## Практична робота №1. Фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск

**Мета:** Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі рідина, 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: "Вышейшая 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).


## 1. Теоретична частина

### 1.1 Основні фізичні властивості рідини:

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

$$\rho = \frac{m}{V}. \tag{1}$$

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

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

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \left[\frac{н}{м^3};\ \frac{кгс}{м^3}\right] \tag{2}$$

Питома вага і питома маса зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g\,. \tag{3}$$

де $g$ – прискорення вільного падіння.

3. *Об'ємне стиснення* – це зміна об'єму $V$ і питомої маси $\rho$ рідини зі зміною тиску. Об'єм $V_p$ і питому масу $\rho_p$ зі зміною тиску $\Delta p$ обчислюють за формулами:

$$V_p = V_0(1 - \beta_p \cdot \Delta p)\,, \tag{4}$$

$$\rho_p = \frac{\rho_0}{1 - \beta_p \cdot \Delta p}\,. \tag{5}$$

де $V_0$, $\rho_0$ – об'єм і питома маса за початкових умов(до стиснення); $\beta_p \left[Па^{-1}\right]$ – *об'ємний коефіцієнт стиснення*, тобто відносна зміна об'єму при зміні одиниці тиску:

$$\beta_p = \frac{\Delta V}{V_0}\frac{1}{\Delta p} \tag{6}$$

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

$$E = \frac{1}{\beta_p}\,. \tag{7}$$

Об'ємний модуль пружності входить в узагальнений закон Гука:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{\Delta p}{E}\,. \tag{8}$$

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:

$$pV = \frac{m}{M}RT\,. \tag{9}$$

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:

$$pV = mR_{г}T\ . \qquad (10)$$

де $R_{г} = \dfrac{R}{M}\ \left[\dfrac{Дж}{кг \cdot К}\right]$ – газова стала, значення якої для повітря $R_{г} = 287\ \dfrac{Дж}{кг \cdot К}$, для природного газу $R_{г} = 520\ \dfrac{Дж}{кг \cdot К}$.

Підставивши формулу (1) в формулу (10) отримаємо

$$p = \rho R_{г}T \qquad \rho = \frac{p}{R_{г}T} \qquad (11)$$

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

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

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

де $V_0$, $\rho_0$ – об'єм і питома маса рідини за початкових умов (до процесу розширення); $V_t$, $\rho_t$ – об'єм і питома маса рідини зі зміною температури на $\Delta t$; $\beta_t$ – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

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

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

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 $\tau$ через поперечний градієнт швидкості $\dfrac{du}{dy}$

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

де $\mu\ \left[H\dfrac{c}{м^2}\ або\ Па \cdot c\right]$ *–коефіцієнт динамічної в'язкості*.

*Кінематична в'язкість* $\nu\ \left[\dfrac{м^2}{c}\right]$ зв'язана з динамічною співвідношенням

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

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 нев'язкої 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 $p_{н.п.}$.

## 1.2 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

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

де $\Delta S$ – елементарна площина, що містить дану точку;
$\Delta P$ – 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*):

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

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:

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

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:

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

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

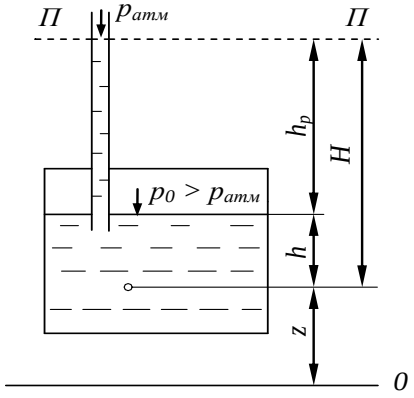


Рис. 1. Схема до визначення (абсолютного) гідростатичного тиску у будь-якій точці рідини

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

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \tag{20}$$

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 $p = const$, $dp = 0$, $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, одержуємо $z = const$ .

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

$$p_{ман} = p_{абс.С} - p_{атм} . \tag{21}$$

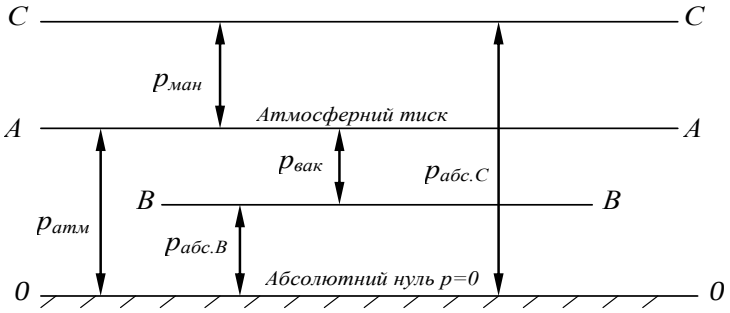


Рис. 2 Схема до обгрунтування видів тиску

Вакуум - це нестача тиску до атмосферного

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс.В} . \tag{22}$$

Величини

$$h_p = \frac{p_{ман}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{абс.С} - p_{атм}}{\rho \cdot g} , \tag{23}$$

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

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 $p_0 > p_{атм}$) і нижче її (при $p_0 < p_{атм}$). Надлишковий (манометричний) тиск у будь-якій точці рідини

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

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

## 2. Порядок виконання роботи

1. При розв’язуванні задач рекомендуєтсяь 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, наведенні 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, наведенні 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.

## 3. Приклади розв'язку задач

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

*Розв'язання:*

Дано:

$V = 5\ л = 5 \cdot 10^{-3}\ м^3$

$G = 4,25\ кгс \approx 41,7\ Н$

$g = 9,41\ \frac{м}{с^2}$

---

$\rho - ?$

$\gamma - ?$

1. Визначимо питому вагу за формулою:

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

2. Визначимо питому масу з формули:

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

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

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

*Розв'язання:*

Дано:

$\rho_1 = 800\ \frac{кг}{м^3}$

$V_1 = 5\ л = 5 \cdot 10^{-3}\ м^3$

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

$V = 10,5\ л = 10,5 \cdot 10^{-3}\ м$

$\rho_2 = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 9,41\ \frac{м}{с^2}$

---

$\rho - ?$

$\gamma - ?$

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:

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

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

**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:

$d = 500\ мм = 0{,}5\ м$

$l = 1\ км = 10^3\ м$

$p_2 = 5\ МПа = 5 \cdot 10^6\ Па$

$p_1 = p_{атм} = 98100\ Па$

$\beta_p = 5 \cdot 10^{-10}\ Па^{-1}$

---

$\Delta V - ?$

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:

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

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

*Відповідь:* $0{,}482\ \ м^3$.

**Приклад 4.** Обчисліть різницю тиску у резервуарах $A$ і $B$ (рис.3), заповнених водою. Різниця рівнів ртуті в диференціальному манометрі $h = 50\,мм$. Питома маса ртуті $\rho_2 = 13000 \frac{кг}{м^3}$, води $\rho_1 = 1000 \frac{кг}{м^3}$.

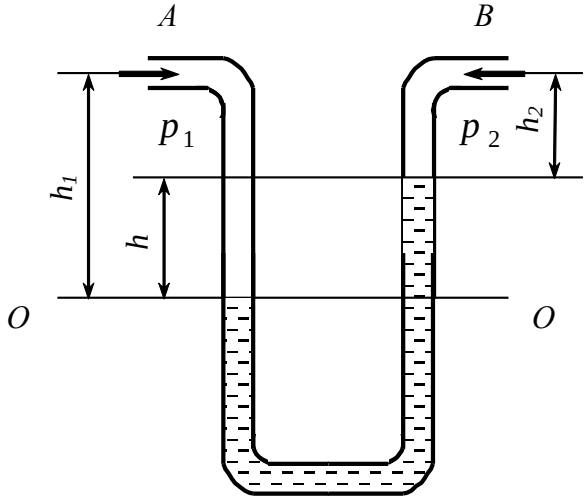


Рис. 3 Схема до прикладу 4

*Розв'язання:*

Дано:

$h = 50 \quad мм = 0,05 \quad м$

$\rho_1 = 1000 \quad \frac{кг}{м^3}$

$\rho_2 = 13600 \quad \frac{кг}{м^3}$

$\Delta p - ?$

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

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

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

$p = p_2 + \rho_1 g h_2 + \rho_2 g h .$ (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

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

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

*Відповідь:* $6180,3\, Па$

**Приклад 5.** Закритий резервуар заповнено водою до висоти $h_2 = 50 \quad см$ а вище – до висоти $h_1 = 30 \quad см$, – маслом з питомою масою 800 $\frac{кг}{м^3}$.

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

*Розв'язання:*

Дано:

$h_2 = 50 \quad см = 0,5 \quad м$

$h_1 = 30 \quad см = 0,3 \quad м$

$h = 40 \quad см = 0,4 \quad м$

$\rho_1 = 800 \quad \frac{кг}{м^3}$

$\rho_2 = 1000 \quad \frac{кг}{м^3}$

$\rho_3 = 13600 \quad \frac{кг}{м^3}$

$g = 9,81 \quad \frac{м}{с^2}$

$p_{атм} = 98000 \quad Па$

$p_{абс} - ?$

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

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

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

$p = p_{атм} + \rho_3 g h'$ (2)

де $h' = h_1 + h_2 - h$

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

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

Звідки

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

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

$-1000 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 144207 \quad Па$

*Відповідь:* $144207 \quad Па$

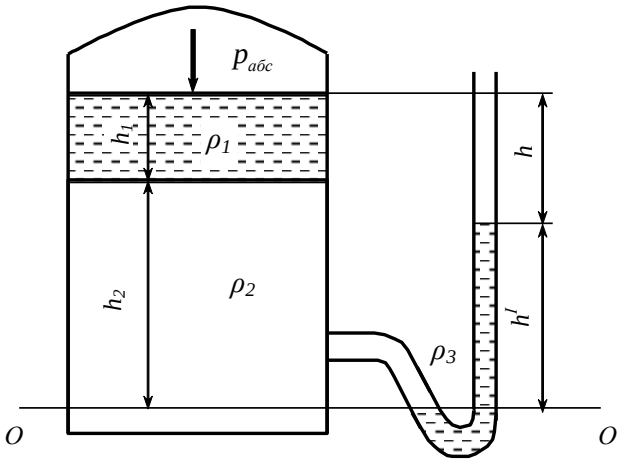


Рис.4 Схема до прикладу 5

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

*Розв'язання:*

Дано:

$p_м = 0,025 \quad МПа = 25000 \quad Па$

$H_1 = 0,5 \quad м$

$H_2 = 3 \quad м$

$H_3 = 5 \quad м$

$\rho = 1000 \quad \frac{кг}{м^3}$

$g = 9,81 \quad \frac{м}{с^2}$

---

$p_B - ?$

$p_м - ?$

1. Визначимо тиск в точці *1* рідини:

$p_1 = p_м - \rho g H_1$

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

3. Тиск в трубі *B* визначимо з основного рівняння гідростатики:

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

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

$= 49525 \quad Па \approx 0,05 \quad МПа$

1. Визначимо тиск $p_м$ при випущеному повітрі:

$p_м = p_B - \rho g H_3$

$p_м = 49525 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 = 475 \, Па$

*Відповідь:* $0,05 \, МПа, \quad 475 \, Па.$

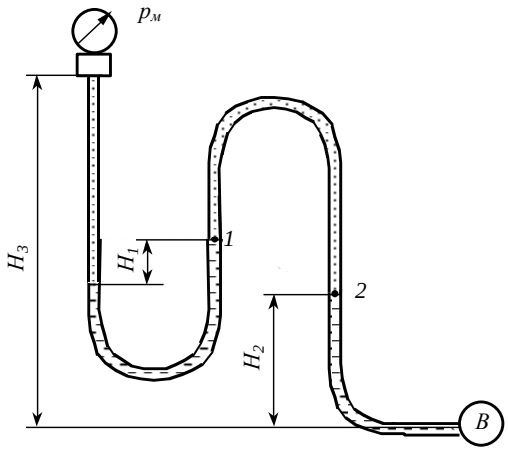


Рис.5 Схема до прикладу 6

**4.Задачі для самостійного розв'язування**

**1.** У системі опалювання (котел, радіатор і трубопроводи) будинку вміщується 0,4 $м^3$ води. Скільки води увійде додатково в систему при охолодженні від 90 до 20°*С*?

**2.** В баку міститься 40 *л* бензину автомобільного при температурі 0°*С*. На скільки збільшиться об'єм бензину при підвищенні температури до 20°*С*.

**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 $1{,}33\cdot10^6$ *кПа*. Деформацією стінок і атмосферним тиском знехтувати.

**4.** З метою перевірки герметичності підземного трубопроводу довжиною 500 *м* і діаметром 100 *мм* ручним поршневим 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 $2\cdot10^9$ *Па*.

**6.** Каністра заповнена бензином нагрілася на сонці до температури 50°*С*. На стільки підвищився б тиск в середині каністри, якби вона була абсолютно жорсткою? Початкова температура бензину 20°. Модуль об'ємної пружності рівний $E = 1300\ МПа$, температурний коефіцієнт об'ємного розширення $8\cdot10^{-4}$ $град^{-1}$.

**7.** Визначте відносну зміну питомої маси води внаслідок її нагрівання від 7 до 97 °С (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $4\cdot10^{-4}$ $град^{-1}$).

**8.** Визначте відносну зміну питомої маси бензину внаслідок його нагрівання від 4 до 68 °С (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $1{,}25\cdot10^{-3}$ $град^{-1}$).

**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 °*С*.

**11.** В U-подібну трубку налито воду і бензин (рис.6). Визначити питому масу бензину, якщо $h_б = 500\ мм,\ \ h_в = 350\ мм.$

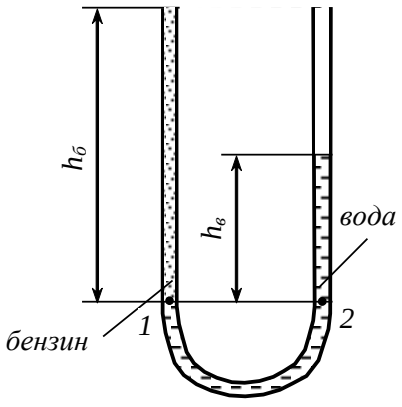

Рис.6 Схема до задачі 11.

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

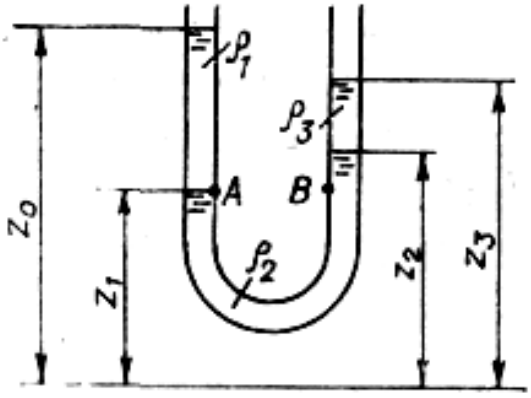


Рис. 7 Схема до задачі 12.

**13.** Дві сполучені посудини *A* і *B* заповнені двома рідинами з питомою масою $p_1$=900 і $p_2$=1000 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 *см*.

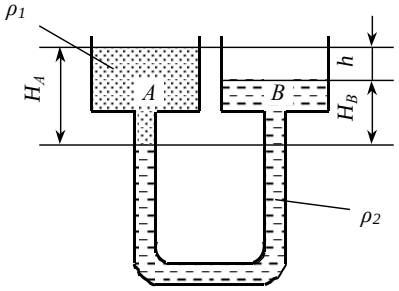


Рис. 8 Схема до задачі 13.

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

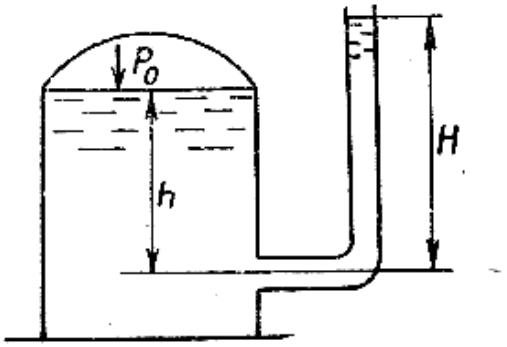


Рис. 9 Схема до задачі 14.

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

ртуті трубки *C* і *D* (рис. 10) заповнені водою. Температура *t*=20°. Питома маса ртуті

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

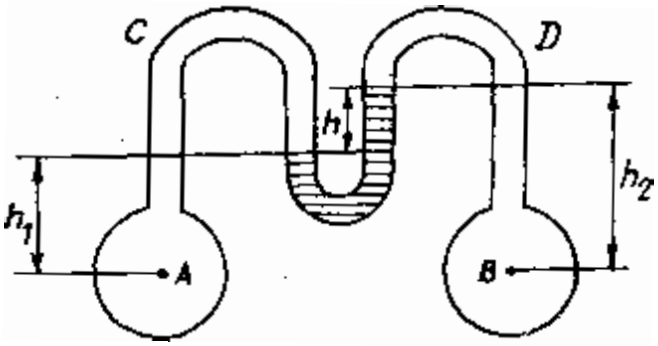


Рис. 10 Схема до задачі 15.

**16.** Обчисліть абсолютний тиск пари на поверхні води закритої посудини за показами батарейного ртутного манометра (рис.11).Дано: $z_1 = 2,3\,м;\ z_2 = 1,2\,м;\ z_3 = 2,5\,м;\ z_4 = 1,4\,м;\ z_5 = 3\,м.$ Питома маса ртуті $\rho_{рт} = 13600\frac{кг}{м^3}$.

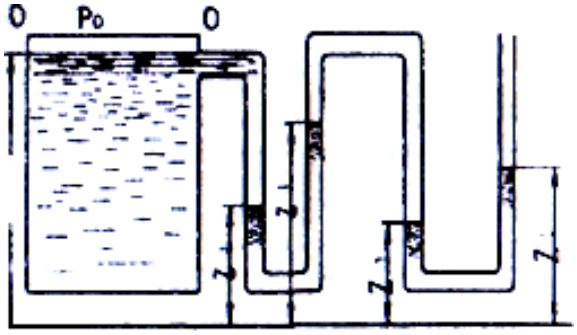


Рис.11 Схема до задачі 16.

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

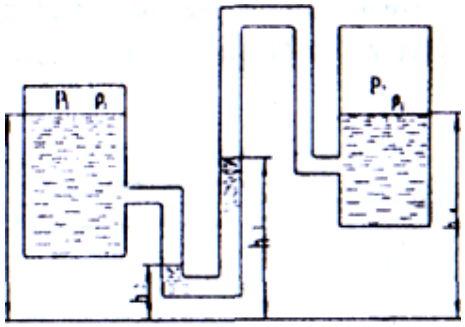

Рис. 12 Схема до задачі 17.

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

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

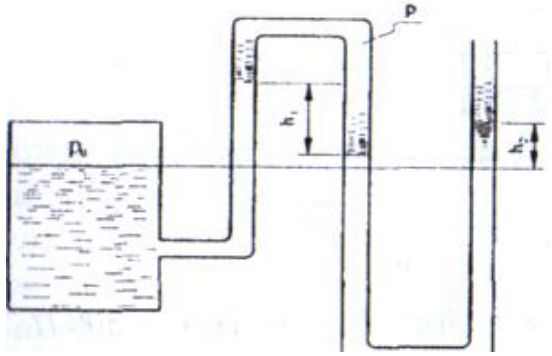

Рис. 13 Схема до задачі 18.

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

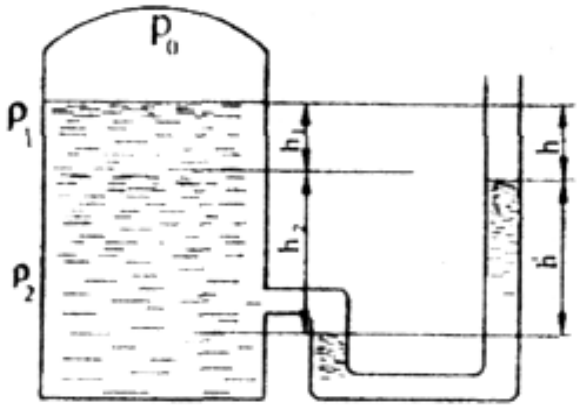

Рис. 14 Схема до задачі 19.

**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 $\rho_м$. Відомо, що a = 0,5 м, $\rho_м$ = 13600 кг/м$^3$. ρ = 1000 кг/м$^3$. Визначити тиск в точці підключення мановакууметра, якщо h = 130 мм.

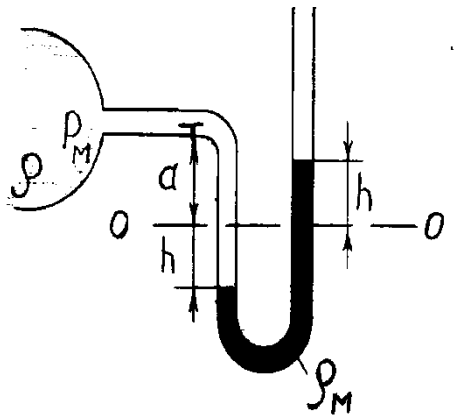

Рис.15 Схема до задачі 20.

## Додатки

**Таблиця 1**

### Співвідношення між одиницями виміру тиску

| **Одиниці** виміру | *Н/м$^2$ (Па)* | *кгс/см$^2$* | *мм вод. ст.* | *мм рт. ст.* | *бар* | *psi* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 *Н/м$^2$ (Па)* | 1 | $1{,}02\times10^{-5}$ | 0,102 | $7{,}5\times10^{-3}$ | $10^{-5}$ | 0,0069 |
| 1 *кгс/см$^2$* | $98{,}1\times10^{3}$ | 1 | $10^{4}$ | 735,6 | 0,981 | 676,6 |
| 1 *мм вод. ст.* | 9,81 | $10^{-4}$ | 1 | $73{,}56\times10^{-3}$ | $98{,}1\times10^{-6}$ | 0,0676 |
| 1 *мм рт. ст.* | 133,3 | $1{,}36\times10^{-3}$ | 13,6 | 1 | $1{,}333\times10^{-3}$ | 0,92 |
| 1 *бар* | $10^{5}$ | 1,02 | $1{,}02\times10^{3}$ | 750 | 1 | 689,7 |
| 1 *psi* | 145 | $1{,}48\times10^{-3}$ | 14,8 | 1,0875 | $1{,}45\times10^{-3}$ | 1 |

**Таблиця 2**

### Характеристики рідин

| Рідина | Густина $\rho$, кг/м$^3$ | Коефіцієнт об'ємного | | Кінематична в'язкість, мм$^2$/с, при температурі, $^0$С | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | стиснення $\beta_p\times10^9$, Па$^{-1}$ | розширення $\beta_t\times10^3$, °С$^{-1}$ | 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 |