

Практична робота №1. Фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск

Тема: Основні фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск.

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі рідини, її основні фізичні властивості і гідростатичний тиск.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П.Журавель, С.І.Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 3 - 33).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І.Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 3 - 30).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П.Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 3 - 17).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А.Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 3 - 22).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И.Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 5 - 25).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: “Высшая школа”, 1983 – 288 с. (с. 4 - 15).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В.Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 3 - 53).

Теоретична частина

Основні фізичні властивості рідини:

1. *Питома маса (густина) ρ* $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ – визначається для однорідної рідини відношенням маси m до її об'єму :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Густина прісної води при температурі $T = 4^\circ\text{C}$ $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

2. *Питома вага γ* $\left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \right]$ – відношення ваги або сили тяжіння рідини G до її об'єму V :

$$\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}; \frac{\text{кгс}}{\text{м}^3} \right] \quad (2)$$

Питома вага і питома маса зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (3)$$

де g – прискорення вільного падіння.

3. *Об'ємне стиснення* – це зміна об'єму V і питомої маси ρ рідини зі зміною тиску. Об'єм V_p і питому масу ρ_p зі зміною тиску Δp обчислюють за формулами:

$$V_p = V_0(1 - \beta_p \cdot \Delta p), \quad (4)$$

$$\rho_p = \frac{\rho_0}{1 - \beta_p \cdot \Delta p}. \quad (5)$$

де V_0 , ρ_0 – об'єм і питома маса за початкових умов (до стиснення); β_p $[Pa^{-1}]$ – *об'ємний коефіцієнт стиснення*, тобто відносна зміна об'єму при зміні одиниці тиску:

$$\beta_p = \frac{\Delta V}{V_0} \frac{1}{\Delta p} \quad (6)$$

4. *Пружність* – це властивість рідини поновлювати свій об'єм після припинення дії сил. Пружність характеризує *об'ємний модуль пружності* E $[Pa]$ – величина обернена до об'ємного коефіцієнта стиснення

$$E = \frac{1}{\beta_p}. \quad (7)$$

Об'ємний модуль пружності входить в узагальнений закон Гука:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{\Delta p}{E}. \quad (8)$$

Варто зазначити, що формули (4)–(6) можна отримати з закону Гука з врахуванням формули (7).

Об'ємний модуль пружності води $E = 2 \cdot 10^3$ МПа, тобто зі зміною тиску на 0,1 МПа (тобто на одну атмосферу) об'єм води зміниться на 1/20000 частини. Так як приблизно таке ж значення об'ємного модулю пружності мають інші рідини, то їх можна вважати практично нестисливими. Стисливість рідин слід враховувати лише при високих тисках, великих об'ємах та у випадках гідравлічного удару.

5. *Стисливість газів* на відміну від рідин має велике значення. Для ідеального газу (таким можна вважати газ при тиску до 10 МПа) діє закон Клапейрона-Менделєєва:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (9)$$

де p – тиск; V – об'єм; m – маса; T – абсолютна температура; R $\left[\frac{Дж}{моль \cdot К} \right]$ –

універсальна газова стала, M $\left[\frac{кг}{моль} \right]$ – молярна маса, тобто маса одного моля речовини.

Формулу (9) можна записати і наступним чином:

$$pV = mR_g T. \quad (10)$$

де $R_g = \frac{R}{M} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$ – газова стала, значення якої для повітря $R_g = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$,

для природного газу $R_g = 520 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Підставивши формулу (1) в формулу (10) отримаємо

$$p = \rho R_g T \quad \rho = \frac{p}{R_g T} \quad (11)$$

6. *Температурне розширення* – це зміна об'єму і питомої маси рідини зі зміною температури:

$$V_t = V_0(1 + \beta_t \Delta t) \quad (12)$$

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \Delta t} \quad (13)$$

де V_0, ρ_0 – об'єм і питома маса рідини за початкових умов (до процесу розширення); V_t, ρ_t – об'єм і питома маса рідини зі зміною температури на Δt ; β_t – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення – рівний відносній зміні об'єму при зміні температури на 1°C

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \quad (14)$$

7. *В'язкістю* рідини називається властивість реальної рідини чинити опір відносному переміщенню (зрушенню) окремих її часток або шарів при дії зовнішніх сил. Розрізняють динамічну і кінематичну в'язкість. Перша входить в закон рідинного тертя Ньютона, що виражає дотичне напруження τ через поперечний градієнт швидкості $\frac{du}{dy}$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (15)$$

де $\mu \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \text{ або } \text{Па} \cdot \text{с} \right]$ – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Кінематична в'язкість $\nu \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right]$ зв'язана з динамічною співвідношенням

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (16)$$

На в'язкість суттєво впливає температура. Зі збільшенням температури в'язкість рідин зменшується а газів зростає.

У гідравліці для теоретичних міркувань та висновків Л. Ейлер запропонував поняття ідеальної рідини – умовно невязкої рідини, яка не стискається і не розширюється. Насправді ми маємо справу з реальною

рідиною, тобто рідиною з усіма притаманними їй властивостями, що існує.

8. *Випаровуваність рідини* характеризується тиском насиченої пари і залежить від температури.

Тиск насиченої пари – це той абсолютний тиск, при якому рідина закипає при даній температурі. Тобто найменший абсолютний тиск, при якому рідина знаходиться в рідкому стані, рівний тиску насиченої пари $p_{н.п.}$.

Гідростатичний тиск

Гідростатика - це розділ гідромеханіки, у якому вивчаються закони рівноваги рідини й застосування цих законів для рішення практичних задач.

Гідростатичним тиском у точці називається напруга стиску в ній, що дорівнює

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (17)$$

де ΔS – елементарна площа, що містить дану точку;

ΔP – нормальна стискаюча сила, що діє на цю площину.

Гідростатичний тиск спрямований по нормалі до площини, у даній точці в усіх напрямках однаковий, і залежить від положення точки в рідині, що перебуває в спокої.

Одиницею тиску в СІ є паскаль (Па):

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-3} \text{ кПа} = 10^{-6} \text{ МПа}.$$

У додатку Б наведено інші одиниці виміру тиску, що зустрічаються на практиці, та їх співвідношення.

Рівновага рідини описується диференціальними рівняннями Ейлера, у результаті перетворення яких може бути отримане основне рівняння рівноваги в диференціальній формі:

$$dp = \rho \cdot (X \cdot dx + Y \cdot dy + Z \cdot dz), \quad (18)$$

де dp – повний диференціал тиску;

X, Y, Z – проекції прискорення масових сил на координатні осі;

dx, dy, dz – диференціали координат.

Якщо на рідину діє тільки сила ваги й вісь спрямована вертикально нагору, то $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, і після інтегрування рівняння (18) одержуємо основне рівняння гідростатики:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + z = \text{const}, \quad (19)$$

де p – тиск у точці, розташованій на висоті z від горизонтальної площини порівняння 0–0 (рис. 1).

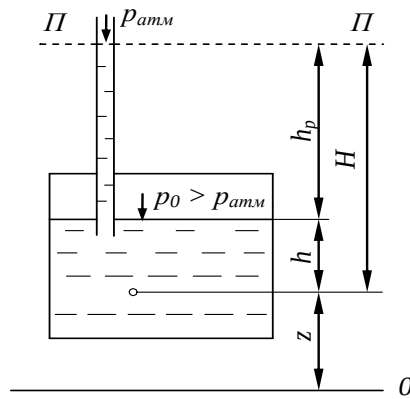


Рис. 1. Схема до визначення (абсолютного) гідростатичного тиску у будь-якій точці рідини

Повний (абсолютний) гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \quad (20)$$

де p_0 – тиск на вільній поверхні рідини;

$\rho \cdot g \cdot h$ – тиск, створюваний стовпом рідини висотою h (h – глибина занурення точки).

Поверхні рівня (поверхні рівного тиску) у розглянутому випадку являють собою горизонтальні поверхні. Дійсно, з рівняння (6.18) при $p = \text{const}$, $dp = 0$, $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, одержуємо $Z = \text{const}$.

Надлишковим або манометричним тиском називається різниця між абсолютним й атмосферним тиском $p_{\text{атм}}$ (рис. 2):

$$p_{\text{ман}} = p_{\text{абс.С}} - p_{\text{атм}}. \quad (21)$$

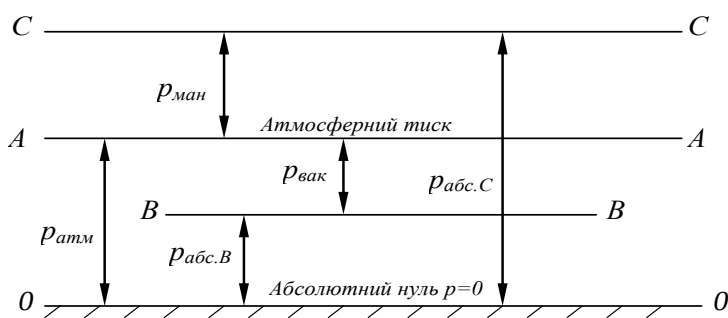


Рис. 2 Схема до обґрунтування видів тиску

Вакуум - це нестача тиску до атмосферного

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} - p_{\text{абс.В}}. \quad (22)$$

Величини

$$h_p = \frac{p_{\text{ман}}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{абс.С}} - p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g}, \quad (23)$$

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{абс.В}}}{\rho \cdot g}, \quad (24)$$

називаються відповідно п'єзометричною і вакуумметричною висотами.

Поверхня *П-П*, у всіх точках якої тиск дорівнює атмосферному, називається п'єзометричною поверхнею. Якщо резервуар відкритий, то п'єзометрична поверхня збігається з вільною поверхнею рідини. Для закритого резервуару п'єзометрична поверхня може розташовуватися й вище вільної поверхні рідини (при $p_0 > p_{\text{атм}}$) і нижче її (при $p_0 < p_{\text{атм}}$). Надлишковий (манометричний) тиск у будь-якій точці рідини

$$p_{\text{ман}} = \rho \cdot g \cdot H, \quad (25)$$

де H – глибина занурення точки під п'єзометричною поверхнею.

Порядок виконання роботи

1. При розв'язуванні задач рекомендується застосовувати форму скороченого запису умови задачі і її розв'язку. Дана форма є універсальною, застосовується при вирішенні задач з фізики і хімії в школі, полегшує студентам розуміння задачі, формує в них системний підхід до розв'язку задач.

2. При вирішенні задач на тему “Рідина, її основні властивості” перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як *питома маса і вага, пружність, температурне розширення, в'язкість, випаровуваність і інші*, знати основні формули, наведені в теоретичній частині.

3. При вирішенні задач на тему “Гідростатичний тиск” перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як *тиск, тиск в точці, одиниці вимірювання тиску, види тиску, п'єзометрична і вакуумметрична висота*, знати основні формули, наведені в теоретичній частині.

4. Необхідно чітко знати одиниці вимірювання величин, що характеризують основні властивості рідини, вміти переводити несистемні одиниці виміру в систему СІ.

5. При вирішенні задач на стиснення і розширення рідини необхідно чітко усвідомити фізичний зміст об'ємного коефіцієнту стиснення і температурного коефіцієнту об'ємного розширення рідини, зокрема того, що початковий об'єм – це об'єм до початку процесу стиснення чи температурного розширення.

6. Необхідно твердо розрізняти тиск абсолютний, надлишковий і вакуум і обов'язково знати зв'язок між тиском, питомою вагою і висотою, що відповідають цьому тиску.

Приклади розв'язку задач

Приклад 1. 5 л нафти важить 4,25 кгс. Визначте її питому масу і питому вагу.

Розв'язання:

Дано:

$$V = 5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$G = 4,25 \text{ кгс} \approx 41,7 \text{ Н}$$

$$g = 9,41 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\rho - ?$$

$$\gamma - ?$$

1. Визначимо питому вагу за формулою:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \gamma = \frac{41,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 8340 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

2. Визначимо питому масу з формули:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g} \quad \rho = \frac{8340}{9,41} \approx 850,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\text{Відповідь: } 850,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; 8340 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Приклад 2. До 5 л антифризу ($\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) долили 5,5 л води, щоб отримати 10,5 л суміші. Визначте питому масу і вагу суміші.

Розв'язання:

Дано:

$$\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

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

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

$$\rho_2 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,41 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\rho - ?$$

$$\gamma - ?$$

1. Визначимо питому масу суміші за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V}$$

$$\rho = \frac{800 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 1000 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3}}{10,5 \cdot 10^{-3}} = 904,76$$

2. Визначимо питому вагу суміші за формулою:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad \gamma = 904,76 \cdot 9,81 \approx 8875,71 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

$$\text{Відповідь: } 904,76 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; 8875,71 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Приклад 3. Визначте об'єм води, який треба додатково подати в трубопровід діаметром 500 мм і довжиною 1 км, щоб підвищити тиск до 5 МПа. Трубопровід підготовлений до гідравлічних випробувань і заповнений водою при атмосферному тиску. Деформацію трубопроводу до уваги не брати.

Розв'язання:

Дано:

$$d = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$$

$$l = 1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$$

$$p_2 = 5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$p_1 = p_{\text{атм}} = 98100 \text{ Па}$$

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

$$\Delta V = ?$$

1. Об'єм, який необхідно подати в трубопровід рівний різниці початкового V_1 (об'єму до стиснення) і кінцевого V_2 об'ємів:

$$\Delta V = V_1 - V_2$$

2. Об'єм V_2 рівний об'єму трубопроводу:

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} l$$

3. Об'єм V_1 знаходимо з формули

$$V_2 = V_1(1 - \beta_p \Delta p)$$

де $\Delta p = p_2 - p_1$

$$V_2 = \frac{V_1}{1 - \beta_p(p_2 - p_1)}$$

4. Отримаємо:

$$\Delta V = \frac{\pi d^2 l}{4} \frac{\beta_p(p_2 - p_1)}{1 - \beta_p(p_2 - p_1)}$$

$$\Delta V = \frac{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 10^3}{4} \frac{5 \cdot 10^{-10} \cdot (5 \cdot 10^6 - 98100)}{1 - 5 \cdot 10^{-10} \cdot (5 \cdot 10^6 - 98100)} \approx 0,482 \text{ м}^3$$

Відповідь: $0,482 \text{ м}^3$.

Приклад 4. Обчисліть різницю тиску у резервуарах A і B (рис.3), заповнених водою. Різниця рівнів ртуті в диференціальному манометрі

$h = 50 \text{ мм}$. Питома маса ртуті $\rho_2 = 13000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, води $\rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

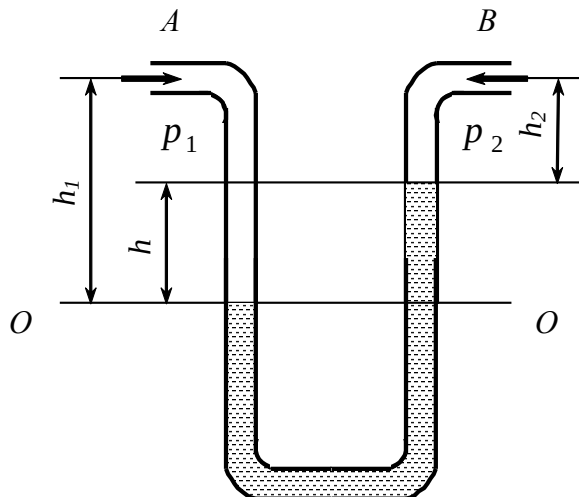


Рис. 3 Схема до прикладу 4

Розв'язання:

Дано:
 $h = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$

$$\rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_2 = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$\Delta p = ?$

1. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня $O-O$ для лівого коліна :

$$p = p_1 + \rho_1 g h_1 \quad (1)$$

2. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня $O-O$ для правого коліна :

$$p = p_2 + \rho_1 g h_2 + \rho_2 g h \quad (2)$$

3. Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2) отримаємо:

$$p_1 + \rho_1 g h_1 = p_2 + \rho_1 g h_2 + \rho_2 g h$$

Звідки

$$\Delta p = p_1 - p_2 = g h (\rho_2 - \rho_1)$$

$$\Delta p = 9,81 \cdot 0,05 \cdot (13600 - 1000) = 6180,3 \text{ Па}$$

Відповідь: 6180,3 Па

Приклад 5. Закритий резервуар заповнено водою до висоти $h_2 = 50 \text{ см}$

а вище – до висоти $h_1 = 30 \text{ см}$, – маслом з питомою масою $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Визначити повний тиск на поверхні масла, якщо рівень ртуті в трубці (рис. 4) нижчий від рівня масла в резервуарі на $h = 40 \text{ см}$.

Розв'язання:

Дано:

$$h_2 = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

$$h_1 = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$h = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$$\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_2 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_3 = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$p_{\text{атм}} = 98000 \text{ Па}$$

$p_{\text{абс}} = ?$

1. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня $O-O$ для баку, заповненого водою і маслом :

$$p = p_{\text{абс}} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 \quad (1)$$

2. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня $O-O$ для трубки з ртуттю:

$$p = p_{\text{атм}} + \rho_3 g h' \quad (2)$$

де $h' = h_1 + h_2 - h$

3. Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2) отримаємо:

$$p_{\text{абс}} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = p_{\text{атм}} + \rho_3 g (h_1 + h_2 - h)$$

Звідки

$$p_0 = p_{\text{атм}} + \rho_3 g (h_1 + h_2 - h) - \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2$$

$$p_0 = 98100 + 13600(0,3 + 0,5 - 0,4) - 800 \cdot 9,81 \cdot 0,3 -$$

$$-1000 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 144207 \text{ Па}$$

Відповідь: 144207 Па

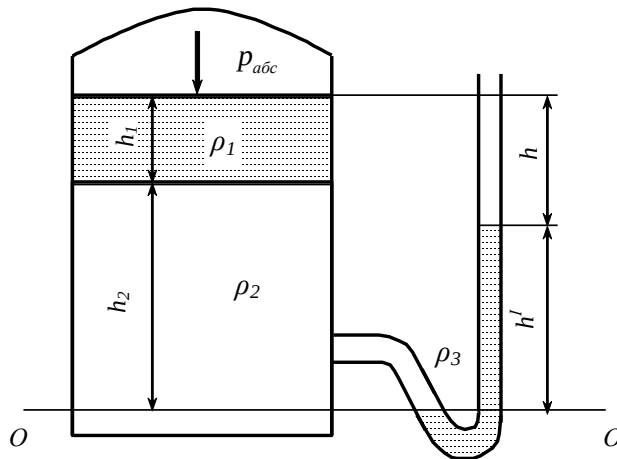


Рис.4 Схема до прикладу 5

Приклад 6. Визначити надлишковий тиск в трубці B , якщо покази манометра $p_m = 0,025 \text{ МПа}$, з'єднувальна трубка заповнена водою і повітрям, як показано на рисунку 5, причому $H_1 = 0,5 \text{ м}$, $H_2 = 3 \text{ м}$, $H_3 = 5 \text{ м}$. Як зміняться покази манометра, якщо при тому ж тиску в трубці всю з'єднувальну трубку заповнити водою.

Розв'язання:

Дано:

$$p_m = 0,025 \text{ МПа} = 25000 \text{ Па}$$

$$H_1 = 0,5 \text{ м}$$

$$H_2 = 3 \text{ м}$$

$$H_3 = 5 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$p_B = ?$$

$$p_m = ?$$

1. Визначимо тиск в точці 1 рідини:

$$p_1 = p_m - \rho g H_1$$

2. Тиск з точки 1 передається в точку 2 $p_2 = p_1$.

3. Тиск в трубці B визначимо з основного рівняння гідростатики:

$$p_B = p_2 + \rho g H_2 = p_m + \rho g (H_2 - H_1)$$

$$p_B = 25000 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (3 - 0,5) =$$

$$= 49525 \text{ Па} \approx 0,05 \text{ МПа}$$

1. Визначимо тиск p_m при випущеному повітрі:

$$p_m = p_B - \rho g H_3$$

$$p_m = 49525 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 = 475 \text{ Па}$$

Відповідь: $0,05 \text{ МПа}$, 475 Па .

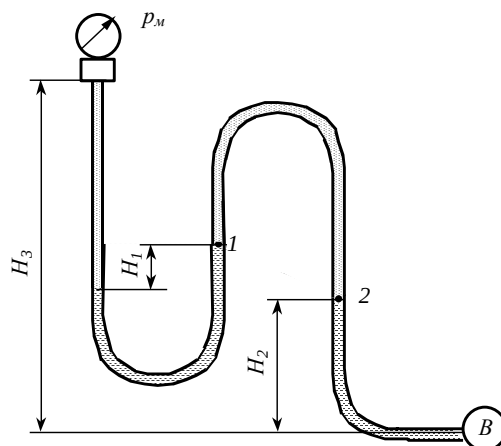


Рис.5 Схема до прикладу 6

Задачі для самостійного розв'язування

1. У системі опалювання (котел, радіатор і трубопроводи) будинку вміщується $0,4 \text{ м}^3$ води. Скільки води увійде додатково в систему при охолодженні від 90 до 20°C ?
2. В баку міститься 40 л бензину автомобільного при температурі 0°C . На скільки збільшиться об'єм бензину при підвищенні температури до 20°C .
3. Масло міститься під атмосферним тиском у масивному товстостінному циліндрі з внутрішнім діаметром 20 мм і довжиною 5 м . Визначте зміну об'єму масла з підвищенням тиску в циліндрі до 20 МПа . Модуль пружності масла $1,33 \cdot 10^6 \text{ кПа}$. Деформацією стінок і атмосферним тиском знехтувати.
4. З метою перевірки герметичності підземного трубопроводу довжиною 500 м і діаметром 100 мм ручним поршневым насосом накачують у нього воду до надлишкового тиску 1 МПа . Вважаючи трубопровід абсолютно жорстким, обчисліть надлишковий об'єм води, який потрібно подати в трубопровід.
5. Вода міститься під атмосферним тиском у масивному товстостінному циліндрі з внутрішнім діаметром 40 мм і довжиною 3 м . Визначте зміну об'єму води з підвищенням тиску в циліндрі до 20 МПа . Модуль пружності води $2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.
6. Каністра заповнена бензином нагрілася на сонці до температури 50°C . На скільки підвищився б тиск в середині каністри, якби вона була абсолютно жорсткою? Початкова температура бензину 20° . Модуль об'ємної пружності рівний $E = 1300 \text{ МПа}$, температурний коефіцієнт об'ємного розширення $8 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$.
7. Визначте відносну зміну питомої маси води внаслідок її нагрівання від 7 до 97°C (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $4 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$).
8. Визначте відносну зміну питомої маси бензину внаслідок його нагрівання від 4 до 68°C (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$).
9. Обчисліть зміну питомої маси води внаслідок її стиснення від тиску 10^5 до 10^7 Па .
10. Обчисліть зміну питомої маси гасу внаслідок його нагрівання від 15 до 60°C .
11. В U-подібну трубку наливо воду і бензин (рис.6). Визначити питому масу бензину, якщо $h_6 = 500 \text{ мм}$, $h_8 = 350 \text{ мм}$.

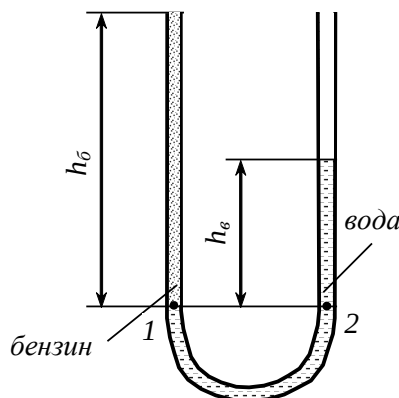


Рис.6 Схема до задачі 11.

12. В U-подібну трубку залито три рідини – воду ($\rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), ртуть ($\rho_2 = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) і бензин ($\rho_3 = 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$). Рівні рідин показано на рисунку 7, причому $z_0 - z_1 = 0,2 \text{ м}$; $z_3 - z_2 = 0,1 \text{ м}$; $z_1 + z_2 = 1 \text{ м}$. Визначити z_0, z_1, z_2, z_3 відносно певної площини порівняння $O-O$.

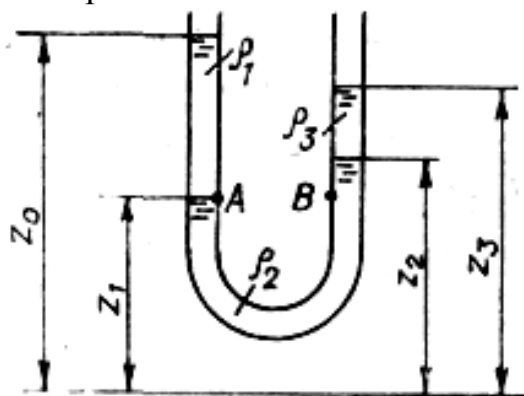


Рис. 7 Схема до задачі 12.

13. Дві сполучені посудини A і B заповнені двома рідинами з питомою масою $\rho_1=900$ і $\rho_2=1000 \text{ кг/м}^3$ (рис. 8). Визначте положення границь розділу цих двох рідин H_A і H_B відносно вільних поверхонь при різниці рівнів $h=10 \text{ см}$.

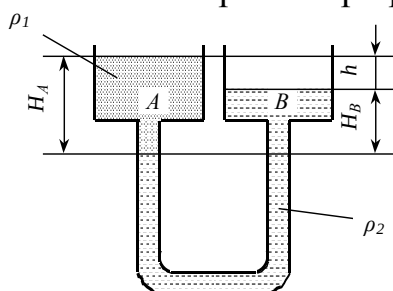


Рис. 8 Схема до задачі 13.

14. У замкненій посудині з водою абсолютний тиск на вільній поверхні $p_0=1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$. На яку висоту H підніметься вода у відкритій трубці, під'єднаній до посудини на глибині $h=3 \text{ м}$ під вільною поверхнею (рис. 9)?

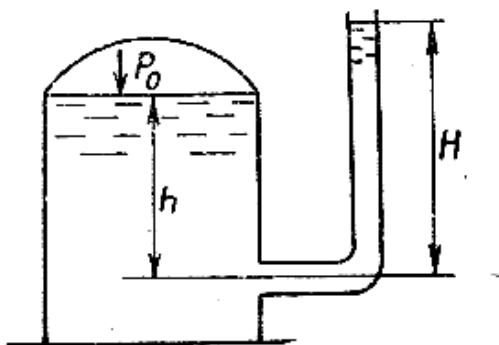


Рис. 9 Схема до задачі 14.

15. Обчисліть різницю тиску у точках A і B циліндрів, заповнених водою, якщо різниця рівнів ртуті в диференціальному манометрі $h=15 \text{ см}$. До

ртуті трубки C і D (рис. 10) заповнені водою. Температура $t=20^\circ$. Питома маса ртуті

$$\rho_{pm} = \frac{\rho_0}{1 + 0,0001815}, \quad \rho_0 = 13600 \text{ кг/м}^3.$$

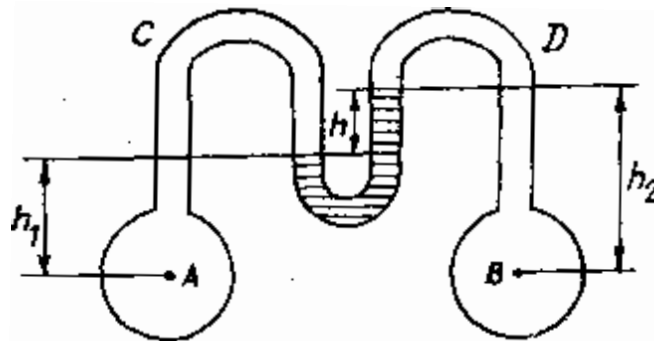


Рис. 10 Схема до задачі 15.

16. Обчисліть абсолютний тиск пари на поверхні води закритої посудини за показами батарейного ртутного манометра (рис.11). Дано: $z_1 = 2,3 \text{ м}$; $z_2 = 1,2 \text{ м}$; $z_3 = 2,5 \text{ м}$; $z_4 = 1,4 \text{ м}$; $z_5 = 3 \text{ м}$. Питома маса ртуті

$$\rho_{pm} = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

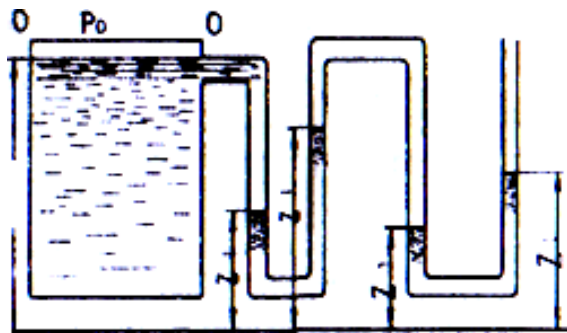


Рис.11 Схема до задачі 16.

17. Обчисліть різницю тиску газу у посудинах показаних на рисунку 12 за такими даними: $h_1 = 0,8 \text{ м}$; $h_2 = 0,4 \text{ м}$; $h_3 = 0,6 \text{ м}$; $h_4 = 0,9 \text{ м}$. У посудинах знаходиться вода, а в диференційному манометрі ртуть $\rho_{pm} = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

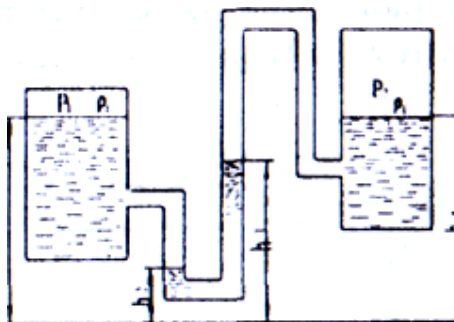


Рис. 12 Схема до задачі 17.

18. До закритого резервуару з рідиною підключено манометричну трубку, конфігурація якої наведена на рисунку 13. Верхня частина трубки заповнена гасом ($\rho = 728 \text{ кг/м}^3$) і різниця границь розділу рідин у ній

$h_1 = 20 \text{ см}$. Різниця рівнів рідини у резервуарі і трубці $h_1 = 18 \text{ см}$. Обчисліть питому масу рідини, якщо тиск на поверхні рідини $p_0 = 102,3 \text{ кПа}$.

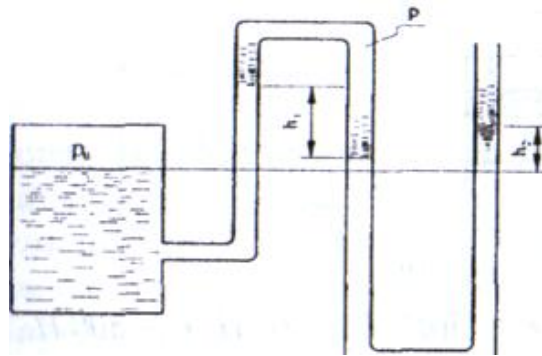


Рис. 13 Схема до задачі 18.

19. Закритий резервуар заповнений водою і оливою питомої маси $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$. Товщина шару води $h_2 = 50 \text{ см}$, оливи – $h_1 = 20 \text{ см}$. Обчисліть величину надлишкового тиску, що діє на поверхню оливи, якщо рівень ртуті в манометричній трубці знаходиться на $h = 40 \text{ см}$ нижче рівня оливи (рис.14).

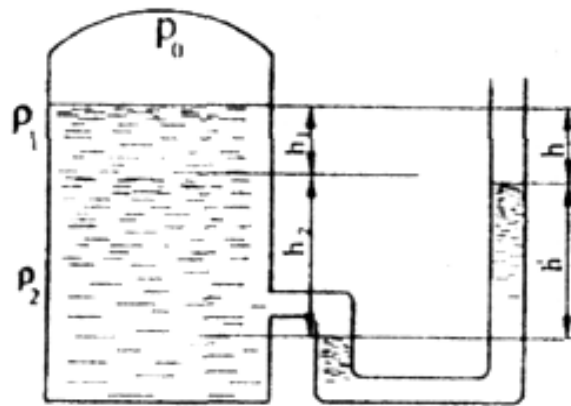


Рис. 14 Схема до задачі 19.

20. До резервуара з рідиною ρ (рис 15) підключено U-подібний мановакууметр, “ноль” шкали якого знаходиться нижче точки підключення на відстані a . Мановакууметр заповнений рідиною з густиною ρ_m . Відомо, що $a = 0,5 \text{ м}$, $\rho_m = 13600 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Визначити тиск в точці підключення мановакууметра, якщо $h = 130 \text{ мм}$.

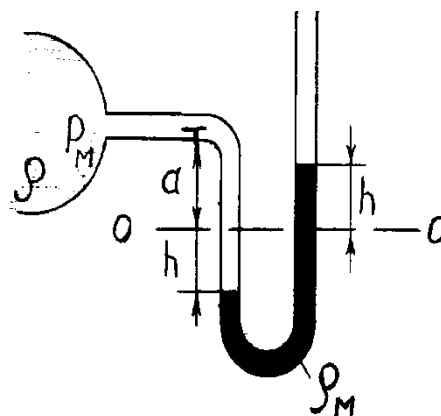


Рис.15 Схема до задачі 20.

Додатки

Таблиця 1

Співвідношення між одиницями виміру тиску

Одиниці виміру	H/m^2 (Па)	$кгс/см^2$	мм вод. ст.	мм рт. ст.	бар	psi
1 H/m^2 (Па)	1	$1,02 \times 10^{-5}$	0,102	$7,5 \times 10^{-3}$	10^{-5}	0,0069
1 $кгс/см^2$	$98,1 \times 10^3$	1	10^4	735,6	0,981	676,6
1 мм вод. ст.	9,81	10^{-4}	1	$73,56 \times 10^{-3}$	$98,1 \times 10^{-6}$	0,0676
1 мм рт. ст.	133,3	$1,36 \times 10^{-3}$	13,6	1	$1,333 \times 10^{-3}$	0,92
1 бар	10^5	1,02	$1,02 \times 10^3$	750	1	689,7
1 psi	145	$1,48 \times 10^{-3}$	14,8	1,0875	$1,45 \times 10^{-3}$	1

Таблиця 2

Характеристики рідин

Рідина	Густина ρ , $кг/м^3$	Коефіцієнт об'ємного		Кінематична в'язкість, $мм^2/с$, при температурі, $^{\circ}C$		
		стиснення $\beta_p \times 10^9$, $Па^{-1}$	розширення $\beta_t \times 10^3$, $^{\circ}C^{-1}$	15	20	50
Вода	1000	0,49	0,20	1,14	1,01	0,55
Ртуть	13600	0,039	0,18	-	0,114	-
Бензин	680-780	0,92	1,255	0,93	-	0,54
Гас	790-820	0,77	0,96	2,7	2,5	1,50
Мазут	890-940	-	-	-	2000	-
Масла:						
ИГП-18	880	0,72	0,73	-	100	18
ИГП-30	885	-	-	-	170	30
ИГП-38	890	-	-	-	-	38