- 4) уменьшилась на 100 Дж

42. Температура нагревателя реальной тепловой машины 227°C , холодильника - $+27^{\circ}\text{C}$. За один цикл газ получает от нагревателя 64 кДж теплоты, а отдаёт холодильнику 48 кДж. Определите КПД машины (%).

- 1) 35
- 2) 15
- 3) 40
- 4) 25

43. Идеальному газу сообщено 300 Дж теплоты. При этом газ, расширяясь, совершил работу 100 Дж. Как изменилась при этом его внутренняя энергия?

- 1) не изменилась
- 2) увеличилась на 200 Дж
- 3) уменьшилась на 200 Дж
- 4) увеличилась на 100 Дж

44. Какую работу (Дж) совершают 80 г кислорода при его изобарном нагревании на 10 К? Атомная масса кислорода равна 16 а.е.м. $R=8,3$ Дж/(моль $\cdot$ К).

- 1) 166
- 2) 83

- 3) 415
- 4) 208

45. Какое количество теплоты (Дж) необходимо для получения 10 кг пара воды при ее температуре кипения? Удельная теплота парообразования воды равна $2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг.

- 1) $2,2 \cdot 10^7$
- 2) $2,2 \cdot 10^6$
- 3) $2,2 \cdot 10^{-6}$
- 4) $10 \cdot 10^6$

46. При изохорном нагревании на 50 К идеальный газ получил 2 кДж теплоты. Какую работу совершил идеальный газ (Дж)?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 0,8
- 4) 0

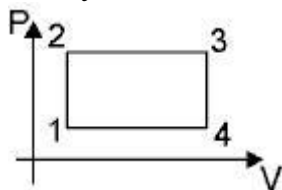
47. Нагреватель идеальной тепловой машины имеет температуру 527°C , а холодильник - $+127^\circ\text{C}$. Определите КПД данной машины (%).

- 1) 60
- 2) 50
- 3) 40
- 4) 25

48. Какое количество теплоты (кДж) необходимо затратить, чтобы нагреть 2 кг льда, взятого при температуре -15°C , до температуры $+25^\circ\text{C}$? Удельная теплота плавления льда равна 330 кДж/кг, удельные теплоёмкости льда и воды равны соответственно 2100 и 4200 Дж/(кг·К).

- 1) 465
- 2) 3600
- 3) 1866
- 4) 933

49. Какой точке диаграммы изменения состояния идеального газа соответствует наибольшее значение внутренней энергии.



- 1) 4
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 1

50. На сколько мегаджоулей отличается внутренняя энергия 2 кг водяного пара при температуре 100°C от внутренней энергии 2 кг воды при этой же температуре? $L_{\text{в}}=2,3 \text{ МДж/кг}$.

- 1) на 4,6 МДж больше
- 2) на 2,3 МДж больше
- 3) не отличаются
- 4) на 2,3 МДж меньше

51. В воду температурой 15°C и объёмом 2 л опустили неизвестный сплав массой 1 кг и температурой 90°C . В результате теплообмена установилась температура 20°C . Какова удельная теплоёмкость сплава ($\text{Дж/кг}\cdot\text{K}$), если удельная теплоёмкость воды равна $4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$?

- 1) 1100
- 2) 400
- 3) 1300
- 4) 600

52. Какое количество теплоты (кДж) выделяется при конденсации 0,2 кг водяного пара при температуре 100°C , если удельная теплота парообразования воды равна $2,2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$?

- 1) 220
- 2) 660
- 3) 440
- 4) 880

53. Какое количество теплоты (МДж) выделяется при сгорании 10 кг керосина, если удельная теплота сгорания керосина равна 46 МДж/кг ?

- 1) 460
- 2) 230
- 3) 920
- 4) 92

54. Пуля массой 10 г, летевшая со скоростью 700 м/с , попадает в бетонный блок и застревает в нём. Какое количество теплоты при этом выделяется (Дж)?

- 1) 1225
- 2) 2450
- 3) 4900
- 4) 9800

55. Камень массой 100 кг, сорвавшись со скалы, упал в ущелье глубиной 200 м. Какое количество теплоты при этом выделилось (кДж)? $g=10 \text{ м/с}^2$

- 1) 200
- 2) 400
- 3) 50

4) 100

56. Сколько льда (кг) растает, если лёд массой 5 кг и температурой 0°C опустить в воду массой 10 кг и температурой 0°C ?

- 1) 1
- 2) 0
- 3) 3
- 4) 2

57. Сколько всего энергии (Дж) содержится в 1 кг угля? Скорость света в вакууме – $3 \cdot 10^8$ м/с, удельная теплота сгорания угля – 46 МДж/кг.

- 1) $23 \cdot 10^6$
- 2) $3 \cdot 10^8$
- 3) $9 \cdot 10^{16}$
- 4) $46 \cdot 10^6$

58. Как изменится масса 1 км³ воды при нагревании ее на 20°C ? Удельная теплоемкость воды равна 4200 Дж/кг.

- 1) увеличится на 933 г
- 2) уменьшится на 933 г
- 3) не изменится
- 4) увеличится на 150 г

59. На сколько $^{\circ}\text{C}$ нужно нагреть 10 млн. т воды, чтобы её масса увеличилась на 1 г? Удельная теплоёмкость воды равна 4200 Дж/кг•К.

- 1) 2,14
- 2) 12
- 3) 21,4
- 4) 41

60. Найдите работу, совершаемую двумя молями идеального газа при его изобарном нагревании на 100°C (Дж). $R=8,3$ Дж/моль•К.

- 1) 1660
- 2) 83
- 3) 166
- 4) 830

61. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 50% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг•К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C , а начальная температура пули – 77°C .

- 1) 5,8
- 2) 7,5

- 3) 2,5
- 4) 6,9

62. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 5 кДж теплоты?

- 1) 8
- 2) 4
- 3) 5
- 4) 2

63. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 4 кДж теплоты?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

64. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

- 1) 5
- 2) 3
- 3) 4
- 4) 8

65. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 2 кДж теплоты?

- 1) 3
- 2) 4
- 3) 2
- 4) 1

66. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 1 кДж теплоты?

- 1) 1
- 2) 4

- 3) 2
- 4) 3

67. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 5 кДж теплоты?

- 1) 6
- 2) 16
- 3) 10
- 4) 3

68. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 6 кДж теплоты?

- 1) 48
- 2) 32
- 3) 12
- 4) 20

69. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 97,5
- 2) 2,5
- 3) 130
- 4) 65

70. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 104
- 2) 51,9
- 3) 156
- 4) 208

71. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 51,9
- 2) 208
- 3) 156
- 4) 104

72. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 104
- 2) 51,9
- 3) 156
- 4) 208

73. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 15 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 146,1
- 2) 194,8
- 3) 243,5
- 4) 97,4

74. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 15 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 194,8
- 2) 146,1
- 3) 48,7
- 4) 97,4

75. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 15 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 97,4
- 2) 48,7
- 3) 146,1
- 4) 194,8

76. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 15 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 194,8
- 2) 146,1
- 3) 48,7
- 4) 97,4

77. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 15 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 146,1
- 2) 194,8

- 3) 48,7
- 4) 97,4

78. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 67°C.

- 1) 0,6
- 2) 3,5
- 3) 5,7
- 4) 0,1

79. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 32,5
- 2) 65
- 3) 97,5
- 4) 130

80. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 56 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 415,5
- 2) 831
- 3) 623
- 4) 208

81. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 32,5
- 2) 130
- 3) 97,5
- 4) 65

82. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 32,5
- 2) 97,5
- 3) 130
- 4) 65

83. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 5 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 48,6
- 2) 64,8
- 3) 81
- 4) 32,4

84. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 5 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 32,4
- 2) 48,6
- 3) 16,2
- 4) 64,8

85. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 5 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 32,4
- 2) 48,6
- 3) 64,8
- 4) 16,2

86. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 5 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 32,4
- 2) 16,2
- 3) 64,8
- 4) 48,6

87. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 5 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 16,2
- 2) 32,4
- 3) 48,6
- 4) 64,8

88. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 80 К? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

- 1) 1,66
- 2) 1,25
- 3) 1,04
- 4) 1,46

89. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 400 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 6 кДж теплоты?

- 1) 4
- 2) 8
- 3) 6
- 4) 12

90. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 97,5
- 2) 130
- 3) 65
- 4) 162,5

91. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 84 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 623
- 2) 935
- 3) 1246
- 4) 1558

92. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 37°C.

- 1) 10
- 2) 8,7
- 3) 2,4
- 4) 5,3

93. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 50% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К,

удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 47°C .

- 1) 10
- 2) 6,4
- 3) 8,7
- 4) 5,8

94. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 47°C .

- 1) 8,7
- 2) 7,9
- 3) 2,4
- 4) 10

95. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 47°C .

- 1) 6,4
- 2) 3
- 3) 7,8
- 4) 9,8

96. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 50% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 57°C .

- 1) 9,2
- 2) 3
- 3) 6,96
- 4) 9,8

97. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а

начальная температура пули - 57°C .

- 1) 3
- 2) 9,2
- 3) 9,8
- 4) 8,5

98. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 57°C .

- 1) 9,8
- 2) 8,4
- 3) 6,4
- 4) 3

99. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 40% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 67°C .

- 1) 1,6
- 2) 3,3
- 3) 6,9
- 4) 0,1

100. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 50% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 67°C .

- 1) 5,2
- 2) 1,6
- 3) 6,9
- 4) 0,1

101. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль . $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$.

- 1) 51,9
- 2) 104
- 3) 156

4) 208

102. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 77°C.

- 1) 3,5
- 2) 6,2
- 3) 4
- 4) 2,9

103. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 156
- 2) 208
- 3) 104
- 4) 260

104. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 84 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 312
- 2) 623
- 3) 935
- 4) 1246

105. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 84 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 623
- 2) 312
- 3) 935
- 4) 1246

106. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 84 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3$ Дж/кг·К.

- 1) 1246
- 2) 623
- 3) 935
- 4) 312

107. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 84 г, чтобы изобарно нагреть его на 5 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 1246
- 2) 623
- 3) 935
- 4) 311

108. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 56 г, чтобы изобарно нагреть его на 25 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 1039
- 2) 623
- 3) 415,5
- 4) 831

109. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 56 г, чтобы изобарно нагреть его на 20 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 208
- 2) 831
- 3) 415,5
- 4) 623

110. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 56 г, чтобы изобарно нагреть его на 15 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 415,5
- 2) 623
- 3) 208
- 4) 831

111. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 56 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

- 1) 415,5
- 2) 208
- 3) 623
- 4) 831

112. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$., удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления

327°C, а начальная температура пули - 37°C.

- 1) 2,4
- 2) 5,8
- 3) 10
- 4) 7,3

113. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 40% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг•К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 77°C.

- 1) 0,1
- 2) 3,8
- 3) 6,9
- 4) 0,6

114. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 50 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 1,46
- 2) 1,25
- 3) 1,04
- 4) 1,66

115. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,8 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 2 кДж теплоты?

- 1) 12
- 2) 4
- 3) 8
- 4) 2

116. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 20 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 1,87
- 2) 1,46
- 3) 1,66
- 4) 1,25

117. Под поршнем, который может свободно перемещаться в

вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 10 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 1,25
- 2) 0,83
- 3) 1,04
- 4) 0,62

118. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 80 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 10,4
- 2) 8,31
- 3) 9,35
- 4) 7,28

119. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 100 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 2,49
- 2) 2,08
- 3) 1,87
- 4) 1,66

120. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 90 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 1,87
- 2) 2,08
- 3) 1,66
- 4) 2,49

121. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 40 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 3,12
- 2) 2,49
- 3) 1,87
- 4) 3,74

122. Под поршнем, который может свободно перемещаться в

вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 70 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 1,04
- 2) 1,25
- 3) 1,46
- 4) 0,83

123. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 70 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 4,99
- 2) 7,28
- 3) 5,61
- 4) 6,24

124. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 40 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 0,62
- 2) 0,42
- 3) 0,83
- 4) 1,04

125. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 30 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 0,83
- 2) 0,62
- 3) 0,42
- 4) 1,04

126. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 10 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 0,11
- 2) 0,21
- 3) 0,32
- 4) 0,42

127. Под поршнем, который может свободно перемещаться в

вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 60 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 1,46
- 2) 1,66
- 3) 1,25
- 4) 1,04

128. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 4 кДж теплоты?

- 1) 8
- 2) 4
- 3) 12
- 4) 16

129. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 50 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 2,49
- 2) 3,12
- 3) 3,74
- 4) 4,37

130. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 60 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 2,49
- 2) 3,12
- 3) 3,74
- 4) 4,37

131. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

- 1) 5
- 2) 6
- 3) 4
- 4) 2

132. Под поршнем, который может свободно перемещаться в

вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 90 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 9,35
- 2) 8,31
- 3) 10,4
- 4) 11,5

133. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 60 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 6,24
- 2) 5,61
- 3) 4,99
- 4) 7,28

134. Под свободно движущимся поршнем площадью 100 см^2 находится идеальный одноатомный газ под давлением 150 кПа. При передаче газу теплоты поршень поднялся на высоту 3 см. Определите работу (Дж), совершённую газом.

- 1) 450
- 2) 45
- 3) 90
- 4) 180

135. Найдите работу (Дж), совершаемую при нагревании 2 молей идеального одноатомного газа на 100°C при постоянном давлении. $R=8,3 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$

- 1) 104
- 2) 415
- 3) 207
- 4) 1660

136. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура

- 1) 4,99
- 2) 4,37
- 3) 3,74
- 4) 5,61

137. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа.

Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 30 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 1,87
- 2) 1,46
- 3) 1,66
- 4) 2,08

138. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 70 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 4,99
- 2) 4,37
- 3) 5,61
- 4) 6,24

139. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 1 кДж теплоты?

- 1) 6
- 2) 10
- 3) 3
- 4) 16

140. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 100 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 11,5
- 2) 13,2
- 3) 10,4
- 4) 15,0

141. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 10 К? $R = 8,31$ Дж/моль•К.

- 1) 0,83
- 2) 0,42
- 3) 0,62
- 4) 1,04

142. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа.

Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 20 К? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

- 1) 2,08
- 2) 1,87
- 3) 3,74
- 4) 3,12

143. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 30 К? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

- 1) 3,74
- 2) 2,08
- 3) 3,12
- 4) 1,87

144. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 40 К? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

- 1) 5,20
- 2) 6,24
- 3) 4,16
- 4) 7,28

145. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 3 моля идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 80 К? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

- 1) 4,99
- 2) 5,61
- 3) 6,24
- 4) 4,37

146. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 47°C.

- 1) 8,9
- 2) 2,9
- 3) 9,4
- 4) 6,4

147. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 50 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 3,74
- 2) 4,37
- 3) 5,20
- 4) 5,61

148. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 5 молей идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 60 K? $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$.

- 1) 5,61
- 2) 6,24
- 3) 4,99
- 4) 7,28

149. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 200 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 37°C .

- 1) 4
- 2) 5,3
- 3) 9,9
- 4) 7,4

150. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°C , а начальная температура пули - 57°C .

- 1) 5,3
- 2) 4
- 3) 7
- 4) 9,9

151. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,8 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 1 кДж теплоты?

- 1) 12

- 2) 2
- 3) 4
- 4) 8

152. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 57°C.

- 1) 9,96
- 2) 7
- 3) 4
- 4) 5,3

153. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты (кДж) нужно сообщить этому газу, чтобы его температура повысилась на 20 К? $R = 8,31$ Дж/моль·К.

- 1) 0,32
- 2) 0,21
- 3) 0,42
- 4) 0,62

154. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 57°C.

- 1) 9,9
- 2) 7
- 3) 4
- 4) 5,3

155. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 47°C.

- 1) 2,9
- 2) 9,4
- 3) 7,9
- 4) 6,4

156. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 67°C.

- 1) 3,4
- 2) 10
- 3) 7,5
- 4) 4,5

157. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 2 кДж теплоты?

- 1) 20
- 2) 12
- 3) 8
- 4) 16

158. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 37°C.

- 1) 8,9
- 2) 2,9
- 3) 9,4
- 4) 6,4

159. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 37°C.

- 1) 8,9
- 2) 5,4
- 3) 2,9
- 4) 6,4

160. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с.

Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 37°C.

- 1) 8,4
- 2) 4,4
- 3) 2,4
- 4) 5,9

161. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 47°C.

- 1) 10
- 2) 7,5
- 3) 3,4
- 4) 4,5

162. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 27°C.

- 1) 6,9
- 2) 5,4
- 3) 2,4
- 4) 8,4

163. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость 130 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 25 кДж/кг, температура плавления 327°C, а начальная температура пули - 27°C.

- 1) 6,9
- 2) 8,4
- 3) 2,4
- 4) 5,4

164. Свинцовая пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с. Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 70% энергии,

выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°С , а начальная температура пули - 27°С .

- 1) 2,4
- 2) 8,4
- 3) 5,4
- 4) 6,9

165. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 80% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°С , а начальная температура пули - 67°С .

- 1) 3,4
- 2) 7,5
- 3) 4,5
- 4) 10

166. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится $0,8$ моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа . На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 6 кДж теплоты?

- 1) 32
- 2) 24
- 3) 40
- 4) 16

167. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится $0,8$ моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа . На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 4 кДж теплоты?

- 1) 12
- 2) 16
- 3) 8
- 4) 20

168. Свинцовая пуля массой 10 г , летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с , пробив деревянный брусок, вылетает из него со скоростью 100 м/с . Какая часть пули (г) расплавилась, если ей передано 60% энергии, выделившейся в процессе пробивания бруска? У свинца удельная теплоемкость $130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, удельная теплота плавления 25 кДж/кг , температура плавления 327°С , а начальная температура пули - 67°С .

- 1) 7,5
- 2) 3,4

- 3) 4,5
- 4) 10

169. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,8 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 5 кДж теплоты?

- 1) 20
- 2) 30
- 3) 40
- 4) 50

170. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,6 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 2 кДж теплоты?

- 1) 8
- 2) 16
- 3) 4
- 4) 12

171. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,6 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

- 1) 4
- 2) 8
- 3) 12
- 4) 2

172. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,6 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 100 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 1 кДж теплоты?

- 1) 10
- 2) 6
- 3) 4
- 4) 16

173. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,6 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 6 кДж теплоты?

- 1) 32
- 2) 60

- 3) 48
- 4) 40

174. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 5 кДж теплоты?

- 1) 50
- 2) 40
- 3) 30
- 4) 20

175. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,4 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 4 кДж теплоты?

- 1) 16
- 2) 24
- 3) 12
- 4) 32

176. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,4 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

- 1) 16
- 2) 12
- 3) 24
- 4) 32

177. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,4 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 2 кДж теплоты?

- 1) 20
- 2) 16
- 3) 12
- 4) 24

178. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,4 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 50 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 1 кДж теплоты?

- 1) 8
- 2) 20

- 3) 16
- 4) 12

179. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,2 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 4 кДж теплоты?

- 1) 20
- 2) 30
- 3) 40
- 4) 50

180. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 0,4 моля идеального одноатомного газа. Давление газа равно 40 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 6 кДж теплоты?

- 1) 50
- 2) 60
- 3) 30
- 4) 40

Задания для проведения рубежного контроля в форме решения задач по образцу

Указания по выполнению контрольной работы:

1. Внимательно прочитать задание полученного варианта.
2. Выполнить расчет задания с краткими пояснениями.
3. Работа выполняется самостоятельно!

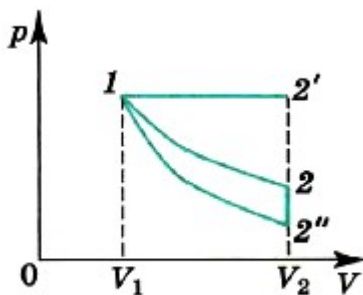
Образцы задания и решения

Задача 1. Во время расширения газа, вызванного его нагреванием, в цилиндре с площадью поперечного сечения $S = 200 \text{ см}^2$ газу было передано количество теплоты $Q = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, причём давление газа оставалось постоянным и равным $p = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние $\Delta h = 30 \text{ см}$?

Решение: Согласно первому закону термодинамики $Q = \Delta U + A'$, где $A' = pS\Delta h$ – работа, совершённая газом. Отсюда $\Delta U = Q - pS\Delta h = 30 \text{ кДж}$.

Задача 2. Газ расширяется от объёма V_1 до объёма V_2 один раз изотермически, другой изобарно и третий адиабатно. При каком процессе газ совершает большую работу и при каком газу передаётся большее количество теплоты?

Решение: На диаграмме p – V (рисунок) изобразим все три процесса. Работа численно равна площади криволинейной трапеции. Из рисунка очевидно, что работа при изобарном процессе будет максимальной, при адиабатном минимальной, т. е. $A'_{1-2'} > A'_{1-2} > A_{1-2''}$.



Температура газа в состоянии $2'$ больше, чем в состоянии 2 , а температура в состоянии 2 больше, чем в состоянии $2''$ ($T_{2'} > T_2 > T_{2''}$). В этом легко убедиться, начертив изотермы, проходящие через точки $2'$ и $2''$. При процессе $1-2'$ изменение внутренней энергии $\Delta U > 0$, при процессе $1-2$ $\Delta U = 0$. Очевидно, что поскольку $Q = \Delta U + A'$ (первый закон термодинамики), то $Q_{1-2'} > Q_{1-2} > Q_{1-2''}$ ($Q_{1-2''} = 0$).

1

Дано: Предложен (рисунок). Закрытый герметичной пропущены трубка и отверстиями.



Рис. 13.11

Давление воздуха в нижней части больше, чем в верхней. Вода поднимается по трубке и наполняет открытую камеру. В нижней части очередная порция воды выливается из камеры турбины, подошедшей к отверстию кожуха.

Задание:

Почему данная машина не будет работать вечно?

2

Дано: Для изобарного нагревания газа, взятого в количестве 800 моль, на 500 К газу сообщили количество теплоты $9,4 \cdot 10^6$ Дж.

Задание:

Определите работу газа и изменение его внутренней энергии.

3

Дано: В цилиндрическом сосуде с площадью основания 250 см^2 находится азот массой 10 г, сжатый поршнем, на котором лежит гиря массой 12,5 кг.

Задание:

Какую работу совершит азот при нагревании его от 25 до 625 °С. На какую высоту при этом поднимется поршень? Атмосферное давление равно 1 атм.

4

Дано: Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль, находящийся при температуре 0 °С, сначала изохорно перевели в состояние, в котором давление в 2 раза больше первоначального, а затем изобарно в состояние, в котором объём в 2 раза больше первоначального.

Задание:

Определите изменение внутренней энергии газа.

5

Дано: В цилиндре под поршнем находится воздух. На его нагревание при постоянном давлении затрачено количество теплоты, равное 5 кДж.

Задание:

Определите работу, совершённую при этом воздухом. Теплоёмкость воздуха при постоянном давлении $c_p = 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{К})$, молярная масса 29 г/моль.

6

Дано: В цилиндре компрессора сжимают идеальный одноатомный газ, количество вещества которого 4 моль.

Задание:

Определите, насколько поднялась температура газа за один ход поршня, если при этом была совершена работа 500 Дж. Процесс считайте адиабатным.

7

Дано: В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр, в котором слева находится гелий в количестве 0,1 моль, запёртый поршнем. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нём.

Задание:

Как изменится температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считайте, что газ не успевает обменяться теплом с поршнем и цилиндром.

8

Дано: Удельная теплоёмкость водорода при постоянном давлении равна 14 кДж/(кг · °К).

Задание:

Вычислите увеличение внутренней энергии водорода массой 2 кг при изобарном его нагревании на 10 °К.

9

Дано: На одинаковые газовые горелки поставили два одинаковых плотно закупоренных сосуда вместимостью по 1 л. В одном сосуде находится вода, а в другом – воздух.

Задание:

Какой сосуд быстрее нагревается на 50 °С? Почему?

10

Дано: Стенка печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой – огнеупорный кирпич толщиной – 300 мм. Наружный слой – красный кирпич – толщиной 150 мм.

Задание:

Определить температуру на наружной поверхности стенки и красного кирпича, если на внутренней стороне стенки и кирпича температура – 400 °С. Потери тепла через 1 м² площади составляют 0,9 кВт/м². Вт/(м×К), Вт/(м×°К).

11

Дано: Температура внутренней поверхности стенки – 600 °С, наружной – 80 °С. Толщина стенки – 0,6 м. Удельный тепловой поток, проходящий через стенку, равен 580 Вт/м²

Задание:

Определить коэффициент теплопроводности кирпича.

12

Дано: Температура стен помещения 18 °С. Степень черноты поверхности радиатора.

Задание:

Определить теплопередачу излучением от 1 м² поверхности отопительного радиатора в большом помещении. Температура стенок радиатора 90 °С.

13

Дано: Температура воды – 40 °С. Температура стенки – 45 °С. Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде 6500 Вт/(м²×°С).

Задание:

Найти тепловой поток, передаваемый от стенки канала спирального теплообменника к воде, если поверхность стенки 30 м².

14

Дано: Коэффициент теплопроводности кирпича – 0,7 Вт/(м×°С). Удельный тепловой поток через плоскую стенку – 2000 Вт/м².

Задание:

Определить толщину стенки, если температура воздуха внутри помещения – 30 °С; снаружи – (–10 °С). Определить температуры поверхностей кирпичной стенки. Коэффициенты теплоотдачи от теплового воздуха к стенке – 8 Вт/(м×°С); от стенки к холодному воздуху 15 Вт/(м×°С)

15

Дано: Стенка печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой – огнеупорный кирпич толщиной – 350 мм. Наружный слой – красный кирпич – толщиной 200 мм.

Задание:

Определить температуру на наружной поверхности стенки и красного кирпича, если на внутренней стороне стенки и кирпича температура – 450 °С. Потери тепла через 1 м² площади составляют 1 кВт/м². Вт/(м×°К), Вт/(м×°К).

16

Дано: Температура внутренней поверхности стенки – 900°C , наружной – 90°C . Толщина стенки – $0,8\text{ м}$. Удельный тепловой поток, проходящий через стенку, равен 600 Вт/м^2 .

Задание:

Определить коэффициент теплопроводности кирпича.

17

Дано: Температура стенок радиатора 80°C . Температура стен помещения 15°C . Степень черноты поверхности радиатора.

Задание:

Определить теплопередачу излучением от 1 м^2 поверхности отопительного радиатора в большом помещении.

18

Дано: Разность температур стенок радиатора и помещения 90°K .

Задание:

Определить площадь поверхности отопительного радиатора в большом помещении и степень черноты радиатора при следующих условиях: тепловой поток равен 500 Вт .

19

Дано: Температура воздуха внутри помещения – 40°C , снаружи (-20°C). Толщина стенки 10 мм . Коэффициенты теплоотдачи от теплового воздуха к стене – $15\text{ Вт/(м}\times^{\circ}\text{C)}$; от стенки к холодному воздуху $40\text{ Вт/(м}\times^{\circ}\text{C)}$.

Задание:

Определить коэффициент теплопроводности кирпича, если удельный тепловой поток через плоскую стенку равен 1100 Вт/м^2 . Определить температуры поверхностей кирпичной стенки.

20

Дано: Стенка печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой – огнеупорный кирпич толщиной – 350 мм . Наружный слой – красный кирпич – толщиной 200 мм .

Задание:

Определить температуру на наружной поверхности стенки и красного кирпича, если на внутренней стороне стенки и кирпича температура – 450°C . Потери тепла через 1 м^2 площади составляют 1 кВт/м^2 . $\text{Вт/(м}\times^{\circ}\text{K)}$, $\text{Вт/(м}\times^{\circ}\text{K)}$.

21

Дано: Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду с метаном CH_4 , показывает разряжение 0,056 МПа. Атмосферное давление по ртутному барометру составляет 768 мм рт. ст. (0,102 МПа).

Задание:

Определить абсолютное давление в сосуде и плотность метана, если температура в сосуде равна 20°C. Показания вакуумметра и барометра приведены к температуре 0°C.

22

Дано: Баллон с кислородом емкостью 20 л находится под давлением 1,0 МПа при $t=15^\circ\text{C}$. После израсходования части кислорода давление понизилось до 0,76 МПа, а температура уменьшилась до 10 °C.

Задание:

Определить массу израсходованного кислорода.

23

Дано: Температура газа $t=20^\circ\text{C}$, манометрическое давление газа в баллоне 5,6 МПа, абсолютное давление газа в помещении равно 0,099 МПа.

Задание:

Определить удельный объем пропана (C_3H_8) как идеального газа.

24

Дано: Среднее эффективное давление $p_e = 6,1 \times 10^5 \text{ Па}$, литраж двигателя $iV_h = 32,6 \times 10^{-4} \text{ м}^3$, угловая скорость вращения коленчатого вала $\omega = 314 \text{ рад/с}$, низшая теплота сгорания топлива $Q_{н}^p = 43900 \text{ кДж/кг}$, удельный эффективный расход топлива $b_e = 0,292 \text{ кг/(кВт} \times \text{ч)}$ и количество теплоты, потерянной с отработанными газами $Q_r = 70 \text{ кДж/с}$.

Задание:

Определить потери теплоты в процентах с отработавшими газами в шестицилиндровом четырехтактном карбюраторном двигателе.

25

Дано: Площади контакта стенок аппарата с продуктом и паром, находящимся в рубашке, $F = 2 \text{ м}^2$. Толщина стальной стенки аппарата $\delta = 3 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 50 \text{ Вт/(м} \times \text{°K)}$, коэффициент теплоотдачи от пара к стенке $\alpha_1 = 10000 \text{ Вт/(м}^2 \times \text{°K)}$ и коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту $\alpha_2 = 2000 \text{ Вт/(м}^2 \times \text{°K)}$.

Задание:

Какую среднюю температуру должен иметь пар в рубашке аппарата, чтобы при расходе теплоты на процесс $Q = 180 \text{ кДж/с}$ поддерживать температуру продукта $t_2 = 90^\circ\text{C}$?

26

Дано: Кислородных баллона $V_1 = V_2$ соединены трубопроводом. Определить давление, которое установится при $T = 298\text{ К}$, если до соединения $p_1 = 8\text{ МПа}$, $T_1 = 303\text{ К}$, $p_2 = 6\text{ Мпа}$ 2 кислородных баллона $V_1 = V_2$ соединены трубопроводом.

Задание:

Определить давление, которое установится при $T = 298\text{ К}$, если до соединения $p_1 = 8\text{ МПа}$, $T_1 = 303\text{ °К}$, $p_2 = 6\text{ Мпа}$, $T_2 = 293\text{ °К}$.

27

Дано: В стальном резервуаре объемом $0,75\text{ м}^3$ находится сухой насыщенный пар при давлении $p_1 = 10^6\text{ Па}$, пар подогревается при неизменном объеме и концу нагревания давление повышается до $p_2 = 15 \times 10^5\text{ Па}$.

Задание:

Определить количество затраченного на нагревание тепла.

28

Дано: В противоточном маслоохладителе масло охлаждается от температуры $t_1 = 65\text{ °С}$ до $t_2 = 55\text{ °С}$.

Задание:

Определить суммарный тепловой поток, площадь теплообменного аппарата, расход второго теплоносителя, если температура второго теплоносителя изменяется от 16 °С до 25 °С , расход первого теплоносителя $0,8\text{ кг/с}$, теплоемкость масла $2,45\text{ кДж/(кг} \times \text{°К)}$, $k = 280\text{ Вт/(м}^2 \times \text{°К)}$.

29

Дано: Длина трубки $\ell = 2\text{ м}$, наружный диаметр $d_n = 18\text{ мм}$, температура стенки $t_c = 100\text{ °С}$. На трубе конденсируется насыщенный водяной пар, $p_n = 0,6\text{ МПа}$.

Задание:

Рассчитать коэффициент теплоотдачи и тепловой поток к горизонтальной трубе парового подогревателя воды для горячего водоснабжения.

30

Дано: На уровне моря давление составляет 101325 Па , а температура $273,15\text{ ° К}$.

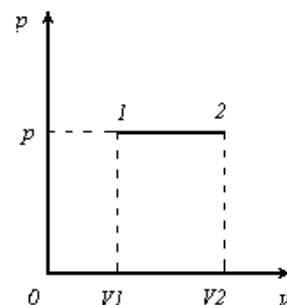
Задание:

Определить барометрическое давление, плотность и температуру атмосферного воздуха на высоте 9500 м .

Контрольная работа на тему «Основы термодинамики»

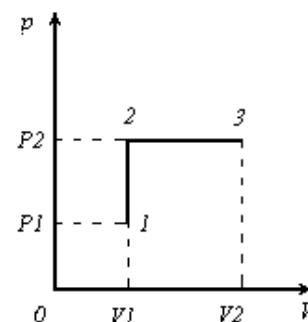
ВАРИАНТ 1

- 1 Рассчитайте внутреннюю энергию одноатомного идеального газа в количестве 3 моль при температуре 127°C .
- 2 В цилиндре под поршнем находится газ, состояние которого меняется, как показано на рис. Как изменилась температура газа? Какую работу совершил газ?
- 3 При изотермическом расширении идеальный газ совершил работу, равную 20 Дж. Какое количество теплоты было сообщено газу?
- 4 Какова масса стальной детали, нагретой предварительно до 500°C , если при опускании ее в сосуд, содержащий 18,6 л воды при 13°C , последняя нагрелась до 35°C ? Испарением воды пренебречь.
- 5 Поезд массы 2000 т при торможении с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$ остановился спустя 50 с после начала торможения. Какое количество теплоты выделилось при торможении?
- 6 В результате циклического процесса газ совершил 100 Дж работы и передал холодильнику 400 Дж теплоты. Определите КПД цикла.



ВАРИАНТ 2

- 1 Какова температура одноатомного идеального газа, если известно, что внутренняя энергия 2 моль составляет 831 кДж?
- 2 Найдите работу, которую совершает газ, переходя из состояния 1 в состояние 3?
- 3 В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится кислород массой 2 кг. Для повышения температуры кислорода на 5 К ему было сообщено 9160 Дж теплоты. Найдите удельную теплоемкость кислорода при постоянном давлении, работу, совершаемую им при расширении, и увеличение его внутренней энергии.
- 4 Какое количество керосина необходимо сжечь, чтобы 50 л воды нагреть от 20°C до кипения? КПД нагревателя 35%.
- 5 Найдите количество теплоты, которое выделилось при абсолютно неупругом соударении двух шаров, двигавшихся навстречу друг другу. Массы первого и второго шаров равны 0,4 кг и 0,3 кг соответственно, их скорости 3 м/с и 12 м/с соответственно.



- 6 Определите КПД идеальной тепловой машины, если температура нагревателя в 1,6 раз больше температуры холодильника.

ВАРИАНТ 3

- 1 Найдите концентрацию молекул идеального газа в сосуде вместимостью 2 л при температуре 27°C , если внутренняя энергия его равна 300 Дж.
- 2 В вертикально расположенном цилиндре под поршнем находится газ объемом 2,0 л при температуре 299 К. Найдите работу расширения газа нагревании его на 100 К. Масса поршня 10 кг, его площадь 50 см^2 , атмосферное давление нормальное.
- 3 В теплоизолированном цилиндре с поршнем находится азот массы 0,2 кг при температуре 20°C . Азот, расширяясь, совершает 4,47 кДж работы. Найдите изменение внутренней энергии азота и его температуру после расширения. Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме равна $745\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.
- 4 Кусок алюминия массой 537 г, нагретый до 200°C , погрузили в 400 г воды при 16°C . При этом часть воды испарилась, а оставшаяся вода приобрела температуру 50°C . Определите количество испарившейся воды.
- 5 Пуля массы m , летящая со скоростью v_1 , попадает в деревянный куб массы M , лежащий на гладком столе, и пробивает его. Найдите энергию W , превратившуюся в тепло, если пуля прошла через центр куба и скорость ее после вылета стала равной v_2 .
- 6 Идеальная тепловая машина имеет температуру нагревателя в 1,5 раза выше, чем температура холодильника. Машине сообщили 15 кДж теплоты. Какую работу совершила машина?

ВАРИАНТ 4

- 1 Какова внутренняя энергия идеального газа, находящегося в закрытом сосуде объемом 1,5 л при комнатной температуре, если концентрация молекул равна $2\cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$?
- 2 В цилиндре под поршнем площадью $1,0\text{ дм}^2$ находится 1 моль воздуха. К поршню через блок привешен груз массой 55 кг. Цилиндр охлаждают на 100 К. На какую высоту поднимется груз? Масса поршня 5,0 кг. Атмосферное давление нормальное.
- 3 Температура газа, имеющего массу m и молярную массу μ , повышают на величину ΔT один раз при постоянном давлении p , а другой раз при постоянном объеме V . Насколько отличаются сообщенные газу количества теплоты Q_p , Q_V и удельные теплоемкости c_p , c_V при постоянном давлении и постоянном объеме?

- 4 В калориметр, содержащий 0,25 кг воды при температуре 25°C , впускают 10 г водяного пара при температуре 100°C . Какая температура установится в калориметре, если его теплоемкость равна 1000 Дж/К?
- 5 Брусок массы m равномерно поднимают за привязанную к нему веревку на высоту h по доске, которая образует с горизонтом угол α . Веревка параллельна доске. Коэффициент трения бруска о доску равен k . Найдите энергию, которая идет на нагревание доски и бруска.
- 6 В тепловом двигателе температура холодильника 27°C , температура нагревателя 327°C . На сколько процентов увеличится максимально возможный КПД этого двигателя, если температура холодильника понизится на 5%?

**Вопросы для дифференцированного зачета по дисциплине
«Техническая термодинамика и теплопередача».**

1. Термодинамика. Метод и законы. Основные понятия и определения термодинамики.
2. Термодинамическая система. Параметры состояния.
3. Теплота и работа. Внутренняя энергия.
4. Термодинамическая и потенциальная работы. "P-v" координаты. Первый закон термодинамики.
5. Параметры состояния и уравнения состояния. Отличия между идеальным и реальным газом.
6. Теплоёмкость газа. Универсальное уравнение состояния идеального газа.
7. Основные положения второго закона термодинамики.
8. Энтропия.
9. Цикл и теоремы Карно.
10. Изопроцессы идеального газа.
11. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам.
12. Диаграмма фазовых состояний. Критические параметры. Водяной пар. Характеристики влажного воздуха.
13. Основные понятия теории теплообмена.
14. Теплоемкость. Определение теплоемкости веществ. Теплопроводность. Стационарная теплопроводность через плоскую и через цилиндрическую стенку.
15. Расчет характеристик смеси.
16. Смеси идеальных и реальных газов. Конвективный теплообмен. Критериальные уравнения конвективного теплообмена. Расчетные формулы.
17. Математическое выражение первого начала термодинамики.
18. Первое начало термодинамики по внешнему балансу и балансу рабочего тела.
19. Первое начало термодинамики в аналитической форме.
20. Первое начало термодинамики для идеального газа.
21. Принцип существования энтропии идеального газа.
22. Процессы изменения состояния (изобара, изохора, изотерма и адиабата) в "P-v" и "T-s" координатах.
23. Политропа с постоянным и переменным показателем. Показатели политропы.
24. Работа в термодинамических процессах простых тел.
25. Теплообмен в термодинамических процессах простых тел.
26. Процессы изменения состояния идеальных газов.
27. Работа и теплообмен в политропных процессах идеальных газов.
28. Круговые процессы. КПД и холодильный коэффициент.

- 29.Обратимый цикл Карно. КПД и холодильный коэффициент.
- 30.Математическое выражение второго начала термостатики.
- 31.Следствия второго начала термостатики. "T-s" координаты.
- 32.Математическое выражение второго начала термодинамики. Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана.
- 33.Типы теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов.
- 34.Вопросы экологии при использовании теплоты.
- 35.Последствия парникового эффекта.
- 36.Пары. Процессы парообразования в "P-v" и "T-s" координатах. Д.У. парообразования.
- 37.Определение параметров влажного насыщенного и перегретого пара. Диаграммы состояния для паров.
- 38.Истечение жидкостей и газов. Основные расчетные соотношения. Истечение несжимаемой жидкости.
- 39.Особенности истечения сжимаемой жидкости. Кризис истечения. Режимы истечения. Форма сопла.
- 40.Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Основные понятия.
- 41.Теплопередача. Основные формы передачи теплоты и законы.
- 42.Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
- 43.Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
- 44.Теплопроводность через однослойные стенки.
- 45.Теплопроводность через многослойные стенки.
- 46.Теплопередача через плоские стенки.
- 47.Теплопередача через криволинейные стенки.
- 48.Критический диаметр трубопровода.
- 49.Интенсификация процессов теплопередачи.
- 50.Теплоотдача. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
- 51.Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Основные понятия.
- 52.Понятия о теории подобия.
- 53.Понятия о методе анализа размерности.
- 54.Уравнения подобия конвективного теплообмена. Общий и частные случаи.
- 55.Теплоотдача при движении жидкости в трубе.
- 56.Теплоотдача при движении жидкости поперек трубы и пучка труб.
- 57.Теплообмен при свободном движении жидкости.
- 58.Особенности теплообмена в узких щелях.