

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
«ТЕРМОДИНАМІКА»
(для студентів спеціальності 7.090301
«Підземна розробка родовищ корисних копалин»)

Затверджено
на засіданні кафедри
«Охорона праці та аерологія»
Протокол №3 от 9.11.2009р.

Затверджено
навчально-видавничою радою
ДонНТУ
Протокол №5 от 21 грудня 2009р.

Донецьк ДонНТУ 2009

УДК 621.1.016.7(07)

Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Термодинаміка» (для студентів спеціальності 7.090301 «Підземна розробка родовищ корисних копалин»)/Укл.:А.П.Тельний.-Донецьк:ДонНТУ,2009.-27с.

Наведено робочу програму (тематичний зміст) дисципліни «Термодинаміка», мету й завдання вивчення дисципліни, питання для самоперевірки знань, отриманих при вивченні курсу, загальні методичні вказівки по самостійній роботі й виконанню індивідуального завдання, задачі до індивідуального завдання.

Укладач

А.П.Тельний

Рецензент

В.М.Артамонов

Відповідальний
за випуск

Ю.Ф.Булгаков

1. Робоча програма дисципліни

1.1. Загальні положення

Робоча програма дисципліни «Термодинаміка» розроблена на основі робочого навчального плану спеціальності 7.090301 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» і освітньо-професійної програми підготовки фахівців із вищою освітою по професійному напрямку 7.0903 «Гірництво», рекомендованої Інститутом системних досліджень Міністерства освіти і науки України.

При складанні даної робочої програми взято до уваги зміст типової програми курсу «Основи термодинаміки і кондиціонування рудникової атмосфери», що читався раніше студентам спеціальності «Технологія і комплексна механізація підземної розробки родовищ корисних копалин».

1.2. Мета і завдання дисципліни, її місце в учбовому процесі

Теплові процеси складають основу багатьох виробництв і визначають режим роботи цілої низки машин і установок. У промисловості і гірничій справі широко використовуються пристрої, пов'язані з отриманням і використанням стисненого повітря (компресорні установки, мережі стисненого повітря, пневматичний привід і ін.), в яких відбуваються складні термодинамічні процеси. У гірничих виробках шахт відбувається теплообмін рудникового повітря із оточуючими виробку гірничими породами, з корисними копалинами і породою, що транспортуються по гірничих виробках, з машинами і механізмами, які використовуються в шахтах, із нагріваючими і охолоджуючими трубопроводами і іншими джерелами теплоти. При переході робіт у шахтах на глибокі горизонти, підвищуються температура, ентальпія й вологовміст повітря, що викликає необхідність регулювання теплового режиму, застосування установок охолодження повітря. Холодильні установки використовуються для заморожування водоносних порід при проходці стволів шахт. У зимовий час для виключення обмерзання стволів шахт, в які надходить атмосферне повітря, застосовують повітрянагрівальні (калориферні) установки. Широко застосовуються пневматичні і гідравлічні пристрої в системах автоматичного керування технологічними процесами. Вентиляційна система шахти, що забезпечує її провітрювання й необхідні санітарно-гігієнічні умови для людей у підземних виробках, також є складною проточною термодинамічною системою.

Вирішення багатьох питань, що стосуються перерахованих процесів і систем, вимагає певних знань із області термодинаміки.

Термодинаміка відноситься до циклу професійно-орієнтованих дисциплін і займає важливе місце в професійній підготовці інженера взагалі й гірничого інженера зокрема.

Метою викладання дисципліни «Термодинаміка» є формування у студентів системи знань про перетворення енергії й переносу теплоти в різних процесах, прищеплювання вмінь і навичок, необхідних для виконання термодинамічного аналізу й розрахунків теплових процесів у різних виробництвах і установках.

Дисципліна «Термодинаміка» вивчає фундаментальні закони природи про перетворення енергії й системи, у яких відбуваються ці перетворення. Вивчення об'єктів, з'ясування їхніх властивостей і зв'язків завжди супроводжується усвідомленням методів, за допомогою яких досліджуються об'єкти. Таким чином, поряд з теоретичними знаннями, термодинаміка формує знання про самі методи дослідження. Тому дисципліна «Термодинаміка», крім професійної підготовки, поглиблює світоглядну систему поглядів майбутніх гірничих інженерів. Її вивчення тісно пов'язане й базується на знаннях загальнонаукових і загальноінженерних дисциплін, які вивчаються раніше або одночасно, серед них: фізика, вища математика, хімія, теоретична механіка, гідравліка, стаціонарні машини.

Основні знання й уміння, придбані при вивченні «Термодинаміки», є гарною основою для вивчення й засвоєння спеціальних дисциплін навчального плану: технологія підземної розробки корисних копалин, аерологія гірничих підприємств, процеси підземних гірничих робіт.

Завданнями дисципліни є: забезпечити студентам оволодіння знаннями в області технічної термодинаміки й теплообміну, засвоєння основних закономірностей у теплових процесах, процесах течії газів і пари, що мають місце в різних виробництвах і установках, засвоєння властивостей ідеальних і реальних робочих тіл, основ теплового розрахунку теплообмінних апаратів; підготувати студентів до вивчення спеціальних дисциплін, що розглядають технологічні процеси, пов'язані з перетвореннями енергії або теплообміном.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати:

- основні параметри стану термодинамічної системи, одиниці основних термодинамічних величин;
- рівняння стану ідеального і реальних газів;
- поняття про внутрішню енергію термодинамічної системи та як визначається внутрішня енергія ідеального газу;
- властивості роботи як форми обміну енергією;
- властивості теплоти як форми обміну енергією;
- поняття про ентропію як функцію стану термодинамічної системи;
- поняття теплоємності, теплоємність ідеального газу;
- перший закон термодинаміки;

- рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарної проточної системи (другу форму запису першого закону термодинаміки);
- поняття ентальпії, ентальпію ідеального газу;
- основні термодинамічні процеси ідеального газу і їх аналіз;
- три основні групи політропних процесів;
- прямі цикли, прямий цикл Карно і його термічний **ккд**;
- зворотні цикли, зворотний цикл Карно, його холодильний і опалювальний коефіцієнти;
- умови рівноважної передачі енергії між тілами з різною температурою;
- необоротність, особливості нерівноважних процесів;
- формулювання другого закону термодинаміки;
- основні властивості і закономірності суміші ідеальних газів;
- основні властивості водяної пари;
- основні властивості вологого повітря;
- основні закономірності течії газів в соплах і дифузорах;
- вплив тертя на витікання газів і водяної пари;
- умови виникнення дроселювання, дроселювання водяної пари;
- способи передачі теплоти;
- основний закон теплопровідності;
- диференціальне рівняння теплопровідності, краєві умови;
- закономірності стаціонарної теплопровідності плоскої і циліндрової стінок;
- основний закон конвективного теплообміну;
- основи теорії подібності теплофізичних процесів, критерії подібності;
- загальнену залежність для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від стін шахтних виробок до повітря;
- основні поняття і закони променистого теплообміну;
- типи теплообмінних апаратів, схеми руху теплоносіїв в теплообмінних апаратах;
- рівняння теплопередачі і теплового балансу в теплових розрахунках теплообмінних апаратів;
- загальні технічні вимоги до шахтних повітрянагрівальних установок;
- методику проектування шахтних повітрянагрівальних установок.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен уміти:

- формулювати термодинамічні завдання, які доводиться вирішувати в інженерній практиці;
- досліджувати термодинамічні процеси ідеальних газів: обчислювати параметри стану системи в процесі, розраховувати теплообмін системи із зовнішнім середовищем і кількість роботи, що здійснюється її робочим тілом;
- виконувати розрахунки теплопередачі через плоскі і циліндрові стінки;
- обчислювати коефіцієнти тепловіддачі і нестационарного

теплообміну від стін виробок до рудникового повітря;

- виконувати тепловий розрахунок шахтної повітрянагрівальної установки.

1.3. Структура дисципліни

Дисципліна «Термодинаміка» для студентів спеціальності 7.090301 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» складається з двох основних розділів:

1. Технічна термодинаміка.

2. Основи теплообміну.

У першому розділі розглядаються фундаментальні закони природи про перетворення енергії в різних термодинамічних процесах, властивості і процеси ідеальних газів, що дозволяють, нехтуючи другорядними чинниками, виявити основні закономірності в роботі теплових машин і установок, властивості і процеси реальних робочих тіл, що дозволяють розраховувати процеси що реально протікають в машинах і установках, а також основні закономірності процесів течії газів і пари, що мають місце в різних машинах і технологічних процесах.

Відповідно до цього, основними темами першого розділу є:

Тема 1. Вступ. Загальні положення. Термодинамічний метод дослідження.

Тема 2. Основні поняття термодинаміки. Стан термодинамічної системи. Термодинамічні процеси.

Тема 3. Перший закон термодинаміки.

Тема 4. Термодинамічний аналіз процесів ідеального газу.

Тема 5. Замкнуті (кругові) термодинамічні процеси. Термодинамічні основи теплових двигунів і холодильних установок.

Тема 6. Необоротність і другий закон термодинаміки.

Тема 7. Суміші ідеальних газів.

Тема 8. Властивості і процеси реальних газів.

Тема 9. Термодинаміка потоку газів і пари.

У другому розділі дисципліни розглядаються теоретичні основи теплообміну в промислових установках та процесах, що мають місце в різних виробництвах та гірництві. Вивчаються закономірності різних способів передачі теплоти: теплопровідності, конвективного теплообміну і теплообміну випромінюванням; основи теплового розрахунку теплообмінних апаратів і, зокрема, шахтних повітрянагрівальних установок.

Основні теми другого розділу:

Тема 10. Теплопровідність.

Тема 11. Конвективний теплообмін.

Тема 12. Теплообмін випромінюванням.

Тема 13. Складний теплообмін і теплопередача.

Тема 14. Основи теплового розрахунку теплообмінних апаратів.

Тема 15. Розрахунок шахтних повітрянагрівальних установок.

1.4. Тематичний зміст дисципліни

Тема 1. Вступ. Загальні положення. Термодинамічний метод дослідження.

Значення теплових процесів в енергетиці і виробничих процесах, пов'язаних з розробкою родовищ корисних копалин. Зміст дисципліни. Роль термодинаміки в системі підготовки гірничих інженерів спеціальності 7.090301 «Підземна розробка родовищ корисних копалин».

Значення вітчизняних і зарубіжних учених в розвитку термодинаміки і гірничої теплофізики.

Предмет термодинаміки. Термодинамічний метод опису і вивчення енергетичних явищ.

Види енергії і форми обміну енергією: робота і теплообмін.

Література: [1] с.5-20, [2] с.3-6.

Тема 2. Основні поняття термодинаміки. Стан термодинамічної системи. Термодинамічні процеси.

Термодинамічна система, робоче тіло, навколишнє середовище. Термодинамічні ступені свободи системи. Термодформаційна система. Термодинамічна система: замкнута, відкрита, ізольована, адіабатна.

Стан термодинамічної системи. Параметри і функції стану. Рівноважний стан. Координати термодинамічного стану і потенціали взаємодії. Термодинамічні величини (параметри) : калоричні і термічні, екстенсивні та інтенсивні, повні і відносні (питомі, молярні). Одиниці основних термодинамічних величин.

Рівняння стану термодинамічної системи. Рівняння стану ідеального газу. Рівняння стану реальних газів (рівняння Ван-дер-Ваальса).

Термодинамічні процеси. Рівноважні (оборотні) і нерівноважні (необоротні) процеси.

Література: [1] с.20-28, [2] с.6-12.

Тема 3. Перший закон термодинаміки.

Внутрішня енергія термодинамічної системи. Робота; властивості роботи як форми обміну енергією. Теплота. Ентропія. Властивості теплоти як форми обміну енергією.

Перший закон термодинаміки.

Теплоємність. Теплоємність ідеального газу. Ентропія ідеального газу.

Особливості відкритих термодинамічних систем. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарної проточної системи (друга форма запису першого закону термодинаміки). Ентальпія. Ентальпія ідеального газу.

Література: [1] с.29-43, [2] с.12-20, 47-50.

Тема 4. Термодинамічний аналіз процесів ідеального газу.

Завдання і схема розрахунку процесів ідеального газу. Процеси з фіксованими параметрами. Політропний процес. Зображення процесів в різних координатах. Загальний якісний аналіз процесів на основі порівняння показників політропи. Три основні групи політропних процесів. Ентропійні діаграми різних робочих тіл і їх застосування. Визначення показника політропи завданого термодинамічного процесу.

Література: [1] с.99-116, [2] с.32-36.

Тема 5. Замкнуті (кругові) термодинамічні процеси. Термодинамічні основи теплових двигунів і холодильних установок.

Прямі і зворотні термодинамічні цикли. Робота, теплота і термічний коефіцієнт корисної дії прямого циклу. Робота, теплота, холодильний і опалювальний коефіцієнти зворотного циклу.

Цикл Карно як граничний по термічній ефективності оборотний цикл. Прямий цикл Карно і його термічний ккд. Узагальнений (регенеративний) цикл Карно. Зворотний цикл Карно і його холодильний та опалювальний коефіцієнти. Теорема Карно, термодинамічний принцип підвищення ефективності циклів. Термодинамічна шкала температур.

Література: [1] с.43-48, [2] с.22-28.

Тема 6. Необоротність і другий закон термодинаміки.

Умови рівноважної передачі енергії між тілами з різною температурою. Принцип існування ентропії. Необоротність, особливості нерівноважних процесів. Вплив необоротності на ефективність перетворення теплоти в роботу. Зміна ентропії в необоротних процесах. Принцип зростання ентропії. Максимальна робота, ексергія. Необоротність і деградація енергії.

Другий закон термодинаміки. Формулювання другого закону термодинаміки. Статистичне тлумачення другого начала термодинаміки. Філософські аспекти другого закону. Суперечність теорії «теплової смерті» Всесвіту статистичному тлумаченню ентропії.

Література: [1] с.48-62, [2] с.20-22, 28-31.

Тема 7. Суміші ідеальних газів.

Парціальний тиск компонентів суміші. Закон Дальтона. Масові і об'ємні концентрації (долі) компонентів газової суміші. Газова постійна й молярна маса суміші газів. Густина газової суміші. Теплоємність і ентропія суміші ідеальних газів.

Література: [1] с.91-98, [2] с.42-44.

Тема 8. Властивості і процеси реальних газів.

Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Критичний стан речовини. Визначення констант рівняння Ван-дер-

Ваальса по параметрах в критичній точці. Зіставлення ізотерм Ван-дер-Ваальса з експериментальними ізотермами реальних газів.

Суха насичена пара. Волога пара. Перегріта пара. Пересичена пара і перегріта рідина.

Водяна пара. Отримання пари. Потрійна точка води. Визначення параметрів води і водяної пари. Таблиці теплофізичних властивостей води і водяної пари. Ентропійні **sT**- і **si-діаграми** водяної пари. Основні термодинамічні процеси водяної пари, використання **si-діаграм** при їх розрахунку.

Вологе повітря. Основні визначення та характеристики вологого повітря: абсолютна і відносна вологість, вологовміст, молярна маса, газова постійна, густина, теплоємність і ентальпія. Температура мокрого термометра. Температура точки роси.

di-діаграма вологого повітря.

Література: [1] с.118-126, 128-132, 137-155, [2] с.9-10,36-42,44-46.

Тема 9. Термодинаміка потоку газів і пари.

Необхідність використання процесів витікання в техніці, визначення сопла і дифузора. Основне рівняння газового потоку. Адіабатна течія газу. Перший закон термодинаміки для оборотного адіабатного потоку нестисливого робочого тіла (рівняння Бернуллі). Перший закон термодинаміки для адіабатної течії робочого тіла без тертя, без зміни потенційної енергії в полі земного тяжіння і без здійснення технічної роботи.

Витікання газу і пари із простого сопла (сопла, що звужується). Швидкість витікання і масова витрата газу через сопло. Критична швидкість і максимальна витрата ідеального газу. Основні закономірності течії газу в соплах і дифузорах. Сопло Лавалю, розрахунковий і нерозрахунковий режим його роботи. Застосування **si-діаграм** для розрахунку процесу витікання водяної пари. Вплив тертя на витікання водяної пари або газу.

Дроселювання газів і пари. Умови виникнення дроселювання. Зміна температури реальних газів при дроселюванні. Дроселювання водяної пари.

Література: [1] с.246-257,269-276, [2] с.50-56.

Тема 10. Теплопровідність.

Роль теплообміну в промислових процесах і гірництві. Способи передачі теплоти: теплопровідність, конвективний теплообмін, теплообмін випромінюванням. Випадки складного теплообміну.

Передача теплоти теплопровідністю. Температурне поле. Тепловий потік. Основний закон теплопровідності - закон Фур'є. Коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності, краєві умови.

Стационарна теплопровідність однорідної і багатопшарової плоских

стінок, циліндричної стінки.

Література: [2] с.72-79, 118-119, [3] с.79-84.

Тема 11. Конвективний теплообмін.

Процес конвективної тепловіддачі. Поняття про приграничний шар. Основний закон конвективного теплообміну - закон Ньютона. Коефіцієнт тепловіддачі. Основи теорії подібності теплофізичних процесів. Критерії подібності. Критеріальні рівняння як метод узагальнення експериментальних даних. Тепловіддача при вільному і вимушеному русі рідини або газу.

Коефіцієнти тепловіддачі від стін виробок до рудникового повітря. Поняття про нестационарну теплопровідність.

Література: [2] с.79-91, 92-93, 95-96, 97-99, 119-122, [3] с.94-105, 84-88.

Тема 12. Теплообмін випромінюванням.

Природа теплового випромінювання. Випромінювання абсолютно чорного тіла. Випромінювання сірих тіл. Основні поняття і закони променистого теплообміну. Променистий теплообмін між тілами, що розділені діатермічним середовищем. Випромінювання газів.

Література: [2] с. 103-112, [3] с.126-133.

Тема 13. Складний теплообмін і теплопередача.

Складний теплообмін між поверхнею і газом. Теплопередача через плоску і циліндрову стінки. Визначення коефіцієнта теплопередачі. Інтенсифікація теплопередачі. Теплова ізоляція.

Література: [2] с.112-118.

Тема 14. Основи теплового розрахунку теплообмінних апаратів

Типи теплообмінних апаратів, схеми руху теплоносіїв в теплообмінних апаратах. Конструктивний і перевірочний теплові розрахунки теплообмінних апаратів. Рівняння теплопередачі і теплового балансу. Середній температурний напір. Визначення площі поверхні теплообміну.

Література: [2] с.123-129, [3] с.133-138.

Тема 15. Розрахунок шахтних повітрянагрівальних установок

Шахтні повітрянагрівальні установки. Загальні технічні вимоги до повітрянагрівальних установок. Теоретичні основи розрахунку повітрянагрівальних установок. Методика проектування шахтних повітрянагрівальних установок.

Література: [6] с. 195-216.

Мета проведення лекцій.

Основна мета лекцій - ввести слухачів у предмет термодинаміки й направити його вивчення.

Метою лекцій також є виклад програмного матеріалу і передача студентам знань із області термодинаміки і теплопередачі. Лекції спільно із самостійним опрацюванням студентами розділів курсу по рекомендованій літературі повинні забезпечити засвоєння основних понять і закономірностей термодинаміки.

Завдання проведення лекцій.

У результаті проведення лекцій, як провідної форми навчання у вузі, і самостійного вивчення програмного матеріалу студенти повинні:

- засвоїти і знати сутність термодинамічного методу опису і вивчення теплових процесів, основні поняття, закони термодинаміки і теплопередачі, методи математичного моделювання теплових установок і машин, основні принципи оцінки їх ефективності;

- уміти формулювати термодинамічні задачі, які доводиться вирішувати в інженерній практиці, виконувати аналіз термодинамічних процесів, виконувати розрахунки теплопередачі через плоскі і циліндрові стінки, визначати коефіцієнти тепловіддачі і нестационарного теплообміну від стін виробок до рудникового повітря.

1.5. Зразковий перелік практичних занять

Вивчення основних понять термодинаміки і одиниць основних термодинамічних величин.

Рівняння стану ідеального газу. Вирішення задач по визначенню параметрів стану ідеального газу.

Рішення термодинамічних задач з використанням першого закону термодинаміки.

Розрахунок термодинамічних процесів ідеального газу. Визначення показника політропи заданого термодинамічного процесу.

Властивості ідеальних газових сумішей. Визначення параметрів газових сумішей заданого складу.

Визначення параметрів води, водяної пари і вологого повітря.

Вирішення задач стаціонарної теплопровідності плоских і циліндрових стінок.

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі і нестационарного теплообміну від стін виробок до рудникового повітря.

Розрахунок шахтної повітрянагрівальної установки, призначеної для нагріву повітря, що подається в шахту.

Метою практичних занять є закріплення і поглиблення знань, отриманих студентами в результаті прослуховування лекцій і самостійної роботи з рекомендованою літературою, формування умінь використовувати ці знання для вирішення термодинамічних задач.

У результаті проведення практичних занять студенти повинні:

- знати основні параметри стану термодинамічної системи, одиниці основних термодинамічних величин, рівняння стану ідеального газу, перший закон термодинаміки, основні термодинамічні процеси і схему їх розрахунку, властивості води, водяної пари, вологого повітря та ідеальних газових сумішей, методи розрахунків стаціонарної теплопровідності і конвективного теплообміну;

- уміти досліджувати термодинамічні процеси ідеальних газів: обчислювати параметри стану системи в процесі, визначати теплоту системи і кількість роботи, що здійснюється її робочим тілом; обчислювати коефіцієнт теплопередачі від одного теплоносія до іншого через розділяючу їх плоску або циліндрову стінку, визначати коефіцієнти тепловіддачі і нестаціонарного теплообміну від стін виробок до рудникового повітря, виконувати тепловий розрахунок шахтної повітрянагрівальної установки.

1.6. Список рекомендованої літератури

1. Техническая термодинамика: Учебник для машиностроит. спец. вузов/В.И.Крутов, С.И.Исаев, И.А.Кожин и др. Под ред. В.И.Крутова. -3е изд. -М.: Высшая школа, 1991.-384 с.

2. Теплотехника: Учебник для вузов/ А.П. Басаков, Б.В.Берг, О.К.Витт и др. Под ред. А.Басакова. - М.: Энергоиздат, 1982.-264 с.

3. Гончаров С.А. Термодинамика: Учебник для вузов/ Редсовет: Пучков Л.А. (пред.) и др. -М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 1997. -441 с.

4. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. -К.: Техніка, 2001.-320с.

5. Константинов С.М. Технічна термодинаміка. – К.: Політехніка, 2001, - 377с.

6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - К.: Основа, 1994.- 311 с.

7. Константинов С.М., Луцик Р.В. Збірник задач з технічної термодинаміки. - К.: Політехніка, 2002, - 378 с.

8. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: Учебное пособие для вузов. / Под ред. В.И.Крутова и Петрашицкого Г.Б. – М.: Высшая школа, 1986. -383 с.

9. Рывкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 400с.

1.7. Питання для самоперевірки знань з дисципліни «Термодинаміка»

1. Принцип побудови термодинаміки.
2. Сутність термодинамічного методу дослідження.
3. Який практичний інтерес представляє введення поняття ідеального газу.

4. Види енергії і форми обміну енергією. Чи є робота і теплота видами енергії?
5. У чому відмінність між функціями стану і функціями процесу?
6. Чому внутрішня енергія є функцією стану?
7. Рівняння стану ідеального газу.
8. Які термодинамічні діаграми стану речовини мають практичне застосування?
9. Якими способами задається склад суміші ідеальних газів?
10. Поняття про парціальний тиск, закон парціального тиску (закон Дальтона).
11. Як визначаються газова постійна та молярна маса газових сумішей?
12. Перший закон термодинаміки.
13. Теплоємність як калорична величина. Теплоємність ідеального газу.
14. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарної проточної системи.
15. Поняття про ентальпію. Ентальпія ідеального газу.
16. Дайте визначення основних термодинамічних процесів, напишіть їх рівняння.
17. Як обчислюється зміна ентропії в процесах з фіксованими параметрами?
18. Укажіть значення показника політропи для основних термодинамічних процесів.
19. Зобразіть основні термодинамічні процеси в vp і sT -координатах. Лінія якого процесу - ізохорного чи ізобарного - йтиме крутіше на sT -діаграмі, чому?
20. Дайте визначення прямого і зворотного циклів.
21. Поняття про термічний **ккд** прямого циклу, холодильний і опалювальний коефіцієнти зворотного циклу.
22. З яких термодинамічних процесів складається цикл Карно?
23. Чим визначається термічний **ккд** циклу Карно? Чому термічний **ккд** циклу Карно не залежить від властивостей вживаного робочого тіла?
24. Назвіть умови рівноважної передачі енергії між тілами з різною температурою.
25. Опишіть вплив необоротності на ефективність перетворення теплоти в роботу.
26. Доведіть, що в необоротних процесах ентропія збільшується, а роботоспроможність робочого тіла зменшується.
27. Приведіть основні формулювання другого закону термодинаміки.
28. Покажіть необґрунтованість концепції Клаузіуса про «теплову смерть» Всесвіту.
29. Напишіть рівняння Ван-дер-Ваальса, проаналізуйте його.
30. Водяна пара. Поняття: суха насичена пара, волога пара, перегріта

пара, пересичена пара і перегріта рідина.

31. Опишіть основні властивості вологого повітря; у чому принципова відмінність вологого повітря від звичайних газових сумішей?

32. Поясніть поняття: потрійна точка і точка роси.

33. Основи термодинаміки процесів течії. Закономірності адіабатного газового потоку.

34. Як визначається швидкість витікання і масова витрата газу через сопло?

35. Опишіть вплив тертя на процес течії газу.

36. Приведіть умови виникнення дроселювання реальних газів.

37. Опишіть дроселювання водяної пари.

38. Рівняння адіабатного процесу дроселювання.

39. Назвіть основні способи теплообміну.

40. Що називається температурним полем?

41. Закон Фур'є.

42. Що характеризує коефіцієнт теплопровідності? Який фізичний сенс коефіцієнта температуропровідності?

43. Напишіть диференціальне рівняння теплопровідності, сформулюйте чотири способи задавання граничних умов.

44. Напишіть рівняння температурних полів для плоскої і циліндрової стінок. Чому в плоскій стінці спостерігається лінійний, а в циліндровій - логарифмічний розподіл температур?

45. Чим характеризується стаціонарний режим теплопровідності?

46. Застосування теплової ізоляції. Що називається критичним діаметром ізоляції і як він визначається?

47. Що називається конвективним теплообміном? Які розрізняють види конвекції?

48. Тепловий і гідродинамічний приграничні шари і їх фізичний сенс.

49. Напишіть і поясніть основні рівняння конвективного теплообміну.

50. Які умови лежать в основі теорії подібності?

51. Наведіть три теореми теорії подібності.

52. Основні критерії теплових і гідродинамічних процесів.

53. Критеріальні рівняння як метод узагальнення експериментальних даних. Узагальнена залежність для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від стін шахтних виробок до повітря.

54. Поняття про нестаціонарну теплопровідність. Коефіцієнт нестаціонарного теплообміну гірничих виробок.

55. Що є джерелом теплового випромінювання?

56. Випромінювання абсолютно чорного тіла. Закон Стефана-Больцмана.

57. Поясніть відмінність між випромінюванням і поглинанням твердих тіл і газів.

58. Аналіз рівняння (закону) Кірхгофа.

59. Як визначається сумарний коефіцієнт тепловіддачі у випадках складного теплообміну?

60. Як досягається інтенсифікація теплопередачі?
61. Як визначаються коефіцієнти теплопередачі через плоску і циліндрову стінки?
62. Назвіть типи теплообмінних апаратів, приведіть схеми руху теплоносіїв в теплообмінних апаратах.
63. Рівняння теплопередачі і теплового балансу в теплових розрахунках теплообмінних апаратів.
64. Призначення і основні вимоги до шахтних повітронагрівальних установок.
65. Назвіть вихідні дані необхідні для виконання теплотехнічного розрахунку повітронагрівальної установки.
66. Наведіть послідовність розрахунку групи повітронагрівачів шахтної повітронагрівальної установки.

1.8. Самостійна робота студентів

Відомо, що жодна найблискупіша лекція не може навчити. Навчитися чому-небудь людина може лише сама. Джерелом творчих знань є лише **особисті** вправи, під час яких студент може виконати сам те, чому його вчили під час лекції. Тому окрім відвідування всіх видів аудиторних занять і ведення конспекту лекцій самостійна робота студентів передбачає:

- своєчасне вивчення лекційного (програмного) матеріалу і вивчення відповідних розділів літератури, рекомендованої даною програмою;
- якісну підготовку до практичних занять;
- самостійне розв'язання студентами задач і виконання індивідуальних завдань на практичних заняттях, включаючи самостійне (лише за допомогою вказівок викладача) вирішення питань, що виникають при цьому;
- своєчасне і якісне виконання домашніх індивідуальних завдань і захист звітів з них на практичних заняттях;
- якісну підготовку до письмових опитувань по закінчених розділах курсу, передбачених в навчально-методичній карті дисципліни;
- періодичні консультації у викладачів з самостійно опрацьовуваного матеріалу;
- осмислення і систематизацію одержаної з дисципліни інформації при підготовці до заліку.

Самостійна робота не повинна зводитися до вивчення розділів дисципліни по підручнику або конспекту лекцій. Вивчення теорії не самоціль, а засіб набуття умінь при вирішенні інженерних задач.

В процесі вивчення програмного матеріалу дисципліни цей матеріал необхідно засвоїти, тобто в процесі опрацьовування матеріалу він повинен бути повністю зрозумілий.

Засвоєння нової інформації шляхом читання є глибоко індивідуальним, проте, при цьому можуть бути дані загальні рекомендації:

- початку засвоєння матеріалу повинне передувати загальне ознайомлення з усім текстом відповідної теми, оскільки роз'яснення неясних при першому читанні місць може міститися в наступних абзацах;

- справжнє засвоєння матеріалу, що вивчається, розпочинається при повторному (можливо багато разів повторному) читанні тексту і засновано на попередніх знаннях, умінні зіставляти, висувати припущення і т.д., тобто на умінні логічно мислити;

- завжди слід намагатися усвідомити нову інформацію як добавку до раніше відомого;

- вивчати матеріал слід тільки з ручкою в руці. Записи в процесі вивчення не тільки сприяють розумінню матеріалу, але й сприяють його запам'ятовуванню;

- з метою наочності й полегшення запам'ятовування доцільно робити прості малюнки, графіки, що пояснюють матеріал, якщо навіть їх немає в книзі або конспекті.

Для поточного контролю за самостійною роботою студентів і якістю засвоєння програмного матеріалу застосовуються наступні форми контролю:

- захист студентами індивідуальних завдань, виконаних самостійно на практичних заняттях і при підготовці до них;

- перевірка викладачами домашніх індивідуальних контрольних завдань, виконаних студентами за самостійно вивченим матеріалом;

- періодичні письмові опитування студентів по закінчених розділах курсу, терміни проведення яких на практичних заняттях плануються в навчально-методичній карті дисципліни;

- звіти студентів на консультаціях за матеріалом пропущених без поважної причини лекцій;

- міжсесійний контроль на восьмому тижні семестру: позитивно атестуються студенти, що виконали і захистили передбачені на оцінюваний період індивідуальні завдання і що отримали позитивні оцінки по запланованих письмових опитуваннях.

Відповідно до робочого учбового плану після закінчення вивчення дисципліни «Термодинаміка» студенти складають залік.

Студенти, що не виконали індивідуальні завдання з практичних занять і що не захистили їх, а також ті, що не виконали домашні індивідуальні контрольні завдання, до заліку не допускаються. За наявності пропусків занять і незадовільних оцінок по письмових опитуваннях студенти складають залік після попередньої співбесіди за відповідним матеріалом. Студенти, що не з'явилися на письмові опитування або залік без поважної причини, прирівнюються до студентів, що отримали незадовільну оцінку.

2. Контрольні завдання

2.1. Загальні методичні вказівки

Контрольні завдання слід виконувати після вивчення відповідних тем дисципліни. Virшення задач є найважливішим засобом для глибокого засвоєння питання, що вивчається, а тому студентам настійно рекомендується вивчення кожної теми закінчувати рішенням задач.

Студенти спеціальності 7.090301 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» денної форми навчання виконують два домашні контрольні завдання по чотири задачі в кожному, студенти заочної підготовки виконують одну контрольну роботу, що складається з п'яти задач.

Контрольна робота повинна бути оформлена відповідно до вимог, що пред'являються до студентських робіт і повинна містити:

- умови задач;
- рішення задач (при цьому навіть прості задачі повинні бути вирішені методично правильно: спочатку повинні бути аргументовано записані необхідні співвідношення, потім в них підставлені чисельні величини для подальшого обчислення, далі остаточний результат і одиниця виміру);
- графіки, якщо їх виконання потрібне за умовою задачі, повинні бути побудовані по точках із вказівкою на осях координат одиниць виміру і масштабу;
- короткий аналіз отриманих результатів.

Всі прийняті студентом в процесі виконання роботи рішення повинні бути достатньо обгрунтовані і містити короткі, але вичерпні пояснення. Задачі повинні бути вирішені з використанням Міжнародної системи одиниць СІ.

Виконану контрольну роботу студент здає на перевірку. Якщо контрольна робота не зарахована, то студент повинен виправити всі помилки і повернути її з виправленнями для повторного рецензування.

Студенти заочної підготовки номера п'яти індивідуальних задач визначають по числу А, одержуваному при написанні останніх двох цифр номера залікової книжки, використовуючи вираз:

$$n_i = a + b(i - 1),$$

- де $a = A$ $b = 19$, якщо А від 1 до 19;
 $a = A - 19$ $b = 18$, якщо А від 20 до 38;
 $a = A - 38$ $b = 17$, якщо А від 39 до 57;
 $a = A - 57$ $b = 16$, якщо А від 58 до 88;
 $a = A - 68$ $b = 16$, якщо А від 89 до 100(00);
 i - порядковий номер задачі (від 1 до 5).

Наприклад, студент, у якого номер залікової книжки 302834 ($A = 34$, $a = 15$, $b = 18$), вирішує задачі 15, 33, 51, 69 і 87.

Правильність вибору номерів задач контролюється викладачем, тому на титульному аркуші контрольної роботи повинен бути вказаний номер залікової книжки студента.

2.2. Задачі до контрольного завдання

1. Тиск у котлі по манометру становить $0,3 \text{ атм}$ при показанні барометра 745 мм рт. ст. . Визначити абсолютний тиск (Па) у котлі.
2. Тиск в конденсаторі парової турбіни по вакууметру становить 95 кПа при показанні барометра 745 мм рт. ст. . Визначити абсолютний тиск (Па) в конденсаторі.
3. Газ при показанні манометра $2,5 \text{ атм}$ і температурі 27°C займає об'єм $4,5 \text{ м}^3$. Привести об'єм газу до нормальних умов.
4. Як зміниться густина газу в судині, якщо при постійній температурі показання манометра від 7 атм зменшиться до 1 атм ?
5. Знайти густину і питомий об'єм вуглекислого газу за нормальних умов.
6. Знайти густину і питомий об'єм метану за нормальних умов.
7. Знайти густину і питомий об'єм кисню при показанні манометра $2,5 \text{ атм}$ і температурі 27°C .
8. У балоні з об'ємом 2 л , поміщений кисень. Знайти масу газу, якщо показання манометра 100 атм , температура 27°C , а атмосферний тиск 745 мм рт. ст.
9. У резервуарі, об'єм якого 4 м^3 , поміщений вуглекислий газ. Знайти масу газу, якщо надлишковий тиск $0,4 \text{ атм}$, температура 80°C , а атмосферний тиск 745 мм рт. ст.
10. При температурі 15°C і тиску $2,15 \text{ атм}$ густина газу рівна 4 кг/м^3 . Знайти масу кілограм-моля газу.
11. У балоні знаходиться газ метан під тиском 200 атм і при температурі 27°C . Обчислити густину газу.
12. Визначити тиск 100 г кисню, що знаходиться в балоні ємністю 40 л при температурі 27°C .
13. Зонд, використовуваний для дослідження верхніх шарів атмосфери, наповнений воднем під тиском в 1 атм при температурі 27°C . Маса оболонки зонда 3 кг , діаметр кулі 5 м . Визначити масу водню і вантажопідйомність зонда.
14. Водій за допомогою манометра визначив тиск повітря в шинах автомобіля, що перебуває в гаражі при температурі 22°C , воно опинилося $2,1 \text{ атм}$. Після декількох годин їзди він знову перевіряв тиск, прилад показав $2,5 \text{ атм}$. Визначити температуру повітря в шинах. Зміною об'єму шин нехтувати.

15. Повітрозбірник місткістю 15 м^3 потрібно заповнити повітрям тиску $1,0 \text{ МПа}$ при температурі 22°C . Для цієї мети є компресор, всмоктуючий 5 м^3 повітря в 1 хв при барометричному тиску в $0,1 \text{ МПа}$ і температурі 22°C . За який час компресор створить в повітрозбірнику необхідний тиск. Перед пуском компресора в повітрозбірнику знаходилося повітря з тиском $0,1 \text{ МПа}$ при температурі 22°C .

16. У повітронагрівач котла надходить $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ повітря при надлишковому тиску 500 даПа і температурі 22°C . Визначити середню швидкість підігрітого повітря у повітропроводі після повітронагрівача, якщо повітропровід має прямокутний перетин із сторонами $1,2$ і $2,5 \text{ м}$. Температура підігрітого повітря рівна 322°C . Барометричний тиск рівний $0,1 \text{ МПа}$.

17. У вертикально розташованому циліндрі діаметром $0,5 \text{ м}$, що містить $0,35 \text{ м}^3$ повітря, постійний тиск створюється вантажем на поршні масою 4 т при температурі 22°C . До якої температури потрібно нагріти повітря, щоб рухомий без тертя поршень перемістився в циліндрі вгору на 60 см ?

18. У балоні місткістю 200 л перебував кисень під тиском 12 МПа при температурі 22°C . Визначити скільки витрачено кисню, якщо тиск в балоні знизився до 8 МПа , а температура - до 17°C .

19. У балоні ємністю 12 л знаходився метан при температурі 22°C . Після того, як частину газу витратили, тиск в балоні знизився на 4 атм . Скільки грамів метану було витрачено?

20. Балон ємністю 200 л містить метан під тиском $9,2 \text{ МПа}$ при температурі 22°C . Визначити масу витраченого метану, якщо при незмінній температурі тиск в балоні впав в 23 рази.

21. Компресор подає стисле повітря в повітрозбірник, при цьому тиск в ньому, вимірюваний манометром, підвищується в 9 разів, а температура - від 22 до 50°C . Визначити масу повітря, поданого компресором в повітрозбірник місткістю 6 м^3 , якщо перед пуском компресора в повітрозбірнику перебувало повітря з тиском $0,1 \text{ МПа}$.

22. Газова суміш складається з 5 кг вуглекислого газу і 3 кг кисню. Визначити масовий і об'ємний склад, а також молярну масу суміші.

23. Балон, місткістю 12 літрів містить 2 г азоту і 10 г водню при температурі 22°C . Визначити тиск суміші газів.

24. Об'ємний склад сухих димових газів наступний: вуглекислого газу $12,3\%$, кисню $7,2\%$, азоту $80,5\%$. Знайти молярну масу, газову постійну і густину суміші при тиску 745 мм рт. ст. і температурі 800°C .

25. Визначити газову постійну, густину газової суміші і парціальний тиск її складових, якщо об'ємний склад суміші наступний: вуглекислого

газу 12%, кисню 11%, азоту 72%, водяної пари 5%. Тиск суміші рівний 0,32 МПа, а її температура 100 °С.

26. Аналіз продуктів згоряння показав їх наступний об'ємний склад: вуглекислого газу 13%, кисню 6%, азоту 80,4%, оксиду вуглецю (чадного газу) 0,6%. Визначити масовий склад, газову постійну і щільність газової суміші при тиску 0,6 МПа і температурі 100 °С.

27. Газ коксової печі має наступний масовий склад: вуглекислого газу 3%, водню 51%, азоту 13%, оксиду вуглецю (чадного газу) 7%, метану 26%. Визначити об'ємний склад, газову постійну і густину суміші при тиску 0,12 МПа і температурі 30 °С.

28. Генераторний газ має наступний об'ємний склад: вуглекислого газу 4,7%, водню 6%, азоту 60,9%, оксиду вуглецю (чадного газу) 26,4%, метану 2%. Визначити газову постійну, молярну масу, густину суміші та парціальний тиск компонентів, при температурі 30 °С і тиску 0,1 МПа.

29. Масовий склад продуктів згоряння наступний: вуглекислого газу 11,2%, кисню 6,4%, азоту 81,8%, оксиду вуглецю (чадного газу) 0,6%. Знайти об'ємні долі компонентів, газову постійну, молярну масу і густину газової суміші, якщо її тиск рівний 745 мм рт. ст., а температура 600 °С.

30. Визначити газову постійну, питомий об'єм за нормальних умов і об'ємний склад газової суміші, якщо вона має наступний масовий склад: вуглекислого газу 9,4%, водню 8,7%, азоту 6,4%, оксиду вуглецю (чадного газу) 18,7%, метану 51,2%, кисню 5,6%.

31. Сухе атмосферне повітря по об'ємному складу має: азоту 78,09%, кисню 20,95%, аргону 0,93%, вуглекислого газу 0,03%. Визначити газову постійну, молярну масу, густину і питомий об'єм за нормальних умов.

32. Сухе атмосферне повітря по об'ємному складу має: азоту 78,09%, кисню 20,95%, аргону 0,93%, вуглекислого газу 0,03%. Визначити масовий склад повітря, парціальний тиск азоту і кисню за нормальних умов.

33. Масовий склад вихлопних газів деякої енергетичної установки наступний: вуглекислого газу 15%, водню 4%, азоту 74%, оксиду вуглецю (чадного газу) 1%, кисню 6%. Визначити об'ємний склад, газову постійну, молярну масу, густину суміші, парціальний тиск компонентів, при тиску 0,12 МПа і температурі 27 °С.

34. Газова суміш складається з 7 кг кисню, 0,2 кг водню і деякої кількості вуглекислого газу. Суміш перебуває в посудині ємністю 8 м³ при тиску 0,2 МПа і температурі 27 °С. Визначити масу вуглекислого газу, парціальний тиск компонентів, масовий склад і газову постійну суміші.

35. Обчислити питому газову постійну, питомі ізобарну і ізохорну теплоємності, показник адіабати метану.

36. Обчислити питому газову постійну, питомі ізобарну і ізохорну теплоємності, показник адіабати вуглекислого газу.

37. Айсберг масою 10^6 т при температурі 0°C дрейфує в Гольфстрімі, температура води в якому 20°C . Через деякий час айсберг розтанув. Визначити зміну ентропії океанської води, пов'язану з таненням айсберга.

38. Знайти зміни ентропії при наступних процесах:

а) при ізотермічному розширенні 10 г метану від об'єму 25 л до об'єму 100 літрів;

б) при ізобарному нагріванні 10 г метану від температури 22°C до температури 100°C ;

в) при нагріванні 200 г води від 22°C до температури кипіння при тиску в 1 атм і подальшому перетворенні води в пару тієї ж температури.

39. До повітря, що перебуває в циліндрі з жорстко закріпленим поршнем при температурі 22°C , підводиться теплота таким чином, що його температура підвищується до 272°C . Визначити зміну питомої ентропії повітря в циліндрі.

40. Водень, масою 12 г при підводі $10,37$ кДж теплоти ізотермічно розширився. У скільки разів збільшився об'єм газу, якщо його температура була рівна 27°C ?

41. При адіабатному розширенні внутрішня енергія кисню зменшилася на $8,36$ кДж, а об'єм збільшився в 10 разів. Визначити масу газу, якщо його початкова температура рівна 47°C .

42. 4 м³ вуглекислого газу мають тиск $1,4$ МПа і початкову температуру 27°C . Яку кількість теплоти потрібно підвести до газу в ізобарному процесі, щоб підвищити його температуру до 327°C ? Визначити параметри кінцевого стану, роботу розширення, зміну внутрішньої енергії і ентропії.

43. Метан в об'ємі 10 л, що перебуває під тиском 5 атм, ізотермічно розширився до об'єму 50 л. Яка робота розширення і параметри кінцевого стану газу?

44. Метан, що займає об'єм 20 л під тиском 10 атм, був ізобарно нагрітий від температури 25°C до 100°C . Визначити теплоту, що бере участь в процесі, зміну внутрішньої енергії і роботу розширення газу.

45. Водень в об'ємі 15 л, що перебував під тиском в 1 атм, адіабатно стислий до об'єму 3 л. Знайти роботу стиснення.

46. Яка кількість теплоти потрібна для нагрівання 200 г водню від 25°C до 100°C при постійному тиску? Як підведена теплота розподіляється між зміною внутрішньої енергії і роботою?
47. Газ, що займав об'єм 2 л під тиском 4 атм, був нагрітий від 22°C до 100°C при постійному тиску. Визначити роботу розширення газу.
48. 5 г метану було нагріто на 100°C при постійному тиску. Визначити кількість теплоти, переданої газу, роботу розширення і приріст внутрішньої енергії газу.
49. При адіабатному стисненні 2 г азоту, що мав температуру 27°C , об'єм газу зменшився в 10 разів. Визначити кінцеву температуру газу і роботу стиснення.
50. Скільки теплоти виділяється при ізотермічному стисненні 10 л газу, що перебував під тиском в 1 атм, до об'єму в 1 л?
51. На скільки збільшиться атмосферний тиск при опусканні по вертикальному стволу шахти на 600 м, якщо температура повітря постійна і рівна 22°C .
52. 6 кг кисню з початковою температурою 12°C і абсолютним тиском 0,6 МПа адіабатно стискаються до тиску 1,7 МПа, а потім ізобарно розширюються до первинного об'єму. Визначити параметри кисню в кінці адіабатного стиснення і ізобарного розширення, зміну внутрішньої енергії і ентропії, теплоту і роботу ізобарного розширення. Зобразити процеси в vp і sT -діаграмах.
53. Метан, масою 0,1 кг був ізобарно нагрітий так, що його об'єм збільшився в 3 рази; потім метан був ізохорно охолоджений так, що тиск його зменшився в 3 рази. Визначити зміну ентропії метану.
54. 7 м³ азоту з початковою температурою 17°C і абсолютним тиском 0,7 МПа, розширюються без теплообміну до барометричного тиску, а потім нагріваються при постійному об'ємі до початкового тиску. Визначити параметри азоту в кінці адіабатного розширення і ізохорного підведення теплоти, а також зміну внутрішньої енергії і ентропії, підведену теплоту для ізохорного процесу, якщо барометричний тиск рівний 0,1 МПа. Зобразити процеси в vp і sT -діаграмах.
55. В процесі адіабатного стиснення 8 м³ вуглекислого газу його температура змінилася від 22 до 277°C . Після стиснення вуглекислий газ ізотермічно розширюється до початкового тиску 0,2 МПа. Визначити роботу, що витрачається на стиснення вуглекислого газу, і теплоту, яку необхідно підвести до нього в процесі ізотермічного розширення. Зобразити процеси в vp і sT -діаграмах.
56. Повітря політропно розширюється від 2 м³ до 8 м³, при цьому його тиск зменшується від 0,8 МПа до 0,1 МПа. Визначити показник

політропи, кількість теплоти в процесі, роботу розширення повітря. Зобразити процес в vp і sT -діаграмах.

57. При ізотермічному розширенні вуглекислого газу масою 5 кг, що перебуває під тиском 0,5 МПа при температурі 27 °С, його об'єм зростає в 5 разів. Знайти роботу, що здійснюється при розширенні, кінцеві параметри газу, а також кількість підведеної теплоти. Зобразити vp -діаграму процесу.

58. Повітря масою 5 кг при початковій температурі 227 °С і тиску в 1 МПа розширюється адіабатно до тиску в 0,1 МПа. Визначити кінцевий об'єм і температуру повітря, а також роботу розширення. Зобразити vp -діаграму процесу.

59. Гелій у кількості 0,001 кмоль, узятий в об'ємі 1 л при температурі 1000 К, розширився до об'єму 3,95 л, при цьому температура газу знизилася до 400 К. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, теплоту і роботу в цьому процесі. Теплоємність вважати постійною.

60. В процесі політропного стиснення 3 м³ водню від нього відводиться 400 кДж теплоти. При цьому внутрішня енергія його збільшилася на 200 кДж. Визначити показник політропи, роботу стиснення, а також кінцеві параметри водню, якщо початкова температура його 27 °С, а абсолютний тиск 0,15 МПа. Зобразити vp і sT -діаграми процесу.

61. В процесі політропної зміни стану 4 м³ метану внутрішня енергія його збільшилася на 200 кДж/кг. При цьому над газом здійснена робота 50 кДж/кг. Визначити параметри метану в кінці процесу, якщо його початкова температура була 27 °С, а абсолютний тиск 0,15 МПа. Обчислити теплоту, що бере участь в процесі, і зміну ентропії. Зобразити vp і sT -діаграми процесу.

62. 2 м³ повітря з початковою температурою 800 °С і абсолютним тиском 1,8 МПа, політропно розширюються до температури 150 °С, а потім ізотермічно стискаються до початкового тиску. Визначити параметри повітря в кінці політропного розширення і ізотермічного стиснення, а також відведену теплоту, роботу стиснення і зміну ентропії в ізотермічному процесі, якщо показник політропи рівний 1,25. Зобразити vp і sT -діаграми процесів.

63. 5 м³ повітря з початковою температурою 450 °С і абсолютним тиском 2,6 МПа в політропному процесі здійснюють роботу 940 кДж, при цьому внутрішня енергія повітря зменшилася на 400 кДж. Визначити показник політропи, теплоту, що бере участь в процесі, а також кінцеві параметри повітря і зміну ентропії. Зобразити vp і sT -діаграми процесу.

64. 5 кг повітря при початковій температурі 30 °С і тиску 1,2 атм адіабатно стискаються, при цьому об'єм зменшується в 2,5 рази. Визначити початкові і кінцеві параметри повітря, теплоту, що бере

участь в процесі, роботу і зміну внутрішньої енергії. Зобразити *vp-dіаграму* процесу.

65. Визначити масу, ентальпію, ентропію і внутрішню енергію 2 м^3 вологої пари зі ступенем сухості 0,45, що перебуває під тиском $0,8 \text{ МПа}$.

66. Вода перебуває під манометричним тиском 15 атм , температура води 200°C . Поясніть, чи наступило пароутворення?

67. У циліндрі перебуває насичена пара; термометр показує температуру пари 230°C . Визначити показання манометра.

68. Визначити питомі значення ентальпії, ентропії і внутрішньої енергії вологої пари із ступенем сухості 0,5, що перебуває під тиском 10 атм .

69. Початковий стан 3 кг водяної пари характеризується тиском $1,2 \text{ МПа}$ і питомим об'ємом $0,133 \text{ м}^3/\text{кг}$. Пара нагрівається при постійному тиску до температури 270°C . Визначити кінцевий питомий об'єм водяної пари, підведену теплоту, роботу, здійснену парою, а також зміну внутрішньої енергії і ентропії в процесі. Процес зобразити в *si* та *sT-dіаграмах*.

70. Початковий стан водяної пари характеризується тиском $0,5 \text{ МПа}$ і температурою 300°C . Внаслідок уприскування киплячої води того ж тиску пар стає сухим насиченим; тиск пари при цьому не змінюється. Визначити кількість вприскованої води на 1 кг пари і роботу, здійснену в цьому процесі. Процес зобразити в *si* та *sT-dіаграмах*.

71. До 1 кг водяної пари, що має початковий питомий об'єм $0,092 \text{ м}^3/\text{кг}$ при постійному тиску $2,4 \text{ МПа}$, підводиться 640 кДж теплоти. Визначити кінцевий стан водяної пари, роботу, здійснену парою, а також зміну внутрішньої енергії і ентропії в процесі. Процес зобразити в *si* та *sT-dіаграмах*.

72. Визначити роботу розширення, підведену теплоту і зміну внутрішньої енергії 2 кг водяної пари, що розширюється ізотермічно, якщо її початковий тиск $1,2 \text{ МПа}$ при ступені сухості 0,8. Кінцевий тиск пари $0,2 \text{ МПа}$. Процес зобразити в *si* та *sT-dіаграмах*.

73. Для процесу сушіння використовується повітря з температурою 18°C і відносною вологістю 15%. У повітронагрівачі його температура підвищується до 50°C , і з цією температурою він надходить в сушильний апарат, де температура його знижується до 32°C . Визначити витрату повітря і теплоти на 1 кг випарованої вологи. Після рішення задачі показати, як її можна було вирішити за допомогою *di-dіаграми* (привести схему рішення задачі).

74. Об'єм 1 г азоту збільшується від 1 л до 5 л . Визначити роботу, виконану газом при його розширенні проти сил молекулярного

притягання (сил внутрішнього тиску), якщо константа рівняння Ван-дер-Ваальса для азоту $a = 1,36 \cdot 10^5 \text{ Нм}^4/\text{кмоль}^2$.

75. Обчислити константи рівняння Ван-дер-Ваальса і газову постійну метилацетата, використовуючи його критичні параметри: $T_k = 506,9 \text{ К}$, $p_k = 46,33 \text{ атм}$, $v_k = 0,2276 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

76. Для води параметри критичного стану наступні: критичний тиск $22,129 \text{ МПа}$, критична температура $374,15 \text{ }^\circ\text{С}$, критичний питомий об'єм $0,00326 \text{ м}^3/\text{кг}$. Знайти константи рівняння Ван-дер-Ваальса для води.

77. Обчислити константи рівняння Ван-дер-Ваальса і газову постійну метилформіата, використовуючи його критичні параметри: $T_k = 487,2 \text{ К}$, $p_k = 59,25 \text{ атм}$, $v_k = 0,172 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

78. У результаті здійснення кругового процесу отримана корисна робота, рівна 70 кДж , і віддано холодильнику 42 кДж теплоти. Визначити термічний **ккд** циклу.

79. 1 кг повітря здійснює цикл Карно між температурами $t_1 = 327 \text{ }^\circ\text{С}$ і $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{С}$. Кількість теплоти, відведеної холодильнику, 35 кДж/кг . Визначити кількість теплоти, отриманої від нагрівача.

80. Ідеальний двоатомний газ у кількості $0,001 \text{ кмоль}$ здійснює цикл, що складається із двох ізохор і двох ізобар. Найменший об'єм газу 10 л , найбільший – 20 л , найменший тиск $2,46 \text{ атм}$, найбільший – $4,1 \text{ атм}$. Визначити температуру газу для характерних точок циклу і його термічний **ккд**. Зобразити цикл в pV і sT координатах.

81. Розрахувати цикл Карно, для якого параметри точки 1: $p_1 = 10 \text{ атм}$; $t_1 = 250 \text{ }^\circ\text{С}$, а точки 3: $p_3 = 1,2 \text{ атм}$; $t_3 = 30 \text{ }^\circ\text{С}$. Робоче тіло повітря.

Розрахувати цикл - це значить знайти параметри (p, v, T) всіх точок, кількість підведеної теплоти, відведену теплоту й корисну роботу, а також термічний **ккд** циклу.

82. Ідеальний двоатомний газу кількості $0,001 \text{ кмоль}$, перебуваючи під тиском в 1 атм при температурі $27 \text{ }^\circ\text{С}$, нагрівається при постійному об'ємі до тиску в 2 атм . Після цього газ ізотермічно розширюється до початкового тиску й потім ізобарно стискується до початкового об'єму. Визначити температуру газу для характерних точок циклу і його термічний **ккд**. Зобразити цикл в pV і sT координатах.

83. Розрахувати цикл Карно, здійснюваний при роботі 1 кг повітря, якщо параметри точки 1: $p_1 = 20 \text{ атм}$; $t_1 = 327 \text{ }^\circ\text{С}$, а точки 3: $p_3 = 1,2 \text{ атм}$; $t_3 = 27 \text{ }^\circ\text{С}$.

Розрахувати цикл - це значить знайти параметри (p, v, T) всіх точок, кількість підведеної теплоти, відведену теплоту й корисну роботу, а також термічний **ккд** циклу.

84. 2 кг повітря здійснюють цикл Карно в наступних межах: $p_1 = 40 \text{ атм}$; $t_1 = 700 \text{ К}$; $p_3 = 1,1 \text{ атм}$; $t_3 = 300 \text{ К}$. Розрахувати цикл.

Розрахувати цикл - це значить знайти параметри (p, v, T) всіх точок, кількість підведеної теплоти, відведену теплоту й корисну роботу, а також термічний **ккд** циклу.

85. Айсберг масою 10^6 т при температурі 0°С дрейфує в Гольфстрімі, температура води в якому 22°С . Яку максимальну роботу може виробити теплова машина, що використовує Гольфстрім як нагрівач, а айсберг як холодильник, за час протягом якого айсберг розтане.

86. У резервуарі, в якому перебуває кисень, підтримують тиск 50 атм . Газ витікає через сопло, що звужується, в середу з тиском 40 атм . Визначити швидкість витікання і витрату кисню, якщо площа вихідного перетину сопла 20 мм^2 . Початкова температура кисню 100°С . Витікання вважати адіабатним.

87. У резервуарі, в якому перебуває кисень, підтримують тиск 45 атм . Газ витікає через сопло, що звужується, в атмосферу. Визначити швидкість витікання і витрату газу, якщо площа вихідного перетину сопла 20 мм^2 . Початкова температура кисню 100°С . Витікання вважати адіабатним.

88. Довести, що адіабата проходить крутіше на *vp-діаграмі*, чим ізотерма і не може перетинатися з нею більш ніж в одній точці.

89. Визначити роботу при ізотермічному розширенні газу, що підпорядковується рівнянню Ван-дер-Ваальса (одержати вираз).

90. Повітря з початковим тиском 8 МПа і температурою 27°С витікає через сопло, що звужується, в середу з тиском 5 МПа . Визначити параметри повітря у вихідному перетині сопла і швидкість витікання, а також витрату повітря, якщо площа вихідного перетину сопла рівна 24 мм^2 . Швидкість газу на вході в сопло рівна нулю. Витікання вважати адіабатним.

91. Повітря з початковим тиском 8 МПа і температурою 27°С витікає через сопло, що звужується, в атмосферу. Визначити параметри повітря у вихідному перетині і швидкість витікання, а також витрату повітря, якщо площа вихідного перетину сопла рівна 24 мм^2 , а барометричний тиск $0,1 \text{ МПа}$. Швидкість газу на вході в сопло рівна нулю. Витікання вважати адіабатним.

92. Обчислити швидкість звуку в повітрі за нормальних термодинамічних умов.

93. Водяна пара, що має початковий тиск 10 МПа і температуру 450°С , витікає через сопло, що звужується, з найменшим діаметром 6 мм в середу з тиском $0,5 \text{ МПа}$. Визначити стан і параметри пари, швидкість витікання у вихідному перетині, і витрату пари, якщо швидкісний

коефіцієнт сопла рівний 0,95. Швидкість пари перед соплом вважати рівною нулю. Представити процес в *si-діаграмі*.

94. Визначити швидкість витікання і витрату пари при витіканні з сопла Лавалля, якщо тиск пари на вході в сопло 10 атм, а температура 300 °С. Витікання відбувається в середу з тиском 0,1 МПа, площа мінімального перетину сопла 6 см². Знайти площу вихідного перетину сопла.

95. У виробці з витратою повітря 35 м³/с при температурі 25 °С, тиску 1100 гПа і відносній вологості 70%, повітря охолоджується до температури 15 °С. Визначити масу води, що утворюється внаслідок конденсації пари при охолодженні повітря протягом однієї години. Показати, як можна було б вирішити це завдання за допомогою *di-діаграми* (привести схему рішення задачі).

96. Витрата повітря в шахті складає 200 м³/с. Параметри повітря на поверхні: барометричний тиск 993,55 гПа, температура 6°С, відносна вологість 60%. З шахти повітря виходить з температурою 18 °С і відносною вологістю 100%. Визначити кількість теплоти і масу водяної пари, що виноситься вентиляційним потоком із шахти протягом доби.

Додаткова література

1. Рывкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 400с.
2. Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. -М.: Изд-во стандартов, 1969. -408с.