

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
«Основи теорії транспорту та підземного зберігання нафти і газу»
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою НТУ «ХП»,
протокол № 3 від 06.10.2021 р.

Харків
НТУ «ХП»
2021

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи теорії транспорту та підземного зберігання нафти і газу» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / В. С. Білецький, М. І. Фик. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 54 с.

Укладачі: В. С. Білецький
М. І. Фик

Рецензент В. М. Орловський

Кафедра видобування нафти, газу та конденсату

Практичне заняття 1

Основи розрахунку трубопровідного транспорту.

Задача 1. Визначити густину суміші двох рідин $V_1 = 10$ л густиною $\rho_1 = 900$ кг/м³ та $V_2 = 20$ л рідини густиною $\rho_2 = 870$ кг/м³.

Рішення.

$$\rho_{см} = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{900 \cdot 0,01 + 870 \cdot 0,02}{0,01 + 0,02} = 880 \frac{кг}{м^3};$$

Задача 2. Визначити підвищення тиску, при якому початковий об'єм води буде зменшеним на 1 %.

Рішення.

З формули (1.5) знаходимо $\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p}$, де згідно до умов завдання

$\frac{\Delta V}{V_0} = 0,01$, а коефіцієнт об'ємного стиснення для води $\beta_p = 4,85 \cdot 10^{-10}$ Па⁻¹.

Таким чином, підвищення тиску, яке треба визначити

$$\Delta p = \frac{0,01}{4,85 \cdot 10^{-10}} = 2,06 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Задача 3. Сталевий трубопровід довжиною $l = 300$ м та діаметром $D = 500$ мм випробовують на міцність гідравлічним способом. Визначити об'єм води, який необхідно додатково ввести у трубопровід, щоб підняти тиск від $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 5$ МПа. Розширення трубопроводу не враховують. Об'ємний модуль пружності води $E = 2060$ МПа.

Рішення.

З формули (1.5) знаходимо

$$\begin{aligned}\Delta V &= \beta_p \cdot \Delta p \cdot V_0 = \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l = \\ &= \frac{1}{2,06 \cdot 10^9} \cdot (5,0 - 0,1) \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 300 = \\ &= 140 \text{ л}\end{aligned}$$

Задача 4. Визначити величину зменшення тиску мастила у замкненому об'ємі ($V_0 = 150$ л) гідроприводу, якщо витік мастила складає $\Delta V = 0,5$ л, а коефіцієнт об'ємного стиснення рідини $\beta_p = 7,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Деформацією елементів об'ємного гідроприводу, який містить в собі зазначений обсяг мастила, можна знехтувати.

Рішення.

З формули (1.4) знайдемо

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p} = \frac{0,5}{150} \cdot \frac{1}{7,5 \cdot 10^{-10}} = 2,67 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,67 \text{ МПа}.$$

Задача 5. Висота циліндричного вертикального резервуара дорівнює $h = 10$ м, його діаметр $D = 3$ м. Визначити масу мазуту ($\rho_0 = 920 \text{ кг/м}^3$), яку можна налити в резервуар при $15 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо підняти його температуру до $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Розширенням стінок резервуара можна знехтувати, температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини $\beta_t = 0,0008 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Рішення.

При підвищенні температури рідина розширюється і її об'єм збільшується. Приймаємо V_0 та H_0 – об'єм та висота стовпа мазуту при $15 \text{ }^\circ\text{C}$, а V та H – те ж при $40 \text{ }^\circ\text{C}$, при чому H не може перевищувати висоту резервуара. У відповідності до формули (1.6) маємо

$$\beta_t = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_0}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{H - H_0}{H_0} \cdot \frac{1}{\Delta t},$$

Приймаючи $H = 10$ м та $\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, отримаємо

$$H_0 = \frac{H}{1 + 0,0008 \cdot 25} = 9,8 \text{ м}.$$

Маса мазуту, яку можна залити в резервуар,

$$m = \rho_0 \cdot V_0 = \rho_0 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_0 = 920 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 9,8 = 63700 \text{ кг}.$$

Задача 6. Визначити підвищення тиску у замкненому об'ємі гідроприводу при підвищенні температури мастила від 20 до 40 °С, якщо температурний коефіцієнт об'ємного розширення $\beta_t = 7 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, коефіцієнт об'ємного стиснення $\beta_p = 6,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Протіканням рідини та деформацією елементів конструкції об'ємного гідроприводу можна знехтувати.

Рішення.

Внаслідок підвищення температури об'єм рідини, відповідно до залежності (1.6), буде збільшеним на величину

$$\Delta V = \beta_t \cdot V_0 \cdot \Delta t,$$

де V_0 – початковий об'єм мастила, Δt – підвищення температури $40 - 20 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

З формули (1.4) величина підвищення тиску $\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p}$. Підставляючи в цю формулу знайдений вище вираз для ΔV , після перетворень отримаємо

$$\Delta p = \frac{\beta_t}{\beta_p} \cdot \Delta t = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{6,5 \cdot 10^{-10}} \cdot 20 = 21,7 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Задача 7. Кільцеву щілину між двома циліндрами ($D_1 = 210 \text{ мм}$ і $D_2 = 202 \text{ мм}$) залито нафтою ($\rho = 910 \text{ кг/м}^3$) при температурі 20 °С. Внутрішній циліндр рівномірно обертається з частотою $n = 120 \text{ хв}^{-1}$. Визначити динамічну та кінематичну в'язкість мастила, якщо момент, який прикладено до внутрішнього циліндра $M = 0,065 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а висота стовпа рідини у щіліні між циліндрами $h = 120 \text{ мм}$. Тертям основи циліндра по рідині можна знехтувати.

Рішення.

Оскільки величина щілини $\delta = \frac{D_1 - D_2}{2}$, то щілину між циліндрами можна вважати плоскою. Допускаємо, що швидкість у зазорі збільшується від 0 (біля стінки зовнішнього циліндра) до $u = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60}$ (біля стінки внутрішнього циліндра) за лінійним законом. Тому градієнт швидкості

$$\frac{du}{dy} = \frac{u}{\delta} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{30(D_1 - D_2)}.$$

Сила тертя, яка прикладена до внутрішнього циліндра,

$$F = \mu \cdot \frac{du}{dy} \cdot S = \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{30(D_1 - D_2)} \cdot \pi \cdot D_2 \cdot h = \mu \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_2^2 \cdot n \cdot h}{30(D_1 - D_2)}, \quad \text{де } S = \pi \cdot D_2 \cdot h - \text{ площа}$$

бічної поверхні внутрішнього циліндра.

З другого боку, сила тертя дорівнює крутильному моменту M , поділеному на плече ($D_2/2$): $F = \frac{2M}{D_2}$. Прирівнюючи праві частини виразів для

сили F , знаходимо динамічну в'язкість:

$$\mu = \frac{60M(D_1 - D_2)}{\pi^2 \cdot D_2^3 \cdot n \cdot h} = \frac{60 \cdot 0,065(0,210 - 0,202)}{3,14^2 \cdot 0,202^3 \cdot 120 \cdot 0,12} = 0,0266 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Кінематична в'язкість мастила

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,0266}{910} = 0,29 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Задача 8. Цапфа радіусом $r = 20$ мм та довжиною $l = 100$ мм обертається у підшипнику з частотою $n = 600$ хв⁻¹. Визначити потужність, яку втрачають на подолання тертя у підшипнику, якщо товщина шару мастила між цапфою та підшипником дорівнює $\delta = 0,2$ мм і є однаковою у всіх точках, кінематична в'язкість мастила $\nu = 80$ мм²/с, густина $\rho = 920$ кг/м³. Вважати, що зміна швидкості рідини у зазорі відбувається за лінійним законом.

Рішення.

Швидкість рідини біля поверхні цапфи $u = \frac{\pi \cdot r \cdot n}{30}$. Градієнт швидкості у зазорі за лінійним зменшенням $\frac{du}{dy} = \frac{u}{\delta} = \frac{\pi \cdot r \cdot n}{30 \cdot \delta}$. Площа поверхні цапфи $S = 2\pi \cdot r \cdot l$. Динамічна в'язкість мастила $\mu = \nu \cdot \rho = 920 \cdot 80 \cdot 10^{-6} = 0,0736 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Сила тертя у підшипнику:

$$F = \mu \cdot \frac{du}{dy} \cdot S = \mu \cdot \frac{\pi \cdot r \cdot n}{30\delta} \cdot 2\pi \cdot r \cdot l = \mu \frac{\pi^2 \cdot r^2 \cdot l \cdot n}{15\delta}.$$

Момент сили тертя стосовно обертання цапфи

$$M = F \cdot r = \mu \frac{\pi^2 \cdot r^3 \cdot l \cdot n}{15\delta}.$$

Потужність, яку втрачають у підшипнику на подолання тертя:

$$N = M \cdot \omega = \frac{\mu \cdot \pi^3 \cdot r^3 \cdot l \cdot n^2}{450\delta} =$$
$$= \frac{0,0736 \cdot 3,14^3 \cdot 0,02^3 \cdot 0,1 \cdot 600^2}{450 \cdot 0,0002} = 7,3 \text{ Bm.}$$

Практичне заняття 2

Основи розрахунку трубопровідного транспорту.

Задача 1. Два закритих танки (рис. 1.9), один з яких наповнений нафтою ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), розділені вертикальною перегородкою, у нижній частині якої обладнано люк з кришкою діаметром $d = 500 \text{ мм}$, центр якого розташований на відстані $H = 0,8 \text{ м}$ від поверхні. Надлишковий тиск на поверхні нафти дорівнює $P_{\text{ман}} = 15 \text{ кПа}$. Показання ртутного манометра, який підключено до порожнього танка дорівнює $h = 80 \text{ мм}$. Атмосферний тиск $p_a = 100 \text{ кПа}$. Визначити величину та точку прикладення сили тиску на кришку люка.

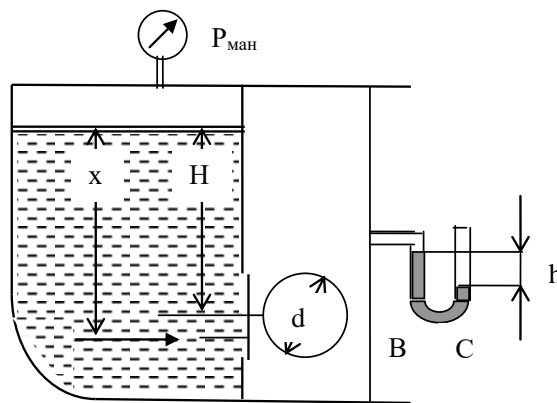


Рис. 1.9.

Рішення.

Тиск повітря у правому відсіку знаходять, виходячи з того, що у точках B та C , які розташовані на одній горизонтальній площині, тиск однаковий і дорівнює атмосферному тиску

$$p_n = p_a - \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h = 100000 - 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 89300 \text{ Па.}$$

Сила тиску на кришку люка з правого боку, яка прикладена у її центрі ваги,

$$P_{\text{п}} = p_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 89300 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 17500 \text{ Н.}$$

Абсолютний тиск повітря на поверхні рідини, яка заповнює лівий відсік,

$$p_l = p_a + p_{ман} = 100000 + 15000 = 115000 \text{ Па.}$$

Сила тиску на кришку люка з лівого боку, яка прикладена в центрі її ваги,

$$P_l = p_l \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 115000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 22600 \text{ Н.}$$

Сила тиску рідини на стінку

$$\begin{aligned} P_p &= \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \\ &= 900 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1380 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Відстань від поверхні рідини до центру тиску, у якому прикладена сила P_p

$$\begin{aligned} y_T &= y_C + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = H + \frac{4 \cdot \pi \cdot d^4}{64 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot H} = H + \frac{d^2}{16H} = \\ &= 0,8 + \frac{0,5^2}{16 \cdot 0,8} = 0,82 \text{ м.} \end{aligned}$$

Повна сила тиску на кришку люка

$$P = P_l + P_p - P_{II} = 22600 + 1380 - 17500 = 6480 \text{ Н.}$$

Через використання теореми про момент рівнодіючої, знайдемо відстань x результуючої сили P від поверхні рідини

$$Px = P_l \cdot H + P_p \cdot y_T - P_{II} \cdot H;$$

звідки

$$\begin{aligned} x &= \frac{P_p \cdot y_T + (P_l - P_{II}) \cdot H}{P} = \\ &= \frac{1380 \cdot 0,82 + (22600 - 17500) \cdot 0,8}{6480} = 0,804 \text{ м.} \end{aligned}$$

Задача 2. Вертикальний циліндричний резервуар ємністю 314 м^3 та висотою 4 м заповнено водою. Визначити сили тиску води на бокову стінку та дно резервуара.

Рішення.

$$\text{Діаметр резервуара } D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,14}{3,14 \cdot 4}} = 10 \text{ м.}$$

Сила тиску на бокову стінку

$$\begin{aligned} P_x &= \rho \cdot g \cdot h_{ц.в.} \cdot F_{верт} = \rho \cdot g \cdot \frac{h}{2} \cdot D \cdot h = \\ &= 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{4^2 \cdot 10}{2} = 0,7848 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Сила тиску на дно резервуара

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g \cdot F_{дон} \cdot h = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \\ &= 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 4 = 3,08 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Задача 3. Відстань нижньої частини робочої камери кесона при проходці ствола від вільної поверхні води $h = 5$ м. Визначити надлишковий тиск повітря p , який потрібно створити, щоб запобігти проникненню води із зумпфа ствола до камери.

Рішення.

Надлишковий тиск повітря у робочій камері має бути не меншим за гідростатичний тиск на заданій глибині, тобто

$$p_{надл.} \geq \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5,0 = 49000 \text{ Па} = 49 \text{ кПа.}$$

Абсолютний гідростатичний тиск у робочій камері кесона визначаємо, виходячи із залежності $p_{надл.} = p - p_{ат.}$

$$p = p_{атм.} + \rho \cdot g \cdot h = 9,81 \cdot 10^4 + 4,9 \cdot 10^4 = 1,47 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Задача 4. У сполучені посудини наліті вода $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) та бензин (рис. 1.10). Визначити густину бензину, якщо висота стовпа води $h = 150 \text{ мм}$, а різниця рівнів рідини у посудинах $a = 60 \text{ мм}$.

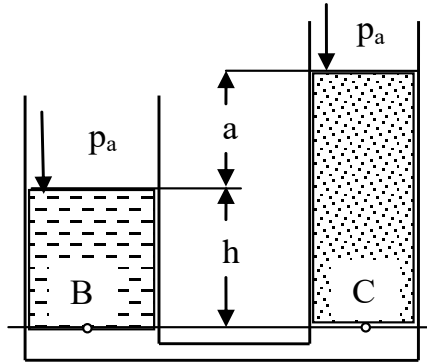


Рис. 1.10. Сполучені посудини.

Рішення.

З рівняння $\frac{P}{\rho \cdot g} + z = const$ витікає, що у всіх точках горизонтальної площини, яка проходить в однорідній рідині, гідростатичний тиск однаковий.

Отже, $p_b = p_c$, але $p_b = p_0 + \rho gh$, а $p_c = p_a + p_1 g \cdot (h + a)$,

де p_1 – густина бензину.

Прирівнюючи праві частини виразів для тисків p_b та p_c , отримаємо:

$$p_b = p_0 + \rho gh = p_a + p_1 g \cdot (h + a),$$

$$\text{звідки } p_1 = \rho \frac{h}{h+a} = 1000 \frac{150}{150+60} = 714 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 5. Визначити надлишковий тиск води ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) з закритому резервуарі (рис. 1. 11), якщо покази батарейного дворідинного манометра (вода–ртуть) дорівнюють $h_1 = 800 \text{ мм}$, $h_2 = 100 \text{ мм}$, $h_3 = 600 \text{ мм}$, $h_4 = 200 \text{ мм}$, $h_5 = 1400 \text{ мм}$.

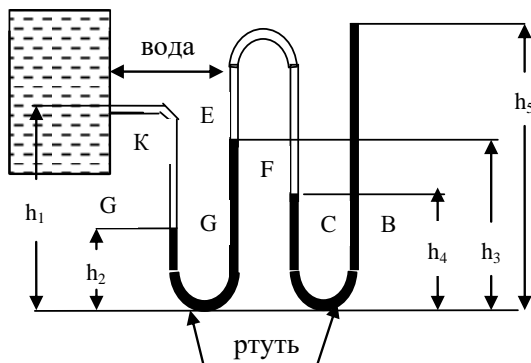


Рис.1.11.

Рішення

Знайдемо послідовно надлишковий тиск в точках B, C, D, E, F, G, K , приймаючи до уваги ту обставину, що у всіх точках горизонтальної площини, яка проведена в однорідній рідині, гідростатичний тиск однаковий:

$$p_C = p_B = \rho_{PT} g(h_5 - h_4);$$

$$p_E = p_D = p_C - \rho g(h_3 - h_4) = \rho_{PT} g(h_5 - h_4) - \rho g(h_3 - h_4);$$

$$p_G = p_F = p_E + \rho_{PT} g(h_3 - h_2) = \rho_{PT} g(h_5 - h_4) - \rho g(h_3 - h_4) + \rho_{PT} g(h_3 - h_2);$$

Надлишковий тиск у резервуарі

$$\begin{aligned} p_K = p_G - \rho g(h_1 - h_2) &= \rho_{PT} g(h_5 - h_4) - \rho g(h_3 - h_4) + \\ &+ \rho_{PT} g(h_3 - h_2) - \rho g(h_1 - h_2) = \\ &= \rho_{PT} g(h_5 - h_4 + h_3 - h_2) - \rho g(h_3 - h_4 + h_1 - h_2) = \\ &= 13600 \cdot 9,81(1,4 - 0,2 + 0,6 - 0,1) - \\ &- 1000 \cdot 9,81(0,6 - 0,2 + 0,8 - 0,1) = 21900 \text{ Па} \end{aligned}$$

Задача 6. Манометр, який підключено до закритого резервуара з нафтою ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), показує надлишковий тиск $p_{\text{ман}} = 36 \text{ кПа}$ (рис. 1.12). Визначити абсолютний тиск повітря на поверхні рідини p_0 та положення п'єзометричної площини, якщо рівень нафти в резервуарі $H = 3,06 \text{ м}$, а відстань від точки підключення до центру манометра $z = 1,02 \text{ м}$, атмосферний тиск $p_a = 100 \text{ кПа}$.

Рішення.

Надлишковий тиск в точці B

$$p_B = p_{\text{ман}} + \rho g z = 3600 + 900 \cdot 9,81 \cdot 1,02 = 45000 \text{ Па}$$

З другого боку, той же тиск

$$p_B = p_{0\text{ман}} + \rho g H ;$$

Таким чином, надлишковий тиск на поверхні рідини

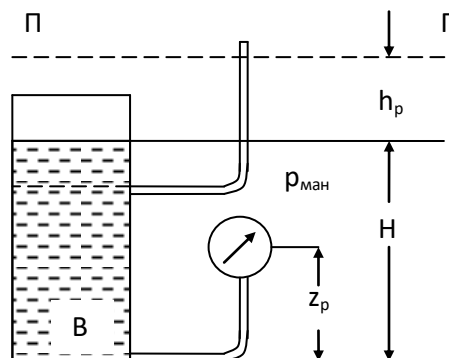


Рис. 1.12.

$$p_{0\text{ман}} = p_B - \rho g H = 45000 - 900 \cdot 9,81 \cdot 3,06 = 18000 \text{ Па} ;$$

Відстань п'єзометричної площини від вільної поверхні рідини

$$h_p = \frac{p_{0\text{ман}}}{\rho g} = \frac{18000}{900 \cdot 9,81} = 2,04 \text{ м} .$$

Задача 7. Поршень пружинного гідроакумулятора діаметром $D = 250$ мм під час зарядки піднявся на висоту $x = 14$ см (рис. 1.13). Визначити жорсткість пружини c , якщо тиск рідини $p = 1,0$ МПа. Тертям між поршнем та циліндром та вагою поршня знехтуємо.

Рішення.

З рівняння рівноваги поршня, на який зверху діє сила пружності пружини ($F = cx$), а знизу – сила тиску рідини

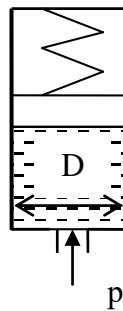


Рис. 1.13.

$$P = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} : cx = p \frac{\pi \cdot D^2}{4} ;$$

$$c = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p}{4x} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 10^6}{4 \cdot 140} = 350 \text{ Н/мм.}$$

Задача 8. Визначити тиск масла p_1 , яке підводять до гідроциліндра (рис. 1.14), якщо надлишковий тиск у штоковій порожнині $p_2 = 80$ кПа, а зусилля на штоці $R = 10$ кН, сила тертя поршня по стінках циліндра $F = 0,4$ кН, діаметр поршня $D = 125$ мм, діаметр штока $d = 70$ мм.

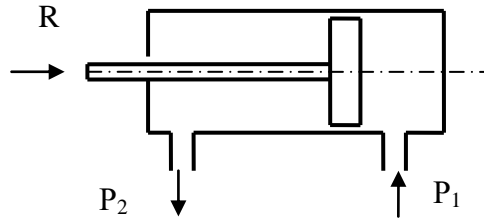


Рис. 1.14.

Рішення.

Знаходимо тиск p_1 , виходячи з умов рівноваги поршня, на який, крім сили R , діють сили тиску $P_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ та $P_2 = p_2 \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$, і, крім того, сила тертя, яка спрямована проти переміщення поршня: $R + P_2 + F - P_1 = 0$; або

$$R + p_2 \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) + F - p_1 \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0;$$

Звідси

$$p_1 = \frac{4R}{\pi \cdot D^2} + p_2 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{4F}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 10000}{3,14 \cdot 0,125^2} +$$

$$+ 80 \cdot 10^3 \left[1 - \left(\frac{70}{125} \right)^2 \right] + \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 0,125^2} = 9,03 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Задача 9. Попереднє натягнення пружини диференційного запобіжного клапана дорівнює $x = 18$ мм, жорсткість пружини $c = 7,5$ Н/мм (рис. 1.15). Визначити тиск рідини, при якому відкриється клапан, якщо діаметри поршнів $D = 25$ мм, $d = 20$ мм. Вагою поршнів та силою тертя нехтуємо.

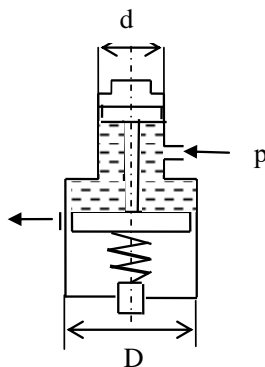


Рис. 1.15.

Рішення.

На пов'язані між собою поршні запобіжного клапана діють:

а) сила гідростатичного тиску на малий поршень, спрямована угору,

$$P_1 = p \cdot \frac{\pi}{4}(d^2 - d_u^2), \text{ де } d_u - \text{діаметр штока};$$

б) сила гідростатичного тиску на великий поршень, спрямована униз,

$$P_2 = p \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d_u^2);$$

в) сила попереднього підтиснення пружини, спрямована угору,

$$F = cx;$$

У момент відкриття клапана поршень знаходиться у рівновазі, тому

$$P_2 = P_1 + F;$$

або

$$p \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d_u^2) = p \cdot \frac{\pi}{4}(d^2 - d_u^2) + cx;$$

З цього рівняння знаходимо тиск рідини, при якому відбудеться відкриття клапана:

$$p = \frac{4cx}{\pi(D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 7,5 \cdot 18}{3,14(0,025^2 - 0,020^2)} = 7,64 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Задача 10. Гідравлічний домкрат (рис. 1.16) складається з нерухомого поршня 1 та циліндра 2, який по ньому ковзає і на якому змонтовано корпус 3, що утворює масляну ванну домкрата, та плунжерний насос 4 ручного приводу із всмоктувальним 5 та нагнітальним 6 клапанами.

Визначити тиск робочої рідини у циліндрі та масу m вантажу, який піднімають, якщо зусилля на держаку привідного важеля насоса $R = 150 \text{ Н}$, а діаметр поршня домкрата $D = 180 \text{ мм}$, діаметр плунжера насоса $d = 18 \text{ мм}$, к.к.д. домкрата $\eta = 0,68$, а плечі важеля $a = 60 \text{ мм}$, $b = 600 \text{ мм}$.

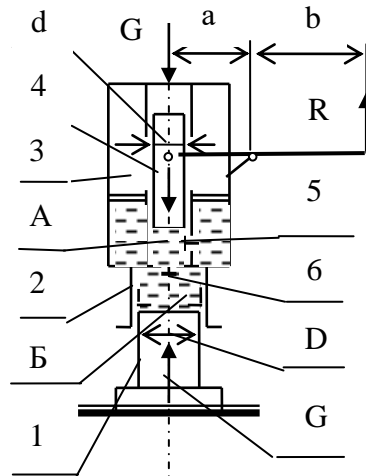


Рис. 1.16.

Рішення.

При русі держака важеля угору плунжер переміщується донизу, у робочій камері насоса *A* створюється високий тиск, під дією якого відкривається клапан *б* у порожнину *Б*. При цьому корпус насоса *3* разом із вантажем піднімається угору. Тиск рідини у порожнинах *A* та *Б* вирівнюється.

На поршень *1* домкрата знизу угору діє сила, яка дорівнює вазі вантажу, що піднімають, $G = mg$, на плунжер насоса *4* – сила P , яка спрямована донизу, яку визначаємо з умов рівноваги важеля:

$$P = R \cdot \frac{b}{a}.$$

Якщо знехтувати вагою стовпа рідини між плунжером насоса та поршнем домкрата, то тиск робочої рідини у порожнинах *A* та *Б* буде дорівнювати

$$p = \frac{4m \cdot g}{\pi \cdot D^2} = \frac{4P}{\pi \cdot d^2}.$$

Звідси знаходимо теоретичну величину маси вантажу

$$m = \frac{P}{g} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \frac{R}{g} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2.$$

Оскільки при виводі формули для m не враховували сили тертя в насосі та циліндрі домкрата, то дійсна величина маси вантажу, який піднімають буде меншою m :

$$m_1 = m \cdot \eta = \frac{R}{g} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \eta = \frac{150}{9,81} \cdot \frac{600}{60} \cdot \left(\frac{180}{18}\right)^2 \cdot 0,68 = 10^4 \text{ кг.}$$

Тиск робочої рідини

$$p = \frac{4m_1 \cdot g}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 9,81}{3,14 \cdot 0,18^2} = 3,86 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Практичне заняття 3

Основи розрахунку трубопровідного транспорту.

Задача 1. Визначити режим течії у трубі з внутрішнім діаметром $D = 0,2$ м при середній швидкості потоку $u = 0,36$ м/с. Кінематична в'язкість води $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6}$.

Рішення.

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{0,36 \cdot 0,2}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 60000.$$

Оскільки $60000 > 2300$, то режим течії турбулентний.

Задача 2. На осі водопровідної труби встановлено трубку Піто з диференціальним ртутним манометром. Визначити максимальну швидкість руху води в трубопроводі u_{\max} , якщо різниця рівнів ртуті у манометрі дорівнює $\Delta h = 10$ мм.

Рішення.

Трубка Піто вимірює швидкісний напір $H = \frac{u_{\max}^2}{2g}$. Для визначення P запишемо рівняння рівноваги у диференціальному ртутному манометрі

$$p_1 + \Delta h \cdot \rho_{pm} \cdot g = p_2 + \Delta h \cdot \rho_0 \cdot g,$$

де p_1 та p_2 – тиск у трубках диференційного ртутного манометра на рівні верхньої позначки ртуті; ρ_0 та $\rho_{рт}$ – густина води (1000 кг/м³) та ртуті (13600 кг/м³) відповідно.

Звідси

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho_0 \cdot g} = \Delta h \left(\frac{\rho_{pm}}{\rho_0} - 1 \right) = 0,01 \cdot \left(\frac{13600}{1000} - 1 \right) = 0,126;$$

Максимальна швидкість у трубі

$$u_{\max} = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,126} = 2,47 \text{ м/с.}$$

Задача 3. Визначити висоту підйому води h у трубі діаметром $d = 175$ мм, яка одним кінцем приєднана до звуженого перерізу трубопроводу, а другим занурена у воду. Витрата води у трубі $Q = 0,05$ м³/с, надлишковий тиск $p_1 = 30 \cdot 10^3$ Па, діаметр звуженої ділянки труби $d_2 = 100$ мм.

Рішення.

Рівняння Бернуллі для перерізів нормального та звуженого трубопроводів відносно до осі труби при $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ та нехтуванні втратами напорів

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}.$$

Виходячи з умов нерозривності потоку $u_1 = \frac{4Q}{\pi \cdot d_1^2}$ та $u_2 = \frac{4Q}{\pi \cdot d_2^2}$, після перетворення маємо

$$h = \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{4^2 \cdot Q^2}{2g \cdot \pi^2} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right) = \frac{30 \cdot 10^3}{98100} +$$

$$+ \frac{16 \cdot 0,05^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2} \cdot \frac{1}{0,175^4} - \frac{1}{0,1^4} = -0,85 \text{ м.}$$

Величина $-0,85$ м виражає вакууметричну висоту, на яку підніметься вода у трубі.

Задача 4. Визначити теоретичну витрату води, якщо різниця напорів у великому та малому перерізах водоміра Вентурі $\Delta h = 500$ мм рт. ст. Діаметр трубопроводу $D = 300$ мм, діаметри циліндричної ділянки витратомірника $d = 100$ мм.

Рішення.

Виходячи з формули (1.54)

$$\Delta h = \frac{\Delta h_{mp} (\rho_{pm} - \rho_0) g}{\rho_0 \cdot g} = \frac{0,5(13,6 - 1,0)10^3}{1 \cdot 10^3} = 6,3 \text{ м.}$$

Витрата води

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,3}}{\left(\frac{0,3^2}{0,1^2}\right) - 1} = 0,08715 \text{ м}^3/\text{с}$$

Практичне заняття 4

Плавання тіл.

Задача 1. Пристрій для відведення конденсату з відкритим зверху поплавком (рис. 1.20) працює на перепаді тиску 2 кгс/см^2 . Визначити наповнення поплавка V_x , при якому відбудеться відкриття клапана, якщо відомі: ємність поплавка $V = 5 \text{ л}$, діаметр отвору випускного клапана $d = 5 \text{ мм}$, маса поплавка $m = 1,5 \text{ кг}$. Густина конденсату $\rho_0 = 945 \text{ кг/м}^3$.

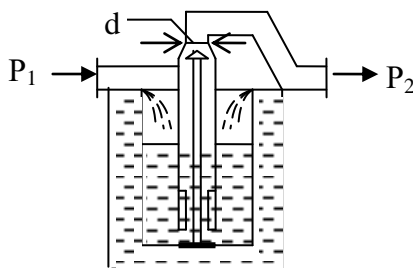


Рис. 1.20.

Рішення.

Поплавок буде знаходитись у рівноважному стані при умові

$$V \cdot \rho_0 \cdot g + (P_1 - P_2) \cdot f_{кл} = m \cdot g + V_x \cdot \rho_0 \cdot g,$$

де $V \cdot \rho_0 \cdot g$ – виштохувальна (архімедова) сила; $(P_1 - P_2) \cdot f_{кл}$ – сила, яка виникає за рахунок різниці тиску до та після клапана; $f_{кл}$ – площа перерізу клапана; mg – сила тяжіння поплавка; $V_x \cdot \rho_0 \cdot g$ – сила тяжіння води, яка заповнює поплавок.

Площа перерізу клапана

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,196 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Мінімальне наповнення поплавка, яке призводить до відкриття клапана,

$$V_x = V + \frac{(P_1 - P_2) \cdot f_{кл}}{\rho_0 \cdot g} - \frac{m}{\rho_0} = 5 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,196 \cdot 10^{-4}}{945 \cdot 9,81} - \frac{1,5}{945} = 4,355 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Задача 2. Об'єм частини айсберга, яка підіймається над поверхнею моря, дорівнює $V_1 = 15 \text{ м}^3$. Визначити загальний об'єм айсберга V та глибину його зануреної частини h , якщо в плані він має форму прямокутника з розмірами $4 \times 2 \text{ м}$. Густина льоду $\rho_s = 920 \text{ кг/м}^3$; густина морської води $\rho_0 = 1030 \text{ кг/м}^3$.

Рішення.

Загальна вага айсберга $G = (V_1 + V_2) \cdot \rho_s \cdot g$, де V_2 – об'єм підводної частини айсберга.

Сила, яка виштовхує айсберг (архімедова сила), $P_A = V_2 \cdot \rho_0 \cdot g$;

Умова плавання айсберга $G = P_A$;

$$(V_1 + V_2) \cdot \rho_s \cdot g = V_2 \cdot \rho_0 \cdot g; \text{ звідки}$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot \rho_s}{\rho_0 - \rho_s} = \frac{15 \cdot 920}{1030 - 920} = 125,5 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм айсберга $V = V_1 + V_2 = 15 + 125,5 = 140,5 \text{ м}^3$.

Глибина зануреної частини айсберга

$$h = \frac{125,5}{2 \cdot 4} = 15,7 \text{ м}.$$

Задача 3. Визначити глибину занурення та перевірити стійкість дерев'яного бруска розмірами $10 \times 10 \times 30$ см, який плаває у воді (рис. 1.21). Питома вага бруска $\gamma_1 = 0,008$ Н/см².

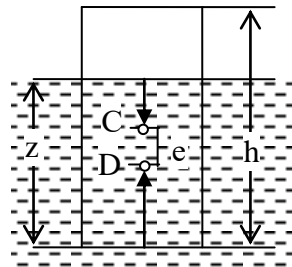


Рис. 1.21.

Рішення.

Тіло плаває на поверхні при умові

$$\frac{V_z}{V_h} = \frac{\gamma_1}{\gamma_h} \text{ або } \frac{10 \cdot 10 \cdot Z}{10 \cdot 10 \cdot 30} = \frac{0,008}{0,01}, \text{ звідки}$$

$$Z = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ см};$$

$$V_w = 10 \cdot 10 \cdot 24 = 2400 \text{ см}^3;$$

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 10^3}{12} = 833 \text{ см}^4;$$

$$R_M = \frac{J}{V_w} = \frac{833}{2400} = 0,35 \text{ см.}$$

Центр ваги бруска C знаходиться на половині його висоти, тобто на відстані 15 см від низу бруска. Центр водотоннажності D лежить на половині висоти зануреної частини, тобто на висоті 12 см від низу.

Таким чином: $CD = e = 15 - 12 = 3$ см. Оскільки $0,35 < 3$ тобто $R_M < e$, то маємо випадок нестійкої рівноваги, брусок не буде плавати і перевернеться.

Після перевертання бруска:

$$Z^1 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ см.}$$

$$V_w^1 = 30 \cdot 10 \cdot 8 = 2400 \text{ см}^3;$$

$$J^1 = \frac{b^1 \cdot h^3}{12} = \frac{30 \cdot 10^3}{12} = 2500 \text{ см}^4;$$

$$R_M^1 = \frac{J^1}{V_w^1} = \frac{2500}{2400} = 1,04 \text{ см};$$

$C^1 D^1 = e = 5 - 4 = 1 \text{ см}$. Оскільки $R_M^1 > e$, то брусок буде плавати у стані стійкості.

Задача 4. Довжина понтона (рис.1.22) $l = 5 \text{ м}$, ширина $b = 2,5 \text{ м}$, висота $h = 1 \text{ м}$, вага $G = 8 \text{ кН}$. Перевірити понтон на стійкість, якщо при максимальному навантаженні G^1 висота борта над ватерлінією $\Delta h = 0,4 \text{ м}$, центр ваги розташований на відстані $h_c^1 = 0,5 \text{ м}$, а центр ваги додаткового навантаження – на відстані $\Delta h'' = 2,5 \text{ м}$ від днища понтона. Густина води $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

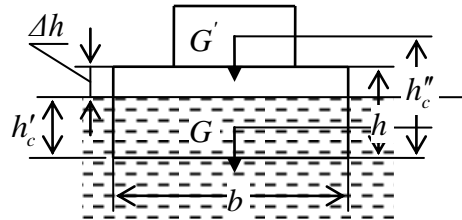


Рис. 1.22.

Рішення.

Величина додаткового навантаження з умов рівноваги понтона

$G + G^1 = \rho_0 \cdot g \cdot V$, де $V = b \cdot l (h - \Delta h) = 2,5 \cdot 5 (1 - 0,4) = 7,5 \text{ м}^3$ – об'єм зануреної у воду частини понтона.

$$G^1 = \rho_0 \cdot G \cdot V - G = 1000 \cdot 9,81 \cdot 7,5 - 8000 = 6,55 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Відстань центра ваги понтона з вантажем від його днища

$$h_c = \frac{G \cdot h_c^1 + G^1 \cdot h_c''}{G + G^1} = \frac{8 \cdot 0,5 + 65,5 \cdot 2,5}{8 + 65,5} = 2,28 \text{ м}.$$

Відстань центра ваги витісненого об'єму рідини від нижньої площини понтона

$$h_d = 0,5(h - \Delta h) = 0,5(1 - 0,4) = 0,3 \text{ м}.$$

Відстань від центра ваги понтона до центра водотоннажності

$$e = h_c - h_d = 2,28 - 0,30 = 1,98 \text{ м}.$$

Метацентрична висота

$$h_M = \frac{J}{V} - e = \frac{l \cdot b^3}{12V} - e = \frac{5 \cdot 2,5^3}{12 \cdot 7,5} - 1,98 = -1,11 \text{ м.}$$

Понтон не є стійким, оскільки має негативну метацентричну висоту.

Задача 5. Довжина прямокутного понтона $l = 30$ м, ширина $b = 20$ м. Визначити осадку понтона при плаванні у воді h , якщо його власна вага з вантажем $G = 12 \cdot 10^3$ кН.

Рішення.

З умов плавучості водотоннажність понтона P має дорівнювати G , тобто $P = G = 12 \cdot 10^3$ кН. Об'єм зануреної частини понтона $V = l \cdot b \cdot h$; $P = \gamma \cdot V$;

$$\gamma - \text{питома вага води} = 10 \text{ кН/м}^3. \quad 12 \cdot 10^3 = 10^3 \cdot 20 \cdot 30 \cdot h; \quad h = \frac{12 \cdot 10^3}{10 \cdot 20 \cdot 30} = 2 \text{ м.}$$

Практичне заняття 5

Основи розрахунку трубопровідного транспорту.

Задача 1. По трубопроводу довжиною $l = 1000$ м та внутрішнім діаметром $d_e = 259$ мм подають 200 м³ флюїду на годину при температурі $t = 70$ °C і тиском на початку лінії $p_1 = 5$ кгс/см². Перевищення геодезичних позначок між початковим та кінцевим пунктами трубопроводу дорівнює 2 м. Визначити повний напір та тиск на початку та в кінці трубопроводу, якщо шорсткість труб $\Delta = 5 \cdot 10^{-4}$ м. Втрати напору у місцевих опорах прийняти $h_m = 0,1h_L$.

Рішення.

Повний напір на початку трубопроводу визначають за рівнянням Бернуллі

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2g}.$$

Напір у кінцевій точці трубопроводу

$$H_2 = H_1 - h_{\text{втр.}}$$

Втрати напору визначають як суму втрат напору на тертя у трубі та на подолання місцевих опорів

$$h_{\text{втр.}} = h_L + h_m = 1,1h_L = 1,1\lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2} \cdot \rho.$$

$$\text{Режим руху рідини } u_{\text{кр}} = 568 \frac{v}{\Delta}.$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості при температурі 70 °C

$$u_{\text{кр.}} = 568 \cdot \frac{0,416 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,472 \text{ м/с.}$$

Швидкість флюїду у трубопроводі

$$u = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 200}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,259^2} = 1,055 \text{ м/с.}$$

Оскільки $u > u_{zр}$, то λ слід визначати за формулою (1.63)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0005}{0,259} \right)^{0,25} = 0,024 \text{ м/с.}$$

Втрати напору визначають за формулою (1.56) з урахуванням того, що при температурі $t = 70 \text{ }^\circ\text{C}$; $\rho_0 = 977,81 \text{ кг/м}^3$ та $h_m = 0,1h_L$

$$h_{\text{впр.}} = 1,1 \cdot 0,024 \frac{1000}{0,259} \cdot \frac{1,055^2}{2} \cdot 977,81 = 64534,8 \text{ Па.}$$

Якщо прийняти за початок відліку $z_1 = 0$, то

$$H_1 = 0 + \frac{5 \cdot 9,81 \cdot 10^{-4}}{977,81 \cdot 9,81} + \frac{1,055^2}{2} = 51,186 \text{ м.}$$

$$H_2 = 51,185 - 6,45 = 44,645 \text{ м.}$$

Тиск у кінцевому пункті трубопроводу

$$p_2 = p_1 - h_{\text{впр.}}(z_2 - z_1) \cdot \rho \cdot g = 5 \cdot 98066,5 - 64534,8 - (2 - 0) \cdot 977,81 \cdot 9,81 = 408210 \text{ Па.}$$

$$p_2 = 408210 \cdot 1,01972 \cdot 10^{-5} = 4,16 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2. Визначити витрату флюїду в трубопроводі внутрішнім діаметром 300 мм, якщо різниця напорів у перерізах водоміра Вентурі, діаметр циліндричної частини якого дорівнює 100 мм, $\Delta h = 500 \text{ мм рт. ст.}$

$$\text{Згідно формули (1.55) } Q = \omega_1 \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 - 1}}.$$

Різниця п'єзометричних напорів

$$\Delta h_z = \frac{\Delta h(\rho_{\text{рт.}} - \rho_0)g}{\rho_0 \cdot g} = \frac{0,5(13,6 - 1,0)10^3}{1 \cdot 10^3} = 6,3 \text{ м.}$$

Витрата флюїду

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 6,3}{\left(\frac{0,3^2}{0,1^2}\right) - 1}} = 0,08715 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Задача 3. По трубопроводу теплової мережі $D = 100$ мм з абсолютною шорсткістю стінок $\Delta = 0,5$ мм протікає флюїд при температурі $t = 150$ °С із швидкістю $u = 2$ м/с. Визначити питоме падіння тиску.

Питоме лінійне падіння тиску визначають за формулою $h_{L.num.} = \lambda \frac{u^2}{2D} \rho$.

Для вибору формули визначення λ визначають режим течії за критерієм Рейнольдса $Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$. Кінематична в'язкість води при температурі $t = 150$ °С $\nu = 0,202 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{2 \cdot 0,1}{0,202 \cdot 10^{-6}} = 990000;$$

$$Re_{ep.} = 568 \frac{D}{\Delta} = 568 \frac{0,1}{5 \cdot 10^{-4}} = 113600.$$

Оскільки $Re > Re_{гр.}$, то коефіцієнт опору тертя слід визначати за формулою (1.63)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0005}{0,1} \right)^{0,25} = 0,0292.$$

З урахуванням того, що густина флюїду при температурі $t = 150$ °С $\rho_0 = 917$ кг/м³,

$$h_{L.num.} = 0,0292 \frac{2^2 \cdot 917}{2 \cdot 0,1} = 535,5 \text{ Па/м.}$$

Задача 4. Водонапірна вежа, рівень води у якій підтримують на висоті 20 м, розташована на відстані 1 км від будови, до якої треба подати воду на висоту 10 м. Перевищення геодезичних позначок початкової та кінцевої точок водопроводу з внутрішнім діаметром $D = 175$ мм дорівнює 0 ($z_1 = z_2$).

Рішення.

В даному випадку загальні втрати напору

$$\Sigma h = 20 - 10 = 10 \text{ м.}$$

За табл. 1.27 для діаметра трубопроводу $D = 175$ мм $K^2 = 0,05274$;

$$Q = \sqrt{K^2 \cdot \frac{\Sigma h}{L}} = \sqrt{0,05274 \cdot \frac{10}{1000}} = 0,023 \text{ м}^3/\text{с} = 82,8 \text{ м}^3/\text{Г}.$$

Задача 5. Визначити витік флюїду через отвір у трубопроводі площею $F = 1 \text{ см}^2$, який утворився внаслідок аварії. Надлишковий тиск у мережі $p_n = 4 \text{ кгс/см}^2$. Густина флюїду при температурі $t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт витрати отвору $\mu = 1$.

Рішення.

Масова витрата флюїду, кг/с, через отвір

$$G = V \cdot \rho_0 = \rho_0 \cdot \mu \cdot F \sqrt{2g \cdot \Delta H},$$

де V – об’ємна витрата флюїду, м³/с; ΔH – втрата напору, м вод. ст.

$$\Delta H = \frac{p_n}{\rho_0 \cdot g} = \frac{4 \cdot 9,81 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81} = 40 \text{ м вод. ст.}$$

$$G = 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 40} = 2,8 \text{ кг/с.}$$

Практичне заняття 6

Основи розрахунку видів робіт, що пов'язані з випусканням природного газу в атмосферу Продування свердловини

Позначення і скорочення

ВВП – вузол відключаючих пристроїв

ГЗП – газозбірний пункт

ГРП – газорозподільний пункт

ГС – головні споруди

ДВКТ – діафрагменний вимірювач критичної течії

ДЕГ – діетиленгліколь

ДК – дочірня компанія

ДКС – дожимна компресорна станція

КВТ – крива відновлення тиску

КС – компресорна станція

МГ – магістральний газопровід

МКП – міжколонний простір

МКТ – міжколонний тиск

ПОЗ – природоохоронні заходи

ППР – план проведення робіт

ПСГ – підземне сховище газу

УКПГ – установка комплексної підготовки газу

УППГ – установка попередньої підготовки газу

ШР – штуцер регулюючий

Основними операціями, що пов'язані з викидами газу в атмосферу, є різні види випускання газу з свердловин, шлейфів, продування пилоуловлювачів, сепараторів, випускання газу з апаратів під час внутрішнього обстеження і гідравлічних випробувань, ревізії, ремонтах і заміні запірної арматури, регулюванні запобіжних клапанів та заміні датчиків регулюючої арматури.

Випускання, що пов'язані з викидами газу і шкідливих речовин в атмосферу в процесі експлуатації ПСГ (підземне сховище газу), повинні здійснюватись через спеціально облаштовані лінії скидання газу з свердловин, свічкові та амбарні лінії, продувні свічки і колектори від апаратів (обладнання).

1 Продування свердловини

Продувка свердловин – різновид промивки (промивання) свердловин при [бурінні](#) та розкритті продуктивних [пластів](#), коли як циркулююче

середовище використовують дисперсні системи з густиною до 1000 кг/м^3 , які складаються із газоподібного та рідкого компонентів. Використання дисперсних систем (газоподібних агентів) при бурінні знижує аерогідродинамічні тиски, що полегшує відокремлення вибурених частинок породи від вибою, покращує його очищення високотурбулентним потоком циркулюючого агента малої в'язкості. При цьому не утворюється глиниста кірка, яка запобігає руйнуванню порід і знижує продуктивність колектора тощо. Буріння з П.с. забезпечує підвищення техніко-економічної ефективності.

Проведення продувань передбачає знання конструкції, робочих параметрів, дебіту кожної свердловини для ефективного використання оптимального режиму продування, під час якого не відбудеться руйнування привибувальної зони пласта-колектора, перевищення граничної депресії на пласт та пошкодження свердловинного обладнання.

Продування свердловини здійснюються:

- для очищення привибувальної зони від рідини і бруду;
- під час ліквідації гідратів;
- після проведення капітальних, поточних ремонтів та інтенсифікації;
- під час газодинамічних досліджень.

Продування свердловини об'ємом газу, який відповідає двом об'ємам газу в її стволі, проводиться за умови невідповідності дебіту свердловини мінімально необхідному дебіту, що забезпечує швидкість руху газу достатню для виносу з вибою рідини і бруду.

Якщо за відомий (розрахований) час продування двома об'ємами газу з вибою продовжує виноситися рідина та бруд, продування слід повторювати до моменту виходу чистого газу. Повне відновлення продуктивної характеристики свердловини здійснюється після підключення її на відбирання.

Ліквідація гідратних пробок в свердловині здійснюється шляхом закачування на устя інгібітору гідратуутворення (метанолу, ДЕГу), з подальшим продуванням свердловини через лінію скидання до моменту ліквідації гідратів (виходу чистого газу) і досягнення проектних показників.

Продування (освоєння) свердловини після капітального, поточного ремонту та інтенсифікації проводиться до повного очищення привибувальної зони і виходу чистого газу на лінії скидання.

Проведення газодинамічних досліджень експлуатаційної свердловини здійснюється до досягнення поставленого завдання відповідно "Инструкции по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин".

Випускання газу з свердловини проводиться:

- перед проведенням поточного і капітального ремонтів;
- під час ремонтних робіт на устьовому обладнанні;
- під час гідрогеологічних і геофізичних досліджень;

- під час досліджень свердловини з МКТ (міжколонний тиск).

Здійснюється до повного випускання газу або досягнення стабілізації припливу газу.

Періодичність випускання газу з МКП (міжколонний простір) залежить від величини МКТ в свердловині і розподіляється наступним чином:

- в свердловинах з величиною МКТ більше $10,0 \text{ кгс/см}^2$ – 2 рази на рік в нейтральні періоди;
- в свердловинах з величиною МКТ менше $10,0 \text{ кгс/см}^2$ – 1 раз на рік;
- в свердловинах з величиною МКТ менше $2,0 \text{ кгс/см}^2$ – 1 раз в два роки.

Умови використання експлуатаційних свердловин з МКТ на підземних сховищах газу згідно СТК 320.20077720.016.

Всі продування, що пов'язані з випусканням природного газу в атмосферу, за виключенням продувань привибійної зони для очищення від рідини, бруду і ліквідації гідратів, проводяться при обов'язковому вимірюванні на лінії скидання газу з свердловини кількості витраченого газу за допомогою газового лічильника або прuverу (ДВКТ – діафрагменний вимірювач критичної течії) в залежності від виду роботи (Прuver – [прилад](#) для [вимірювання](#) витрати газу за умов критичної течії через отвір стандартної [діафрагми](#)). Як виняток, допускається визначення дебіту газу за методом “бокового статичного тиску”.

Проведення випускання і продування свердловини через груповий свічний колектор допускається лише у випадку відсутності лінії скидання газу з свердловини, в усіх інших – забороняється.

Періодичність викидів газу з свердловин під час проведення різних видів робіт повинна чітко співпадати з фактичним виконанням поточного і капітального ремонту свердловини, гідрогеологічних, промислово-геофізичних та газодинамічних досліджень.

Визначення витрат газу на продування свердловини

1. Під час проведення робіт з використанням прuverу (ДВКТ) і витіканням газу в повітря через діафрагму (шайбу) об'єм витраченого природного газу розраховується за формулою:

$$Q_c = \frac{c \cdot P_{\Pi}}{86,4 \sqrt{\gamma \cdot T_y \cdot Z}} \cdot \tau, \quad (1)$$

де: Q_c – об'єм витраченого газу на продування свердловини, м^3 ;

c – коефіцієнт, який визначається за Таблицею 1;

P_{Π} – абсолютний тиск газу на прuverі перед діафрагмою, кгс/см^2 ;

γ – відносна густина газу за повітрям;

T_y – температура газу на усті свердловини, $^{\circ}\text{K}$;

Z – коефіцієнт стисливості, що визначається за даними P_{Π} і T_y ;

τ – час витікання газу, с.

Таблиця 1– Значення коефіцієнта “с” під час вимірювання газу діафрагменним вимірювачем критичної течії газу (ДВКТ)

Розмір отвору діафрагми або штуцера, мм	Значення коефіцієнта “с”		
	Під час вимірювання 4" вимірювачем	Під час вимірювання 2" вимірювачем	Під час використання замірного штуцера
1,59	-	0,456	-
2,38	-	1,003	-
3,17	-	1,883	1,868
4,77	-	4,326	4,317
5,39	-	5,771	-
6,35	7,45	7,731	7,926
7,95	-	11,891	13,048
9,51	16,747	16,917	18,298
11,13	-	24,245	25,453
12,70	29,959	30,438	33,702
15,85	46,673	46,046	53,741
19,05	66,886	67,244	78,085
22,19	90,955	92,480	-
25,40	118,493	121,603	-
28,57	149,260	155,718	-
31,75	184,201	196,591	-
34,91	221,886	241,530	-
38,10	264,440	299,596	-

Якщо діаметр діафрагми не співпадає із значеннями наведеними в Таблиці 1, то коефіцієнт “с” визначається шляхом інтерполяції значень “с” за Таблицею 1 для найближчого більшого і найближчого меншого табличного значення за формулою:

$$c = c_H + \frac{d_0^2 - d_H^2}{d_B^2 - d_H^2} (c_B - c_H), \quad (8.2)$$

де: c – шуканий коефіцієнт;
 c_H – коефіцієнт для найближчого меншого діаметру діафрагми d_H (Таблиця 1);

d_0 – діаметр отвору діафрагми, мм;

d_H – найближчий менший діаметр діафрагми, мм;

d_B – найближчий більший діаметр діафрагми, мм;

c_B – коефіцієнт для найближчого більшого діаметру діафрагми d_B (Таблиця 1).

2 Для наближеної оцінки коефіцієнту стисливості газу можна використовувати рівняння:

$$Z = (0,4 \cdot \lg T_{\text{пр}} + 0,73) P_{\text{пр}} + 0,1 \cdot P_{\text{пр}}, \quad (3)$$

де: Z – коефіцієнт стисливості газу, що визначається за даними P і T ;

$T_{пр}$ – приведена температура газу;

$P_{пр}$ – приведений тиск газу.

3 Приведені параметри температури і тиску газу розраховуються за формулами:

$$P_{пр} = P / P_{ср.кр}, \quad (4)$$

$$T_{пр} = T / T_{ср.кр}, \quad (5)$$

де: P – тиск газу, кгс/см²;

$P_{ср.кр}$ – псевдокритичний тиск газу, кгс/см²

T – температура газу, °К;

$T_{ср.кр}$ – псевдокритична температура газу, °К.

4 Псевдокритичні параметри рекомендується обчислювати за виразами:

$$P_{ср.кр} = 49,5 - 3,7 \cdot \gamma, \quad (6)$$

$$T_{ср.кр} = 93 + 176 \cdot \gamma, \quad (7)$$

де: $P_{ср.кр}$ – псевдокритичний тиск газу, кгс/см²;

$T_{ср.кр}$ – псевдокритична температура газу, °К;

γ – відносна густина газу за повітрям.

5 Об'єм витрат газу під час геофізичних досліджень свердловини з використанням лубрикатору і випусканням природного газу в атмосферу визначається за формулою:

$$Q_{л} = \frac{293 \cdot V_{л} \cdot P_{л}}{T_{л} \cdot Z \cdot P_{ат}} \cdot n, \quad (8)$$

де: $Q_{л}$ – об'єм витрат газу під час випускання з лубрикатору, м³;

$V_{л}$ – внутрішній геометричний об'єм лубрикатору, м³;

$P_{л}$ – абсолютний тиск газу в трубному просторі (лубрикаторі), кгс/см²;

$T_{л}$ – температура газу в лубрикаторі, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу, що визначається за даними

$P_{л}$ і $T_{л}$;

$P_{ат}$ – атмосферний тиск, що дорівнює 1,033 кгс/см²;

n – кількість випускань газу з лубрикатору, шт.

6 Згідно з п.3 визначення двох об'ємів газу в стволі свердловини, потрібних на її продування з метою очищення привибійної зони від бруду, рідини, механічних домішок здійснюється за формулою:

$$Q_{сп} = \frac{445,3 \cdot L \cdot D^2 \cdot P_{зтр}}{T_{ср} \cdot Z}, \quad (9)$$

де: $Q_{сп}$ – два об'єми газу в стволі свердловини, м³;

L – глибина свердловини до штучного вибою, м;

D – внутрішній діаметр експлуатаційної колони, м;

$P_{зтр}$ – абсолютний затрубний тиск газу на усті свердловини, кгс/см²;

$T_{ср}$ – середня температура газу в стволі свердловини, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{зтр}$ і $T_{ср}$.

Середня температура газу в стволі свердловини визначається за формулою:

$$T_{\text{cp}} = \frac{T_{\text{пл}} + T_{\text{y}}}{2}, \quad (10)$$

де: T_{cp} – середня температура газу в стволі свердловини, °К;
 $T_{\text{пл}}$ – пластова температура, °К;
 T_{y} – температура газу на усті свердловини, °К.

Необхідний час для продування свердловини об'ємом газу, який відповідає двом об'ємам газу в її стволі визначається за формулою:

$$\tau = \frac{Q_{\text{сп}}}{v_{\text{лс}}}, \quad (11)$$

де: τ – час на продування свердловини двома об'ємами газу в її стволі, с;

$Q_{\text{сп}}$ – два об'єми газу в стволі свердловини, м³;
 $v_{\text{лс}}$ – величина критичного витікання газу через лінію скидання газу з свердловини, м³/с.

Величина критичного витікання газу визначається за формулою:

$$v_{\text{лс}} = \frac{2 \cdot P_{\text{тр}} \cdot d_{\text{вн}}^2}{864 \cdot \sqrt{\gamma \cdot T_{\text{y}} \cdot Z}}, \quad (12)$$

де: $v_{\text{лс}}$ – величина критичного витікання газу через лінію скидання газу з свердловини, м³/с;

$P_{\text{тр}}$ – абсолютний трубний тиск газу на усті свердловини, кгс/см²;
 $d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби лінії скидання газу з свердловини, мм;

γ – відносна густина газу за повітрям;

T_{y} – температура газу на усті свердловини, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{\text{тр}}$ і T_{y} .

Якщо продування свердловини через лінію скидання короткочасне і не передбачає випускання в атмосферу двох об'ємів газу, кількість витраченого газу визначається за формулою (13).

7 Об'єм витрат газу під час продування свердловини через лінію скидання з метою ліквідації гідратів визначається за емпіричною формулою:

$$Q_{\text{сг}} = \frac{P_{\text{тр}} \cdot d_{\text{вн}}^2}{432 \sqrt{\gamma \cdot T_{\text{y}} \cdot Z}} \cdot \tau, \quad (13)$$

де: $Q_{\text{сг}}$ – об'єм витрат газу на продування свердловини, м³;

$P_{\text{тр}}$ – абсолютний трубний тиск газу на усті свердловини, кгс/см²;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр лінії скидання газу з свердловини, мм;

γ – відносна густина газу за повітрям;

T_{y} – температура газу на усті, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{тр}$ і T_y ;

τ – час продування, с.

Приклад розрахунку витрат газу на продування свердловини з використанням 2" діафрагменного вимірювача критичної течії (ДВКТ)

Для розрахунків прийняті такі дані:

Таблиця Б.1 – Вихідні дані

Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Абсолютний тиск газу на прувері перед діафрагмою	$P_{п}$	кгс/см ²	60,0
Температура газу на усті свердловини	T_y	°К	293
Відносна густина газу за повітрям *	γ	-	0,6
Діаметр отвору діафрагми або штуцера	d_0	мм	6,9
Час продування	τ	с	60

*) У наведених нижче прикладах і розрахунках значення відносної густини газу за повітрям приймається постійною величиною $\gamma = 0,6$, а звідси $P_{ср.кр} = 47,28$ кгс/см² і $T_{ср.кр} = 198,6$ °К, тому і надалі всі приклади і розрахунки будуть виконуватися виходячи з цих параметрів.

Спочатку за формулами (6) і (7) визначаються псевдокритичні параметри газу:

$$P_{ср.кр} = 49,5 - 3,7 \cdot \gamma = 49,5 - 3,7 \cdot 0,6 = 47,28 \text{ кгс/см}^2$$

$$T_{ср.кр} = 93 + 176 \cdot \gamma = 93 + 176 \cdot 0,6 = 198,6 \text{ °К}$$

Потім за формулами (4) і (5) визначаються приведені параметри газу для тиску і температури:

$$P_{пр} = P_{п} / P_{ср.кр} = 60,0 \div 47,28 = 1,27$$

$$T_{пр} = T_y / T_{ср.кр} = 293 \div 198,6 = 1,48$$

За формулою (3) обчислюється коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{п}$ і T_y :

$$Z = (0,4 \cdot \lg T_{пр} + 0,73) P_{пр} + 0,1 \cdot P_{пр} = (0,4 \cdot \lg 1,48 + 0,73)^{1,27} + 0,1 \cdot 1,27 = 0,8779$$

Діаметр діафрагми не співпадає із значеннями приведеними в Таблиці 1, тому коефіцієнт “с” розраховуємо шляхом інтерполяції значень “с” за Таблицею 1 для найближчого більшого і найближчого меншого табличного значення за формулою (2):

$$c = c_{н} + \frac{d_0^2 - d_{н}^2}{d_{в}^2 - d_{н}^2} (c_{в} - c_{н}) = 7,731 + \frac{6,9^2 - 6,35^2}{7,95^2 - 6,35^2} (11,891 - 7,731) = 9,056$$

Підставляючи отримані дані у формулу (1) визначається об'єм газу, який був витрачений на продування свердловини:

$$Q_c = \frac{c \cdot P_{II}}{86,4 \sqrt{\gamma \cdot T_y \cdot Z}} \cdot \tau = \frac{9,056 \cdot 60}{86,4 \sqrt{0,6 \cdot 293 \cdot 0,8779}} \cdot 60 = 30,37 \text{ м}^3.$$

Практичне заняття 7

Основи розрахунку видів робіт, що пов'язані з випусканням природного газу в атмосферу. Продування шлейфу

Позначення і скорочення

ВВП – вузол відключаючих пристроїв

ГЗП – газозбірний пункт

ГРП – газорозподільний пункт

ГС – головні споруди

ДВКТ – діафрагменний вимірювач критичної течії

ДЕГ – діетиленгліколь

ДК – дочірня компанія

ДКС – дожимна компресорна станція

КВТ – крива відновлення тиску

КС – компресорна станція

МГ – магістральний газопровід

МКП – міжколонний простір

МКТ – міжколонний тиск

ПОЗ – природоохоронні заходи

ППР – план проведення робіт

ПСГ – підземне сховище газу

УКПГ – установка комплексної підготовки газу

УППГ – установка попередньої підготовки газу

ШР – штуцер регулюючий

Основними операціями, що пов'язані з викидами газу в атмосферу, є різні види випускання газу з свердловин, шлейфів, продування пилоуловлювачів, сепараторів, випускання газу з апаратів під час внутрішнього обстеження і гідравлічних випробувань, ревізії, ремонтах і заміні запірної арматури, регулюванні запобіжних клапанів та заміні датчиків регулюючої арматури.

Випускання, що пов'язані з викидами газу і шкідливих речовин в атмосферу в процесі експлуатації ПСГ, повинні здійснюватись через спеціально облаштовані лінії скидання газу з свердловин, свічкові та амбарні лінії, продувні свічки і колектори від апаратів (обладнання).

Продування шлейфу і випускання з нього природного газу

Шлейф у технологіях свердловинного видобування — багатозначний термін:

- Викидний трубопровід для відведення рідин і газів від гирла свердловини до збірного пункту або до устаткування підготовки продукції свердловин.

- Викидний [газопровід](#) від свердловини до промислового газозбірного пункту або до газозбірного колектора.

Продування шлейфу (викидної лінії) здійснюється в разі його забруднення, через незабезпечення необхідної швидкості руху газу на всій його довжині для виносу рідини і бруду.

Для своєчасного визначення забруднення шлейфу необхідно:

а) під час нагнітання – постійно спостерігати за втратами тиску на шляху: ГЗП (після регулюючого (не регулюючого) штуцера) – устя свердловини та зміною продуктивності свердловини за часом;

б) під час відбирання – постійно спостерігати за втратами тиску на шляху: устя свердловини – ГЗП (до регулюючого (не регулюючого) штуцера) та зміною продуктивності свердловини за часом.

Під час перевищення мінімально допустимої ($3,0 \text{ кгс/см}^2$) величини втрат тиску у шлейфі свердловини в період нагнітання або відбирання, здійснювати його продування за рахунок величини пластової енергії.

Продування шлейфу повинно проводитися після сезонів нагнітання і відбирання газу для забезпечення безперебійного транспортування газу від свердловини до ГЗП та періодично, за необхідністю.

На газосховищах, створених у водоносних пластах, не слід проводити продування шлейфу (свердловини) в кінці відбирання, окрім продування для ліквідації гідратів. В цей період відбувається підтягування конусів пластової води і продування стає недоцільним, а лише сприяє виносу значної кількості рідини в сепаратори.

Продування шлейфу здійснюється при утворенні гідратів, які фіксуються в процесі відбирання за наявності значних втрат тиску ($10,0 \text{ кгс/см}^2$ і більше), тобто значній розбіжності між робочим тиском на усті свердловини і тиском на вході ГЗП та різкого зниження (в 2 рази і більше) за короткий термін (60-120 хв.) дебіту свердловини на ГЗП або її повної зупинки.

Продування шлейфу для очищення від бруду (рідини), механічних домішок, ліквідації гідратів здійснюють з боку свердловини до моменту випускання в атмосферу трьох об'ємів газу в ньому, а за необхідності повторюють до повного очищення шлейфу.

Випускання газу з шлейфу проводять:

- під час ліквідації гідратуутворення (з окремих ділянок);
- під час профілактичних ремонтів, ревізій;
- під час проведення ремонту і заміни запірної арматури на ВВП та інше.

Ліквідація гідратуутворення відбувається під час повного і часткового розвантаження шлейфу, тобто випускання газу з окремих його ділянок, в залежності від місця утворення гідрату.

Під час повного розвантаження свердловину закривають на усті і виконують випускання газу з шлейфу в обидві сторони від місця утворення

гідратної пробки, тобто через відкриту засувку лінії скидання газу з свердловини і відкриту засувку ГЗП на продувальну свічку. В такому технічному стані свердловину залишають на деякий час і розгідратування шлейфу відбувається довільно за рахунок створених умов.

Під час часткового розвантаження свердловину зупиняють, виконують випускання газу з окремої частини шлейфу, а саме: від місця утворення гідрату через відкриту засувку на ГЗП і далі на продувальну свічку. Продування здійснюють з боку свердловини за рахунок пластового тиску в покладі після повного розкладання гідратної пробки.

Випускання газу з шлейфу під час ліквідації гідратів проводиться в разі необхідності і залежить від частоти утворення гідратів в ньому.

Під час проведення ремонтних робіт запірної арматури на ВВП (вузол відключаючих пристроїв) газ випускається з шлейфу свердловини через відкриту засувку ГЗП (газозбірний пункт) і далі на продувальну свічку. Періодичність ремонтних робіт регламентується ППР (план проведення робіт) і залежить від технічного стану запірної арматури, що дозволяє проводити дані роботи за необхідності.

Визначення витрат газу на продування шлейфу

Визначення трьох об'ємів газу в шлейфі свердловини, які потрібні на його продування для ліквідації гідратуотворень, очищення від рідини, бруду та механічних домішок здійснюється за формулою:

$$Q_{\text{шп}} = \frac{668 \cdot l_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot P_1}{T_{\text{ш}} \cdot Z}, \quad (1)$$

де: $Q_{\text{шп}}$ – три об'єми газу в шлейфі, м³;

$l_{\text{ш}}$ – довжина шлейфу або його окремої ділянки, м;

$d_{\text{ш}}$ – внутрішній діаметр шлейфу, м;

P_1 – абсолютний тиск газу в шлейфі, який вимірюється на ГЗП до ШР, кгс/см²;

$T_{\text{ш}}$ – температура газу в шлейфі, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{\text{ш}}$ і $T_{\text{ш}}$.

Величина критичного витікання газу через продувальну свічку визначається за формулою:

$$v_{\text{кк}} = \frac{2 \cdot P_2 \cdot d_{\text{к}}^2}{864 \cdot \sqrt{\gamma \cdot T_{\text{ш}} \cdot Z}}, \quad (2)$$

де: $v_{\text{кк}}$ – величина критичного витікання газу через колектор продувальної свічки, м³/с;

P_2 – абсолютний тиск газу в шлейфі, який вимірюється на ГЗП після ШР, кгс/см²;

$d_{\text{к}}$ – внутрішній діаметр колектора продувальної свічки, мм;

γ – відносна густина газу за повітрям;

$T_{\text{ш}}$ – температура газу в шлейфі, °К;

Z – коефіцієнт стисливості газу для умов P_2 і $T_{\text{ш}}$.

Час продування шлейфу об'ємом газу, який відповідає трьом об'ємам газу в ньому визначається за формулою:

$$\tau = \frac{Q_{\text{шп}}}{V_{\text{кк}}} , \quad (3)$$

де: τ – час на продування шлейфу трьома об'ємами газу в ньому, с;
 $Q_{\text{ш}}$ – три об'єми газу в шлейфі, м³;
 $V_{\text{кк}}$ – величина критичного витікання газу через колектор продувальної свічки, м³/с.

У випадку короткочасного продування шлейфу, об'єм витраченого газу обчислюється як добуток відповідного часу продування на величину критичного витікання газу, яка визначається за формулою (8.15).

Об'єм витрат газу під час розвантаження шлейфу або його окремих ділянок з метою ліквідації гідратів і проведення ремонтних робіт визначається за формулою:

$$Q_p = \frac{V_{\text{ш}} \cdot P_{\text{ш}} \cdot T_{\text{ст}}}{T_{\text{ш}} \cdot P_{\text{ат}} \cdot Z} , \quad (4)$$

де: Q_p – об'єм витрат газу під час розвантаження шлейфу, м³;
 $V_{\text{ш}}$ – геометричний об'єм шлейфу або його окремої ділянки, м³;
 $P_{\text{ш}}$ – абсолютний тиск газу в шлейфі, кгс/см²;
 $T_{\text{ст}}$ – стандартна температура, що дорівнює 293 °К;
 $T_{\text{ш}}$ – температура газу в шлейфі, °К;
 $P_{\text{ат}}$ – атмосферний тиск, що дорівнює 1,033 кгс/см²;
 Z – коефіцієнт стисливості газу для умов $P_{\text{ш}}$ і $T_{\text{ш}}$;

Геометричний об'єм шлейфу або його окремої ділянки визначається за формулою:

$$V_{\text{ш}} = 0,785 \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot l_{\text{ш}} , \quad (5)$$

де: $V_{\text{ш}}$ – геометричний об'єм шлейфу або його окремої ділянки, м³;
 $d_{\text{ш}}$ – внутрішній діаметр шлейфу, м;
 $l_{\text{ш}}$ – довжина шлейфу або його окремої ділянки, з якої виконують випускання, м.

Приклади розрахунків витрат газу на продування шлейфів

В.1 Приклад розрахунку необхідного часу продування і витрат газу під час продування шлейфу через продувальну свічку об'ємом газу, який відповідає трьом об'ємам газу в ньому для очищення від рідини (бруд) або ліквідації гідратів

Для розрахунків прийняті такі дані:

Таблиця В.1 – Вихідні дані

Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Значення
--------------	------------	----------------	----------

Довжина шлейфу або його окремої ділянки	$l_{ш}$	м	1200
Внутрішній діаметр шлейфу	$d_{ш}$	м	0,1003
Абсолютний тиск газу в шлейфі на вході ГЗП до ШР	P_1	кгс/см ²	80,0
Абсолютний тиск газу в шлейфі на вході ГЗП після ШР	P_2	кгс/см ²	79,2
Температура газу в шлейфі (на вході ГРП)	$T_{ш}$	°К	289
Внутрішній діаметр колектора продувальної свічки	d_k	мм	50

Приведені параметри газу та коефіцієнт стисливості для умов P_1 і $T_{ш}$ обчислюються як і в попередніх випадках за формулами :

$$P_{пр} = P_1/P_{ср. кр} = 80,0 \div 47,28 = 1,69$$

$$T_{пр} = T_{ш}/T_{ср. кр} = 289 \div 198,6 = 1,46$$

$$Z = (0,4 \cdot \lg 1,46 + 0,73)^{1,69} + 0,1 \cdot 1,69 = 0,8487$$

Підставляючи отриманий коефіцієнт стисливості газу (Z) у формулу (1), визначаються три об'єми газу в даному шлейфі потрібні на його продування:

$$Q_{шш} = \frac{668 \cdot l_{ш} \cdot d_{ш}^2 \cdot P_1}{T_{ш} \cdot Z} = \frac{668 \cdot 1200 \cdot 0,1003^2 \cdot 80}{289 \cdot 0,8487} = 2630,25 \text{ м}^3$$

Перед визначенням величини критичного витікання газу через колектор продувальної свічки необхідно розрахувати приведені параметри газу і коефіцієнт стисливості для тиску P_2 і температури $T_{ш}$, складають наступні величини:

$$P_{пр} = P_2/P_{ср. кр} = 79,2 \div 47,28 = 1,68$$

$$T_{пр} = T_{ш}/T_{ср. кр} = 289 \div 198,6 = 1,46$$

$$Z = (0,4 \cdot \lg 1,46 + 0,73)^{1,68} + 0,1 \cdot 1,68 = 0,8492$$

Величина критичного витікання газу через колектор продувальної свічки визначається за формулою (2):

$$v_{кк} = \frac{2 \cdot P_2 \cdot d_k^2}{864 \cdot \sqrt{\gamma \cdot T_{ш} \cdot Z}} = \frac{2 \cdot 79,2 \cdot 50^2}{864 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 289 \cdot 0,8492}} = 37,77 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Далі знаходиться необхідний час на продування шлейфу об'ємом газу, який відповідає трьом об'ємам газу в ньому за формулою (3):

$$\tau = \frac{Q_{\text{шп}}}{v_{\text{кв}}} = \frac{2630,25}{37,77} = 70\text{с}$$

Практичне заняття 8

8. Тема практичної роботи: Розрахунок тиску і масової витрати в похилому газопроводі

Мета розрахунку: Метою даного розрахунку є визначення тиску (P_2) і масової витрати (Mq) в кінці похилого газопроводу.

1. Вихідні дані для розрахунку:

Компонентний склад вуглеводневої суміші (природний газ)

Метан –	$r_1 = 86,06\%$
Етан –	$r_2 = 6,27\%$
Пропан –	$r_3 = 2,38\%$
Бутан –	$r_4 = 0,8\%$
Пентан –	$r_5 = 2,03\%$
Азот –	$r_6 = 1,52\%$
Вуглекислий газ –	$r_7 = 0,94\%$

Визначте молярну масу суміші:

$$\mu = (r_1 \cdot 16,043 + r_2 \cdot 30,07 + r_3 \cdot 44,097 + r_4 \cdot 58,124 + r_5 \cdot 72,151 + r_6 \cdot 28,016 + r_7 \cdot 44,01)$$

Константи

Універсальна газова постійна:

$$R_{\mu} = 8314,3 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$$

Газова постійна повітря:

$$R_{\text{возд.}} = 287,04 \quad \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$$

Коефіцієнт Коріюліса:

$$\alpha = 1,1$$

Геометричні параметри трубопроводу

$D = 1$ (м) – діаметр

$L = 50000$ (м) – довжина трубопроводу

$k_e = 0.00003$ (м) – коефіцієнт шорсткості

$S = 3,14 \cdot \frac{D^2}{4} \text{ м}^2$ - Площа поперечного перерізу

– коефіцієнт теплопровідності

$dh = -2000$ (м) нахил по перепаду висот від початку до кінця ділянки

Режим роботи трубопроводу

$P_1 = 5$ (МПа) - тиск на початку трубопроводу;

$P_2 = 4,7$ (МПа) - тиск в кінці трубопроводу;

$T_1 = 320$ (К) - температура на початку трубопроводу;

$T_2 = 290$ (К) - температура в кінці трубопроводу;

$T_g = 275$ (К) - температура ґрунту;

$M_q = 100$ (кг/с) - швидкість потоку маси;

2. Розрахунок фізичних властивостей вуглеводневої суміші (природного газу):

Фізичні параметри газу

На цьому етапі ми будемо послідовно розраховувати (густина газу в нормальних умовах, газову постійну, відносну вагу газу за повітрям і псевдокритичні параметри: тиск і температура)

Густина газу при нормальних умовах:

Газова постійна для суміші:

$$R = \frac{R_u}{\mu} = 426,141 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$$

Відносна вага газу за повітрям:

$$\Delta = \frac{R_{\text{ВОЗД.}}}{R} = 0,674$$

Псевдокритичні параметри газу (тиск, температура):

Таким чином, були визначені фізичні параметри газу.

3. Розрахунок параметрів усередненого режиму:

Усереднення параметрів

В цьому розділі ми обчислюємо середні значення параметрів в трубопроводі: (тиск, температура, коефіцієнт стисливості, а також визначаємо густину газової суміші в умовах експлуатації і швидкість потоку газу в трубопроводі).

Середній тиск:

Середня температура:

Коефіцієнт стисливості:

Густина суміші при робочих параметрах (усереднених термобаричних умовах):

Витрата газу:

$$v = \frac{M_q}{\rho \cdot S} = 2,963 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Таким чином, були визначені середні значення параметрів трубопроводу і значення густини і швидкості газу при усереднених даних.

Гідравлічні параметри транспортування

На даному етапі визначаються гідравлічні параметри системи суміш-трубопровід для транспортування: (число Рейнольдса, в'язкість і гідравлічний опір).

Число Рейнольдса:

В'язкість газу в потоці по трубі:

Гідравлічний опір:

$$f = 0,067 \cdot \left(\frac{158}{Re} + \frac{2 \cdot k_e}{D} \right)^{0,2} = 0,01$$

Таким чином, були визначені гідравлічні параметри транспортування вуглеводнів. Ця процедура повторюється на кожній ітерації при уточненні термобаричних умов.

Масова витрата суміші в трубопроводі

У цьому пункті розраховуємо термодинамічні параметри (теплоємність суміші і ефект Джоуля-Томпсона, а також вказуємо швидкість потоку маси і середню температуру)

Ізобарна теплоємність:

Коефіцієнт Джоуля-Томпсона

Уточнення масової витрати:

Коефіцієнт Шухова:

$$a = \frac{K_t \cdot 3,1415 \cdot D}{M_q \cdot C_p} = 8,209 \cdot 10^{-6}$$

Уточнення середньої температури:

Таким чином, була визначена середня температура газу в трубопроводі з урахуванням всіх факторів впливу і швидкості потоку газової суміші в трубопроводі.

4. Остаточний розрахунок масової витрати і тиску в кінці газопроводу:

Уточнення розрахунків

У цьому пункті визначаємо кінцеві значення параметрів тиску і потоку маси в кінці похилого трубопроводу.

Визначаємо тиск в кінці трубопроводу (P_2) з рівняння Веймаута для горизонтального газопроводу на першій ітерації:

$$P_2 = 4.679 \times 10^6 \text{ па}$$

Остаточну, розраховуємо масову втрату в похилому трубопроводі по формулі Адамова-Сміга:

$$= 158,25$$

Таким чином, розраховані ключові режимні параметри роботи похилого газопроводу (тиск в кінці трубопроводу і масову витрату газової суміші).

Варіанти для виконання розрахунків студентами групи:

За останньою цифрою в номері залікової книжки приймаєте таку саму кількість етану у складі природного газу (наприклад – ваша цифра 7, це означає що у Вашому газі $r_2=7\%$ етану, а метану стало дещо менше $r_1=86.06-0.73=85.33\%$). Задачею індивідуальної практичної роботи є виконати всі показані вище розрахунки з іншим (індивідуальним) складом газу.

Практичне заняття 9

Практична робота 9. Розрахунок акумулюючої здатності магістрального газопроводу.

Кінцева ділянка магістрального газопроводу працює в нестанційному режимі у зв'язку зі зміною відведення газу до ГРМ. При видобутку газу менше, ніж його подача в КС, тиск на ділянці буде збільшуватися з одночасним збільшенням кількості газу, тобто кінцева секція накопичує (набуває, акумулює) надлишок газу. При досягненні максимального робочого тиску в газопроводі його накопичена потужність вичерпується.

При похибці до 20%, акумулюючою потужністю кінцевої ділянки газопроводу можна визначити в режимах, що відповідають моменту завершення накопичення газу в газопроводі, коли середній тиск буде максимальним $P_{\text{ср.max}}$, а в режимах, коли споживання газу зменшується і стає рівним середньогодинній подачі, коли середній тиск становить мінімальний $P_{\text{ср.min}}$.

Різниця між обсягами газу (M , кг) в газопроводі в першому і другому випадках дорівнює накопиченій масі газу в газопроводі ΔM

$$\Delta M = \frac{V_{\text{уч}} \cdot (P_{\text{ср.max}} - P_{\text{ср.min}})}{zRT} \quad (2.1)$$

де $V_{\text{уч}}$ - геометричний об'єм ділянки газопроводу, м³. [1]

Об'єм накопичення газопроводу ($V_{\text{уч}}$) при нормальних умовах буде дорівнювати:

$$(2.2)$$

де $P_{\text{ср.max}}$ і $P_{\text{ср.min}}$ - середні тиски газопроводу, відповідно пов'язані з режимами максимального і мінімального тиску.

Кількість газу, який може накопичити газопровід, визначається наступним чином. По-перше, обсяг газу в газопроводі визначається в момент закінчення накопичення газу в газопроводі (тиск газу максимальний) і момент, коли вихід газу з газопроводу стає рівним середньодобову подачі газу в міській мережі (тобто момент, коли починається накопичення газу в газопроводі). Різниця між кількістю газу в газопроводі в першому і другому випадках дорівнює накопиченій потужності газопроводу. [2]

Акумулюючий обсяг газопроводу можна визначити з рівняння:

$$(2.2)$$

де D - діаметр газопроводу, м; L - довжина газопроводу, м; $T_0 = 273$ К; T - температура газу, К; P_0 - атмосферний тиск, МПа; $P_{\text{ср.мах}}$ і $P_{\text{ср.мін}}$ - середні тиски газопроводу, відповідно, що відносяться до режимів максимального і мінімального тиску, МПа.

Завдання по варіантах студентів:

Діаметр приймається 0.5 м. Довжина в кілометрах приймається відповідно до номеру студента в журналі учбової групи. Температура газу приймається 290 К. Перепад середнього тиску приймається 0.1 МПа.

ЗМІСТ

Частина 1. Основи розрахунку транспортування вуглеводнів

Практичне заняття 1	стор. 4
Практичне заняття 2	стор. 9
Практичне заняття 3	стор. 20
Практичне заняття 4	стор. 23
Практичне заняття 5	стор. 28
Практичне заняття 6	стор. 32
Практичне заняття 7	стор. 40

Частина 2. Розрахунок газопроводів та сховищ

Практичне заняття 8	стор. 46
Практичне заняття 9	стор. 52

Навчальне видання

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
«Основи теорії транспорту та підземного зберігання нафти і газу»
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»

Укладачі:
БІЛЕЦЬКИЙ Володимир Стефанович
ФІК Михайло Ілліч

Відповідальний за випуск проф. Фік І. М.
Роботу рекомендував до друку проф. Циганков О. В.
В авторській редакції

План 2021 р., поз. 306

Підп. до друку 07.10.2021 р.
Гарнітура Times New Roman.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
