

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ КОЛЕДЖ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

**ГІДРОГАЗОДИНАМІКА,
ТЕРМОДИНАМІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІКА**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ГІДРОГАЗОДИНАМІКА, ТЕРМОДИНАМІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІКА

Завдання і методичні вказівки до контрольної роботи для студентів заочного відділення

Рекомендовано для підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «молодший спеціаліст» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища (5.070802 «Експлуатація апаратури контролю навколишнього середовища»)

Розглянуто та схвалено на засіданні
цілової комісії міського електричного транспорту
Протокол № 4 від 5.02.2020р.
Голови циклової комісії В.С. Василюк

Розглянуто і рекомендовано до затвердження навчально-методичною
радою коледжу
Протокол № 8 від 02. 03. 2020 р.
Голова навчально-методичної ради _____ І.П.Демехіна

Укладач викладач-методист
Київського коледжу міського господарства
ТНУ ім. В.І. Вернадського Л.А. Андрєєва

Рецензенти викладач методист, голова міського об'єднання
викладачів механіки м. Києва Т.Ф. Лисовенко

викладач методист, голова циклової комісії
фундаментальних дисциплін
Київського коледжу міського господарства
ТНУ ім. В.І. Вернадського Л.А. Андрющенко

ЗМІСТ

	стор.
Пояснювальна записка.....	5
Зміст предмета	7
Методичні вказівки до виконання контрольної роботи.....	10
Завдання контрольної роботи.....	51
Питання до заліку.....	61
Рекомендована література.....	63

Пояснювальна записка

Програмою предмета „Гідрогазодинаміка, термодинаміка та теплотехніка” передбачається вивчення законів рівноваги і законів руху рідких та газоподібних речовин у трубопроводах, роботу насосів і вентиляторів та їх характеристик, основних законів термодинаміки, будови і принципів роботи котельних, паросилових установок, холодильних установок, установок кондиціонування повітря, енергетичних установок.

Внаслідок вивчення предмета студенти повинні придбати навички розрахунків основних параметрів стану рідких та газоподібних речовин; гідравлічних розрахунків простого трубопроводу та гідравлічного удару; розрахунків витоку рідких і газоподібних речовин через отвір та через насадки; розрахунків подачі, напору, висоти всмоктування, потужності і ККД насосів; розрахунків основних параметрів стану робочого тіла теплової машини; розрахунків теплообмінних процесів; знати перший і другий закони термодинаміки та їх застосування; вивчити будову і принцип роботи котельних, паросилових установок, холодильних установок, установок кондиціонування повітря, енергетичних установок.

Для цієї мети програмою передбачено виконання практичних занять.

Вивчення предмета базується на знаннях, одержаних студентами після вивчення предмета „Теоретична і прикладна механіка”, „Інженерна графіка”, „Фізика”, „Математика”.

Викладання навчального матеріалу на заняттях повинно супроводжуватись демонструванням креслень насосів та вентиляторів, схем автоматизації та кінематичних схем їх підключення; креслень котельних, паросилових установок, холодильних установок, установок кондиціонування повітря, енергетичних установок.

Програма є єдиною для всіх видів навчання (денного і заочного). Розподіл годин за темами предмета, перелік тем практичних занять носять рекомендаційний характер і можуть бути відкоректовані предметною (цикловою) комісією.

Матеріал предмета „ Гідрогазодинаміка, термодинаміка та теплотехніка ” вивчається з урахуванням стандартів ЄСКД та каталогів стандартних величин та параметрів.

Для закріплення теоретичних знань з предмета навчальним планом передбачено виконання однієї контрольної роботи в об’ємі десяти задач.

В результаті вивчення програмного матеріалу студенти повинні

- знати:**
- основи гідрогазодинаміки;
 - властивості рідин і газоподібних речовин;
 - закони гідрогазодинаміки,
 - закони руху струмка та потоку рідких і газоподібних речовин;
 - визначення витоку рідких і газоподібних речовин через отвір та насадки;

- принцип дії насосів і вентиляторів;
- регулювання подачі та напору у гідравлічних установках;
- основи технічної термодинаміки;
- властивості суміші ідеальних газів, поняття теплоємності;
- перший і другий закони термодинаміки та їх застосування;
- властивості водяної пари;
- визначення конвективного, променевого і складного теплообмінів;
- основи теплотехніки;
- будову і принцип роботи котельних, паросилових установок, холодильних установок, установок кондиціонування повітря, енергетичних установок;

- вміти:**
- користуватися властивостями рідин і газоподібних речовин;
 - визначати параметри стану рідин і газоподібних речовин
 - використовувати закони руху струмка та потоку і газоподібних речовин;
 - робити розрахунки гідроліній;
 - порівнювати та вибирати насоси для гідроліній;
 - зображати і досліджувати термодинамічні процеси в діаграмах, складати рівняння теплового балансу;
 - визначати параметричні характеристики пари за допомогою діаграм і таблиць водяної пари;
 - будувати теоретичні цикли вивчених теплотехнічних установок, робити їх економічний аналіз.

Зміст предмета **„Гідрогазодинаміка, термодинаміки та теплотехніка”**

спеціальності 5.092111 „Експлуатація, ремонт та енергопостачання
міського електротранспорту”

Вступ

Загальна характеристика гідрогазодинаміки та її роль у розрахунку гідросистем. Загальна характеристика термодинаміки та її роль у промисловій теплотехніці

Розділ 1 Гідрогазодинаміка

Тема 1.1 Основні фізичні властивості рідких і газоподібних речовин

Агрегатний стан речовини. Основні фізичні властивості рідин.

Основні фізичні властивості газів

Параметри стану рідких і газоподібних речовин. Тиск. Температура. Питома вага. Густина.

В'язкість. Динамічний коефіцієнт в'язкості. Кінематичний коефіцієнт в'язкості. Одиниці.

Тема 1.2 Гідравлічний прес і гідравлічний акумулятор

Гідростатичний тиск. Основне рівняння гідростатики. Закон Паскаля.

Гідравлічний прес. Схема роботи гідравлічного пресу.

Гідравлічний акумулятор. Схема роботи гідравлічного акумулятора.

Прилади для вимірювання тиску. Рідинний манометр. Пружинний манометр.

Закон Архімеда. Плавучість. Визначення.

Тема 1.3 Тиск рідини і газу на стінку

Тиск рідини і газу на плоску стінку.

Тиск рідини і газу на криволінійну стінку. Стінки циліндричних судин і труб.

Тема 1.5 Обмежені потоки рідин та газів

Об'ємний та масовий розхід рідини та газу. Рівняння нерозривного потоку. Режими течії. Число Ренольдса

Тема 1.6 Енергія потоку рідин та газів

Енергія елементарного струмка та потоку рідин та газів. Закон балансу енергії. Рівняння Бернуллі для ідеальної рідини.

Тема 1.7 Рівняння Бернуллі для струмка та потоку реальних рідких і газоподібних речовин

Рух реальних рідких і газоподібних речовин по трубам.

Рівняння Бернуллі для потоку рідких і газоподібних речовин. Реальні втрати напору.

Тема 1.8 Трубопроводи. Гідравлічний удар

Гідравлічний розрахунок простого трубопроводу. Гідравлічний удар.

Тема 1.9 Витік рідких і газоподібних речовин через отвір і насадки

Витік рідких і газоподібних речовин через отвір. Витік рідких і газоподібних речовин через насадки.

Тема 1.10 Насоси і вентилятори

Основні поняття про насоси. Подача і напір насосів. Висота всмоктування. Потужність і ККД насосів.

Практичне визначення подачі, напору, висоти всмоктування, потужності і ККД насосів.

Класифікація насосів

Вентилятори. Схеми відцентрового та осьового вентиляторів. Подача і напір відцентрового вентилятора. Потужність і ККД відцентрового вентилятора.

Розділ 2 Термодинаміка та теплотехніка

Тема 2.1 Поняття про термодинаміку

Предмет технічної термодинаміки.

Параметри стану робочого тіла

Основні термодинамічні параметри стану робочого тіла. Стан рівноважності і нерівноваженості. Рівняння стану.

Поняття термодинамічного процесу. Внутрішня енергія, теплота, робота.

Поняття ентальпії. Поняття ентропії.

Тема 2.2 Поняття про газову суміш

Робоче тіло. Ідеальний газ, основні закони ідеальних газів. Рівняння стану ідеальних газів.

Поняття газової суміші. Закон Дальтона. Рівняння стану газової суміші

Тема 2.3 Поняття про теплоємність

Залежність теплоємності від температури. Визначення кількості тепла.

Теплоємність суміші ідеальних газів.

Тема 2.4 Перший закон термодинаміки

Термодинамічні процеси у p , v -координатах. Енергія, робота, теплота. Ентальпія, ентропія.

Суть першого закону термодинаміки. Аналітичне вираження першого закону термодинаміки.

Залежність між параметрами стану газу, при основних термодинамічних процесах T , s -діаграми.

Ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний процеси. Політропні процеси.

Тема 2.5 Другий закон термодинаміки

Суть другого закону термодинаміки.

Ентропія. Аналітичне вираження другого закону термодинаміки.

Зміна ентропії і працездатність термодинамічної системи.

Тема 2.6 Колові процеси зміни стану газів

Цикл Карно. Зворотний цикл Карно.

Тема 2.7 Водяна пара

Водяна пара, основні визначення.

Перетворення води на пар у p , v і T , s -діаграмах. Параметри стану водяної пари на i , s -діаграмах

Розрахунок потоку водяної пари. Сопло Лавалю. Дроселювання.

Тема 2.8 Теплопровідність

Способи передачі тепла.

Конвективний та складний теплообмін.

Тема 2.9 Променевий теплообмін

Променевий теплообмін. Властивості та основні закони теплового випромінювання.

Тема 2.10 Паливо та процес горіння

Класифікація палива, його склад і технічні характеристики.

Основні стадії горіння палива. Склад продуктів згорання. Ентальпія згорання. Температура горіння палива.

Тема 2.11 Теплові процеси в енергетичних установках

Класифікація теплових установок. Основні характеристики.

Котельні установки. Дуйкові установки. Паросилові установки.

Сопло Лавалю. Дроселювання пари. Компресори і вентилятори.

Тема 3.3 Холодильні установки

Засоби отримання холоду. Цикли парових, компресорних, холодильних установок. Установки кондиціювання повітря.

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи

Контрольна робота складена в обсязі навчального матеріалу програми предмета "Гідрогазодинаміка, термодинаміка та теплотехніка".

Контрольна робота містить десять задач.

Контрольна робота виконується у тонкому учнівському зошиті.

Студент виконує один з варіантів контрольної роботи, номер якого відповідає номеру за списком у навчальному журналі.

Кожна задача має починатися з нового аркуша зошита.

Контрольна робота виконується охайно без виправлення шариковою ручкою синьою пастою.

Після рішення всіх задач контрольної роботи необхідно подати перелік літератури, якою користувалися в контрольній роботі.

Методичні вказівки до розв'язання задачі 1

Теоретична довідка

Стан газоподібних речовин визначається тиском, температурою та питомою вагою.

Тиск. Тиск – механічна напруга стиску у рідині або газоподібній речовині. Тиск дорівнює відношенню нормальної сили стиску до площі, по якій ця сила рівномірно розподіляється $p = \frac{P}{A} \left[\frac{H}{M^2} \right]$.

За одиницю виміру тиску прийнятий такий тиск, який створюється силою 1 Н на поверхню 1 м², тобто $1 \frac{H}{M^2} = 1$ Па (Паскаль)

1 кПа = 10³ Па; 1 МПа = 10⁶ Па;

Тиск також вимірюється висотою ртутного стовпа, вага якого врівноважує тиск середовища $p = \rho \cdot g \cdot h$,

де ρ – густина ртуті, $\rho = 13604,3$ кг/м³ при $t^\circ C = 0^\circ C$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²;

h – висота стовпа ртуті, $h = 760$ мм = 0,760 м.

$$p = 13604,3 \cdot 9,8 \cdot 0,760 = 101325 \frac{H}{M^2} \text{ (Па)}$$

Тиск також вимірюється висотою водяного стовпа, вага якого врівноважує тиск середовища $h = 760$ мм рт.ст. = 10,3393 м вод.ст.

$$p = \rho \cdot g \cdot h; \quad p = 1000 \cdot 9,8 \cdot 10,3393 = 101325 \frac{H}{M^2} \text{ (Па)},$$

де ρ – густина води, $\rho = 1000$ кг/м³ при $t^\circ C = 0^\circ C$;

Температура. Розрізняють $t^\circ C$, що відраховується від умовного нуля, за який приймають температуру танення льоду і абсолютну $T^\circ K$, що відраховується від не умовного нуля, який відповідає стану речовини, при якому відсутній міжмолекулярний рух і тиск молекул речовини $T(K) = t^\circ C + 273,15^\circ$

Нормальні фізичні умови відповідають :
 $t^{\circ}C = 0^{\circ}C$, $T(K) = 273,15^{\circ}$,
 $p_n = 101325 \text{ Па} = 101,325 \text{ кПа} = 0,101325 \text{ МПа} = 760 \text{ мм. рт.ст.} = 10,3393 \text{ м вод.ст.}$

Питома вага. Питома вага γ тіла називається вага одиниці об'єму $\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{H}{M^3} \right]$

Зворотна величина питомій вазі являється питомий об'єм $\upsilon = \frac{1}{\gamma} = \frac{V}{G} \left[\frac{M^3}{H} \right]$

Густина речовини – маса одиниці об'єму $\rho = \frac{\gamma}{g} \left[\frac{H \cdot \text{сек}^2}{M^4} \right]$, $\gamma = \rho \cdot g$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Питома вага γ крапельних рідин залежить тільки від температури.

Питома вага γ газів знаходиться у співвідношенні з тиском температурою за рівнянням стану речовини.

Стискання – властивість рідини та газів змінювати свій об'єм із зміною тиску і характеризується **коефіцієнтом ізотермічного об'ємного стиску**

$\beta_v = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta p}$, $\left[\frac{1}{\text{Па}} \right]$ де V_0 – початковий об'єм, M^3 ;

ΔV – зміна об'єму, M^3 ;

Δp – зміна тиску, Па .

Величина, зворотна коефіцієнту ізотермічного об'ємного стиску, називається модулем пружності E . Для води за нормальних умов:

при $t^{\circ}C = 0^{\circ}C$; $p = 101325 \frac{H}{M^2}$ (Па) = 760 мм рт. ст.; $E = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

При нагріванні збільшення об'єму рідин і газів визначається **температурним**

коефіцієнтом об'ємного розширення $\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t}$, $\left[\frac{1}{^{\circ}C} \right]$

В'язкість. В'язкість – фізична властивість рідини чинити опір при відносному ковзанні двох сусідніх шарів рідини.

μ – **динамічний коефіцієнт в'язкості** [$\text{Па} \cdot \text{сек.}$] [Пуазів /П/], що залежить роду рідини, температури і тиску – сила, з якою діють шари рідини

на відстані 1 [M] площею 1 [M^2] при русі із швидкістю 1 $\left[\frac{M}{\text{сек}} \right]$ один відносно

другого. 1 /П/ = 0,1 [$\text{Па} \cdot \text{сек.}$]

Кінематичний коефіцієнт в'язкості ν – відношення динамічного

коефіцієнту в'язкості μ до густини $\rho = \frac{\mu}{\rho}$;

$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \left[\frac{M^2}{\text{сек}} \right]$ [Стоксів /Ст/]; $1 /\text{Ст/} = 1 \cdot 10^{-4} \left[\frac{M^2}{\text{сек}} \right]$

В'язкість рідини в умовних градусах Енглера /Е/ (в'язкість умовна $^{\circ}BU$)

Кінематичний коефіцієнт в'язкості $\nu = \left(0,0731^{\circ}BU - \frac{0,0631}{^{\circ}BU} \right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{M^2}{\text{сек}} \right]$

При умовній в'язкості більше $16^{\circ}BU$ $\nu = 7,4 \cdot 10^{-6} [M^2/\text{сек}]$

Приклад розв'язання задачі 1

а) Сталевий барабан підлягає гідравлічному іспиту під надлишковим тиском 2 МПа. Визначити, яку кількість води додатково до початкового об'єму при атмосферному тиску необхідно подати насосом в барабан, якщо його ємність 10 м^3 . Модуль пружності води $E = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

$$\begin{array}{l|l} \Delta p = 2 \text{ МПа} & \beta_v = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta p}, \\ V_0 = 10 \text{ м}^3 & \\ \beta_v = \frac{1}{E} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \left[\frac{1}{\text{Па}} \right] & \Delta V = \beta_v \cdot V_0 \cdot \Delta p = \frac{V_0 \cdot \Delta p}{2 \cdot 10^9} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} = 0,01 \text{ м}^3 \\ \hline \Delta V ? & \end{array}$$

Висновок. Початковий об'єм при збільшенні тиску зменшився тому до початкового об'єму V_0 при атмосферному тиску необхідно подати насосом в барабан $0,01 \text{ м}^3$

б) 8 Як зміниться об'єм води в системі опалення ємністю 100 м^3 після нагріву води від 15°C до 95°C ? Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води $\beta_t = 0,0006 \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

$$\begin{array}{l|l} V_0 = 100 \text{ м}^3 & \Delta V = \beta_t \cdot \Delta t \cdot V_0 = 0,0006 \cdot 80 \cdot 100 = 4,8 \text{ м}^3 \\ t_1 = 15^\circ\text{C} & \Delta t = t_2 - t_1 = 95 - 15 = 80 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_2 = 95^\circ\text{C} & V = V_0 + \Delta V = 100 + \Delta V = 104,8 \text{ м}^3 \\ \beta_t = 0,0006 \frac{1}{^\circ\text{C}} & \\ \hline V ? & \end{array}$$

Висновок. Об'єм води в системі опалення ємністю 100 м^3 після нагріву води від 15°C до 95°C збільшився до $104,8 \text{ м}^3$.

Методичні вказівки до розв'язання задачі 2

Теоретична довідка

Сила тиску рідких і газоподібних речовинах визначається добутком тиску на площу поверхні $P = pA = \rho ghA$, [Н]

де $p = \rho gh$ – тиск у рідких і газоподібних речовинах, $\frac{H}{m^2}$ (Па)

A – площа поверхні, m^2

Основне рівняння гідростатики

де p_0 – атмосферний тиск (Па);

ρ – густина рідини (kg/m^3);

h – відстань від поверхні рідини до заданої точки (м);

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 m/c^2$;

$\rho \cdot g = \gamma$ – питома вага ($\frac{H}{m^3}$).

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h = p_0 + \gamma \cdot h$$

Закон Паскаля. Зовнішній тиск p_0 , прикладений до вільної поверхні рідини в замкненій площині, передається в будь-яку точку рідини без зміни.

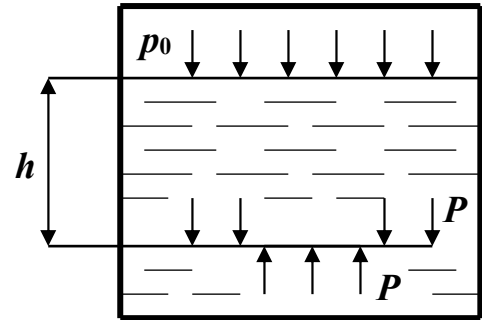


Схема роботи гідравлічного пресу

Для встановлення основних співвідношень, які характеризують роботу гідравлічного преса, позначимо площу поршня малого циліндра A_1 , його хід h , площу плунжера великого циліндра A_2 і його хід H .

Робота поршня малого циліндра

$$L_1 = P \cdot h = p \cdot A_1 \cdot h,$$

де p – атмосферний тиск.

Величина роботи, яку здійснює плунжер великого циліндра, дорівнює

$$L_2 = Q \cdot H = p \cdot A_2 \cdot H$$

Оскільки $L_1 = L_2$, то $p \cdot A_2 \cdot H = p \cdot A_1 \cdot h$ або $\frac{H}{h} = \frac{A_1}{A_2}$

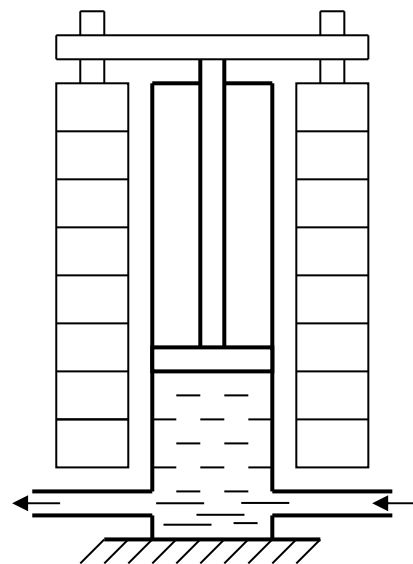
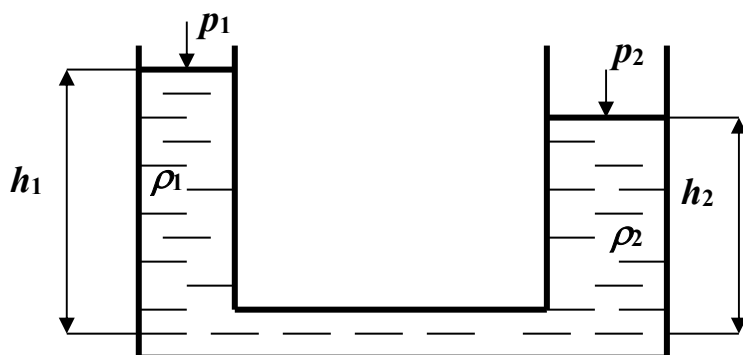
Це означає, що відношення хода плунжера великого циліндра до ходу поршня малого циліндра обернено пропорційне відношенню їх площ.

Гідравлічні преси – машини періодичної дії

Насоси, що живляться рідиною гідравлічного преса, відносяться до машин безперервної дії. Тому використовують гідравлічні акумулятори, які акумулюють робочу рідину під великим тиском.

Схема роботи гідравлічного акумулятора

Для акумулювання великої кількості рідини використовують газогідравлічний акумулятор. Газогідравлічний акумулятор – посуд-резервуар заповнений стислим газом під початковим тиском. При накачуванні в нього робочої рідини заданого об'єму об'єм газової частини акумулятора зменшується, а тиск газу підвищується до заданого.



Сполучені посудини

Основним рівнянням сполучених посудин є рівняння рівноваги рідин.

$$p_1 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 ,$$

де p_1 і p_2 – тиски на поверхні рідин в сполучених посудинах;

ρ_1 і ρ_2 – густини рідин в сполучених посудинах;

h_1 і h_2 – відстані від поверхні рідини в сполучених посудинах до заданої точки.

3 Закон Архімеда: на тіло, що занурене в рідину, діє сила, яка виштовхує його вертикально вгору і модуль якої дорівнює вазі рідини в об'ємі частини тіла, що занурена в рідину.

$F_A = \rho \cdot g \cdot V$ – сила, що виштовхує тіло з рідини:

$G = F_A$ – тіло плаває

$G < F_A$ – тіло спливає

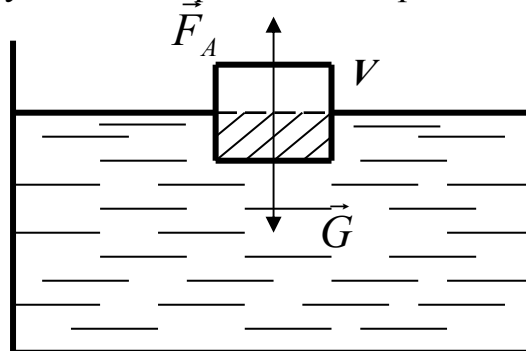
$G > F_A$ – тіло тоне

де ρ – густина рідини;

g – прискорення вільного падіння;

G – сила тяжіння тіла.

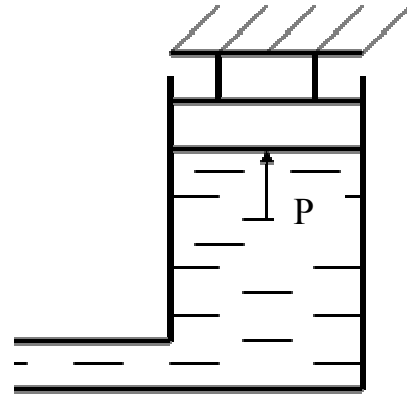
V – об'єм частини тіла, зануреної в рідину;



Приклад розв'язання задачі 2

а) Визначити силу тиску (Н) на поршень діаметром $d = 21$ мм ртутного стовпа висотою $h = 0,01$ м. Густина ртуті $\rho_p = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

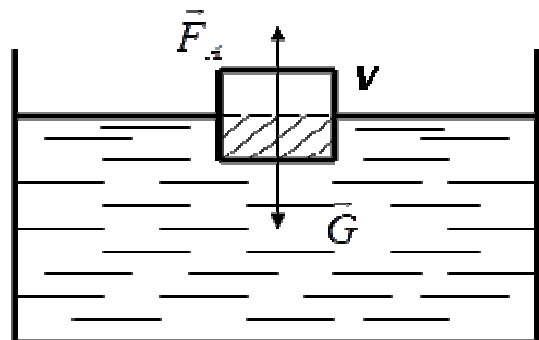
$d = 21 \text{ мм} = 0,021 \text{ м}$ $h = 0,01 \text{ м}$ $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$ $\rho_p = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$P = pA = \rho ghA, [\text{Н}]$ $P = \rho ghA = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,01 \cdot 346 \cdot 10^{-3} = 461,15 \text{ Н}$ $A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 346 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
$P ?$	



Висновок. Силу тиску ртутного стовпа на поршень становить 461,15 Н

б) Визначити силу виштовхування тіла, площею перерізу $A = 5 \text{ м}^2$ при заглибленні його у воду на висоту $h = 0,2$ м. Густина води $\rho_v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$A = 5 \text{ м}^2$ $h = 0,02 \text{ м}$ $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$ $\rho_v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$F_A = \rho g V = 1 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,1 = 0,98 \cdot 10^3 \text{ Н} = 0,98 \text{ кН}$ $V = A h = 5 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ м}^3$
$F_A ?$	



Висновок. Силу виштовхування тіла при заглибленні його у воду на висоту h – сила Архімеда становить 0,98 кН

Методичні вказівки до розв'язання задачі 3

Теоретична довідка

1. Закон Паскаля

Блез Паскаль – французький, математик, механік, фізик, літератор, філософ. Класик французької літератури, один з засновників математичного аналізу, теорії вірогідності та проектної геометрії, засновник перших зразків рахункової техніки, автор основного закону гідростатики.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

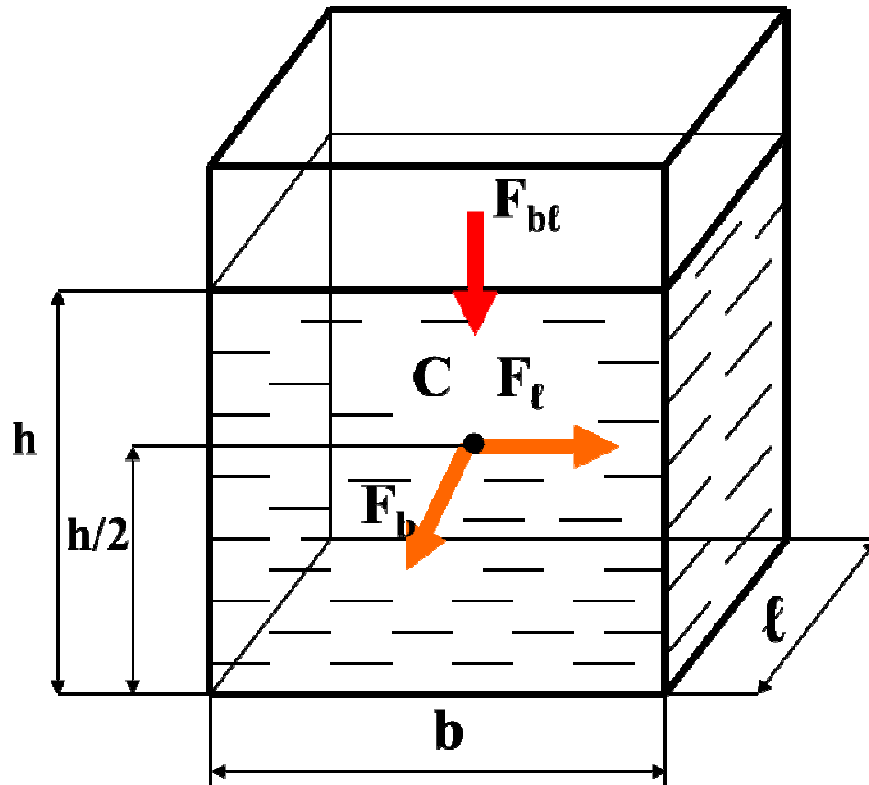
Закон Паскаля – тиск у всіх точках ємності однаковий

$p = \frac{F}{A}$ [МПа] → [Н/м²], тиск – сила тиску, що припадає на одиницю

змочуваної площі ємності;

$F = p \cdot A$ [Н] – сила тиску рідин та газів на площі днища і стінки ємності.

2 Тиск рідин та газів на стінки прямокутної ємності



$F_{bl} = p \cdot A_{bl}$ [Н] – сила тиску рідин та газів на днище прямокутної ємності;

$A_{bl} = b \cdot l$ [м²] – площа днища;

$$F_{bl} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b \cdot l = \rho \cdot g \cdot V$$

$V = h \cdot b \cdot l = h \cdot A_{bl}$ [м³] – об'єм рідини або газу в прямокутній ємності.

$F_b = p \cdot A_b$ [Н] – сила тиску рідин та газів на бокову стінку ємності, довжиною b;

$A_b = b \cdot h \text{ [м]}^2$ – площа змочуваної стінки;

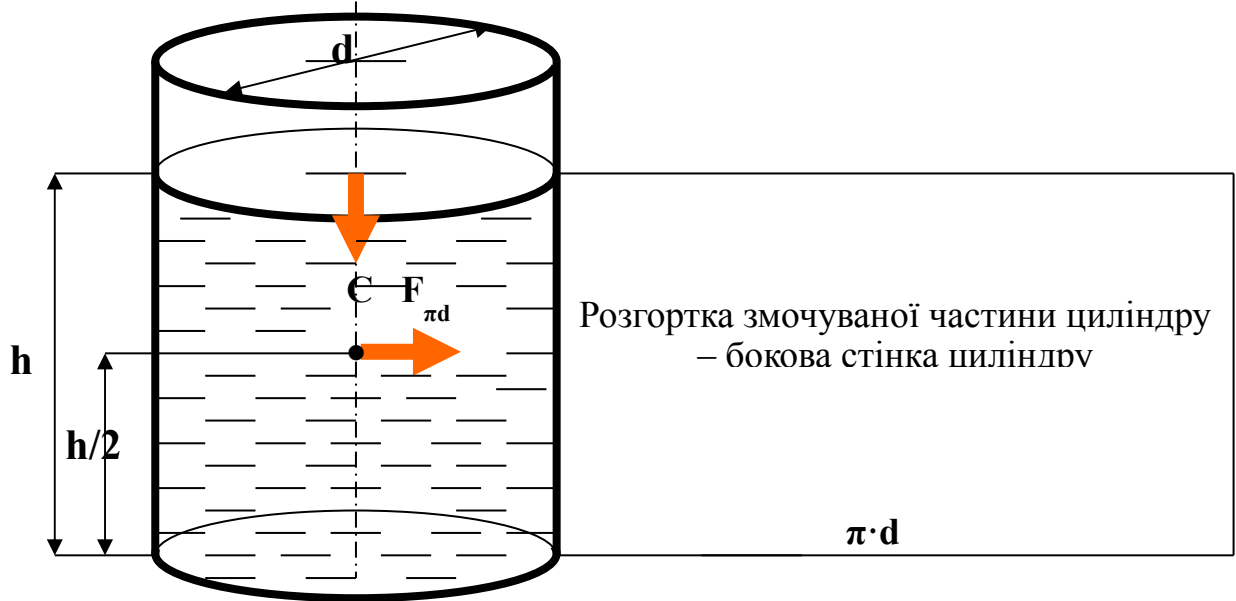
$$F_b = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot b \cdot h = \rho \cdot g \cdot b \cdot (h^2/2) \text{ [Н]}$$

$F_\ell = p \cdot A_\ell \text{ [Н]}$ – сила тиску рідин та газів на бокову стінку ємності, довжиною ℓ ;

$A_\ell = \ell \cdot h \text{ [м]}^2$ – площа змочуваної стінки;

$$F_\ell = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot \ell \cdot h = \rho \cdot g \cdot \ell \cdot (h^2/2) \text{ [Н]}$$

3 Тиск рідин та газів на стінки циліндричної ємності



$F_d = p \cdot A_d \text{ [Н]}$ – сила тиску рідин або газів на днище циліндричної ємності;

$A_d = (\pi \cdot d^2)/4 \text{ [м]}^2$ – площа днища;

$$F_d = \rho \cdot g \cdot h \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \rho \cdot g \cdot V \text{ [Н]}$$

$V = h \cdot (\pi \cdot d^2)/4 = h \cdot A_d \text{ [м]}^3$ – об'єм рідини або газу в циліндричній ємності.

$F_{\pi d} = p \cdot A_{\pi d} \text{ [Н]}$ – сила тиску рідин та газів на бокову стінку;

$A_{\pi d} = \pi \cdot d \cdot h \text{ [м]}^2$ – площа змочуваної стінки довжиною $\pi \cdot d$;

$$F_{\pi d} = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot \pi \cdot d \cdot h = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot d \cdot (h^2/2) \text{ [Н]}$$

Приклад розв'язання задачі 3

а) Прямокутний відкритий резервуар для зберігання об'єму $V = 30 \text{ м}^3$ води. Визначити сили тиску на стінки і днище (ширина $b=3 \text{ м}$, довжина $\ell=5 \text{ м}$) резервуару. Густина води $\rho_{\text{в}}=10^3 \text{ кг/м}^3$.

$$b = 3 \text{ м} \quad \left| \quad h = \frac{V}{b \cdot \ell} = \frac{30}{3 \cdot 5} = 2 \text{ м}; \quad h_{\text{ц.в.}} = h_c = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1 \text{ м}$$

$$\ell = 5 \text{ м} \quad \left| \quad A_{b\ell} = b \cdot \ell = 3 \cdot 5 = 15 \text{ м}^2;$$

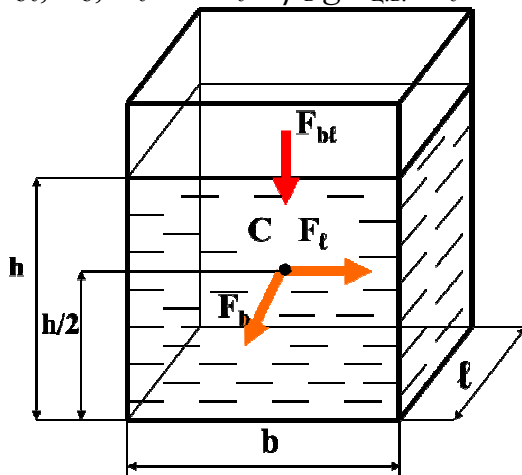
$$\rho_{\text{в.}} = 10^3 \text{ кг/м}^3 \quad \left| \quad A_b = b \cdot h_c = 3 \cdot 2 = 6 \text{ м}^2; \quad A_{\ell} = \ell \cdot h_c = 5 \cdot 2 = 10 \text{ м}^2$$

$$\quad \left| \quad F_{b\ell} = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h \cdot A_{b\ell} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 2 \cdot 15 = 294300 \text{ Н} = 294,3 \text{ кН}$$

$$\quad \left| \quad F_b = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h_{\text{ц.в.}} \cdot A_b = 1000 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 6 = 60860 \text{ Н} = 60,86 \text{ кН}$$

$$\quad \left| \quad F_{\ell} = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h_{\text{ц.в.}} \cdot A_{\ell} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 10 = 98000 \text{ Н} = 98 \text{ кН}$$

$$\frac{V = 30 \text{ м}^3}{F_{b\ell}, F_b, F_{\ell} ?}$$



Висновок. Сила тиску об'єму води на днище резервуару становить 294,3 кН. Сила тиску об'єму води на стінку резервуару шириною $b = 3 \text{ м}$ становить 60,86 кН, на стінку резервуару довжиною $\ell = 5 \text{ м}$ становить 98 кН.

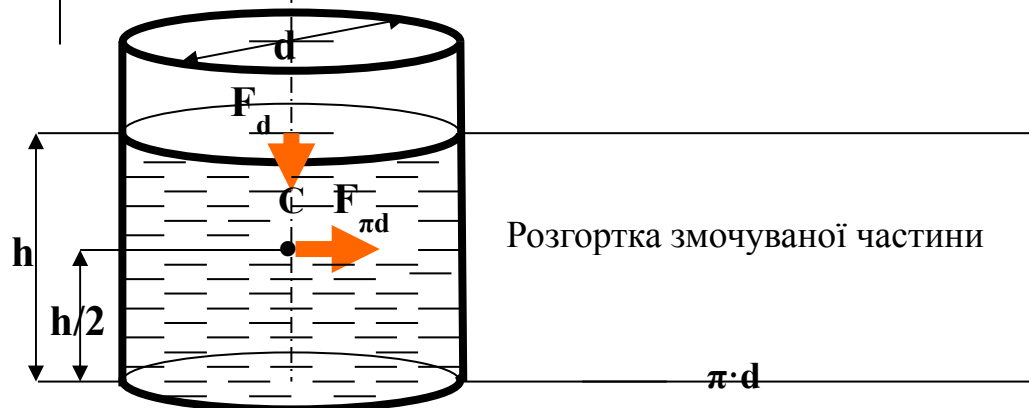
б) Вертикальний циліндричний резервуар ємністю $V = 314 \text{ м}^3$ і висотою $h = 4 \text{ м}$ заповнений водою. Визначити сили тиску води на бокову стінку і дно резервуару. Густина води $\rho_{\text{в}}=10^3 \text{ кг/м}^3$.

$$V = 314 \text{ м}^3 \quad \left| \quad d = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 314}{3,14 \cdot 4}} = 10 \text{ м}$$

$$h = 4 \text{ м} \quad \left| \quad F_{\pi d} = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h_c A_{\pi d} = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot \frac{h^2}{2} \pi \cdot d = 1000 \cdot 9,8 \cdot \frac{4}{2} \cdot 10 \cdot 4 = 78,48 \text{ кН}$$

$$\rho_{\text{в.}} = 10^3 \text{ кг/м}^3 \quad \left| \quad F_d = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h \cdot A_d = \rho_{\text{в.}} \cdot g \cdot h \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 308 \text{ кН}$$

$$\frac{V = 314 \text{ м}^3}{F_{\pi d}, F_d ?}$$



Висновок. Сила тиску об'єму води на днище резервуару становить 308 кН, на бокову стінку резервуару становить 78,48 кН.

Методичні вказівки до розв'язання задачі 4

Теоретична довідка

У розділі гідрогазодинаміка вивчаються закони руху рідини в трубах, каналах, а також твердих тіл, занурених в рідкі та газоподібні речовини.

Оскільки стан рідини, що рухається, характеризується величинами тиску і швидкості в різних точках простору, то задачею гідродинаміки є встановлення взаємозв'язку між вказаними величинами.

З метою спрощення математичних досліджень потік рідини вважають складеним з окремих елементарних струменів, при цьому рідину припускають однакової в'язкості і густини.

Розглянемо деякі основні поняття гідродинаміки.

Живим перерізом A називається переріз, проведений перпендикулярно напрямку стінок потоку або напрямку швидкостей його елементарних струменів.

Під витратами потоку розуміють кількість рідини, що протікає через даний поперечний переріз потоку в одиницю часу. Об'ємні витрати рідини через живий переріз потоку визначається добутком площі живого перерізу на швидкість в даному перерізі. Швидкості руху частинок рідини в даному перерізі припускають рівними v .

Прийнявши вказане припущення, отримаємо рівняння:

об'ємної витрати рідини для потоку $V = v \cdot A \frac{m^3}{c}$;

масової витрати рідини для потоку $m = v \cdot A \cdot \rho \frac{kg}{c}$.

Залежність між **об'ємним і масовим розходом** рідини $m = V \cdot \rho$

При розгляданні руху потоку рідини припускають, що рідина суцільна і в ній неможливе утворення пустот, тобто виконується умова неперервності руху. Уявімо собі всю масу рідини, що рухається в потоці, умовно розділену на ряд окремих струменів, і для одного з них визначимо витрати рідини в двох довільно взятих перерізах.

Виходячи з умови неперервності потоку, можна сказати, що через кожний поперечний переріз струменя в будь-який момент часу проходить одна й та ж масова кількість рідини, тобто в одному перерізі витрати рідини $m_1 = v_1 \cdot A_1 \cdot \rho_1$, а в іншому – $m_2 = v_2 \cdot A_2 \cdot \rho_2$, для суцільної рідини $\rho_1 = \rho_2$.

Відповідно, $V_1 = V_2$ або $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$

$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = \text{const}$ рівняння неперервності елементарного струменю.

Потік. Гідрогазодинаміка розглядає обмежені потоки. Границями потоків являються стінки трубопроводів, каналів, відкрита поверхня рідини, а також поверхні тіл, що омиваються потоком.

Переходячи від елементарного струменя до потоку рідини в цілому, отримаємо $V_1 = V_2$ або $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = V = \text{const}$ рівняння неперервності.

Звідки $\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$ рівняння неперервності потоку – швидкості в

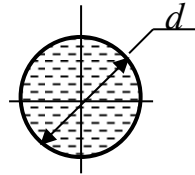
поперечних перерізах потоку обернено пропорційні площі цих перерізів.

Дослідом встановлено, що частинки рідини, що протікає в даній трубі, в залежності від швидкості руху можуть переміщуватись вздовж каналу по паралельним траєкторіям, або цей рух має хаотичний характер зі змішуванням всієї маси рідини.

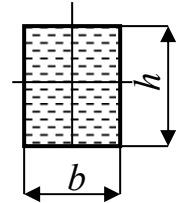
Змочений периметр Π – довжина границі живого перерізу, по якому потік контактує з обмеженням. Геометричний периметр Π' .

$$\Pi \leq \Pi' ; \quad R = \frac{A}{\Pi} - \text{гідрравлічний радіус перерізу.}$$

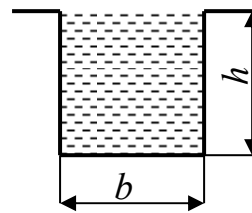
$$\text{Для круглого перерізу} \quad R = \frac{A}{\Pi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}.$$



$$\text{Для прямокутного перерізу} \quad R = \frac{A}{\Pi} = \frac{bh}{2(b+h)}.$$



$$\text{Для каналу} \quad R = \frac{A}{\Pi} = \frac{bh}{b+2h}.$$



3 Режими течії рідини

Рейнольдс встановив два режими течії рідини: ламінарний і турбулентний.

Режим руху рідини, при якому частинки переміщуються по паралельним траєкторіям, називається **ламінарним**.

Режим руху рідини, для якого характерний хаотичний рух частинок, називається **турбулентним**.

Для практичного визначення режиму руху рідини встановлений безрозмірний коефіцієнт, або критерій, який отримав назву числа Рейнольда і який визначається по формулі:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu},$$

де v – середня швидкість руху рідини (м/с);

d – діаметр труби (м);

ρ – густина рідини (кг/м³);

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Н·с/м² → Па·с.

В гідродинаміці широко використовується також коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right]$, тоді формула Re прийме вигляд $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$

Межею переходу одного режиму руху в інший є критичне число Рейнольда $Re_{кр} = 2300$. При $Re < Re_{кр}$ рух ламінарний, при $Re > Re_{кр}$ рух турбулентний.

Ламінарний режим досягається:

- Зменшенням швидкості руху рідини v ;
- Зменшенням діаметру труби d , по якій тече рідина;
- Зменшенням густини ρ рідини.
- Збільшенням динамічної в'язкості μ рідини;

Приклад розв'язання задачі 4

а) Визначити масовий розхід гарячої води в трубопроводі з внутрішнім діаметром $d_{\text{вн.}} = 412$ мм при швидкості води $v = 3$ м/сек і густині $\rho = 917$ кг/м³.

$d_{\text{вн.}} = 412 \text{ мм} = 0,412 \text{ м}$		$V = A v = \frac{\pi d_{\text{вн.}}^2}{4} v = \frac{3,14 \cdot 0,412^2}{4} 3 = 0,4 \text{ м}^3/\text{сек}$
$v = 3 \text{ м/сек}$		
$\rho_{\text{в}} = 917 \text{ кг/м}^3$		
$m ?$		

Висновок. Масовий розхід гарячої води в трубопроводі становить 366,8 кг/сек

б) Визначити число Рейнольдса і кінематичну в'язкість води у водопроводі $d = 200$ мм при швидкості потоку $v = 1$ м/сек. Густина води $\rho = 1000$ кг/м³, динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Па·сек.

$d = 200 \text{ мм}$		$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,2 \cdot 1000}{1,02 \cdot 10^{-3}} = 196078 -$	
$\mu = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{сек.}$			– турбулентний режим
$v = 1 \text{ м/сек}$			$\nu = \mu / \rho = 1,2 \cdot 10^{-3} / 1000 = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$
$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$			
$Re ?$			

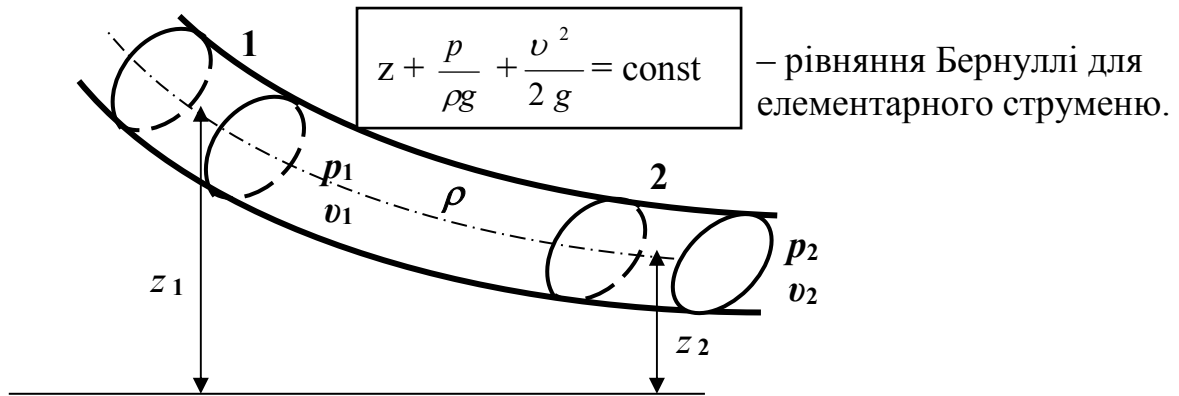
Висновок. Число Рейнольдса становить $Re = 196078 > 2300$, що відповідає $Re > Re_{\text{кр}}$ режиму турбулентного руху.

Кінематична в'язкість води у водопроводі становить $\nu = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$

Методичні вказівки до розв'язання задачі 5

Теоретична довідка

Енергія елементарного струменю



Геометрична суть рівняння Бернуллі в тому, що при певному русі сума складових: швидкісної $\frac{v^2}{2g}$ (кінетична енергія одиниці маси), геометричної z (потенційна енергія одиниці маси) і п'єзометричної $\frac{p}{\rho g}$ (робота зовнішніх сил) не змінюється вздовж елементарного струменю і виражає закон балансу енергії.

Сума цих величин називається повним напором $H = z + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$,

де z – геометричний напір;

$\frac{p_1}{\rho g}$ – п'єзометричний напір;

$\frac{v^2}{2g}$ – швидкісний напір.

Рух рідини у трубопроводі

Для об'єму рідини, що перемістився з положення 1 в положення 2, маємо

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{\text{втр.}}$$

У реальних умовах необхідно враховувати втрати напору від 1 до 2 перерізу потоку $h_{\text{втр.}} = h_{\text{л.}} + h_{\text{м.}} = \frac{V^2 \ell}{K^2}$

$h_{\text{л.}}$ – втрати на опір внутрішньому тертю (лінійні втрати) $h_{\text{л.}} = \lambda_{\text{тр.}} \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2} \rho$;

$h_{\text{м.}}$ – втрати на місцевий опір $h_{\text{м.}} = \zeta \frac{v^2}{2 \cdot g}$;

α – поправочний коефіцієнт (для ламінарного режиму $\alpha = 2$, турбулентного $\alpha = 1,04-1,13$);

K^2 – характеристика розходу рідини, по якій з довідників визначають d трубопроводу при подачі V у м³/сек.

$$V = \sqrt{K^2 \frac{h_{\text{втр.}}}{\ell}}$$

$p_2 = p_1 - h_{\text{втр.}} - (z_1 - z_2)\rho g$ – тиск в кінці трубопроводу

Трубопроводи. Гідравлічний удар

Рух потоку в циліндричних трубах, трубопроводах, широко використовується для переміщення води, масла, нафти, газу, розчинів тощо. Трубопроводи виготовляються із сталі, бетону, резини і т.д.

Прості трубопроводи від точки забору до точки споживача не мають розгалужень. Складні трубопроводи мають основну магістральну трубу і ряд розгалужень в ній.

Гідравлічний розрахунок трубопроводу:

- 1) Визначають втрати напору;
- 2) Визначають розхід рідини при перепаді напору;
- 3) Визначають переріз трубопроводу.

Розглянемо трубопровід з коефіцієнтом опору системи,

втрати напору
$$\Delta H = \frac{p_A - p_B}{\rho g} = z + \zeta_{\text{сист.}} \frac{v^2}{2g},$$

розхід рідини
$$V = vA = \frac{v\pi d^2}{4},$$

переріз трубопроводу
$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi v}}$$

Гідравлічний удар – комплекс явищ, що мають місце в рідині при різкому зменшенні швидкості її потоку.

При різкому перекритті руху рідини в напірному трубопроводі виникає гідравлічний удар, який супроводжується швидким зниженням швидкості і різким збільшенням тиску в магістралі. Підвищення тиску в трубопроводі проходить поступово і супроводжується появою ударної хвилі; вся маса рідини, що знаходиться в трубопроводі, здійснює коливальні рухи, які поступово затухають. Процес затухання коливаний полягає в тому, що ударна хвиля, пройшовши по трубопроводу, доходить до резервуара, де виникає відбита хвиля, яка рухається в зворотному напрямі зі зниженням тиску. Швидкість поширення ударної

хвилі c визначається за формулою
$$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_p \cdot d}{E \cdot \delta}}},$$

де E_p – модуль пружності рідини (Па);

ρ – густина рідини (кг/м³);

E – модуль пружності (модуль Юнга) матеріалу труби (Па);

d – діаметр труби (м);

δ – товщина стінки труби (м).

Час, впродовж якого ударна хвиля проходить від перекриття до резервуара і відбита хвиля – від резервуара до перекриття, називається **фазою**

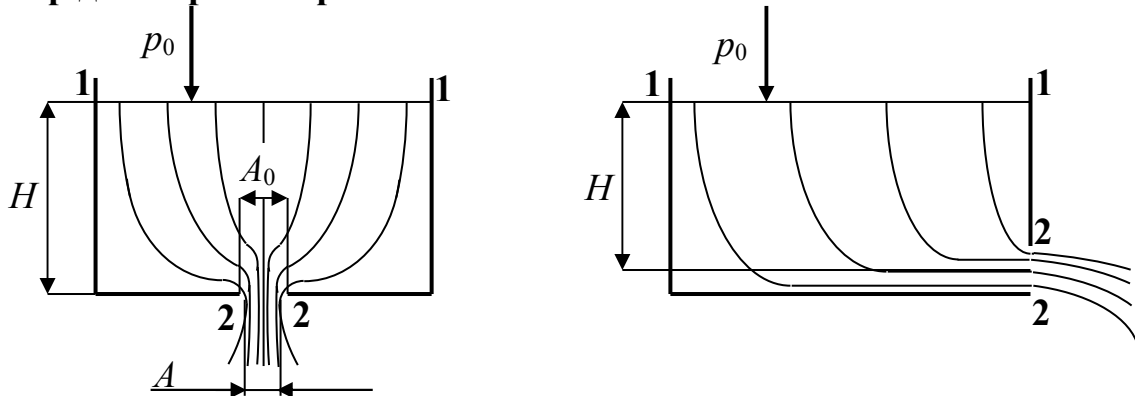
гідравлічного удару і визначається формулою
$$\tau = \frac{2\ell}{c},$$

де ℓ – довжина трубопроводу.

Гідравлічний удар – це небажане і небезпечне явище, яке при відомих обставинах може призвести до руйнування трубопроводу. Щоб виключити або зменшити гідравлічний удар, час перекриття руху рідини повинен бути не менше часу подвійного пробігу ударної хвилі, тобто фази гідравлічного удару.

Значення стрибка тиску Δp при повній зупинці рідини в місці виникнення гідравлічного удару визначають $\Delta p = \rho \cdot c \cdot v$, Па

Витік рідин через отвір



A_0 – площа вихідного отвору 2-2;

p_0 – атмосферний тиск;

$H = z$ – геометричний напір рідини в центрі отвору;

v_0 – швидкість потоку рідини у вихідному отвору.

Рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 та 2-2 $H + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g}$

Швидкість потоку рідини у вихідному отвору $v_0 = \sqrt{2gH}$

Розхід витоку рідини через отвір $V_0 = v_0 A_0 = A_0 \sqrt{2gH}$

Для розрахунку реальної рідини враховують два фактори:

1) вихідний отвір створює місцевий опір витоку, що враховують коефіцієнтом швидкості ψ (для води $\psi = 0,97$) $v = \psi \sqrt{2gH} = \psi v_0$;

2) площа A живого отвору менша за A_0 , що враховують коефіцієнтом стиску струменю α (для води $\alpha = 0,67$) $A = \alpha A_0$

$$V = \alpha \psi A_0 \sqrt{2gH} = \alpha \psi V_0 = \mu V_0,$$

де $\mu = \alpha \psi$ – коефіцієнт розходу.

Витік через насадки та дроселювання рідин і газів

В практиці буває необхідність збільшення коефіцієнту розходу рідини, досягти збереження форми струменю (брандспойт) і т.п. З цією метою в техніці використовують насадки.

Кінетична енергія потоку пропорційна квадрату швидкості течії, тому працездатність потоку тим більша, чим більша швидкість.

Великі швидкості потоку рідини або струменю газу одержують при витоку по каналу змінного перерізу, використовуючи спеціальні насадки – сопла.

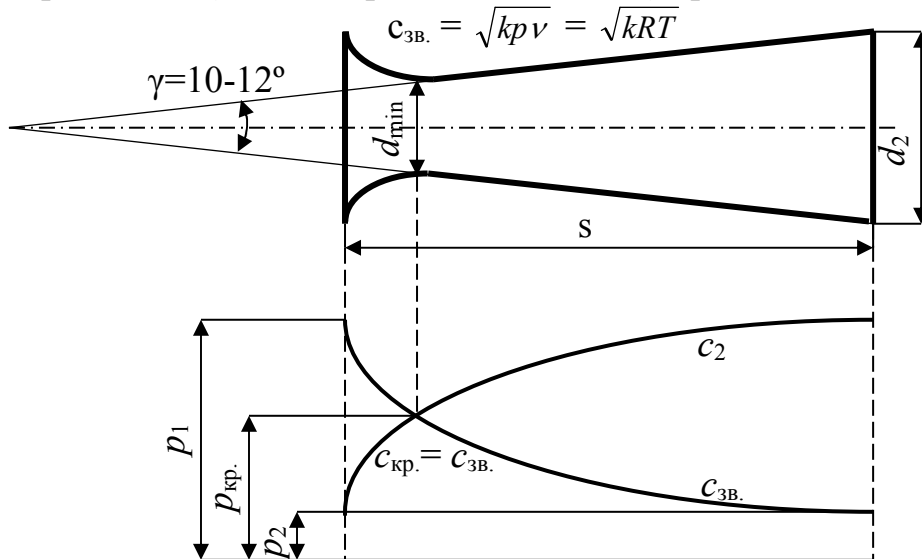
Насадки, що створюють підвищення тиску за рахунок зниження швидкості, називаються **дифузорами**.

При русі газу по соплу тиск падає, а швидкість зростає.

Сопло Лаваля

Для повного використання внутрішньої енергії газу необхідно за соплом одержати надзвукову швидкість, тобто мати тиск $p_2 < p_{кр.}$.

- Використовують комбіноване сопло – сопло Лаваля, складається з:
- стискаюча (до діаметра d_{min} з площею A_{min}) працює як дозвукове сопло,
 - розширювальна (до діаметра d_2 з площею A_2) працює як надзвукове сопло.



У першій частині сопла швидкість не досягає швидкості звуку. У найменшому перерізі A_{min} встановлюється $p_{кр.}$ газу і критична швидкість.

У другій частині газ розширюється, зростає його швидкість та понижується тиск. На виході із сопла витік газу зі швидкістю більше швидкості звуку $c_{газу} > c_{зв.}$ при цьому розхід газу m_{max} залишається постійним.

Збільшити масовий розхід витоку газу через сопло Лаваля можна, збільшивши початковий тиск та мінімальний переріз сопла A_{min} .

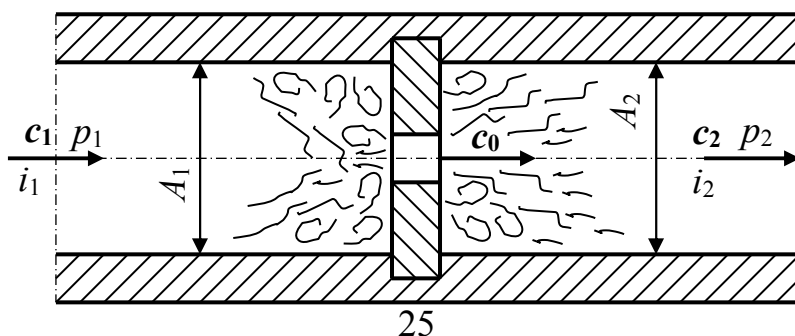
Виток реальних газів проходить з втратами енергії газу на подолання тертя, тому дійсна швидкість менша за теоретичну.

Відношення $\frac{c_D}{c_2} = \varphi$ називається коефіцієнтом швидкості, завжди $\varphi < 1$.

Приймають $\varphi = 0,95$.

Дроселювання потоку газу. Дроселювання – процес зміни стану газу при адиабатичному розширенні в момент проходження його через гідродинамічний опір (дросель).

До гідродинамічного опору відносяться: вентиля, крани, засувки, клапани, звуження трубопроводів та перегородки.



У звуженому отворі діафрагми швидкість газу зростає від c_1 до c_0 , а тиск понижується, як у звичайному процесі витоку через сопло. Після отвору швидкість газу понижується до початкового значення. Тиск p_2 відновлюється тільки частково, що пояснюється втратами енергії на збурення та тертя.

Дроселювання реального газу проходить з пониженням температури.

Насоси. Розрізняють два види гідравлічних машин, які призначені для підйому та переміщення рідких тіл: підйомники та насоси.

Підйомниками називають пристрої для підйому рідин на деяку висоту над якою-небудь горизонтальною площиною – ерліфти і газліфти, які призначені для підйому води, нафти, розчинів, рідин і т. д.

Насосами називають машини, які призначені для переміщення рідин на різні відстані, створюючи розрідження в трубах, яке забезпечує процес всмоктування рідини в трубу.

Насоси широко використовують в усіх галузях народного господарства : в машинобудуванні, металургії, хімічній промисловості, гідромеханізації земляних робіт, в нафтовій промисловості і т. д.

Вимоги до насосів – надійність, довговічність і економічність.

Робота насосу характеризується його подачею V , напором H , висотою всмоктування $h_{всм.}$, потужністю двигуна N та коефіцієнтом корисної дії (ККД) η .

Подача (розхід), $V = vA$, $\frac{м^3}{сек}$ або $\frac{кг}{сек}$

Напір $H = h_{м.} + h_{в.} + \Delta h + \frac{v_{наг.}^2 - v_{всм.}^2}{2g}$, м ст. рідини, що перекачується,

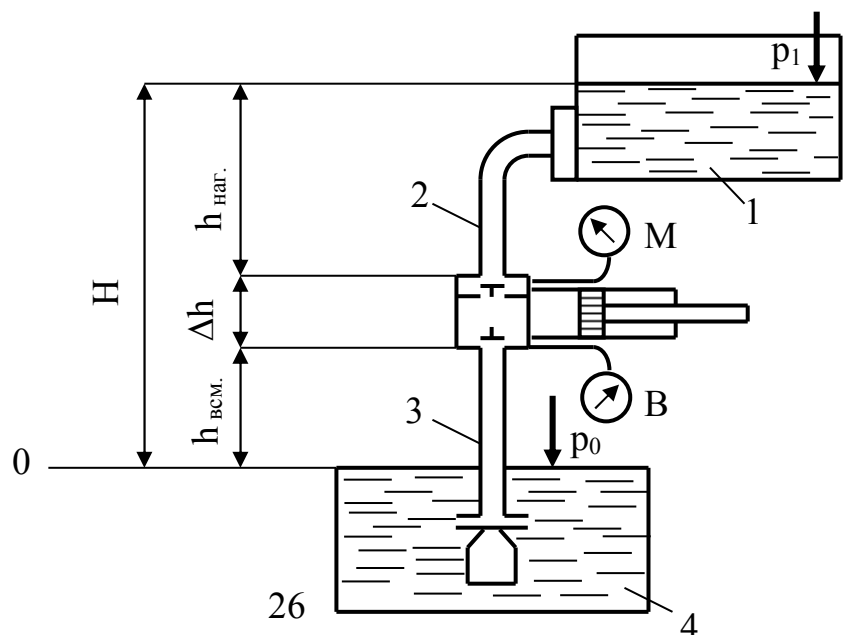
де $h_{ман.}$ – показання манометра М;

$h_{вак.}$ – показання вакуумметра В;

Δh – відстань між точками встановлення манометра і вакуумметра;

$\frac{v_{наг.}^2 - v_{всм.}^2}{2g}$ – різниця швидкісних напорів по трубах.

Щоб перекачати рідину з нижнього резервуару 4 по трубам, що всмоктують 3 і нагнітають 2 у напірний бак 1, двигун має надати енергію рідині, тобто створити напір насосу.



$$\text{Висота всмоктування } h_{\text{всм.}} = h_{\text{вак.}} = \frac{p_{\text{вак.}}}{\rho g};$$

$$h_{\text{ман.}} = \frac{p_{\text{ман.}}}{\rho g}; \quad H = \frac{p_{\text{ман.}} + p_{\text{вак.}}}{\rho g} + \Delta h + \frac{v_{\text{наг.}}^2 - v_{\text{всм.}}^2}{2g}$$

$$\text{Потужністю двигуна } N = \frac{N_{\text{кор.}}}{\eta}, \text{ Вт}$$

де $N_{\text{кор.}} = \eta \rho g V H$, Вт – корисна потужність,

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta=0,6-0,9$ поршневого, $\eta=0,77-0,88$ центрових) насосів.

Для центрових насосів :

- подача пропорційна частоті обертання двигуна насосу

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

- напір та потужність пропорційні квадрату частоти обертання

$$\text{двигуна насосу } \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2.$$

$$\text{Для поршневих насосів подача } V = \eta \frac{A_{\text{порш.}} \cdot S \cdot n \cdot i}{60}, \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$$

де $A_{\text{пор.}}$ – площа поршня, м^2 ;

S – хід поршня, м;

n – частота оберту двигуна, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η – коефіцієнт корисної дії;

i – число циліндрів.

Класифікація насосів

За принципом дії насоси класифікують: – лопаті,
– об'ємні,
– струмкові.

Лопаті – центрові, осьові та вихрові – принцип дії полягає в тому, що лопаті на робочому колесі взаємодіють з потоком рідини, яка їх омиває.

Об'ємні – поршневі і плунжерні, роторні і крильчаті насоси – принцип дії базується на примусовому виштовхуванні певного об'єму рідини з замкнутої камери.

Струмкові – ежектори, інжектори, водо струмкові насоси – принцип дії базується на використанні кінетичної енергії підведеного потоку робочої рідини для її перекачування.

Приклад розв'язання задачі 5

а) Визначити миттєвий сплеск тиску в трубі діаметром $d = 200$ мм при гідравлічному ударі, якщо розхід $V = 200$ м³/год. і швидкості руху ударної хвилі $c = 1200$ м/с. Густина води $\rho = 1000$ кг/м³.

$d = 200$ мм		$v = \frac{V}{A} = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 3600} = 1,77$ м/с
$V = 200$ м ³ /год.		$\Delta p = \rho v c = 1000 \cdot 1,77 \cdot 1200 = 2,16 \cdot 10^6$ Па = 2,16 МПа
$c = 1200$ м/с.		
$\rho = 1000$ кг/м ³		
<hr/>		$\Delta p ?$

Висновок. Миттєвий сплеск тиску при гідравлічному ударі становить 2,16 МПа

б) Визначити потужність насоса, що подає $V = 20$ м³/год, на висоту $H = 100$ м, $\eta = 0,8$.

$V = 20$ м ³ /ГОД.		$N_{\text{кор}} = \rho_v g V H = 1000 \cdot 9,8 \cdot \frac{20}{3600} \cdot 100 = 5,444$ кВт
$H = 100$ м вод.ст.		$N = \frac{N_{\text{кор}}}{\eta} = \frac{5,444}{0,8} = 6,8$ кВт
$\eta = 0,8$		
$\rho_v = 1000$ кг/м ³		
<hr/>		$N ?$

Висновок. Потужність насоса становить 6,8 кВт.

Методичні вказівки до виконання задачі 6

Теоретична довідка

В якості робочого тіла при взаємному перетворенні тепла і роботи приймається газоподібна речовина, яка має добру здібність змінюватись в об'ємі в залежності від температури.

Властивості робочих тіл залежать від їх стану, який характеризується величинами, що називаються **параметрами**.

До основних параметрів відносяться :

- абсолютна температура (T),
- питомий об'єм (v),
- абсолютний тиск ($p_{\text{абс.}}$),
- питома внутрішня енергія (u),
- питома ентальпія (i),
- питома ентропія (s).

Термін «питома» означає параметр віднесений до 1 кг робочого тіла.

Температура характеризує тепловий стан тіла, або середню швидкість руху молекул.

У відповідності з прийнятою в теперішній час міжнародною системою одиниць СІ встановлена основна одиниця для виміру температури: градус Кельвіна (К). Користуються також температурною шкалою Цельсія ($t^{\circ}\text{C}$).

$$T(\text{K}) = t^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}$$

Питомий об'єм – об'єм одиниці маси. $v = \frac{V}{m}$, $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}\right)$

де V – об'єм речовини,

m – маса речовини.

Густина – маса одиниці об'єму $\rho = \frac{m}{V}$, $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$

Тиск – дія газу на стінки посудини, або сила P , яка приходить на одиницю поверхні A , що відчуває удари молекул даного газу.

За одиницю виміру тиску прийнятий такий тиск, який створюється силою 1 Н на поверхню 1 м², $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$, $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$; $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$;

$$p = \frac{P}{A}, \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} (\text{Па})$$

Тиск також вимірюється висотою ртутного стовпа, вага якого врівноважує тиск середовища. $p = \rho \cdot g \cdot h$,

де ρ – густина ртуті, $\rho = 13604,3 \text{ кг/м}^3$ при $t^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{C}$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

h – висота стовпа ртуті, $h = 760 \text{ мм} = 0,760 \text{ м}$.

$$p = 13604,3 \cdot 9,8 \cdot 0,760 = 101325 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} (\text{Па})$$

При вимірі тиску розрізняють абсолютний, надлишковий тиск та тиск розрідження.

Абсолютним тиском $P_{абс.}$ називається дійсний тиск робочого тіла всередині посудини.

Надлишковим тиском $P_{надл.}$ називається різниця між абсолютним тиском в посудині і тиском оточуючого середовища (атмосферне повітря), вимірюється цей тиск манометрами.

Тиск оточуючого середовища, або атмосферний тиск вимірюється барометром і називається барометричним $P_{бар.}$. $P_{абс} = P_{бар} + P_{надл.}$

Абсолютний тиск може бути більше або менше за атмосферний. Якщо надлишковий тиск нижче атмосферного, тоді середовище, що вимірюється, буде мати розрідження або вакуум ($P_{вак.}$) і вимірюється вакууметром. Абсолютний тиск в цьому випадку $P_{абс} = P_{бар} - P_{вак.}$ Розрідження (вакуум) вимірюється приладами, які називаються вакуумметрами.

Нормальні фізичні умови відповідають: $t^{\circ}C = 0^{\circ}C$, $T(K) = 273,15^{\circ}$,
 $p_n = 101325 \text{ Па} = 101,325 \text{ кПа} = 0,101325 \text{ МПа} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$

Питома внутрішня енергія – енергія 1 кг робочого тіла u (Дж/кг).

Повна внутрішня енергія робочого тіла U (Дж) характеризує енергетичний стан робочого тіла і передається від одного тіла до іншого у формі тепла і роботи.

Все тепло підведене або відведене від робочого тіла Q (Дж) являється функцію теплового процесу.

Питоме тепло підведене або відведене від 1 кг робочого тіла q (Дж/кг).

Передача енергії у формі роботи зв'язана з видимим переміщенням робочого тіла.

Повна робота робочого тіла L (Дж) являється функцію теплового процесу. Питома робота – робота 1 кг робочого тіла ℓ (Дж/кг).

Питома ентальпія – ентальпія 1 кг робочого тіла $i = u + p \cdot v$ (Дж/кг).

Ентальпія довільної кількості робочого тіла I (Дж) – параметр, що характеризує потенційну енергію зв'язку робочого тіла з оточуючою середою.

Ентальпія довільної кількості робочого тіла складається з внутрішньої енергії робочого тіла U і величини $p \cdot V$, яка представляє роботу, затрачену на те, щоб ввести робоче тіло об'ємом V в оточуюче середовище з тиском p .

$$I = U + p \cdot V$$

Питома ентропія (s) – величина, зміна якої дорівнює відношенню питомого тепла q до абсолютної температури T , і характеризує кінцеву зміну стану 1 кг робочого тіла.

$$ds = \frac{dq}{T} \text{ (Дж/кг}\cdot\text{К)}$$

Приклад виконання задачі 6

а) Визначити абсолютний тиск газу в резервуарі, якщо ртутний манометр показує надлишковий тиск 300 мм рт. ст., а барометр 750 мм рт. ст. показує атмосферний тиск.

$P_m = 300$ мм рт. ст.	$P_{абс} = P_{бар} + P_{надл.} = P_{бар} + P_m.$	
$P_b = 750$ мм рт. ст.		$P_{абс} = 750 + 300 = 1050$ мм рт. ст. = 0,140 МПа
$P_{абс.} = ?$		Перевід мм рт. ст. → Па $p = \rho \cdot g \cdot h = 13604,3 \cdot 9,8 \cdot 1,050 = 139988,247$ (Па)

Висновок. Абсолютний тиск газу в резервуарі більше атмосферного 1050 мм рт. ст., що становить 0,140 МПа

б) Визначити абсолютний тиск газу в резервуарі, якщо вакуумметр показує розрідження 300 мм рт. ст., а барометр 750 мм рт. ст. показує атмосферний тиск.

$P_v = 300$ мм рт. ст.	$P_{абс} = P_{бар} - P_{надл.} = P_{бар} - P_v.$	
$P_b = 750$ мм рт. ст.		$P_{абс} = 750 - 300 = 450$ мм рт. ст. = 0,060 МПа
$P_{абс.} = ?$		Перевід мм рт. ст. → Па $p = \rho \cdot g \cdot h = 13604,3 \cdot 9,8 \cdot 0,450 = 59994,936$ (Па)

Висновок. Абсолютний тиск газу в резервуарі менше атмосферного 450 мм рт. ст., що становить 0,060 МПа

Методичні вказівки до виконання задачі 7

Теоретична довідка

Гази, у яких відсутні сили зчеплення між молекулами, а об'ємом самих молекул можна знехтувати у порівнянні з повним об'ємом газу, називають ідеальними.

В природі ідеальних газів не існує, і в термодинаміку їх вводять умовно для отримання більш простих розрахункових формул, які визначають властивості робочих тіл.

Основні закони ідеальних газів

Закон Бойля-Маріотта: при сталій температурі $T = \text{Const}$ добуток абсолютного тиску і питомого об'єму газу – величина стала (ізотермічний процес)

$$p \cdot v = \text{Const}$$

Закон Гей-Люссака: при сталому тиску $p = \text{Const}$ питомий об'єм газу змінюється прямо пропорційно зміні абсолютних температур (ізобарний процес)

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Закон Шарля: при сталому питомому об'ємі $v = \text{Const}$ абсолютний тиск змінюється прямо пропорційно зміні абсолютних температур (ізохорний процес)

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

В результаті вивчення властивостей ідеальних газів встановлено, що для будь-якого газу добуток абсолютного тиску на питомий об'єм, поділений на абсолютну температуру газу, є величина стала, тобто

$$\frac{P \cdot v}{T} = \text{const} = R - \text{питома механічна робота має розмірність } \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \text{ і}$$

називається **питомою газовою сталою**.

Рівняння стану ідеального газу – рівняння Клайперона

I форма для 1 кг маси

$$P \cdot v = R \cdot T$$

II форма для маси M кг

$$P \cdot V = M \cdot R \cdot T$$

III форма для молярної маси μ кг / кмоль $P \cdot V_\mu = \mu \cdot R \cdot T$

Закон Авогадро: в рівних об'ємах будь-яких газів ідеальних газів при однакових температурі і тиску має місце однакова кількість n кмолей, маса яких $\mu = \frac{M}{n}$ – молярна маса газу $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

Для кожного ідеального газу визначається своя питома газова стала

$$\mu \cdot R = R_0 = 8314 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} - \text{універсальна газова стала,}$$

Відповідно закону Авогадро при однакових фізичних умовах для будь-яких газів добуток молярної маси газу на його питомий об'єм є величина стала, тобто

$$\mu \cdot v = \text{const} = V_\mu = 22,41 \frac{\text{м}^3}{\text{кмоль}}$$

представляє собою об'єм кмоль газу за нормальних фізичних умов для всіх газів: $t^\circ \text{C} = 0^\circ \text{C}$, $T(\text{K}) = 273,15^\circ$,

$p_n = 101325 \text{ Па} = 101,325 \text{ кПа} = 0,101325 \text{ МПа} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$

Формули визначення питомого об'єму $\text{м}^3/\text{кг}$ (питомої густини $\text{кг}/\text{м}^3$) ідеального газу за нормальних фізичних умов для всіх газів:

$$v = \frac{22,41}{\mu} \text{ м}^3/\text{кг}; \quad \rho = \frac{\mu}{22,41} \text{ кг}/\text{м}^3$$

Газові суміші. Закон Дальтона

Суміш, що складається із декількох ідеальних газів – компонентів – називається газовою сумішшю.

Газові суміші підкоряються тим же законам що і однорідні гази, які входять в суміші.

Кожний газ в суміші веде себе незалежно від інших газів, займає повний об'єм суміші і оказує на стінки посудини свій тиск, який називається **парціальним тиском** – тиском газу, що входить в газову суміш, який мав би газ при даній температурі суміші, займаючи весь її об'єм.

Закон Дальтона: тиск газової суміші дорівнює сумі парціальних тисків газів в суміші $P_{\text{сум.}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$

Будь-яка газова суміш може бути задана або по масі, або по об'єму газів, що в неї входять. Масовою часткою газу, який входить в суміш, називається відношення маси цього газу до маси всієї суміші. Якщо суміш складається з газів, маси яких $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, а маса всієї суміші

$$M_{\text{сум.}} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n, \text{ то масова частка } g_i = \frac{m_i}{M_{\text{сум.}}}$$

$$g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n g_i = 1$$

Під об'ємною часткою газу, який входить в суміш, треба розуміти відношення парціального об'єму газу до об'єму всієї суміші. **Парціальним об'ємом** називається об'єм, який займав би даний газ, знаходячись при тиску і температурі суміші.

На основі закону Дальтона встановлено, що об'єм газової суміші дорівнює сумі парціальних об'ємів всіх газів, що входять в суміш :

$$V_{\text{сум.}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n, \text{ то об'ємна частка } r_i = \frac{V_i}{V_{\text{сум.}}}$$

$$r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i = 1$$

Співвідношення між масовими і об'ємними частинами мають вигляд:

$$r_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum_{i=1}^n g_i / \mu_i}$$

де i – номер компонента газової суміші.

Парціальні тиски газів, що входять в суміш, розраховуються за формулою :

$$P_i = P_{\text{сум.}} \cdot \frac{\mu_{\text{сум.}}}{\mu_i} \cdot g_i$$

Приклад виконання задачі 7

а) Який об'єм займає 1 кг повітря при нормальних умовах (табл. 1)?

$M = 1 \text{ кг}$	$1) P_{\text{н}} \cdot V_{\text{п}} = M \cdot R_{\text{п}} \cdot T; \quad 2) \nu_{\text{п}} = \frac{22,41}{\mu} \text{ м}^3/\text{кг} \quad \mu_{\text{п}} = 28,95 \text{ кг/кмоль}$ $T = 0^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 273^\circ \rightarrow R_{\text{п}} = 287,195 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К} \text{ (табл. 1)}$ $V_{\text{п}} = \frac{M \cdot R_{\text{п}} \cdot T}{P_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 287,195 \cdot 273}{101325} \left[\frac{\text{кг}\cdot\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{К}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}\cdot\text{К}\cdot\text{Н}} \right] = 0,7726 \text{ м}^3$
$t = 0^\circ\text{C}$	
$p_{\text{н}} = 101325 \text{ Па}$	
$V_{\text{п}} = ?$	

Висновок. Об'єм 1 кг повітря за нормальних умовах становить 0,7726 м³ являється питомим об'ємом

б) Газова суміш по масі являє 11% водню і 89% кисню. Визначити об'ємний склад суміші, якщо молярна маса $\mu_{\text{H}_2} = 2,014$; $\mu_{\text{O}_2} = 31,999$ (табл.1).

$g_{\text{H}_2} = 0,11$	$r_i = \frac{V_i}{V}; \quad \sum_{i=1}^n r_i = 1; \quad r_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum_{i=1}^n g_i / \mu_i}$
$g_{\text{O}_2} = 0,89$	
$r_{\text{H}_2} = ?; r_{\text{O}_2} = ?$	$r_{\text{H}_2} = \frac{g_{\text{H}_2} / \mu_{\text{H}_2}}{g_{\text{H}_2} / \mu_{\text{H}_2} + g_{\text{O}_2} / \mu_{\text{O}_2}} = \frac{0,11 / 2,014}{0,11 / 2,014 + 0,89 / 31,999} = 0,663$ $r_{\text{O}_2} = 1 - 0,663 = 0,337$

Висновок. У даній газовій суміші водень займає 66,3% об'єму суміші, а кисень 33,7 %.

Таблиця 1 Значення газової сталої для найбільш поширених газів

Газ	Хімічна формула	Молярна маса, μ , кг/кмоль	Газова стала, R , Дж/(кг·К)
Водень	H ₂	2,016	4124,4
Гелій	He	4003	2077,2
Метан	CH ₄	16,043	518,3
Водяна пара	H ₂ O	18,016	461,5
Азот	N ₂	28,016	296,8
Кисень	O ₂	32,0	259,8
Вуглекислий газ	CO	44,01	189,0
Повітря	-	28,97	287,0

Таблиця 2 Значення густини для найбільш поширених речовин

Рідина або газ	Густина, ρ , кг/м ³
Вода	999
Вода морська	1020
Ртуть	13604
Керосин	680-720
Бензин	680-780
Бензол	900
Нафта	760-900
Касторове масло	970
Спирт етиловий зневоднений	789,3
Повітря	1,188
Кисень	1,312
Гелій	0,614
Азот	1,151
Водяна пара	0,739

Методичні вказівки до виконання задачі 8

Теоретична довідка

Перший закон термодинаміки розглядають як окрему форму закону збереження та перетворення енергії.

Перший закон встановлює, що взаємні перетворення тепла і роботи проходять в еквівалентних кількостях, тобто в **будь-якому термодинамічному процесі кількість енергії, яка передається в формі тепла, дорівнює кількості енергії, що виникла в формі роботи, і навпаки.**

Аналітичне вираження першого закону термодинаміки

$$q = \Delta u + \ell$$

Всі члени цього рівняння за системою СІ в одиницях енергії $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

При використанні довільної маси M кг газу рівняння першого закону термодинаміки прийме вигляд: $Q = \Delta U + L$
і розмірність всіх величин визначається в джоулях – Дж.

Наведемо ще одне формулювання закону: вічний двигун першого роду неможливий, тобто неможливий двигун (машина, що виробляє роботу), який працював би без будь-якого енергетичного впливу ззовні.

Зміна внутрішньої енергії визначається кінетичною складовою і залежить тільки від температури. Тому зміна внутрішньої енергії 1 кг газу при відсутності сил зчеплення в усіх процесах можна визначити:

$$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

або для довільної маси M газу

$$u_2 - u_1 = c_v \cdot M \cdot (T_2 - T_1) \text{ Дж}$$

Для будь-якого стану ідеального газу величина внутрішньої енергії визначається по формулі:

$$u = c_v \cdot T \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Питома ентальпія – від грецького тепломісткість – ентальпія 1 кг робочого тіла i (Дж/кг)

$$i = u + p \cdot v \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (p \cdot v = RT)$$

Ентальпія довільної кількості робочого тіла I (Дж) – параметр, що характеризує потенційну енергію зв'язку робочого тіла з оточуючою середою

$$I = U + p \cdot V$$

Ентальпія довільної кількості робочого тіла складається з внутрішньої енергії робочого тіла U і величини $p \cdot V$, яка представляє роботу, затрачену на те, щоб ввести робоче тіло об'ємом V в оточуюче середовище з тиском p .

Для ідеального газу ентальпія залежить тільки від температури і чисельно дорівнює добутку теплоємності при сталому тиску на абсолютну температуру, тобто:

$$i = c_p \cdot T \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Питома ентропія (s) – величина, зміна якої дорівнює відношенню питомого тепла q до абсолютної температури T (Дж/кг·К) і залежить від стану робочого тіла

$$ds = \frac{dq}{T}$$

Зміна питомої ентропія характеризує кінцеву зміну стану 1 кг робочого тіла

Залежність між параметрами стану при основних термодинамічних процесах

При вивченні процесів в термодинаміці розглядаються часткові випадки, коли один з параметрів робочого тіла являється незмінним.

До таких процесів відносяться:

- ізохорний – при сталому об'ємі ($v = \text{const}$);
- ізобарний – при сталому тиску ($p = \text{const}$);
- ізотермічний – при сталій температурі ($T = \text{const}$);
- адіабатний – без теплообміну з оточуючим середовищем ($Q = 0$).

Крім названих часткових процесів в термодинаміці розглядаються і політропні процеси, в яких проходить одночасна зміна всіх параметрів робочого тіла при наявності теплообміну з зовнішнім середовищем.

Ізохорний процес. Умовою протікання цього процесу є вираз $v = \text{const}$. Тому графічно в координатах p - v процес зобразиться прямою (ізохорою), що паралельна осі p .

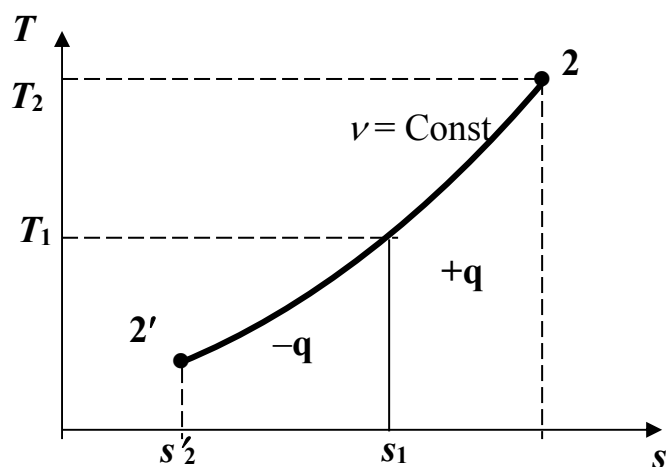
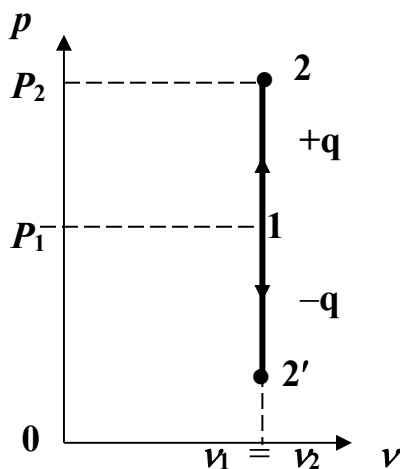
Рівняння ізохорного процесу має вигляд: $\frac{P}{T} = \text{const}; \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

По умовам протікання цього процесу газ не здійснює роботи ($\ell = 0$), відповідно, рівняння першого закону термодинаміки приймає вигляд:

$$q_v = \Delta u = u_2 - u_1$$

Для даного процесу за умови, що він здійснюється для 1 кг газу, рівняння має вигляд: $q_v = c_v (T_2 - T_1)$

В ізохорному процесі $ds = c_v \frac{dT}{T}$



Ізобарний процес. Умовою протікання цього процесу є вираз: $p = \text{const}$.

Рівняння ізобарного процесу: $\frac{v}{T} = \text{const}; \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$

Робота в процесі для 1 кг газу дорівнює: $\ell = p (v_2 - v_1)$

Для довільної маси M кг газу вираз роботи має вигляд :

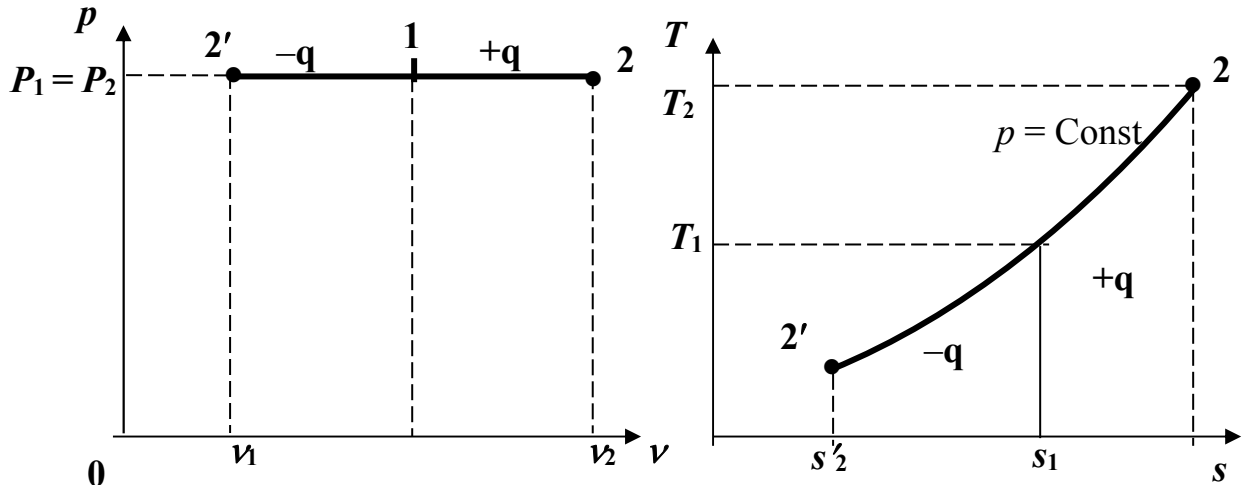
$L = p (V_2 - V_1)$ або $L = M \cdot R (T_2 - T_1)$

Кількість тепла в процесі для 1 кг газу дорівнює :

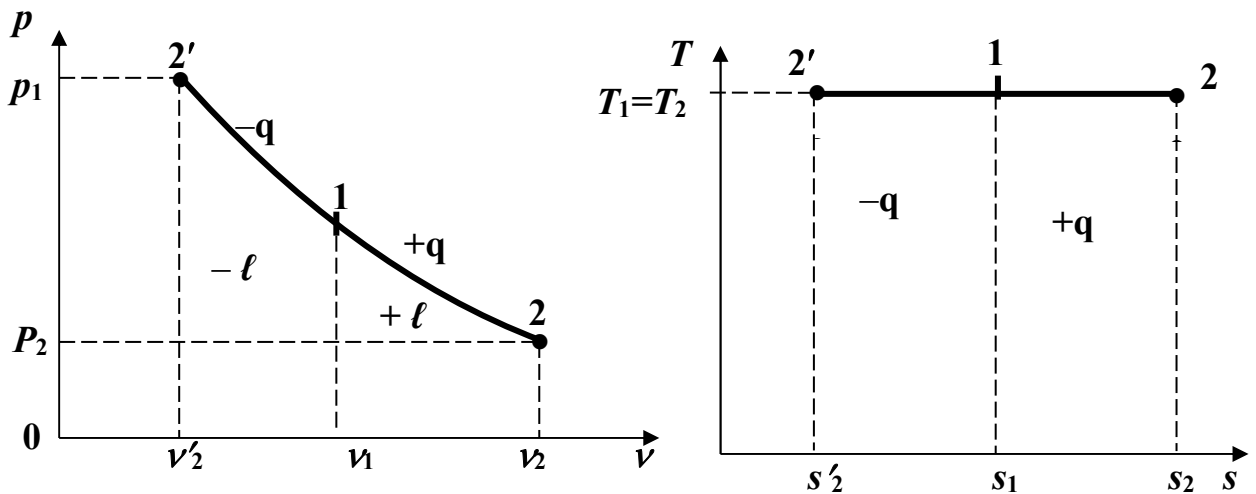
$q_p = (u_2 - u_1) + \ell$

$q_p = c_p (T_2 - T_1)$

В ізобарному процесі $ds = c_p \frac{dT}{T}$



Ізотермічний процес. $T = \text{const}$. Графік процесу в координатах $p-v$ зобразиться кривою ізотермою.



Рівняння процесу має вигляд : $pv = \text{const}$ або $p_1v_1 = p_2v_2$

Роботу в процесі для довільної маси газу можна розрахувати за

формулою: $L = M \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$ Дж

Оскільки в ізотермічному процесі температура газу стала, то стала і внутрішня енергія, що залежить тільки від температури, тобто $u_2 - u_1 = 0$. Відповідно, рівняння першого закону термодинаміки прийме вигляд:

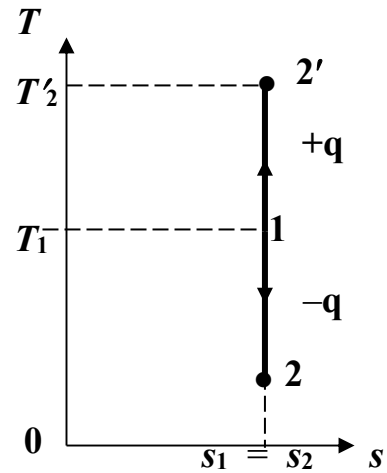
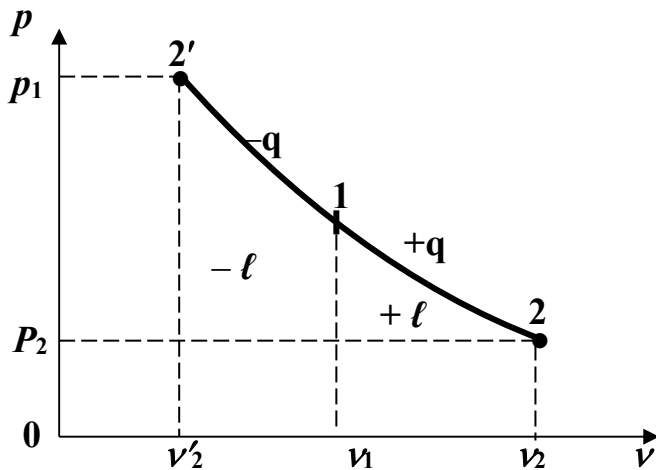
$$q = \ell \quad \text{або} \quad Q = L$$

В ізотермічному процесі $s_2 - s_1 = \frac{q}{T}$

Адіабатичний процес розширення або стиску газу можна здійснити в тому випадку, коли стінки посудини будуть абсолютно нетеплопровідні, тобто при відсутності теплообміну з оточуючим середовищем ($Q = 0$).

Рівняння адіабати має вигляд $pv^\kappa = \text{const}$,

де $\kappa = \frac{c_p}{c_v} > 1$ – показник адіабати.



Робота адіабатичного процесу дорівнює :

$$\ell = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{k-1} \quad \text{або} \quad \ell = \frac{R \cdot (T_1 - T_2)}{k-1}$$

Для довільної маси газу отримаємо

$$L = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{k-1} \quad \text{або} \quad L = \frac{m \cdot R \cdot (T_1 - T_2)}{k-1}$$

Оскільки адіабатичний процес протікає без теплообміну, то $q = 0$, і, відповідно рівняння першого закону термодинаміки прийме вигляд

$$(u_2 - u_1) + \ell = 0 \quad \text{або} \quad \ell = u_1 - u_2$$

Другий закон термодинаміки

Другий закон термодинаміки вивчає умови, при яких проходить перетворення одного виду енергії в інший. Він встановлює певні кількісні співвідношення для процесів довільного розповсюдження теплоти в фізичних тілах.

Другий закон термодинаміки говорить про те, що не все підведене тепло йде на виконання роботи $L = \eta \cdot Q$, де η – коефіцієнт корисної дії теплової машини.

Термічний к.к.д. теплового двигуна $\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$,

де Q_1, q_1, T_1 – підведене тепло, температура;

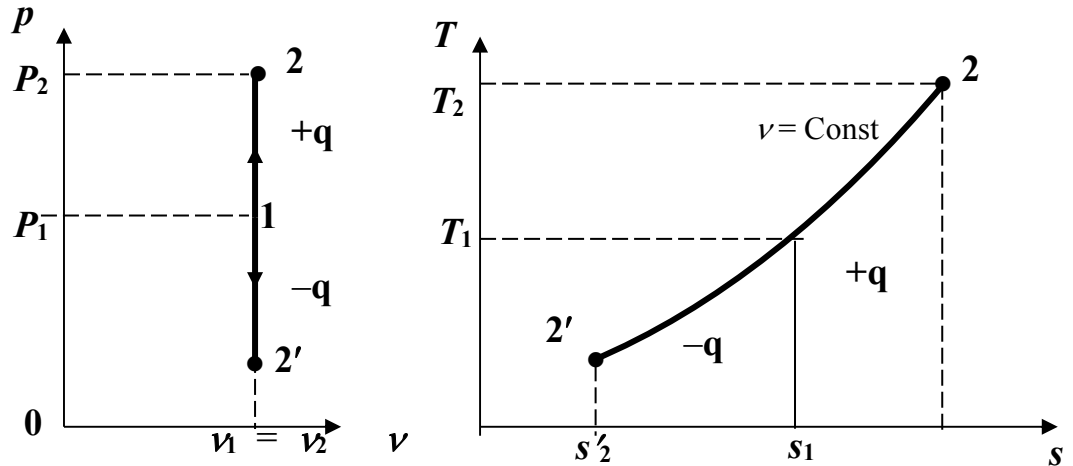
Q_2, q_2, T_2 – відведене тепло, температура.

Коефіцієнт охолодження $\varepsilon_x = \frac{q_2}{q_1 - q_2}$

Приклад виконання задачі 8

а) При ізохорному нагріві 1 кг газу температура змінюється від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 120^\circ\text{C}$. Визначити підведене тепло, якщо коефіцієнт теплоємності газу при сталому об'ємі становить $c_v = 0,716 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

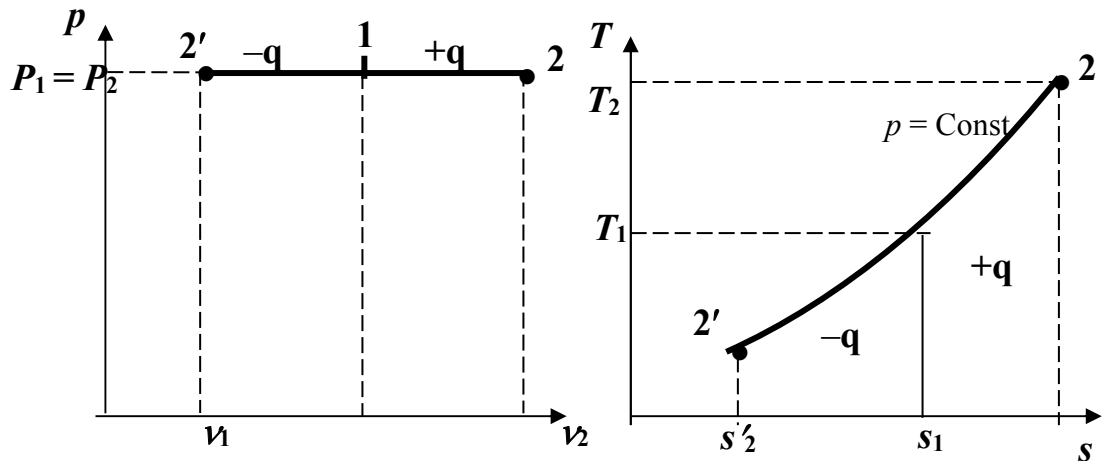
$t_1 = 20^\circ\text{C}$ $t_2 = 120^\circ\text{C}$ $c_v = 0,716 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$ $q = 0,716 \cdot (393 - 293) = 71,6 \text{ кДж}/\text{кг}$
<hr/> $q \text{ ?}$	



Висновок. Для зміни температури 1 кг газу від 20°C до 120°C при сталому об'ємі підведене тепло становить $71,6 \text{ кДж}/\text{кг}$.

б) При ізобарному нагріві 1 кг газу температура змінюється від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 120^\circ\text{C}$. Визначити підведене тепло, якщо коефіцієнт теплоємності газу при сталому тиску становить $c_p = 1,03 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ $t_2 = 120^\circ\text{C}$ $c_p = 1,03 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$ $q = 1,03 \cdot (393 - 293) = 103 \text{ кДж}/\text{кг}$
<hr/> $q \text{ ?}$	



Висновок. Для зміни температури 1 кг газу від 20°C до 120°C при сталому тиску підведене тепло становить 103 кДж/кг.

в) Визначити роботу при використанні палива з теплом згоряння $Q = 40000$ кДж в тепловому двигуні з к.п.д. $\eta = 65\%$.

$Q = 40000$ кДж		$L = \eta \cdot Q$
$\eta = 0,65$		$L = 0,65 \cdot 40000 = 26000$ кДж
$L ?$		

Висновок. При використанні палива з теплом згоряння 40000 кДж робота в тепловому двигуні з к.п.д. $\eta = 65\%$ становить 26000 кДж.

Методичні вказівки до виконання задачі 9

Теоретична довідка

Випаровування – процес утворення пари з води, що проходить тільки з вільної поверхні.

Кипіння – процес утворення водяної пари у всьому об'ємі рідини. Температура, при якій починається процес кипіння, називається температурою кипіння або температурою насичення t_H .

Пара, яка утворюється над поверхнею рідини, що кипить, називається насиченою парою. Насичена пара може бути сухою або вологою.

Суха насичена пара – пара, яка, знаходячись над поверхнею рідини, що кипить, не має крапель рідини.

Волога насичена пара – механічна суміш сухої насиченої пари і рідини, що кипить.

Характеристикою вологої пари є її ступінь сухості x . Ступінню сухості називається частка сухої насиченої пари в вологій парі, тобто відношення маси сухої насиченої пари в вологій парі до маси вологої пари.

Величина $(1-x)$ називається ступінь вологості, або вологістю вологої насиченої пари.

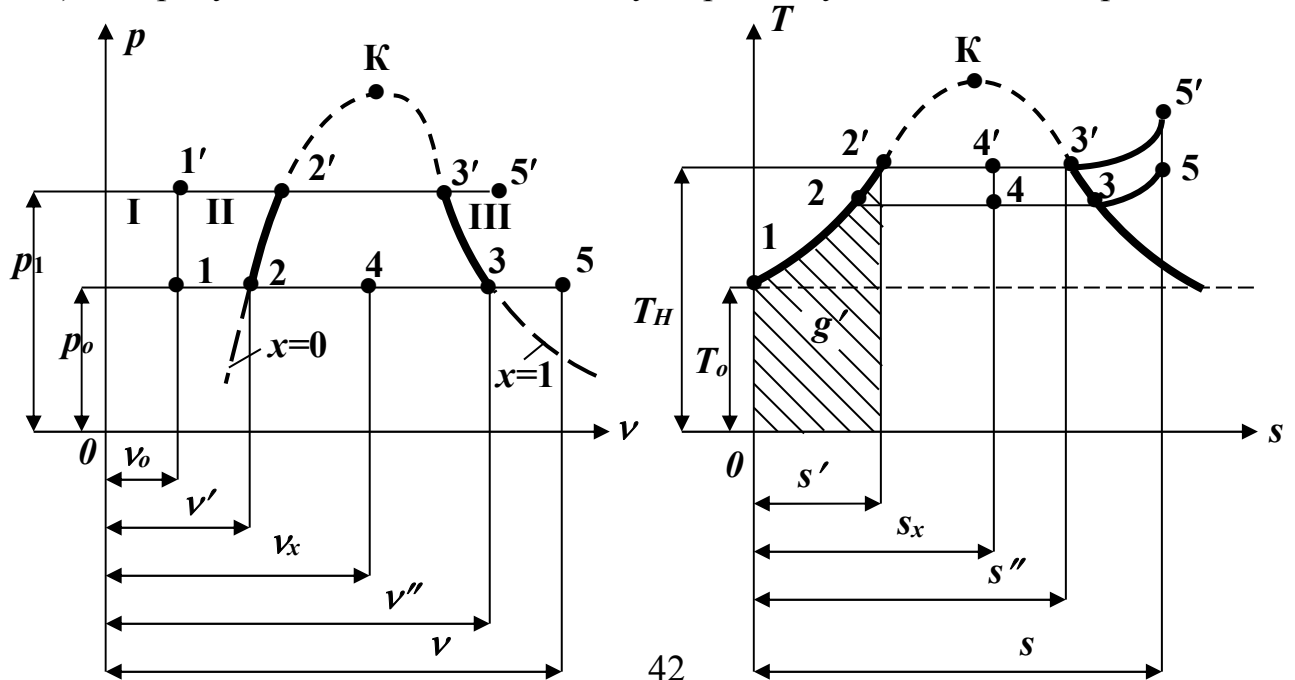
Параметрами, які повністю визначають стан сухої насиченої пари або рідини, що кипить, є температура і тиск.

Перегріта пара – пара, яка має більш високу температуру при даному тиску ніж суха насичена пара.

Процес конденсації, зворотний пароутворенню, – процес переходу пари в рідину.

Процес отримання перегрітої пари можна розбити на три стадії:

- 1) підогрів води до температури кипіння;
- 2) випаровування води, що кипить, і утворення сухої насиченої пари;



3) перегрів сухої насиченої пари.

Нехай 1 кг води, який знаходиться під тиском p_o має температуру T_o . Цей стан води відмітимо точкою **1** на діаграмах $p-v$ і $T-s$.

Точка **2** – початок пароутворення.

Изобара 1-2 – процес підігріву води до стану кипіння.

Точка **3** – закінчення процесу пароутворення (вся вода перетворюється в суху насичену пару).

Проміжок між точками 2 і 3 відповідає стану вологої насиченої пари зі змінною ступінню сухості x .

Точка **5** – довільно обраний стан перегрітої пари.

Изобара 1-2-3-5 представляє собою процес отримання перегрітої пари при сталому тиску p_o із рідини з початковою температурою T_o .

Изобара 1'-2'-3'-5' проведена при тиску $p_1 > p_o$.

Лінія I представляє собою сукупність станів води при температурі T_o (на $T-s$ діаграмі – точка **1**).

Лінія II представляє собою сукупність станів рідини, що кипить. Вона називається лівою граничною кривою, або кривою рідини, що кипить T_H (на $T-s$ діаграмі – лінія 1-2-2'-к).

Лінія III – сукупність станів сухої насиченої пари. Вона називається правою граничною кривою (на $T-s$ діаграмі – лінія 3-3' – к). Ліва і права граничні криві при певних параметрах, які називаються критичними, зустрічаються в точці **К**. Точка **К** називається критичною.

Параметри критичної точки води:

критичний тиск $P_{кр} = 22,129$ МПа;

критична температура $t_{кр} = 374,15^\circ$ С;

критичний питомий об'єм $\nu_{кр} = 0,00326 \frac{м^3}{кг}$.

Між лінією I і лівою граничною кривою знаходиться область рідини (на $T-s$ діаграмі вона майже співпадає з граничною кривою). Між лівою і правою граничними кривими знаходиться область вологої насиченої пари з різною ступінню сухості; за лінією III – область перегрітої пари.

Приклад виконання задачі 9

а) Визначити масу об'єму $V = 4,8 \text{ м}^3$ водяної пари киплячої води при тиску $p = 2,5 \text{ МПа}$, використовуючи табл. 3.

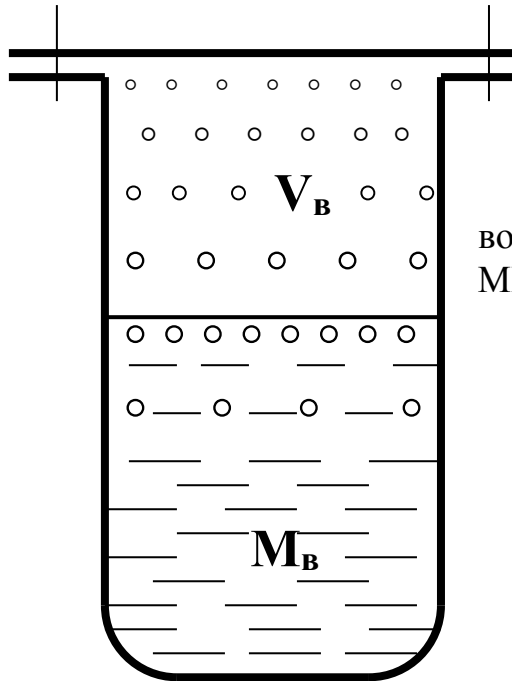
$$V = 4,8 \text{ м}^3$$

$$p = 2,5 \text{ МПа}$$

$$M_B ?$$

Табл. 3 \rightarrow питомий об'єм $v' = 0,0011972 \text{ м}^3/\text{кг}$

$$M_B = \frac{V}{v'} = \frac{4,8}{0,0011972} = 4000 \text{ кг} = 4 \text{ т}$$



Висновок. Маса об'єму $V = 4,8 \text{ м}^3$ водяної пари киплячої води при тиску $p = 2,5 \text{ МПа}$ становить 4 т.

б) Визначити масу сухої пари в котлі об'ємом $V = 10 \text{ м}^3$ і масою води $M = 5 \text{ т}$ при тиску $p = 2,5 \text{ МПа}$, використовуючи табл. 3 .

$$V = 10 \text{ м}^3$$

$$p = 2,5 \text{ МПа}$$

$$M = 5 \text{ т} = 5000 \text{ кг}$$

$$m_{\text{п}} ?$$

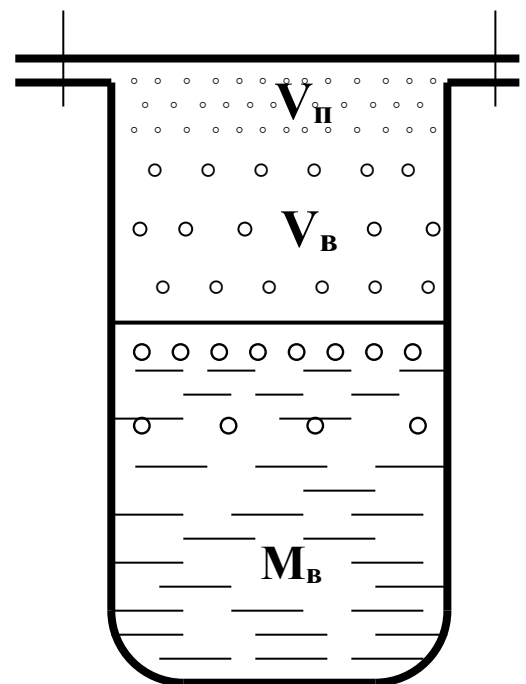
Табл. 3 \rightarrow питомий об'єм $v' = 0,0011972 \text{ м}^3/\text{кг}$
 $v'' = 0,07993 \text{ м}^3/\text{кг}$

$$V_B = M \cdot v' = 5000 \cdot 0,0011972 = 6 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{п}} = V - V_B = 10 - 6 = 4 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{v''} = \frac{4}{0,07993} = 50 \text{ кг}$$

Висновок. У котлі об'ємом $V = 10 \text{ м}^3$ і масою води $M = 5 \text{ т}$ при тиску $p = 2,5 \text{ МПа}$ міститься 50 кг сухої пари.



Таблиця 3 Вода і водяний пар на лінії насичення (по тиску)

p , МПа	t , °С	v' , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	i' , кДж/кг	i'' , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
0,0010	6,92	0,0010001	129,9	29,32	2513	0,1054	8,975
0,0020	17,514	0,0010014	66,97	73,52	2533	0,2609	8,722
0,0030	24,097	0,0010028	45,66	101,04	2545	0,3546	8,576
0,0040	28,979	0,0010041	34,81	121,42	2554	0,4225	8,473
0,0050	32,88	0,0010053	28,19	137,83	2561	0,4761	8,393
0,0100	45,84	0,0010103	14,68	191,9	2584	0,6492	8,149
0,020	60,08	0,0010171	7,647	251,4	2609	0,8321	7,907
0,030	69,12	0,0010222	5,226	289,3	2625	0,9441	7,769
0,050	81,35	0,0010299	3,239	340,6	2645	1,0910	7,593
0,100	99,64	0,0010432	1,694	417,4	2675	1,3026	7,360
0,200	120,23	0,0010605	0,8854	504,8	2707	1,5302	7,127
0,30	133,54	0,0010733	0,6057	561,4	2725	1,672	6,992
0,50	151,84	0,0010927	0,3747	640,1	2749	1,860	6,822
1,00	179,88	0,0011273	0,1946	762,7	2778	2,138	6,587
1,50	198,28	0,0011539	0,1317	844,6	2792	2,314	6,445
2,00	212,37	0,0011768	0,09958	908,5	2799	2,447	6,340
2,50	223,93	0,0011972	0,07993	951,8	2802	2,554	6,256
3,00	233,83	0,0012163	0,06665	1008,3	2804	2,646	6,186
4,00	250,33	0,0012520	0,04977	1087,5	2801	2,796	6,070
5,00	263,91	0,0012857	0,03944	1154,5	2794	2,921	5,973
6,00	275,56	0,0013185	0,03243	1213,9	2785	3,027	5,890
8,00	294,98	0,0013838	0,02352	1317,0	2758	3,208	5,745
10,00	310,95	0,0014521	0,01803	1407,7	2725	3,360	5,615
15,00	342,11	0,001658	0,01035	1610	2611	3,684	5,310
20,00	365,71	0,00204	0,00585	1827	2410	4,015	4,928
22,00	373,7	0,00273	0,00367	2016	2168	4,303	4,591

Примітка. Параметри критичного стану: $t_{кр.} = 374,15^{\circ}\text{C}$;

$p_{кр.} = 22,129$ МПа;

$v_{кр.} = 0,00326$ м³/кг

Методичні вказівки до виконання задачі 10

Теоретична довідка

Теплота передається трьома способами: теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням.

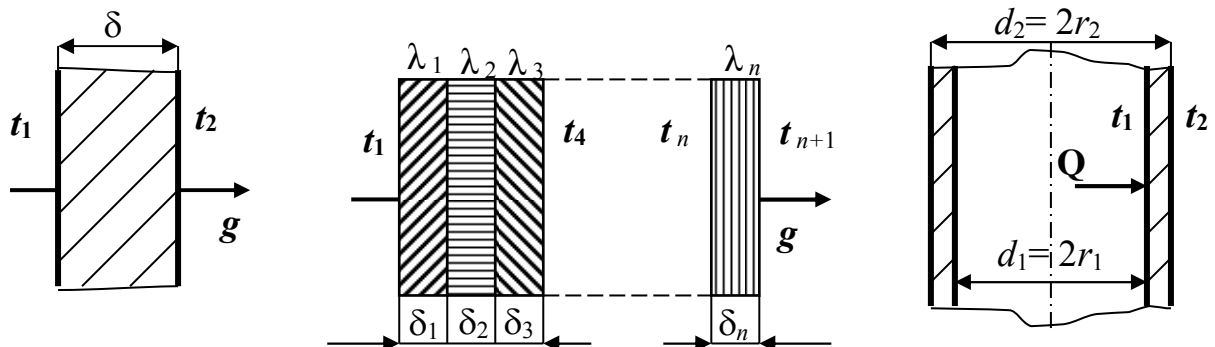
Теплопровідність – процес поширення теплової енергії в твердому тілі при безпосередньому контакті окремих частин тіла, які мають різні температури.

Конвекція – процес переносу енергії при переміщенні рідини або газу із області з одною температурою до області, що має іншу температуру.

Випромінювання (променевий теплообмін) – процес передачі енергії електромагнітними хвилями. Теплообмін випромінюванням представляє собою подвійне перетворення енергії: більш нагріте тіло випромінює енергію у вигляді електромагнітних коливань, інше менш нагріте тіло поглинає енергію і нагрівається.

Теплопровідність – вид теплообміну, при якому перенос теплової енергії в нерівномірно нагрітому середовищі проходить за відсутності макроскопічного руху середовища. В газах передача теплоти теплопровідністю здійснюється молекулами, що хаотично рухаються; в металах – в основному електронами; в діелектриках – внаслідок взаємодії коливань атомів (або молекул), які утворюють кристалічну решітку.

Одношарова стінка товщиною δ з однорідного матеріалу.



На поверхнях стінки підтримуються сталі температури $t_1 > t_2$.

Питомий тепловий потік
$$q = \lambda \frac{(t_1 - t_2)}{\delta} = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності стінки $\frac{W\delta}{i \cdot \hat{E}}$.

Відношення $\frac{\lambda}{\delta}$ – теплова провідність стінки, одиниця якої $\frac{Wm}{m^2 \cdot K}$.

Відношення $\frac{\delta}{\lambda}$ – термічний опір стінки, одиниця якого $\frac{m^2 \cdot K}{Wm}$.

Кількість теплоти Q , що передається через площу поверхні плоскої стінки за час τ , дорівнює:
$$Q = q \cdot A \cdot \tau = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \cdot A \cdot \tau \text{ (Дж)}$$

Для n -шарової стінки $q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$ де $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = R$ термічний опір стінки.

Конвекційний теплообмін

Конвекцією називають процес переносу теплоти при переміщенні мікрочастинок (газу або рідини).

Конвекційний теплообмін між рухомим середовищем і поверхнею, яка відділяє її від іншого середовища (твердого тіла, рідини або газу) називають тепловіддачею.

Тепло Q при конвекційній тепловіддачі, що проходить через поверхню твердого тіла, яке омивається потоком рідини або газу завжди направлено в бік зменшення температури $Q = q \cdot A \cdot \tau = \alpha \cdot A \cdot \tau (t_p - t_{cm})$, (Дж)

де α – коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

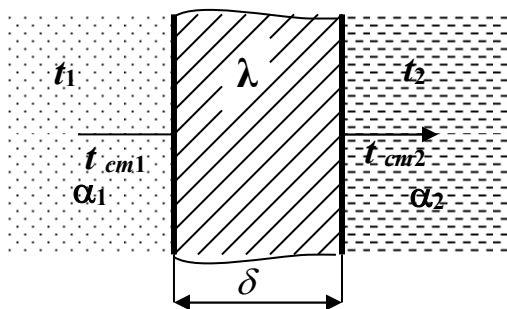
t_{cm} – температура поверхні стінки;

t_p – температура середовища, що омиває поверхню стінки.

Складний теплообмін

Передача тепла від одного теплоносія до іншого через тверду стінку здійснюється на практиці не одним видом теплообміну, а декількома, сукупність яких називають теплопередачею або складним теплообміном.

Густина теплового потоку q , який проходить через стінку від середовища, що гріє до середовища, що нагрівається, дорівнює:



$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Позначимо $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

Тоді $q = k (t_1 - t_2)$

Величина k – приведений коефіцієнт

теплопередачі складного теплообміну.

Величина $\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$ – термічний опір теплопередачі.

Передача тепла випромінюванням – процес передачі тепла від одного тіла до іншого за допомогою електромагнітних хвиль.

Всі тіла мають властивості теплового випромінювання і кожне з них випромінює енергію в оточуючий простір.

Теплові промені, що попадають на тіло Q_0 поглинаються Q_F , відбиваються Q_R та пропускаються крізь тіло Q_D , тобто

$$Q_0 = Q_F + Q_R + Q_D; \quad 1 = F + R + D,$$

де F, R, D – здатність тіла поглинати, відбивати, пропускати промені.

$F = 1$ – тіло повністю поглинає променеву енергію – абсолютно чорне;

$R = 1$ – тіло повністю відбиває променеву енергію – абсолютно біле;

$D = 1$ – тіло повністю пропускає променеву енергію – абсолютно прозоре.

Закон Стефана-Больцмана: потік випромінювання абсолютно чорного тіла прямо пропорційний четвертій ступені його абсолютної температури

$$q_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \frac{Вт}{м^2}$$

$c_0 = 5,67 \frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$ – стала випромінювання абсолютно чорного тіла.

Для сірих тіл питомий тепловий потік $q = c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$,

де $c = c_0 \cdot \varepsilon$ – коефіцієнт випромінювання сірого тіла, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$.

$$\varepsilon = \frac{c}{c_0} < 1 \text{ – ступінь чорноти}$$

Взаємне опромінення тіл паралельними поверхнями:

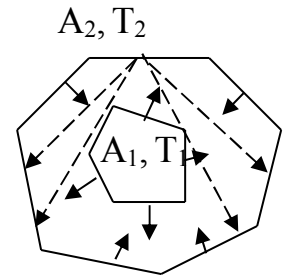
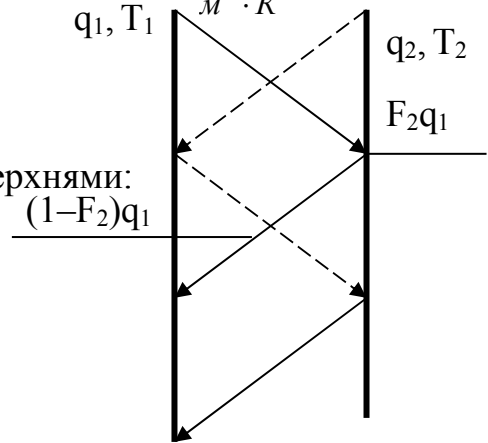
$$Q = c_{пр} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A \cdot \tau, (Дж)$$

$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}} = c_0 \cdot \varepsilon_{пр} = c_0 \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1};$$

Взаємне опромінення тіл поверхнями, розташованими одна в середині іншої:

$$Q = c_{пр} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A, [Вт]$$

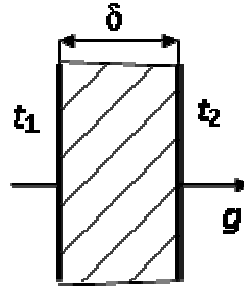
$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0} \right)} = c_0 \cdot \varepsilon_{пр} = c_0 \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$



Приклад виконання задачі 10

а) Визначити питомий тепловий потік через бетонну стінку товщею $\delta = 300$ мм, при внутрішній $t_1 = 15^\circ\text{C}$ і зовнішній поверхні $t_2 = -15^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності бетону $\lambda_{\text{б.}} = 1,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$.

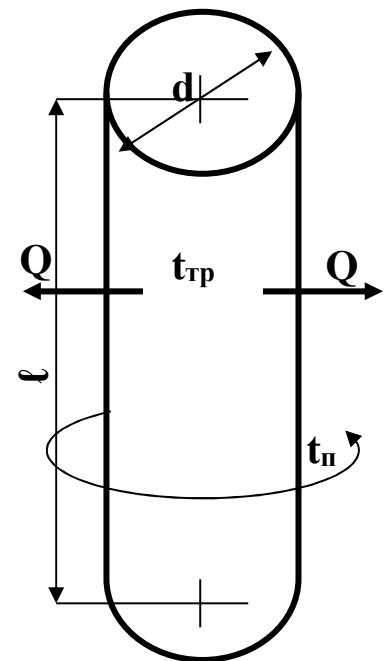
$t_1 = 15^\circ\text{C}$ $t_2 = -15^\circ\text{C}$ $\delta = 300 \text{ мм} = 0,30 \text{ м}$ $\lambda_{\text{б.}} = 1,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$	$q = \lambda_{\text{б.}} \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{\delta} = 1,0 \cdot \frac{15 - (-15)}{0,30} = 100 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$q \quad ?$	



Висновок. Питомий тепловий потік через бетонну стінку становить $100 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

б) Вертикальний неізолюваний трубопровід діаметром $d = 76$ мм і висотою $l = 4$ м омивається повітрям $t_{\text{п}} = 20^\circ\text{C}$. Температура поверхні трубопроводу $t_{\text{тр}} = 60^\circ\text{C}$. Визначити втрату тепла трубопроводом. Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha = 6,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$

$d = 0,076 \text{ м}$ $l = 4 \text{ м}$ $t_{\text{тр}} = 60^\circ\text{C}$ $t_{\text{п}} = 20^\circ\text{C}$ $\alpha = 6,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$	$A = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,076 \cdot 4 = 0,95 \text{ м}^2$ $Q = \alpha \cdot A \cdot (t_{\text{тр}} - t_{\text{п}}) = 6,6 \cdot 0,95 \cdot (60 - 20) = 251 \text{ Вт}$
$Q \quad ?$	

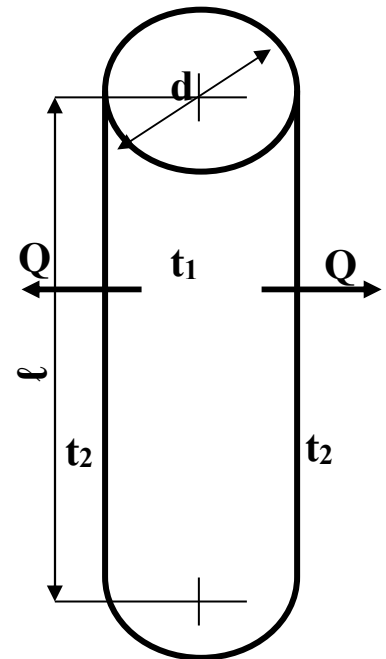


Висновок. Конвекційна втрата тепла трубопроводом становить 251 Вт

в) Визначити теплоту випромінювання $l = 1\text{ м}$ трубопроводу діаметром $d = 25\text{ мм}$, якщо температура його поверхні $t_1 = 110^\circ\text{C}$, а температура приміщення $t_2 = 16^\circ\text{C}$. Прийняти степінь чорноти $0,8$.
 $c_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – стала випромінювання абсолютно чорного тіла.

$l = 1\text{ м}$	$A = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,025 \cdot 1 = 0,0785\text{ м}^2$
$d = 0,025\text{ м}$	$Q = c_0 \cdot \varepsilon \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A$
$t_1 = 110^\circ\text{C}$	$Q = 5,67 \cdot 0,8 \left[\left(\frac{383}{100} \right)^4 - \left(\frac{289}{100} \right)^4 \right] 0,0785$
$= 52\text{ Вт}$	
$t_2 = 16^\circ\text{C}$	$T_1 = (t_1 + 273)\text{ К}$
$c_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$	$T_2 = (t_2 + 273)\text{ К}$
$\varepsilon = 0,8$	
$Q ?$	

Висновок. Теплота випромінювання трубопроводу становить 52 Вт.



Завдання контрольної роботи

Задача 1

а) Сталевий барабан підлягає гідравлічному іспиту під надлишковим тиском 2 МПа. Визначити, яку кількість води додатково до початкового об'єму при атмосферному тиску необхідно подати насосом в барабан, якщо його ємність 10 м³. Модуль пружності води $E = 2 \cdot 10^9$ Па.

б) Як зміниться об'єм води в системі опалення ємністю 100 м³ після нагріву води від 15°C до 95°C? Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води $\beta_t = 0,0006 \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Варіанти задачі 1

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$V_0=3\text{м}^3, \Delta p=2 \text{ МПа}$	$V_0=1,5\text{м}^3, \Delta p=3 \text{ МПа}$	$V_0=2,5\text{м}^3, \Delta p=10 \text{ МПа}$	$V_0=3,5\text{м}^3, \Delta p=9 \text{ МПа}$	$V_0=2\text{м}^3, \Delta p=8 \text{ МПа}$	$V_0=4\text{м}^3, \Delta p=7 \text{ МПа}$	$V_0=3\text{м}^3, \Delta p=6 \text{ МПа}$	$V_0=1,5\text{м}^3, \Delta p=4 \text{ МПа}$	$V_0=2,5\text{м}^3, \Delta p=5 \text{ МПа}$	$V_0=1\text{м}^3, \Delta p=8 \text{ МПа}$	$V_0=3\text{м}^3, \Delta p=7 \text{ МПа}$	$V_0=2,8\text{м}^3, \Delta p=6 \text{ МПа}$	$V_0=3,4\text{м}^3, \Delta p=8,5 \text{ МПа}$	$V_0=3,1\text{м}^3, \Delta p=9 \text{ МПа}$	$V_0=2,9\text{м}^3, \Delta p=10 \text{ МПа}$	$V_0=2,7\text{м}^3, \Delta p=3 \text{ МПа}$	$V_0=2,2\text{м}^3, \Delta p=2 \text{ МПа}$	$V_0=3,2\text{м}^3, \Delta p=3 \text{ МПа}$	$V_0=3,3\text{м}^3, \Delta p=7 \text{ МПа}$	$V_0=3\text{м}^3, \Delta p=8 \text{ МПа}$
б)	$V_0=3\text{м}^3, t_1=2^\circ\text{C}, t_2=22^\circ\text{C}$	$V_0=1,5\text{м}^3, t_1=3^\circ\text{C}, t_2=25^\circ\text{C}$	$V_0=2,5\text{м}^3, t_1=4^\circ\text{C}, t_2=26^\circ\text{C}$	$V_0=3,5\text{м}^3, t_1=1^\circ\text{C}, t_2=7^\circ\text{C}$	$V_0=2\text{м}^3, t_1=0^\circ\text{C}, t_2=30^\circ\text{C}$	$V_0=4\text{м}^3, t_1=6^\circ\text{C}, t_2=20^\circ\text{C}$	$V_0=3\text{м}^3, t_1=1^\circ\text{C}, t_2=24^\circ\text{C}$	$V_0=1,5\text{м}^3, t_1=2^\circ\text{C}, t_2=23^\circ\text{C}$	$V_0=2,5\text{м}^3, t_1=3^\circ\text{C}, t_2=22^\circ\text{C}$	$V_0=1\text{м}^3, t_1=4^\circ\text{C}, t_2=22^\circ\text{C}$	$V_0=3\text{м}^3, t_1=5^\circ\text{C}, t_2=32^\circ\text{C}$	$V_0=2,8\text{м}^3, t_1=6^\circ\text{C}, t_2=30^\circ\text{C}$	$V_0=3,4\text{м}^3, t_1=1^\circ\text{C}, t_2=29^\circ\text{C}$	$V_0=3,1\text{м}^3, t_1=2^\circ\text{C}, t_2=25^\circ\text{C}$	$V_0=2,9\text{м}^3, t_1=3^\circ\text{C}, t_2=34^\circ\text{C}$	$V_0=2,7\text{м}^3, t_1=4^\circ\text{C}, t_2=35^\circ\text{C}$	$V_0=2,2\text{м}^3, t_1=5^\circ\text{C}, t_2=46^\circ\text{C}$	$V_0=3,2\text{м}^3, t_1=6^\circ\text{C}, t_2=27^\circ\text{C}$	$V_0=3,3\text{м}^3, t_1=0^\circ\text{C}, t_2=28^\circ\text{C}$	$V_0=3\text{м}^3, t_1=2^\circ\text{C}, t_2=29^\circ\text{C}$

Задача 2

а) Визначити силу тиску (Н) на поршень діаметром d ртутного стовпа висотою h . Густина ртуті $\rho_p = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

в) Визначити силу виштовхування тіла, площею перерізу A при заглибленні його у воду на висоту h . Густина води $\rho_v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Варіанти задачі 2

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$d = 20 \text{ мм}, h = 0,01 \text{ м}$	$d = 15 \text{ мм}, h = 0,02 \text{ м}$	$d = 10 \text{ мм}, h = 0,03 \text{ м}$	$d = 25 \text{ мм}, h = 0,04 \text{ м}$	$d = 5 \text{ мм}, h = 0,05 \text{ м}$	$d = 8 \text{ мм}, h = 0,06 \text{ м}$	$d = 6 \text{ мм}, h = 0,07 \text{ м}$	$d = 7 \text{ мм}, h = 0,08 \text{ м}$	$d = 4 \text{ мм}, h = 0,09 \text{ м}$	$d = 9 \text{ мм}, h = 0,10 \text{ м}$	$d = 3 \text{ мм}, h = 0,11 \text{ м}$	$d = 2 \text{ мм}, h = 0,12 \text{ м}$	$d = 1,5 \text{ мм}, h = 0,12 \text{ м}$	$d = 11 \text{ мм}, h = 0,14 \text{ м}$	$d = 12 \text{ мм}, h = 0,15 \text{ м}$	$d = 13 \text{ мм}, h = 0,16 \text{ м}$	$d = 14 \text{ мм}, h = 0,17 \text{ м}$	$d = 16 \text{ мм}, h = 0,18 \text{ м}$	$d = 18 \text{ мм}, h = 0,19 \text{ м}$	$d = 17 \text{ мм}, h = 0,07 \text{ м}$
в)	$A = 8 \text{ м}^2, h = 0,1 \text{ м}$	$A = 10 \text{ м}^2, h = 0,01 \text{ м}$	$A = 12 \text{ м}^2, h = 0,02 \text{ м}$	$A = 14 \text{ м}^2, h = 0,03 \text{ м}$	$A = 13 \text{ м}^2, h = 0,05 \text{ м}$	$A = 15 \text{ м}^2, h = 0,06 \text{ м}$	$A = 20 \text{ м}^2, h = 0,07 \text{ м}$	$A = 21 \text{ м}^2, h = 0,08 \text{ м}$	$A = 2 \text{ м}^2, h = 0,09 \text{ м}$	$A = 5 \text{ м}^2, h = 0,1 \text{ м}$	$A = 3 \text{ м}^2, h = 0,11 \text{ м}$	$A = 4 \text{ м}^2, h = 0,12 \text{ м}$	$A = 16 \text{ м}^2, h = 0,13 \text{ м}$	$A = 18 \text{ м}^2, h = 0,14 \text{ м}$	$A = 19 \text{ м}^2, h = 0,15 \text{ м}$	$A = 6 \text{ м}^2, h = 0,16 \text{ м}$	$A = 7 \text{ м}^2, h = 0,17 \text{ м}$	$A = 1 \text{ м}^2, h = 0,18 \text{ м}$	$A = 0,8 \text{ м}^2, h = 0,19 \text{ м}$	$A = 0,9 \text{ м}^2, h = 0,2 \text{ м}$

Задача 3

а) Прямокутний відкритий резервуар для зберігання об'єму $V = 30 \text{ м}^3$ води. Визначити сили тиску на стінки і днище (ширина $b_d=3 \text{ м}$, довжина $l_d=5 \text{ м}$) резервуару. Густина води $\rho_v=10^3 \text{ кг/м}^3$.

б) Вертикальний циліндричний резервуар ємністю V і висотою h заповнений водою. Визначити сили тиску води на бокову стінку і дно резервуару. Густина води $\rho_v=10^3 \text{ кг/м}^3$.

Варіанти задачі 3

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$V = 10 \text{ м}^3, b_d = 2 \text{ м}, l_d = 3 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, b_d = 2,5 \text{ м}, l_d = 4 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, b_d = 3,5 \text{ м}, l_d = 4 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, b_d = 3 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, b_d = 3 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, b_d = 4 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 10 \text{ м}^3, b_d = 2,5 \text{ м}, l_d = 4 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, b_d = 2 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, b_d = 2 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, b_d = 5 \text{ м}, l_d = 6 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, b_d = 2,5 \text{ м}, l_d = 6 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, b_d = 5 \text{ м}, l_d = 8 \text{ м}$	$V = 70 \text{ м}^3, b_d = 6 \text{ м}, l_d = 6 \text{ м}$	$V = 10 \text{ м}^3, b_d = 2 \text{ м}, l_d = 4 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, b_d = 3 \text{ м}, l_d = 3 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, b_d = 2 \text{ м}, l_d = 5 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, b_d = 3 \text{ м}, l_d = 7 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, b_d = 4 \text{ м}, l_d = 10 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, b_d = 5 \text{ м}, l_d = 10 \text{ м}$	$V = 70 \text{ м}^3, b_d = 3 \text{ м}, l_d = 9 \text{ м}$
б)	$V = 10 \text{ м}^3, h = 5 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, h = 4 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, h = 6 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, h = 7 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, h = 8 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, h = 9 \text{ м}$	$V = 10 \text{ м}^3, h = 4 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, h = 5 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, h = 7 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, h = 8 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, h = 9 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, h = 10 \text{ м}$	$V = 70 \text{ м}^3, h = 10 \text{ м}$	$V = 10 \text{ м}^3, h = 6 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3, h = 6 \text{ м}$	$V = 30 \text{ м}^3, h = 7 \text{ м}$	$V = 40 \text{ м}^3, h = 10 \text{ м}$	$V = 50 \text{ м}^3, h = 5 \text{ м}$	$V = 60 \text{ м}^3, h = 6 \text{ м}$	$V = 70 \text{ м}^3, h = 8 \text{ м}$

Задача 4

а) Визначити масовий розхід гарячої води в трубопроводі з внутрішнім діаметром $d_{\text{вн}}$ при швидкості води v і густині води $\rho = 917 \text{ кг/м}^3$.

б) Визначити число Рейнольдса і кінематичну в'язкість води у водопроводі $d_{\text{вн}}$ при швидкості потоку v . Густина води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{сек}$.

Варіанти задачі № 4

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$d_{\text{вн}} = 400 \text{ мм}, v = 2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 212 \text{ мм}, v = 1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 12 \text{ мм}, v = 0,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 112 \text{ мм}, v = 1,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 300 \text{ мм}, v = 1,2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 30 \text{ мм}, v = 1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 50 \text{ мм}, v = 1,3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 100 \text{ мм}, v = 1,7 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 120 \text{ мм}, v = 2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 314 \text{ мм}, v = 3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 628 \text{ мм}, v = 2,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 31,4 \text{ мм}, v = 2,7 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 62,8 \text{ мм}, v = 2,1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 15,7 \text{ мм}, v = 2,8 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 80 \text{ мм}, v = 2,2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 20 \text{ мм}, v = 3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 150 \text{ мм}, v = 3,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 210 \text{ мм}, v = 2,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 110 \text{ мм}, v = 1,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 70 \text{ мм}, v = 0,5 \text{ м/сек}$
б)	$d_{\text{вн}} = 400 \text{ мм}, v = 2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 212 \text{ мм}, v = 1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 12 \text{ мм}, v = 0,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 112 \text{ мм}, v = 1,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 300 \text{ мм}, v = 1,2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 30 \text{ мм}, v = 1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 50 \text{ мм}, v = 1,3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 100 \text{ мм}, v = 1,7 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 120 \text{ мм}, v = 2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 314 \text{ мм}, v = 3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 628 \text{ мм}, v = 2,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 31,4 \text{ мм}, v = 2,7 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 62,8 \text{ мм}, v = 2,1 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 15,7 \text{ мм}, v = 2,8 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 80 \text{ мм}, v = 2,2 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 20 \text{ мм}, v = 3 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 150 \text{ мм}, v = 3,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 210 \text{ мм}, v = 2,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 110 \text{ мм}, v = 1,5 \text{ м/сек}$	$d_{\text{вн}} = 70 \text{ мм}, v = 0,5 \text{ м/сек}$

Задача 5

а) Визначити миттєвий сплеск тиску в трубі діаметром d при гідравлічному ударі, якщо розхід V і швидкості руху ударної хвилі c . Густина води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

б) Визначити потужність насосу, якщо розхід води V , на висоту H , при коефіцієнті корисної дії насосу $\eta = 0,8$.

Варіанти задачі № 5

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$d = 100 \text{ мм}, V = 200 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 125 \text{ мм}, V = 100 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1000 \text{ м/с}.$	$d = 150 \text{ мм}, V = 250 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1100 \text{ м/с}.$	$d = 175 \text{ мм}, V = 150 \text{ м}^3/\text{год}, c = 900 \text{ м/с}.$	$d = 200 \text{ мм}, V = 50 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 225 \text{ мм}, V = 400 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1300 \text{ м/с}.$	$d = 250 \text{ мм}, V = 500 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1400 \text{ м/с}.$	$d = 275 \text{ мм}, V = 200 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1000 \text{ м/с}.$	$d = 300 \text{ мм}, V = 300 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1100 \text{ м/с}.$	$d = 325 \text{ мм}, V = 400 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 350 \text{ мм}, V = 500 \text{ м}^3/\text{год}, c = 900 \text{ м/с}.$	$d = 375 \text{ мм}, V = 450 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 400 \text{ мм}, V = 200 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 100 \text{ мм}, V = 250 \text{ м}^3/\text{год}, c = 800 \text{ м/с}.$	$d = 125 \text{ мм}, V = 350 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1100 \text{ м/с}.$	$d = 150 \text{ мм}, V = 500 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1000 \text{ м/с}.$	$d = 175 \text{ мм}, V = 300 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 200 \text{ мм}, V = 450 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1300 \text{ м/с}.$	$d = 225 \text{ мм}, V = 400 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1200 \text{ м/с}.$	$d = 250 \text{ мм}, V = 200 \text{ м}^3/\text{год}, c = 1100 \text{ м/с}.$
б)	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 5 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 10 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 15 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 2 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 4 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 6 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 8 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 10 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 12 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 14 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 11 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 13 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 9 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 7 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 5 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 3 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 18 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 16 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 15 \text{ м}$	$V = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 12 \text{ м}$

Задача 6

а) Визначити абсолютний тиск газу в резервуарі, якщо ртутний манометр показує надлишковий тиск P_M мм рт. ст., а барометр P_6 мм рт. ст. показує атмосферний тиск.

б) Визначити абсолютний тиск газу в резервуарі, якщо вакуумметр показує розрідження P_B , а барометр P_6 показує атмосферний тиск.

Варіанти задачі 6

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$P_M=250$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=300$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=200$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=400$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=350$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=450$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=500$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=550$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=100$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=150$ мм рт. ст., $P_6=760$ мм рт. ст.	$P_M=50$ мм рт. ст., $P_6=740$ мм рт. ст.	$P_M=600$ мм рт. ст., $P_6=730$ мм рт. ст.	$P_M=650$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.	$P_M=280$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=380$ мм рт. ст., $P_6=760$ мм рт. ст.	$P_M=480$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_M=580$ мм рт. ст., $P_6=740$ мм рт. ст.	$P_M=680$ мм рт. ст., $P_6=730$ мм рт. ст.	$P_M=180$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.	$P_M=270$ мм рт. ст., $P_6=710$ мм рт. ст.
б)	$P_B=600$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_B=500$ мм рт. ст., $P_6=710$ мм рт. ст.	$P_B=400$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.	$P_B=300$ мм рт. ст., $P_6=760$ мм рт. ст.	$P_B=200$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_B=100$ мм рт. ст., $P_6=740$ мм рт. ст.	$P_B=150$ мм рт. ст., $P_6=730$ мм рт. ст.	$P_B=2500$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.	$P_B=350$ мм рт. ст., $P_6=710$ мм рт. ст.	$P_B=450$ мм рт. ст., $P_6=760$ мм рт. ст.	$P_B=550$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_B=270$ мм рт. ст., $P_6=740$ мм рт. ст.	$P_B=170$ мм рт. ст., $P_6=730$ мм рт. ст.	$P_B=370$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.	$P_B=470$ мм рт. ст., $P_6=710$ мм рт. ст.	$P_B=570$ мм рт. ст., $P_6=760$ мм рт. ст.	$P_B=290$ мм рт. ст., $P_6=750$ мм рт. ст.	$P_B=190$ мм рт. ст., $P_6=740$ мм рт. ст.	$P_B=390$ мм рт. ст., $P_6=730$ мм рт. ст.	$P_B=490$ мм рт. ст., $P_6=720$ мм рт. ст.

Задача 7

а) Який об'єм займає маса газу M при нормальних умовах? Питома газова стала R визначаються за таблицею 1.

б) Газова суміш по масі являє g_1 % одного компоненту і g_2 % другого. Визначити об'ємний склад суміші, якщо молярні маси μ компонентів суміші визначаються за таблицею 1.

Варіанти задачі 7

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	2 кг Водень	2 кг Метан	2 кг Водяна пара	2 кг Азот	2 кг Кисень	2 кг Вуглекислий газ	2 кг Гелій	2 кг Повітря	5 кг Водень	5 кг Метан	5 кг Водяна пара	5 кг Азот	5 кг Кисень	5 кг Вуглекислий газ	5 кг Гелій	5 кг Повітря	3 кг Водень	3 кг Метан	3 кг Водяна пара	3 кг Азот
б)	12% водню і 88% кисню	15% вуглець, 85%водень	13% кисень, 87%азот	19% кисень, 81%вуглець	21% водню і 79% кисню	25% вуглець, 75%водень	37% кисень, 63%азот	27% кисень, 73%вуглець	16% водню і 84% кисню	26% вуглець, 74%водень	29% кисень, 71%азот	32% кисень, 68%вуглець	28% водню і 72% кисню	54% вуглець, 46%водень	34% кисень, 66%азот	24% кисень, 76%вуглець	14% водню і 86% кисню	44% вуглець, 56%водень	33% кисень, 67%азот	23% кисень, 77%вуглець

Задача 8

а) При ізохорному нагріві 1 кг газу температура змінюється від t_1 до t_2 . Визначити підведене тепло, якщо коефіцієнт теплоємності повітря при сталому об'ємі становить $c_v = 0,716$ Дж/(кг·К).

б) При ізобарному нагріві 1 кг газу температура змінюється від t_1 до t_2 . Визначити підведене тепло, якщо коефіцієнт теплоємності кисню при сталому тиску становить $c_p = 1,03$ Дж/(кг·К).

в) Визначити роботу при використанні палива з теплом згорання Q в тепловому двигуні з коефіцієнтом корисної дії η .

Варіанти задачі 8

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 220^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 190^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 180^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 170^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 160^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 150^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 140^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 130^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 120^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 220^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 320^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 300^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 120^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 130^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 140^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 150^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 160^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 170^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 180^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 190^\circ\text{C}$																			
б)	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 130^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 140^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 150^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 160^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 170^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 180^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 190^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 120^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 130^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 140^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 150^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 70^\circ\text{C}, t_2 = 220^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 220^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 30^\circ\text{C}, t_2 = 190^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 40^\circ\text{C}, t_2 = 180^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 170^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 50^\circ\text{C}, t_2 = 160^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 60^\circ\text{C}, t_2 = 150^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 10^\circ\text{C}, t_2 = 140^\circ\text{C}$																			
	$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 130^\circ\text{C}$																			
в)	$Q = 40000$ кДж/кг, $\eta = 45\%$																			
	$Q = 36000$ кДж/кг, $\eta = 35\%$																			
	$Q = 20000$ кДж/кг, $\eta = 65\%$																			
	$Q = 50000$ кДж/кг, $\eta = 55\%$																			
	$Q = 24000$ кДж/кг, $\eta = 25\%$																			
	$Q = 57000$ кДж/кг, $\eta = 45\%$																			
	$Q = 48000$ кДж/кг, $\eta = 75\%$																			
	$Q = 29000$ кДж/кг, $\eta = 35\%$																			
	$Q = 38000$ кДж/кг, $\eta = 65\%$																			
	$Q = 45000$ кДж/кг, $\eta = 55\%$																			
	$Q = 52000$ кДж/кг, $\eta = 25\%$																			
	$Q = 60000$ кДж/кг, $\eta = 45\%$																			
	$Q = 44000$ кДж/кг, $\eta = 35\%$																			
	$Q = 25000$ кДж/кг, $\eta = 65\%$																			
	$Q = 17000$ кДж/кг, $\eta = 55\%$																			
	$Q = 77000$ кДж/кг, $\eta = 25\%$																			
	$Q = 62000$ кДж/кг, $\eta = 45\%$																			
	$Q = 32000$ кДж/кг, $\eta = 35\%$																			
	$Q = 23000$ кДж/кг, $\eta = 65\%$																			
	$Q = 35000$ кДж/кг, $\eta = 55\%$																			

Задача 9

а) Визначити масу об'єму V водяної пари киплячої води при тиску p , використовуючи таблицю 3.

б) Визначити масу сухої пари в котлі об'ємом V і масою води M при тиску, використовуючи таблицю 3.

Варіанти задачі 9

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)	$V = 4 \text{ м}^3, p = 8 \text{ МПа}$	$V = 3,6 \text{ м}^3, p = 4 \text{ МПа}$	$V = 2 \text{ м}^3, p = 5 \text{ МПа}$	$V = 5 \text{ м}^3, p = 6 \text{ МПа}$	$V = 2,4 \text{ м}^3, p = 2,5 \text{ МПа}$	$V = 5,7 \text{ м}^3, p = 3 \text{ МПа}$	$V = 4,8 \text{ м}^3, p = 2 \text{ МПа}$	$V = 2,9 \text{ м}^3, p = 1,5 \text{ МПа}$	$V = 3,8 \text{ м}^3, p = 1 \text{ МПа}$	$V = 4,5 \text{ м}^3, p = 8 \text{ МПа}$	$V = 5,2 \text{ м}^3, p = 6 \text{ МПа}$	$V = 6 \text{ м}^3, p = 2 \text{ МПа}$	$V = 4,4 \text{ м}^3, p = 4 \text{ МПа}$	$V = 2,5 \text{ м}^3, p = 5 \text{ МПа}$	$V = 1,7 \text{ м}^3, p = 3 \text{ МПа}$	$V = 7,7 \text{ м}^3, p = 2,5 \text{ МПа}$	$V = 6,2 \text{ м}^3, p = 1 \text{ МПа}$	$V = 3,2 \text{ м}^3, p = 1,5 \text{ МПа}$	$V = 2,3 \text{ м}^3, p = 10 \text{ МПа}$	$V = 3,5 \text{ м}^3, p = 8 \text{ МПа}$
б)	$V=4\text{м}^3, M=2\text{т}, p=8\text{МПа}$	$V=3,6\text{м}^3, M=2\text{т}, p=4\text{МПа}$	$V=2\text{м}^3, M=1\text{т}, p=5\text{МПа}$	$V=5\text{м}^3, M=2,5\text{т}, p=6\text{МПа}$	$V=2,4\text{м}^3, M=1\text{т}, p=2,5\text{МПа}$	$V=5,7\text{м}^3, M=3\text{т}, p=3\text{МПа}$	$V=4,8\text{м}^3, M=2,4\text{т}, p=2\text{МПа}$	$V=2,9\text{м}^3, M=1,5\text{т}, p=1,5\text{МПа}$	$V=3,8\text{м}^3, M=2\text{т}, p=1\text{МПа}$	$V=4,5\text{м}^3, M=2\text{т}, p=8\text{МПа}$	$V=5,2\text{м}^3, M=2,5\text{т}, p=6\text{МПа}$	$V=6\text{м}^3, M=3\text{т}, p=2\text{МПа}$	$V=4,4\text{м}^3, M=2\text{т}, p=4\text{МПа}$	$V=2,5\text{м}^3, M=1,3\text{т}, p=5\text{МПа}$	$V=1,7\text{м}^3, M=1\text{т}, p=3\text{МПа}$	$V=7,7\text{м}^3, M=3,5\text{т}, p=2,5\text{МПа}$	$V=6,2\text{м}^3, M=3\text{т}, p=1\text{МПа}$	$V=3,2\text{м}^3, M=1,5\text{т}, p=1,5\text{МПа}$	$V=2,3\text{м}^3, M=1\text{т}, p=10\text{МПа}$	$V=3,5\text{м}^3, M=2\text{т}, p=8\text{МПа}$

Задача 10

а) Визначити питомий тепловий потік через бетонну стінку товщею δ мм, при внутрішній t_1 °С і зовнішній поверхні t_2 °С. Коефіцієнт теплопровідності бетону $\lambda_6 = 1,0 \frac{Вт}{м \cdot К}$.

б) Вертикальний неізолюваний трубопровід діаметром d мм і висотою l м омивається повітрям $t_{п}$ °С. Температура поверхні трубопроводу $t_{тр}$ °С. Визначити втрату тепла трубопроводом. Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha = 6,6 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

в) Визначити теплоту випромінювання трубопроводу висотою $l=1$ м діаметром d мм, якщо температура його поверхні t_1 °С, а температура приміщення t_2 °С. Прийняти степінь чорноти 0,8.

Варіанти задачі 5

Поз	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
а)																				
б)																				
в)																				
	$\varepsilon=0,8, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=220^\circ$	$\varepsilon=0,9, d=10 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=190^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=30 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=180^\circ$	$\varepsilon=0,7, d=40 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=170^\circ$	$\varepsilon=0,6, d=50 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=60 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=150^\circ$	$\varepsilon=0,7, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=140^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=10 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$\varepsilon=0,9, d=30 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=120^\circ$	$\varepsilon=0,5, d=40 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=220^\circ$	$\varepsilon=0,6, d=50 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=320^\circ$	$\varepsilon=0,9, d=60 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=300^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=120^\circ$	$\varepsilon=0,7, d=10 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=30 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=140^\circ$	$\varepsilon=0,9, d=40 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=150^\circ$	$\varepsilon=0,7, d=50 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$\varepsilon=0,8, d=60 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=170^\circ$	$\varepsilon=0,6, d=70 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=180^\circ$	$\varepsilon=0,5, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=190^\circ$
	$l=2 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=220^\circ$	$l=3 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=190^\circ$	$l=5 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=180^\circ$	$l=4 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=170^\circ$	$l=1 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$l=6 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=150^\circ$	$l=7 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=140^\circ$	$l=8 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$l=1 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=120^\circ$	$l=2 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=220^\circ$	$l=3 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=320^\circ$	$l=4 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=300^\circ$	$l=5 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=120^\circ$	$l=7 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$l=6 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=140^\circ$	$l=4 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=150^\circ$	$l=3 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$l=5 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=170^\circ$	$l=2 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=180^\circ$	$l=6 \text{ м}, d=20 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=190^\circ$
	$\delta=400 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=220^\circ$	$\delta=500 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=190^\circ$	$\delta=600 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=180^\circ$	$\delta=360 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=170^\circ$	$\delta=380 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$\delta=400 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=150^\circ$	$\delta=440 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=140^\circ$	$\delta=260 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$\delta=300 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=120^\circ$	$\delta=320 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=220^\circ$	$\delta=340 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=320^\circ$	$\delta=360 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=300^\circ$	$\delta=400 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=120^\circ$	$\delta=500 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=130^\circ$	$\delta=280 \text{ мм}, t_1=30^\circ, t_2=140^\circ$	$\delta=380 \text{ мм}, t_1=40^\circ, t_2=150^\circ$	$\delta=400 \text{ мм}, t_1=50^\circ, t_2=160^\circ$	$\delta=290 \text{ мм}, t_1=60^\circ, t_2=170^\circ$	$\delta=390 \text{ мм}, t_1=10^\circ, t_2=180^\circ$	$\delta=400 \text{ мм}, t_1=20^\circ, t_2=190^\circ$

Контрольні питання до заліку

- 1 Абсолютний тиск рідких і газоподібних речовин та одиниці його заміру.
- 2 Абсолютна температура.
- 3 Питомий об'єм, питома вага і густина рідких і газоподібних речовин.
- 4 Стискання і газоподібних речовин.
- 7 Поняття в'язкості рідких і газоподібних речовин.
- 8 Динамічний та кінематичний коефіцієнт в'язкості рідких і газоподібних речовин та одиниці їх заміру.
- 9 Сила тиску рідких і газоподібних речовинах.
- 10 Основне рівняння гідростатики. Закон Паскаля.
- 11 Принцип дії гідравлічного пресу.
- 12 Принцип дії гідравлічного акумулятора.
- 13 Принцип дії та основне рівняння сполучених посудин.
- 14 Закон Архімеда.
- 15 Сила тиску на прямокутну стінку резервуару, баку .
- 16 Сила тиску на стінка циліндричного резервуару, котла, труби
- 17 Поняття живого перерізу.
- 18 Об'ємні витрати (подача) та масові витрати (подача) рідини для потоку.
- 19 Рівняння неперервності елементарного струменю.
- 20 Потік , обмежений трубопроводом
- 21 Режимы течії потоку рідин та газів. Число Рейнольдса.
- 22 Геометрична суть рівняння Бернуллі.
- 23 Рівняння Бернуллі для переміщення рідин по трубопроводу в реальних умовах.
- 24 Тиск в кінці трубопроводу.
- 25 Гідравлічний розрахунок трубопроводу: напір, розхід, переріз.
- 26 Гідравлічний удар: ударна хвиля, час тривання і тиск.
- 27 Витік рідин через отвір.
- 28 Визначення розходу витоку та швидкості витоку.
- 29 Витік через насадки – сопла та визначення розходу .
- 30 Сопло Лавалля.
- 31 Дроселювання потоку рідини та газу.
- 32 Принцип дії насосу
- 33 подача V , напір H , висота всмоктування $h_{всм.}$, потужність двигуна N та коефіцієнт корисної дії (ККД) η .
- 34 Принцип дії вентилятора
- 35 Поняття робочого тіла у теплотехніці.
- 36 Параметри стану робочого тіла.
- 37 Абсолютна температура робочого тіла.
- 38 Абсолютний тиск робочого тіла.
- 39 Питомий об'єм і густина робочого тіла.

- 40 *Питома енергія робочого тіла та форми її передачі.*
- 41 *Поняття питомої ентальпії робочого тіла.*
- 42 *Поняття питомої ентропії робочого тіла.*
- 43 *Поняття ідеального газу.*
- 44 *Закон Бойля-Маріотта (ізоермічний процес $T=Const$).*
- 45 *Закон Гей-Люссака (ізобарний процес $P=Const$).*
- 46 *Закон Шарля (ізохорний процес $V=Const$).*
- 47 *Рівняння стану ідеального газу (3 форми вираження).*
- 48 *Суть газової сталої ідеального газу (універсальна газова стала).*
- 49 *Формули визначення питомого об'єму, питомої густини ідеального газу за нормальних фізичних умов для всіх газів.*
- 50 *Поняття газової суміші.*
- 51 *Поняття парціального тиску, об'єму, маси та їх визначення.*
- 52 *Закон Дальтона.*
- 53 *Масова частка суміші.*
- 54 *Об'ємна частка суміші.*
- 55 *Суть першого закону термодинаміки, аналітичне вираження*
- 56 *Рівняння першого закону термодинаміки при ізохорному процесі.*
- 57 *Рівняння першого закону термодинаміки при ізобарному процесі.*
- 58 *Рівняння першого закону термодинаміки при ізоермічному процесі.*
- 59 *Рівняння першого закону термодинаміки при адіабатному процесі.*
- 60 *Суть другого закону термодинаміки, аналітичне вираження*
- 61 *Термічний коефіцієнт корисної дії теплового двигуна.*
- 62 *Шляхи утворення пари.*
- 63 *Волога насичена пара.*
- 64 *Суха насичена пара.*
- 65 *Ступінь сухості і ступінь вологості.*
- 66 *Представити ізобару одержання перегрітої пари при p_0 на $p-v$ і $T-s$ діаграмах та при тисках p_0 - p_K на $p-v$ і $T-s$ діаграмах.*
- 67 *Способи теплопередачі.*
- 68 *Визначення тепла при теплопередачі теплопровідністю.*
- 69 *Теплопровідність n -шарової стінки.*
- 70 *Визначення тепла при теплопередачі конвекцією.*
- 71 *Визначення тепла при теплопередачі складного теплообміну.*
- 72 *Теплопередача випромінюванням.*
- 73 *Визначення тепла, що випромінює абсолютно чорне та сіре тіло.*
- 74 *Визначення тепла при взаємному опроміненні тіл паралельними поверхнями та поверхнями, розташованими одна в середині іншої.*

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

- 1 Ерохия В. Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники / В. Г. Ерохия, М. Г. Маханько. – Москва: Энергия, 1979.
- 2 Чернов А. В. Основы гидравлики и теплотехники / Чернов, Н. К. Бессеребренников, В. С. Силецкий. – Москва: Энергия, 1975.

Додаткова

- 1 Афанасьев В. Н. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче. Учебное пособие. / [В. Н. Афанасьев, А. Л. Афонин, В. И. и др. Под ред. Крутова и др.]. – Москва: Высшая школа, 1988.
- 2 Егорушкин В. Е. Основы гидравлики и теплотехники / В. Е. Егорушкин, Б. И. Цеплович. – Москва: Машиностроение, 1961.

Інформаційні ресурси

- 1 Гідродинаміка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 2 Гідроаеромеханіка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 3 Гідростатика [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 4 Закон Бернуллі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 5 Техническая термодинамика [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
- 6 Закони термодинаміки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 7 Теплообмін [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.