

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.Г. Чебан,
Ю.О. Рутковський,
А.М. Зинченко,
О.А. Бревнов

ГІДРОМЕХАНІКА

в прикладах та задачах

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою ДонДТУ

Алчевськ
2010

УДК 532 (075.8)

ББК В253 я7

Ч-34

Чебан Віктор Григорович – доцент, канд. техн. наук кафедри прикладної гідромеханіки Донбаського державного технічного університету;

Рутковський Юрій Олександрович – професор, канд. техн. наук кафедри прикладної гідромеханіки Донбаського державного технічного університету;

Зинченко андрій Михайлович – доцент, канд. екон. наук кафедри технології та організації машинобудівельного виробництва Донбаського державного технічного університету;

Бревнов Олександр Аркадійович – ст. викл., канд. техн. наук кафедри прикладної гідромеханіки Донбаського державного технічного університету;

Рецензенти:

Г.Г. Литвинський – докт. техн. наук, професор, зав. кафедрою будівельної геотехнології і гірничих споруд ДонДТУ (м. Алчевськ);

О.М. Михайлов – докт. техн. наук, професор, зав. кафедрою технології машинобудування Донецького національного технічного університету;

В.Г. Нечеспаєв – докт. техн. наук, професор, зав. кафедрою основи проектування машин Донецького національного технічного університету;

*Рекомендовано вченою радою ДонДТУ
(Протокол №3 від 29.03.2010)*

Чебан В.Г. та ін.

Ч-34 Гідромеханіка в прикладах та задачах: Навч. посіб. / В.Г. Чебан, Ю.О. Рутковський, А.М. Зинченко, О.А. Бревнов. - Алчевськ: ДонДТУ, 2010 – 189 с.

ISBN 978-966-310-238-2

У навчальному посібнику в стислій формі викладено основні теоретичні положення гідромеханіки, що використовуються при рішенні різноманітних інженерних задач. Наведено приклади рішення типових задач.

Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 050300 «Гірництво» галузі знань 0503 «Розробка корисних копалин», а також може бути корисним для аспірантів та інженерно-технічних робітників.

УДК 532 (075.8)

ББК В253 я7

© В.Г. Чебан,

Ю.О. Рутковський,

А.М. Зинченко,

О.А. Бревнов, 2010

© ДонДТУ, 2010

© дизайн обкладинки

О.М. Дика, 2010

ISBN 978-966-310-238-2

ВСТУП

Гідромеханіка - галузь механіки, що вивчає закони рівноваги й руху рідин та розробляє способи застосування цих законів щодо рішення практичних інженерних задач. Значні ускладнення для студентів пов'язані зазвичай з рішенням цих задач. Саме практична частина курсу найбільшою мірою сприяє розвитку інженерного мислення, свідомому оволодінню курсом, виробленню навичок застосування теоретичних знань щодо рішення конкретних інженерних задач.

Гідромеханіку підрозділяють на дві частини: *гідростатику* і *гідродинаміку*. Перша вивчає закони рівноваги рідин, а друга - закони їх руху. Гідромеханіка надає методи розрахунку і проектування різноманітних гідротехнічних споруджень (гребель, каналів, водозливів, трубопроводів для подачі різних рідин), загальних вузлів гідромашин (насосів, гідротурбін, гідропередач), а також інших пристроїв, що застосовуються у багатьох областях техніки. Особливо велике значення гідромеханіки в гірництві.

Основна частина посібника містить приклади рішення типових задач, розгляд яких проведено настільки докладно, що студент може зрозуміти спосіб розв'язання їх без потреби звернення за допомогою до викладача. У додатках до посібника наведено деякі довідкові матеріали.

Навчальний посібник розроблено для методичного забезпечення практичних та самостійних занять з професійно-орієнтованої дисципліни «Гідромеханіка» для студентів напряму підготовки 050300 «Гірництво» відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів з гірництва.

1 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІДИН

Рідина - фізичне тіло, що володіє текучістю, здатністю змінювати свою форму під дією як завгодно малих сил. Основними характеристиками рідин є густина, стисливість, теплове розширення, в'язкість.

1. Густина однорідної рідини – це відношення її маси m до займаного об'єму V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

Одиниця густини в СІ – $\text{кг}/\text{м}^3$. Значення густини деяких рідин наведені в додатку А.

2. Стисливість – властивість рідини змінювати свій об'єм під дією тиску. Вона враховується коефіцієнтом об'ємного стиснення β_p , що уявляє собою відносну зміну об'єму рідини на одиницю зміни тиску:

$$\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta p}, \quad (1.2)$$

де ΔV – зменшення об'єму при збільшенні тиску на Δp ; V_0 – первісний об'єм рідини.

Одиниця виміру β_p – Па^{-1} .

Коефіцієнт об'ємного стиснення β_p пов'язаний з об'ємним модулем пружності E співвідношенням

$$\beta_p = \frac{1}{E}. \quad (1.3)$$

Значення коефіцієнта об'ємного стиснення β_p для деяких рідин наведені в додатку А.

3. Теплове розширення рідини характеризується температурним коефіцієнтом об'ємного розширення, що уявляє собою відносну зміну об'єму рідини при зміні температури на 1 °С:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta t}, \quad (1.4)$$

де Δt – зміна температури рідини.

Значення температурного коефіцієнту об'ємного розширення (°С⁻¹) для деяких рідин наведені в додатку А.

4. В'язкість - це властивість рідини чинити опір ковзанню одного її шару відносно іншого. Ця властивість проявляється у тому, що в рідині за певних умов виникають дотичні напруження.

Дотичні напруження в рідині залежать від її роду й характеру течії, а при шаруватій течії змінюються прямо пропорційно поперечному градієнту швидкості:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}. \quad (1.5)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості; dv – збільшення швидкості, що відповідає збільшенню координати dy (див. рис. 1.1).

У СІ динамічна в'язкість вимірюється в паскаль-секундах (Па·с).

Поряд з динамічною в'язкістю існує поняття кінематичної в'язкості:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.6)$$

Вона вимірюється в $\text{м}^2/\text{с}$ або в $\text{мм}^2/\text{с}$. Значення кінематичної в'язкості для деяких рідин наведені в додатку А.

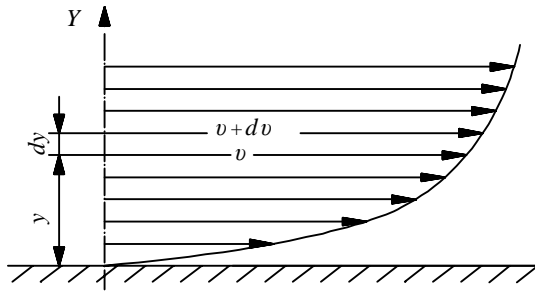


Рисунок 1.1 – Схема розподілу швидкості у потоці

Приклади рішення задач

Приклад 1.

Визначити підвищення тиску, при якому початковий об'єм води зменшиться на 1%.

Рішення. З формули (1.2) знаходимо

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p},$$

де за умовою задачі відносне зменшення об'єму $\frac{\Delta V}{V_0} = 0,01$, а

коефіцієнт об'ємного стиснення для води $\beta_p = 4,85 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

Отже, шукане підвищення тиску

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

Приклад 2.

Висота циліндричного вертикального резервуара дорівнює $H = 10$ м, його діаметр $D = 3$ м. Визначити масу мазуту ($\rho_0 = 920$ кг/м³), яку можна налити в резервуар при 15 °С, якщо його температура може збільшитись до 40 °С. Розширенням стінок резервуара знехтувати, температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини $\beta_t = 0,0008$ C⁻¹.

Рішення. При підвищенні температури рідина розширюється і її об'єм збільшується. Нехай V_0 і H_0 – об'єм і висота стовпа мазуту при 15 °С, а V і H – те ж, при 40 °С, причому H не може бути більше висоти резервуара. Відповідно до формули (1.4) маємо

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

звідкіля, приймаючи $H = 10$ м й $\Delta t = 40 - 15 = 25$ °С, отримаємо

$$H_0 = \frac{H}{1 + \beta_t \cdot \Delta t} = \frac{10}{1 + 0,0008 \cdot 25} = 9,8 \text{ м.}$$

Маса мазуту, яку можна залити в резервуар,

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

2 ГІДРОСТАТИКА

2.1 Гідростатичний тиск

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

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

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S},$$

де ΔS – елементарна площа, що містить дану точку; ΔP – нормальна стискаюча сила, що діє на цю площину.

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

Одиницею тиску в СІ є паскаль ($Па$):

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

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

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

$$dp = \rho \cdot (X \cdot dx + Y \cdot dy + Z \cdot dz), \quad (2.1)$$

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, а вісь спрямована вертикально нагору, то $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, і після інтегрування рівняння (2.1) одержуємо основне рівняння гідростатики:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + z = \text{const}, \quad (2.2)$$

де p – тиск у точці, розташованій на висоті z від горизонтальної площини порівняння $0-0$ (рис. 2.1).

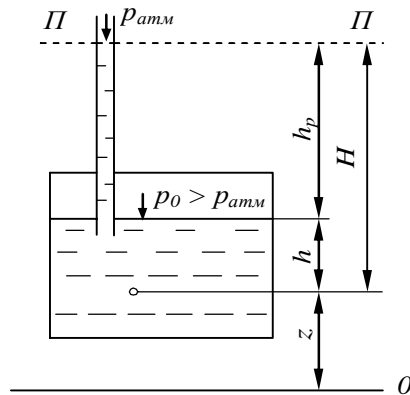


Рисунок 2.1 – Схема до визначення тиску у точці

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

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2.3)$$

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 (2.1) при $p = const$, $dp = 0$, $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, одержуємо

$$z = const . \quad (2.4)$$

Надлишковим або манометричним тиском називається різниця між абсолютним $p_{абс}$ й атмосферним $p_{атм}$ тиском (рис. 2.2):

$$p_{ман} = p_{абс.С} - p_{атм} . \quad (2.5)$$

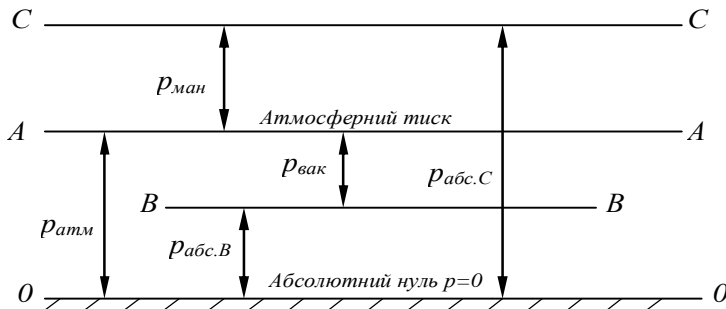


Рисунок 2.2 – Види тиску

Вакуум - це нестача тиску до атмосферного

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс.В} . \quad (2.6)$$

Величини

$$h_p = \frac{p_{ман}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{абс.С} - p_{атм}}{\rho \cdot g} , \quad (2.7)$$

$$h_{\text{вак}} = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} = \frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{абс.В}}}{\rho \cdot g}, \quad (2.8)$$

називаються відповідно п'єзометричною і вакуумметричною висотами.

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

$$P_{\text{ман}} = \rho \cdot g \cdot H,$$

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

2.2 Сила гідростатичного тиску на плоскі стінки й криволінійні поверхні

Надлишкова сила гідростатичного тиску на плоску стінку дорівнює тиску в центрі ваги стінки, помноженому на її площину,

$$P = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h'_c) \cdot S, \quad (2.9)$$

де h'_c – глибина занурення центра ваги стінки під вільною поверхнею (рис. 2.3); S – площа стінки; p_0 – надлишковий тиск на вільній поверхні рідини.

Формулу (2.9) можна викласти і у вигляді

$$P = P_0 + P_p, \quad (2.10)$$

де $P_0 = p_0 \cdot S$ – сила, обумовлена зовнішнім тиском;
 $P_p = \rho \cdot g \cdot h'_c \cdot S$ – сила, обумовлена тільки тиском рідини.

Сила P_0 прикладена в центрі ваги стінки, сила P_p – у центрі тиску, координата якого визначається за формулою

$$y_o = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c}, \quad (2.11)$$

де y_c – координата центра ваги; J_0 – момент інерції плоскої фігури відносно центральної осі.

Моменти інерції деяких плоских фігур наведені у додатку E.

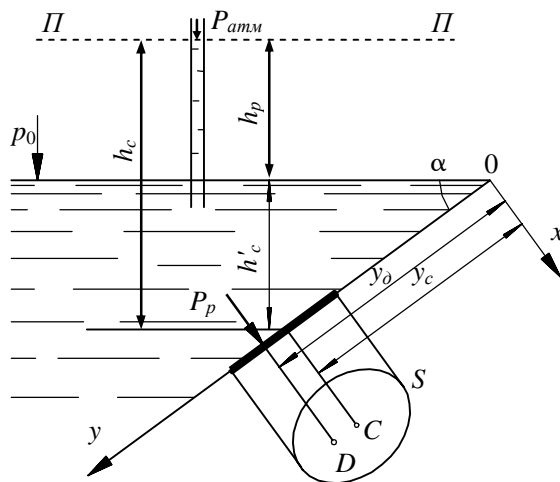


Рисунок 2.3 – Схема до визначення сили тиску на плоску стінку

Надлишкова сила тиску на плоску стінку

$$P = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S. \quad (2.12)$$

де h_c – відстань від центра ваги стінки до п'єзометричної поверхні $\Pi-\Pi$.

Сила гідростатичного тиску на криволінійну поверхню

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}. \quad (2.13)$$

де P_x , P_y , P_z – складові сили надлишкового тиску по відповідних координатних осях.

Для циліндричної криволінійної поверхні (рис. 2.4)

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

де P_x і P_z – горизонтальна й вертикальна складові сили P .

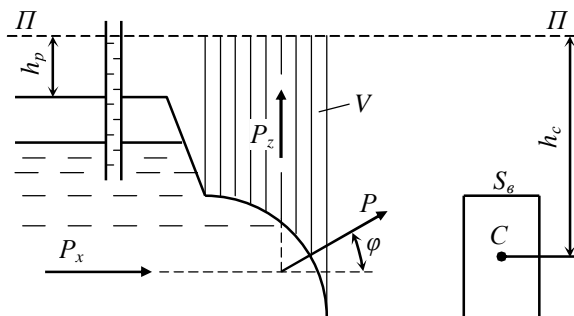


Рисунок 2.4 – Схема до визначення сили тиску на криволінійні поверхні

Горизонтальна складова

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_g, \quad (2.14)$$

де h_c – відстань від центра ваги вертикальної проекції до п'єзометричної поверхні; S_g – площа проекції криволінійної поверхні на вертикальну поверхню.

Вертикальна складова

$$P_z = \rho \cdot g \cdot V, \quad (2.15)$$

де V – об'єм тіла тиску – вертикального стовпа рідини, який спирається на криволінійну поверхню і обмежується зверху п'єзометричною поверхнею.

Вектор повної сили тиску на циліндричну поверхню проходить через вісь циліндра під кутом φ до горизонту, причому

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_z}{P_x}. \quad (2.16)$$

2.3 Закон Архімеда. Плавання тіл

За законом Архімеда на тіло, занурене в рідину, діє вертикальна (архімедова) сила, що виштовхує і спрямована вертикально вгору,

$$P = \rho \cdot g \cdot V, \quad (2.17)$$

де V – об'єм зануреної частини тіла.

Центр ваги D витиснутого об'єму рідини є центром водотоннажності (рис. 2.5). При нахилі (крені) плаваючого тіла центр водотоннажності змінює своє положення.

Лінія, що проходить через центр ваги тіла C та центр водотоннажності D у положенні рівноваги перпендикулярно до вільної поверхні рідини (поверхня плавання), є віссю плавання. У положенні рівноваги вісь плавання вертикальна, при крені - нахилена.

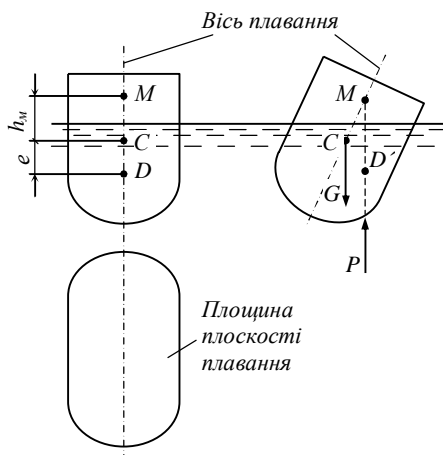


Рисунок 2.5 – Плавання тіл

Точка перерізу M лінії дії сил, що виштовхує, при нахиленому положенні до вісі плавання називається метacentром. Відстань h_m між центром ваги тіла C і метacentром M називається метacentричною висотою. Чим більше h_m , тим більша остійність тіла (здатність переходити із крену в положення рівноваги), тому що момент пари сил $P - G$, що прагне відновити рівновагу, прямо пропорційний метacentричній висоті.

Величина метацентричної висоти

$$h_m = \frac{J}{V} - e, \quad (2.18)$$

де J – найменший момент інерції площини плавання;
 e – відстань між центрами ваги й водотоннажності.

Якщо метацентр лежить нижче центра ваги тіла, тобто метацентрична висота негативна, то тіло остійністю не володіє.

2.4 Відносний спокій рідини

2.4.1 При русі резервуару в горизонтальному напрямку з постійним прискоренням (рис. 2.6) на рідину, що перебуває в ньому, діє сила ваги й сила інерції. Вільна поверхня являє собою нахилену поверхню, рівняння якої має вид

$$a \cdot x + g \cdot z = C, \quad (2.19)$$

де C – постійна величина; a – прискорення резервуару.

Гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2.20)$$

де h – відстань по вертикалі від точки до вільної поверхні.

П'єзометрична поверхня $П - П$, проходить паралельно вільної поверхні на висоті

$$h_p = \frac{p_0 - p_{атм}}{\rho \cdot g},$$

якщо тиск на вільній поверхні $p_0 > p_{атм}$ (рис. 2.6), або на глибині

$$h_{вак} = \frac{p_{атм} - p_0}{\rho \cdot g},$$

під вільною поверхнею рідини, якщо $p_0 < p_{атм}$.

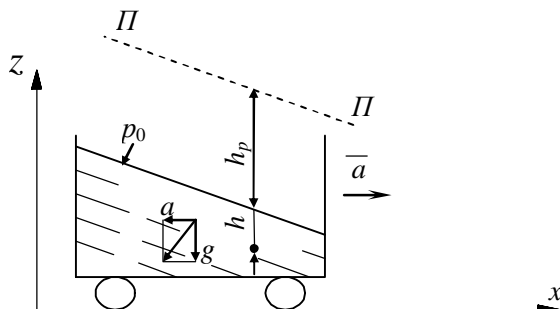


Рисунок 2.6 – Відносний спокій рідини, що розташована у резервуарі, який рухається з постійним прискоренням

Сила тиску на передню (задню) плоску стінку

$$P = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h'_c) \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S, \quad (2.21)$$

де h'_c і h_c – відстані по вертикалі від центра ваги стінки до вільної поверхні рідини та до п'єзометричної поверхні відповідно.

Силу тиску на криволінійну площину (рис. 2.7) може бути знайдено за умови динамічної рівноваги об'єму рідини V , що міститься між криволінійною площиною і поверхнею, проведеною через граничний контур об'єму рідини (на рис. 2.7 цей об'єм заштрихований):

$$\bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{F} + \bar{G}, \quad (2.22)$$

де P_1 – сила тиску на плоский переріз AB , визначена за формулою (2.21); $F = \rho \cdot a \cdot V$ – сила інерції, що діє на заштрихований об'єм рідини; $G = \rho \cdot g \cdot V$ – вага цього об'єму рідини.

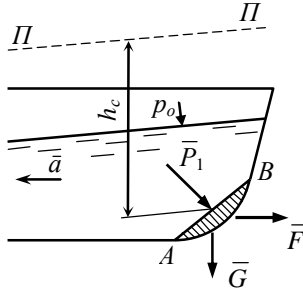


Рисунок 2.7 – Схема до визначення сили тиску рідини на криволінійну площину AB

2.4.2 При обертанні резервуару навколо вертикальної осі z (рис. 2.8) на будь-яку частку M рідини крім сили ваги діє також відцентрова сила інерції

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2.23)$$

яку можна розкласти на дві складові

$$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x, \quad F_y = m \cdot \omega^2 \cdot y, \quad (2.24)$$

де m – маса частки; ω – кутова швидкість; r – відстань від частки до осі обертання; x и y – проекції вектора r на координатні осі, причому $x^2 + y^2 = r^2$.

Отже, проекції прискорення масових сил на координатні осі в розглянутому випадку рівноваги рідини рівні

$$X = \omega^2 \cdot x, \quad Y = \omega^2 \cdot y, \quad Z = -g.$$

Підставивши значення X , Y , і Z в диференціальне рівняння рівноваги (2.1) і виконавши інтегрування, отримаємо

$$p = p_0 + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_0), \quad (2.25)$$

де p_0 – тиск на вільній поверхні; z_0 – вершина параболоїда обертання.

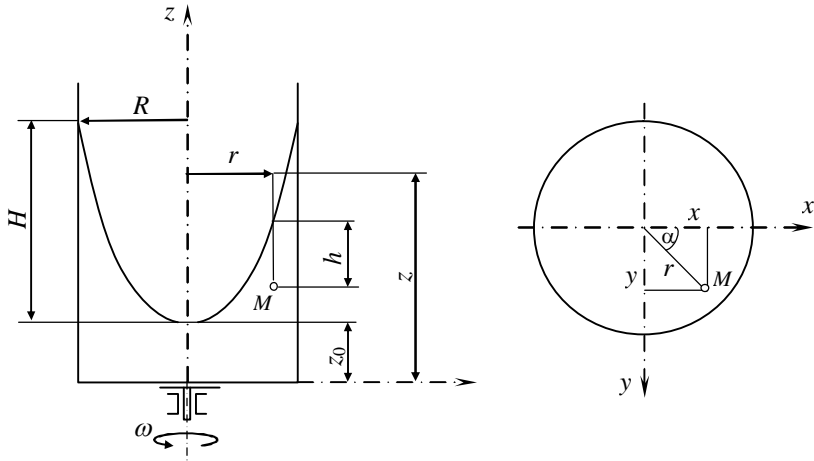


Рисунок 2.8 - Відносний спокій рідини, що розташована у резервуарі, який обертається з постійною кутовою швидкістю

У довільній точці, розташованій на глибині h від поверхні рідини, тиск

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h. \quad (2.26)$$

Поверхні рівня являють собою параболоїди обертання. Рівняння вільної поверхні рідини має вигляд

$$z = z_0 + \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g}. \quad (2.27)$$

П'єзометрична поверхня при $p_0 = p_{атм}$ збігається з вільною поверхнею рідини. Якщо вільна поверхня відсутня (закритий резервуар повністю заповнений рідиною під тиском), то п'єзометрична поверхня проходить через точку рідини, у якій тиск дорівнює атмосферному (наприклад, через рівень у відкритому п'єзометрі, де $p_0 = p_{атм}$).

Якщо R – радіус резервуару, а ω - кутова швидкість, то висота параболоїда обертання

$$H = \frac{\omega^2 \cdot R^2}{2 \cdot g}. \quad (2.28)$$

Об'єм параболоїда обертання

$$V_n = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H. \quad (2.29)$$

2.5 Вказівки до рішення задач

При рішенні задач по гідростатиці насамперед потрібно добре засвоїти та не змішувати такі поняття, як тиск p і сила тиску P .

При рішенні задач на визначення тиску в тій або іншій точці нерухомої рідини варто користуватися основним рівнянням гідростатики (2.3). Застосовуючи це рівняння, потрібно мати на увазі, що другий член у правій частині цього рівняння може бути як позитивним, так і негативним. Очевидно, що при збільшенні глибини тиск зростає, а при її зменшенні - падає.

Необхідно твердо розрізняти тиск абсолютний, надлишковий й вакуум і обов'язково знати зв'язок між тиском і висотою, що відповідає цьому тиску (п'єзометричної висотою).

При рішенні задач, у яких надано поршні або системи поршнів, варто скласти рівняння рівноваги, тобто рівність нулю суми всіх сил, що діють на поршень (систему поршнів).

У задачах на відносний спокій рідини в загальному випадку варто враховувати дії двох масових сил - сили ваги і сили інерції переносного руху, та використовувати основну властивість поверхонь рівня, у тому числі вільної поверхні рідини. Положення вільної поверхні в резервуарі при заданій кутовій швидкості обертання визначається об'ємами рідини, що перебуває в ньому.

Приклади рішення задач

Приклад 1.

Визначити густину рідини, наливої в праве коліно сполучених посудин, якщо в лівому коліні – вода. Рівні рідин дорівнюють $H_1 = 240 \text{ мм}$ і $H_2 = 300 \text{ мм}$.

Рішення. Проведемо по границі розділу рідин (рис. 2.9) горизонтальну площину 0-0. Так як в однорідній рідині в стані спокою

будь-яка горизонтальна площина є площиною рівного тиску, то абсолютний тиск в точках 1 і 2 дорівнює:

$$p_1 = p_2 .$$

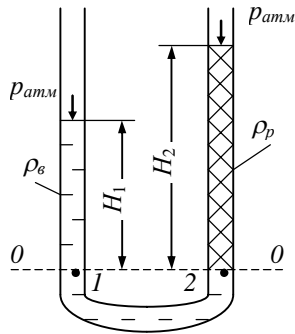


Рисунок 2.9 – Схема розрахунку до прикладу 1

Відповідно до основного рівняння гідростатики:

$$p_1 = p_{атм} + \rho_г \cdot g \cdot H_1 ;$$

$$p_2 = p_{атм} + \rho_р \cdot g \cdot H_2 .$$

Отже:

$$p_{атм} + \rho_г \cdot g \cdot H_1 = p_{атм} + \rho_р \cdot g \cdot H_2 ,$$

звідкіля

$$\rho_р = \rho_г \cdot \frac{H_1}{H_2} = 1000 \cdot \frac{0,24}{0,30} = 800 \text{ кг/м}^3 .$$

Приклад 2.

Визначити показання манометра p_m (у паскалях), встановленого у верхній точці резервуара (рис. 2.10), якщо висота масла в U -образній трубці дорівнює $H = 1,2$ м, густина масла $\rho_m = 880$ кг/м³, висота $h = 200$ мм.

Рішення. Проведемо поверхню рівного тиску 0-0 через межу розділу масла й води.

На вільну поверхню масла діє атмосферний тиск $p_{атм}$.

Абсолютний тиск в точках 1 і 2 однаковий, тому що вони належать одній поверхні рівного тиску, тобто

$$p_1 = p_2.$$

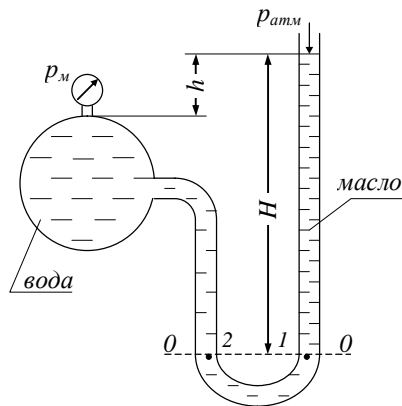


Рисунок 2.10 – Схема розрахункова до прикладу 2

Застосуємо основне рівняння гідростатики. Абсолютний тиск у точці 1:

$$p_1 = p_{атм} + \rho_m \cdot g \cdot H.$$

Абсолютний тиск у точці 2:

$$p_2 = p_{атм} + p_m + \rho_g \cdot g \cdot (H - h),$$

де p_m – показання манометра.

Отже

$$p_{атм} + \rho_m \cdot g \cdot H = p_{атм} + p_m + \rho_g \cdot g \cdot (H - h).$$

Звідкіля

$$\begin{aligned} p_m &= \rho_m \cdot g \cdot H - \rho_g \cdot g \cdot (H - h) = \\ &= 880 \cdot 9,81 \cdot 1,2 - 1000 \cdot 9,81 \cdot (1,2 - 0,2) = 549 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Приклад 3.

Визначити показання вакуумметра $h_{вак}$ (у мм.рт.ст.), встановленого на маслобаку (рис. 2.11), якщо густина масла $\rho_m = 850 \text{ кг/м}^3$, висоти $H = 1,5 \text{ м}$ і $h = 200 \text{ мм}$.

Рішення. Позначимо на рисунку характерні точки. У цьому випадку, це точки 1, 2, 3, 4 й 5.

Точки 1 і 2 лежать на горизонтальній поверхні $0'-0'$, що є поверхнею рівного тиску, тому тиски в них будуть однаковими, при цьому тиск у точці 1 дорівнює атмосферному тиску, тому що нижній резервуар відкритий в атмосферу. Тому

$$p_1 = p_2 = p_{атм}.$$

Точка 3 лежить на межі розділу двох середовищ: масла й ртуті.

Відповідно до основного рівняння гідростатики:

$$p_3 = p_2 - \rho_{рт} \cdot g \cdot h = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h.$$

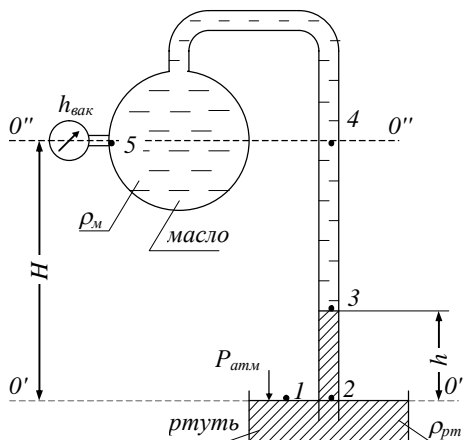


Рисунок 2.11 – Схема розрахунку до прикладу 3

Точки 4 і 5 лежать у горизонтальній поверхні $0''-0''$, проведений через місце установки вакуумметра. Вона також є поверхнею рівного тиску, тому

$$p_4 = p_5.$$

З урахуванням тиску в точці 3, визначимо абсолютний тиск у точці 5, – місці, у якому встановлено вакуумметр:

$$p_5 = p_4 = p_3 - \rho_m \cdot g \cdot (H - h) = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h - \rho_m \cdot g \cdot (H - h).$$

Вакуумметричний тиск у точці 5:

$$\begin{aligned}
 p_{\text{вак}} &= p_{\text{атм}} - p_5 = p_{\text{атм}} - [p_{\text{атм}} - \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h - \rho_{\text{м}} \cdot g \cdot (H - h)] = \\
 &= \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h + \rho_{\text{м}} \cdot g \cdot (H - h) = \\
 &= 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,2 + 850 \cdot 9,81 \cdot (1,5 - 0,2) = 37523 \text{ Па}.
 \end{aligned}$$

Показання вакуумметра, виражене в міліметрах ртутного стовпа, одержимо, використовуючи формулу:

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{вак}}}{\rho_{\text{рт}} \cdot g} = \frac{37523}{13600 \cdot 9,81} = 0,281 \text{ м. рт. ст.} = 281 \text{ мм.рт.ст.}$$

Приклад 4.

Визначити надлишковий тиск води ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) у закритому резервуарі, якщо показання батарейного двохрідинного 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. 2.12).

Рішення. Знаходимо послідовно надлишковий тиск в точках B , C , D , E , F , G і K , беручи до уваги той факт, що у всіх точках горизонтальної поверхні, проведеної в однорідній рідині, гідростатичний тиск однаковий:

$$\begin{aligned}
 p_C &= p_B = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4); \\
 p_E &= p_D = p_C - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4);
 \end{aligned}$$

$$p_G = p_F = p_E + \rho_{pm} \cdot g \cdot (h_3 - h_2) =$$

$$= \rho_{pm} \cdot g(h_5 - h_4) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) + \rho_{pm} \cdot g \cdot (h_3 - h_2).$$

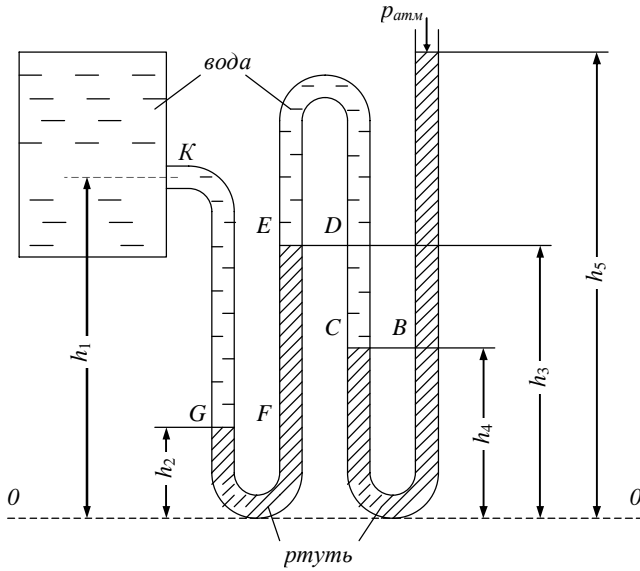


Рисунок 2.12 – Схема розрахунку до прикладу 4

Надлишковий тиск у резервуарі

$$p_K = p_G - \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \rho_{pm} \cdot g(h_5 - h_4) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) +$$

$$+ \rho_{pm} \cdot g \cdot (h_3 - h_2) - \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) =$$

$$= \rho_{pm} \cdot g \cdot (h_5 - h_4 + h_3 - h_2) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4 + h_1 - h_2) =$$

$$= 13600 \cdot 9,81 \cdot (1,4 - 0,2 + 0,6 - 0,1) -$$

$$- 1000 \cdot 9,81 \cdot (0,6 - 0,2 + 0,8 - 0,1) = 219000 \text{ Па}.$$

Приклад 5.

Визначити зусилля F (κH), що стискає випробуваний зразок у гідравлічному пресі (рис. 2.13), якщо до рукоятки важеля прикладене зусилля $P = 200 \text{ Н}$. Плечі важеля $a = 500 \text{ мм}$, $b = 450 \text{ мм}$. Діаметри поршнів дорівнюють $D = 480 \text{ мм}$, $d = 40 \text{ мм}$.

Рішення. Відповідно до правила важеля зусилля, що передається малому поршню, може бути знайдене з вираження:

$$P_1 = P \cdot \frac{a}{a-b} = 200 \cdot \frac{0,5}{0,5-0,45} = 2000 \text{ Н}.$$

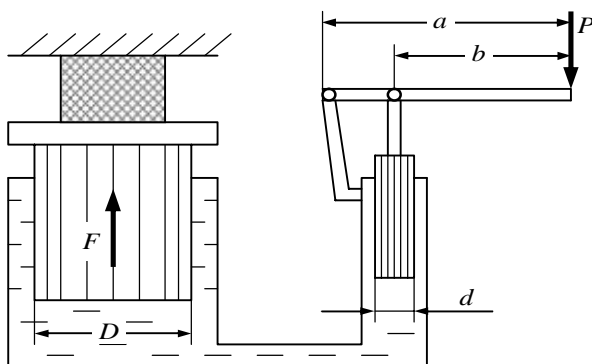


Рисунок 2.13 – Схема розрахунку до прикладу 5

Тиск рідини в малому циліндрі буде:

$$p = \frac{4 \cdot P_1}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2000}{3,14 \cdot 0,04^2} = 1,59 \times 10^6 \text{ Па}.$$

Відповідно до закону Паскаля, цей тиск передається однаково в усі сторони, у тому числі й до великого поршня. Отже, нехтуючи тертям поршня, стискаюче зусилля дорівнює:

$$F = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1,59 \times 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,48^2}{4} = 288 \times 10^3 \text{ Н} = 288 \text{ кН}.$$

Приклад 6.

Визначити тиск масла p_1 , що підводиться в поршневу порожнину гідроциліндра (рис. 2.14), якщо надлишковий тиск у штоковій порожнині $p_2 = 80 \text{ кПа}$, зусилля на штоку $R = 10 \text{ кН}$, сила тертя поршня об циліндр $F = 0,4 \text{ кН}$, діаметр поршня $D = 125 \text{ мм}$, діаметр штока $d = 70 \text{ мм}$.

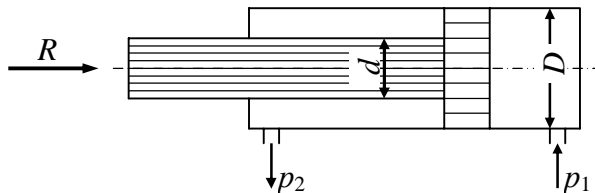


Рисунок 2.14 – Схема розрахунку до прикладу 6

Рішення. Шуканий тиск p_1 визначають за умови рівноваги сил, що діють на поршень. Крім сили R , на поршень діють сили тиску

$$P_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{і} \quad P_2 = p_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2),$$

а також сила тертя F , що спрямована проти руху поршня:

$$R + P_2 + F - P_1 = 0$$

або

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

Звідкіля

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

$$= \frac{4 \cdot 10000}{3,14 \cdot 0,125^2} + 80 \times 10^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,07}{0,125} \right)^2 \right] + \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 0,125^2} = 9,03 \times 10^5 \text{ Па}.$$

Приклад 7.

Визначити величину й точку додатка сили тиску води на плоский щит шириною $B = 2 \text{ м}$, висотою $h = 3 \text{ м}$, якщо рівень води перед щитом $H = 8 \text{ м}$ (рис. 2.15).

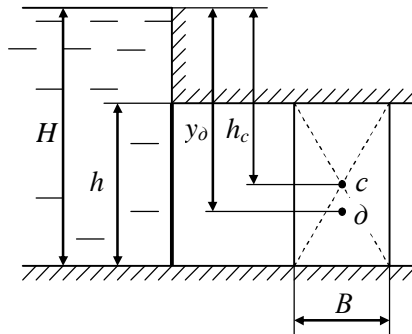


Рисунок 2.15 – Схема розрахункова до прикладу 7

Рішення. Сила гідростатичного тиску води на щит:

$$P = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot h_c \cdot S = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,5 \cdot 6 = 382590 \text{ Н},$$

де $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води; h_c – відстань по вертикалі від вільної поверхні до центра ваги щита;

$$h_c = H - \frac{h}{2} = 8 - \frac{3}{2} = 6,5 \text{ м},$$

де S – площа поверхні щита;

$$S = B \cdot h = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}^2.$$

Визначимо точку, до якої прикладене силу тиску (розташування центра тиску):

$$y_d = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = h_c + \frac{J_0}{S \cdot h_c} = 6,5 + \frac{4,5}{6 \cdot 6,5} = 6,615 \text{ м},$$

де J_0 – момент інерції щита щодо центральної осі,

$$J_0 = \frac{B \cdot h^3}{12} = \frac{2 \cdot 3^3}{12} = 4,5 \text{ м}^4.$$

Приклад 8.

Визначити величину й точку додатка сили тиску на кришку, що перекриває круглий отвір діаметром $d = 500 \text{ мм}$ у вертикальній перегородці закритого резервуара, якщо лівий відсік резервуара заповнений нафтою ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), правий – повітрям. Надлишковий тиск на поверхні рідини $p_{\text{ман}} = 15 \text{ кПа}$, показання ртутного

мановакуумметра, підключеного до правого відсіку резервуара, $h = 80 \text{ мм}$, центр отвору розташований на глибині $H = 0,8 \text{ м}$ (рис. 2.16), атмосферний тиск $p_{атм} = 100 \text{ кПа}$.

Рішення. Знаходимо тиск повітря в правому відсіку резервуара p_n . Оскільки тиск в точках B і C , що належать горизонтальній поверхні, однаковий і дорівнює атмосферному тиску (100 кПа), тобто $p_C = p_B = p_{атм}$, то абсолютний тиск повітря в правому відсіку

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

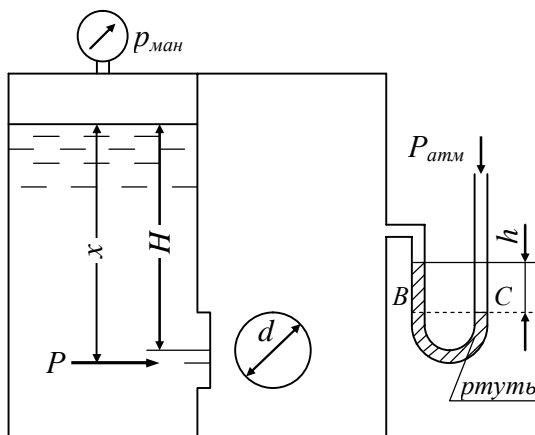


Рисунок 2.16 – Схема розрахунку до прикладу 8

Сила тиску повітря на кришку праворуч

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

Ця сила прикладена в центрі ваги кришки.

Абсолютний тиск повітря на поверхні рідини в лівому відсіку

$$p_{\text{л}} = p_{\text{атм}} + p_{\text{ман}} = 100000 + 15000 = 115000 \text{ Па.}$$

Сила тиску повітря на кришку ліворуч

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

Ця сила прикладена в центрі ваги кришки.

Сила тиску рідини на стінку

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

де h_c – відстань від вільної поверхні рідини до центра ваги кришки; S – площа кришки.

Ця сила прикладена в центрі тиску, відстань до якого від поверхні рідини

$$\begin{aligned} y_0 &= y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = H + \frac{4 \cdot \pi \cdot d^4}{64 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot H} = H + \frac{d^2}{16 \cdot H} = \\ &= 0,8 + \frac{0,5^2}{16 \cdot 0,8} = 0,82 \text{ м,} \end{aligned}$$

де $J_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ – момент інерції круглої кришки.

Повна сила тиску на кришку

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

Відстань x результуючої сили P від поверхні рідини знайдемо, використовуючи теорему про момент рівнодіючої

$$P \cdot x = P_a \cdot H + P_p \cdot y_o - P_n \cdot H ,$$

звідкіля

$$x = \frac{P_p \cdot y_o + (P_a - P_n) \cdot H}{P} = \frac{1380 \cdot 0,82 + (22600 - 17500) \cdot 0,8}{6480} = 0,804 \text{ м.}$$

Приклад 9.

Визначити величину й напрямок дії сили гідростатичного тиску води на циліндричний затвор радіусом $r = 1 \text{ м}$ і шириною $B = 2 \text{ м}$, розташований на глибині $H = 6 \text{ м}$ (рис. 2.17).

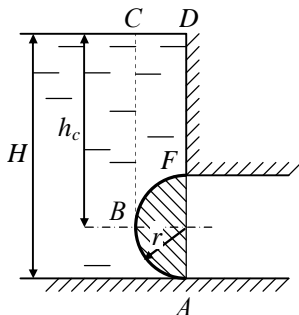


Рисунок 2.17 – Схема розрахункова до прикладу 9

Рішення. Сила гідростатичного тиску на циліндричний затвор:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} ,$$

де P_x й P_z – горизонтальна й вертикальна складові сили гідростатичного тиску.

Горизонтальна складова:

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 4 = 196200 \text{ Н},$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води; h_c – відстань по вертикалі від центра ваги вертикальної проекції циліндричного затвора до п'єзометричної поверхні; S_g – площа проекції циліндричного затвора на вертикальну поверхню.

$$h_c = H - r = 6 - 1 = 5 \text{ м},$$

$$S_g = 2 \cdot r \cdot B = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4 \text{ м}.$$

Вертикальна складова:

$$P_z = \rho \cdot g \cdot V = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,14 = 30800 \text{ Н},$$

де V – об'єм тіла тиску ABF шириною B .

$$V = V_{ABCDFA} - V_{BCDF} = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot B = \frac{3,14 \cdot 1^2}{2} \cdot 2 = 3,14 \text{ м}^3.$$

$$P = \sqrt{196200^2 + 30800^2} = 198600 \text{ Н}.$$

Напрямок дії результуючої сили гідростатичного тиску визначається кутом нахилу її до горизонту:

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x} = \arctg \frac{30800}{196200} \approx 9^\circ.$$

Приклад 10.

Визначити частоту обертання циліндричного резервуару навколо вертикальної осі, при якій сила тиску води на його верхньому дніщі $P = 6500 \text{ Н}$ (рис. 2.18). До початку обертання рівень води у відкритих п'єзометрах, встановлених у верхнє днище на відстанях $R_1 = 150 \text{ мм}$ й $R_2 = 300 \text{ мм}$ від осі обертання циліндра, дорівнював $h = 700 \text{ мм}$. Радіус циліндра $R = 450 \text{ мм}$, діаметри п'єзометрів однакові.

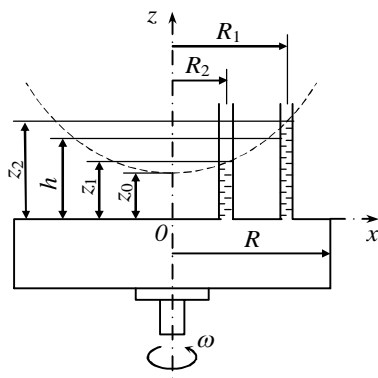


Рисунок 2.18 – Схема розрахункова до прикладу 10

Рішення. При обертанні резервуару навколо вертикальної осі п'єзометрична поверхня (поверхня рівня з тиском $p = p_{атм} = const$), що представляє собою параболоїд обертання, проходить через вільні поверхні рідини у відкритих п'єзометрах:

$$z = z_0 + \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g},$$

де z_0 – відстань вершини параболоїда від початку координат, яке вибираємо на поверхні верхнього днища.

Висоти стовпців рідини у п'єзометрах:

$$z_1 = z_0 + \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{2 \cdot g}, \quad z_2 = z_0 + \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{2 \cdot g},$$

причому $0,5 \cdot (z_1 + z_2) = h$, тому що об'єм рідини в розглянутій системі постійний;

$$h = \frac{1}{2} \cdot \left(z_0 + \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{2 \cdot g} + z_0 + \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{2 \cdot g} \right).$$

Звідкіля знаходимо вираз для координати вершини параболоїда:

$$z_0 = h - \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{4 \cdot g} - \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{4 \cdot g}.$$

Повний тиск у будь-якій точці рідини в обертовому циліндрі

$$p = p_0 + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_0),$$

де $p_0 = p_{атм}$ – тиск на п'єзометричний поверхні.

Надлишковий тиск у будь-якій точці рідини

$$p_{ман} = p - p_{атм} = \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_0).$$

Оскільки для всіх точок днища $z = 0$, то надлишковий тиск у будь-якій його точці

$$p_{ман} = \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot z_0,$$

або з урахуванням того, що $z_0 = h - \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{4 \cdot g} - \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{4 \cdot g}.$

$$p_{\text{ман}} = \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2,$$

де r – відстань точки від осі обертання; ω - шукана кутова швидкість.

Знайдемо вираження для сили тиску води на кришку. Для цього розіб'ємо її на елементарні кільцеві площадки. Сила, що діє на цю площадку,

$$\begin{aligned} dP &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot p_{\text{ман}} = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \left(\rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2 \right), \end{aligned}$$

а сила тиску на всю кришку

$$\begin{aligned} P &= \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \left(\rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2 \right) = \\ &= \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot R^2 + \frac{\rho}{4} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (R^2 - R_1^2 - R_2^2) \cdot \omega^2. \end{aligned}$$

Звідкіля знаходимо кутову швидкість

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \cdot \sqrt{\frac{P - \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot R^2}{\rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (R^2 - R_1^2 - R_2^2)}} = \\ &= 2 \cdot \sqrt{\frac{6500 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,7 \cdot 3,14 \cdot 0,45^2}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,45^2 \cdot (0,45^2 - 0,3^2 - 0,15^2)}} = 12,2 \text{ c}^{-1}. \end{aligned}$$

Шукана частота обертання резервуару

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,2}{3,14} = 117 \text{ min}^{-1}.$$

3 ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ

3.1 Основні поняття про рух рідини.

Рівняння витрати (нерозривності потоку)

Рух рідини може бути усталеним й неусталеним, рівномірним і нерівномірним, напірним і безнапірним, що плавно змінюється й різко змінюється, ламінарним і турбулентним.

Усталеним називається такий рух рідини, при якому швидкість і тиск у будь-якій її точці за часом не змінюються. При неусталеному русі швидкість і тиск рідини змінюються за часом.

Усталений рух називається рівномірним, якщо живі перерізи потоку, середні і місцеві швидкості у відповідних точках всіх живих перерізів однакові. Інакше рух називається нерівномірним.

Напірним називається такий рух рідини в закритому руслі, при якому потік не має вільної поверхні, а тиск відрізняється від атмосферного. При безнапірному русі рідина має вільну поверхню, тиск у всіх точках якої дорівнює атмосферному.

Лінією струму називається лінія, проведена в рідині так, що в будь-якій її точці вектор швидкості в цей момент часу спрямований по дотичній до неї. Рух рідини є таким, що плавно змінюється, якщо кривизна ліній струму й кут розбіжності між ними незначні. Інакше рух різко змінюється.

Трубчаста поверхня, утворена лініями струму, проведеними через всі точки нескінченно малого замкнутого контуру в рідині, що рухається, називається трубкою струму. Частина потоку, що тече всередині трубки струму, називається елементарною струминкою. Потік - це сукупність елементарних струминок.

Живим перерізом називається поверхня усередині потоку, нормальна в кожній точці до відповідної лінії струму. Частина периметра живого перерізу, що стикається з твердими стінками, називається змоченим периметром. Відношення площі живого перерізу S до змоченого периметра χ називається гідравлічним радіусом:

$$R_r = \frac{S}{\chi}. \quad (3.1)$$

Для круглої труби при напірній течії гідравлічний діаметр

$$d_r = 4 \cdot R_r. \quad (3.2)$$

Об'ємною витратою називається кількість рідини, що проходить через живий переріз потоку за одиницю часу. Він може, бути обмірюваний об'ємним способом

$$Q = \frac{V}{T}, \quad (3.3)$$

де V – об'єм мірного бака; T – час його наповнення,
а також обчислений за формулою

$$Q = \int_S u \cdot dS, \quad (3.4)$$

де dS – площа перерізу елементарної площини; u – місцева швидкість у центрі ваги цієї площини.

Середньою швидкістю v називається така фіктивна швидкість, що однакова для всіх точок живого перерізу, при якій витрата підрахована за формулою

$$Q = v \cdot S, \quad (3.5)$$

була б рівною фактичній витраті, підрахованій за формулою (3.4):

$$v = \frac{\int u \cdot dS}{S}. \quad (3.6)$$

При усталеному русі рідини витрата через всі живі перерізи потоку однакова:

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = \dots = v_n \cdot S_n = const, \quad (3.7)$$

де v_1, v_2, \dots, v_n – середні швидкості; S_1, S_2, \dots, S_n – площі живих перерізів.

Вираз (3.7) називається рівнянням витрати, або рівнянням нерозривності (суцільності) потоку нестисливої рідини. З нього виходить, що середні швидкості відносяться між собою зворотно пропорційно відношенню площ живих перерізів:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

3.2 Рівняння Бернуллі

При рішенні деяких найпростіших завдань про рух рідин часто в першому наближенні роблять припущення про те, що рідина, яка

рухається, є *ідеальною*. Під ідеальною розуміють рідину абсолютно нестисливу і не розширювану, не здатну чинити опір розтягнанню й зсуву. Головне, чим відрізняється рідина ідеальна від рідини реальної - це відсутність у неї в'язкості, що викликає здатність чинити опір зсуву, тобто виникненню дотичних напружень (тертя в рідині).

Отже, в ідеальній рідині, що рухається, можливий лише один вид напруги - напруга стиску, тобто тиск p , а дотичне напруження $\tau = 0$.

Основними рівняннями, що дозволяють вирішувати найпростіші задачі про рух ідеальної рідини, є рівняння витрати і рівняння Бернуллі.

Рівняння Бернуллі для потоку ідеальної рідини виражає собою закон збереження питомої енергії рідини уздовж потоку. Під питомою розуміють енергію, віднесenu до одиниці ваги, об'єму або маси рідини. Звичайно зручніше буває відносити енергію до одиниці ваги. У цьому випадку рівняння Бернуллі, що записане для двох перерізів елементарної струминки або потоку ідеальної рідини, має вигляд

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} = H. \quad (3.8)$$

Для двох перерізів потоку реальної (в'язкої) рідини при усталеному русі, що плавно змінюється, рівняння Бернуллі має вигляд

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_n^{1-2}, \quad (3.9)$$

де v_1 (v_1) і v_2 (v_2) – дійсні (середні) швидкості відповідно в першому та у другому перерізах; p_1 і p_2 – тиск рідини відповідно у

першому та другому перерізах; z_1 і z_2 – відстані від довільної горизонтальної поверхні порівняння до центрів перерізів;

$\sum h_n^{1-2}$ – сумарні втрати повного напору між перерізами.

З геометричної точки зору, складові рівняння Бернуллі являють собою наступне:

z – висоту, на якій розташовується центр живого перерізу над поверхнею порівняння $O-O$;

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ – п'єзометричну висоту, яку можна виміряти

п'єзометричною трубкою;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$ – висоту швидкісного напору, що дорівнює різниці рівнів

у трубках повного й статичного напорів.

Суму висот $\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\rho \cdot g} + z = H$ – називають повним

гідродинамічним напором.

Коефіцієнт α являє собою відношення дійсної кінетичної енергії до кінетичної енергії, підрахованої по середній швидкості. При турбулентному режимі руху $\alpha \approx 1$, при ламінарному в круглій трубі $\alpha = 2$.

За допомогою рівняння Бернуллі (3.9) розв'язується багато задач практичної гідравліки. Для цього вибираються два перерізи потоку так, щоб в одному з них величини z , p й v були відомі, а в другому невідомою була лише одна величина. Потім вибирається горизонтальна поверхня порівняння. Її доцільно провести через центр одного з обраних перерізів, тоді z_1 або z_2 буде рівним нулю. Після

спрощення рівняння Бернуллі, записаного для обраних перерізів, знаходять невідому величину (p , v або z).

При двох невідомих, окрім рівняння Бернуллі, використовується також рівняння нерозривності руху (3.7).

3.3 Режим руху рідини

Існує два різних режими руху - ламінарний і турбулентний. При ламінарному режимі рідина рухається окремими шарами, пульсації швидкості й тиску не спостерігаються. Турбулентний режим характеризується неупорядкованим, хаотичним рухом часток, інтенсивним перемішуванням рідини.

Доведено, що при ламінарному режимі втрати напору пропорційні швидкості в першому ступені, а при турбулентному - приблизно квадрату швидкості.

Критерієм для визначення режиму руху є безрозмірне число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.10)$$

де v – середня швидкість; d – внутрішній діаметр труби; ν – кінематична в'язкість.

Для труб не круглого поперечного перерізу

$$Re = \frac{v \cdot d_r}{\nu},$$

де d_r – гідравлічний діаметр, що визначається за формулою (3.2).

Щоб визначити режим руху, необхідно фактичне число Рейнольдса порівняти з критичним $Re_{кр}$, що для круглих труб дорівнює приблизно 2320: якщо $Re_{кр} < 2320$, то режим ламінарний, при $Re_{кр} > 2320$ – турбулентний.

3.4 Вказівки до рішення задач

Частина задач, віднесених до даного розділу, розрахована на застосування рівняння Бернуллі для ідеальної рідини (3.8), тобто без обліку гідравлічних втрат (втрат напору) і нерівномірності розподілу швидкостей (коефіцієнта Кориоліса). Інша частина задач вирішується за допомогою рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини (3.9) у загальному випадку з урахуванням зазначених вище обставин.

Однак коефіцієнт Кориоліса варто враховувати лише при ламінарному режимі течії, коли $\alpha = 2$. Для турбулентних потоків можна приймати $\alpha = 1$.

При застосуванні рівняння Бернуллі важливо правильно вибрати ті два перерізи, для яких воно записується.

Які перерізи рекомендується брати:

- вільну поверхню рідини в резервуарі (баку), де $v = 0$;
- вихід в атмосферу, де $p_{ман} = 0$; $p_{абс} = p_{атм}$;
- переріз, де приєднаний той чи інший манометр, п'єзометр або вакуумметр;
- вхід у трубу, в яку відбувається всмоктування повітря з атмосфери.

Рівняння Бернуллі рекомендується спочатку записати в загальному вигляді, а потім переписати з заміною його членів, заданих буквеними величинами, і виключити члени, що дорівнюють нулю.

При цьому необхідно пам'ятати наступне:

- вертикальну ординату z завжди відраховують від довільної горизонтальної поверхні нагору;
- тиск p , що входить у праву й ліву частини рівняння, повинний бути заданим в одній системі відліку (абсолютній або манометричній);
- сумарні втрати напору $\sum h_n^{1-2}$ завжди записуються в правій частині рівняння Бернуллі зі знаком «+»;
- величина $\sum h_n^{1-2}$ в загальному випадку складається з місцевих втрат і втрат на тертя по довжині.

Приклади рішення задач

Приклад 1.

Визначити об'ємну витрату рідини Q у трубопроводі, якщо висоти рівнів рідини в п'єзометрі $H_1 = 300$ мм, у трубці Піто $H_2 = 500$ мм, а відстань по вертикалі між центрами перерізів $\Delta h = 200$ мм (рис. 3.1). Діаметр трубопроводу меншого перерізу $d = 100$ мм. Втратами напору знехтувати.

Рішення.

Проводимо в трубопроводі два перерізи: переріз 1-1 через місце установки п'єзометра й переріз 2-2 через носик трубки Піто. Перерізи проводяться перпендикулярно до напрямку руху рідини.

Проводимо поверхню порівняння 0-0 через центр перерізу 1-1. Поверхня порівняння завжди горизонтальна.

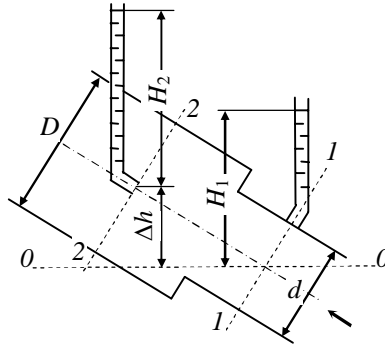


Рисунок 3.1 – Схема розрахункова до прикладу 1

Через відсутність втрат напору (за умовою задачі) рідину можна вважати ідеальною. Записуємо рівняння Бернуллі для ідеальної рідини:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g}.$$

Визначаємо складові, що входять у рівняння Бернуллі.

У цьому випадку:

$z_1 = 0$ – поверхня порівняння 0-0 проходить через центр перерізу 1-1;

$z_2 = \Delta h$ – відстань по вертикалі від поверхні 0-0 до центра перерізу 2-2;

$\frac{p_1}{\rho \cdot g} = H_1$ – показання п'єзометра дорівнює п'єзометричному напору в перерізі 1-1;

$\frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} = H_2$ – показання трубки Піто дорівнює сумі п'єзометричного й швидкісного напорів у перерізі 2-2.

Підставляємо знайдені значення в рівняння Бернуллі:

$$H_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = \Delta h + H_2,$$

звідкіля знайдемо швидкість руху рідини в перерізі 1-1:

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot (\Delta h + H_2 - H_1)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,2 + 0,5 - 0,3)} = 2,8 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

Об'ємна витрата рідини в трубопроводі:

$$Q = u_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,022 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приклад 2.

Визначити витрату бензину ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$), подаваного по горизонтальній трубі діаметром $D = 25 \text{ мм}$, в якій установлене сопло діаметром $d = 10 \text{ мм}$ і диференціальний ртутний манометр, показання якого $h = 100 \text{ мм}$. Втратами напору знехтувати (рис. 3.2).

Рішення. Складаємо рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 й 2-2 щодо поверхні порівняння 0-0, проведеної через вісь труби ($z_1 = z_2 = 0$, $h_n = 0$, $\alpha = 1$):

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

і рівняння нерозривності

$$v_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}.$$

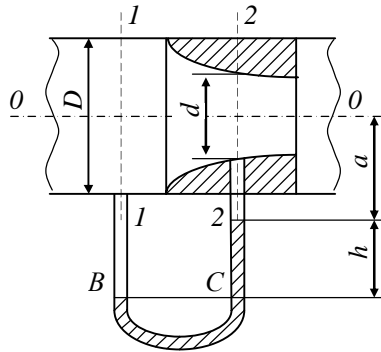


Рисунок 3.2 – Схема розрахункова до прикладу 2

Розв'язуючи разом ці два рівняння, знаходимо швидкість

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}}.$$

Різницю тисків $(p_1 - p_2)$ у центрах ваги перерізів 1-1 й 2-2 знайдемо, використовуючи показання ртутного диференціального манометра. З цією метою зрівняємо вирази для тиску у точках B і C, що належать одній горизонтальній поверхні:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h) = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h.$$

Звідси

$$p_1 - p_2 = g \cdot (\rho_{pm} - \rho) \cdot h.$$

Підставляючи це значення у вираз для визначення швидкості, знаходимо

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (\rho_{pm} - \rho)}{\rho \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot (13600 - 700)}{700 \cdot \left(1 - \left(\frac{10}{25}\right)^4\right)}} = 6,56 \text{ м/с.}$$

Витрата бензину

$$Q = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 6,56 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 5,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

4 ГІДРАВЛІЧНІ ОПОРИ

Рух в'язкої рідини супроводжується втратами напору, обумовленими гідравлічними опорами. Визначення втрат напору є одним з головних питань практично будь-якого гідравлічного розрахунку. Розрізняють два види втрат напору - втрати на тертя по довжині, що залежать у загальному випадку від довжини й розмірів поперечного перерізу трубопроводу, його шорсткості, в'язкості рідини, швидкості течії, і втрати в місцевих опорах - коротких ділянках трубопроводів, у яких відбувається зміна швидкості за величиною чи напрямком:

$$h_n = h_{mp} + \sum h_m, \quad (4.1)$$

де h_{mp} – втрати на тертя; $\sum h_m$ – сума втрат у місцевих опорах.

При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються за формулою Дарсі - Вейсбаха:

$$h_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (4.2)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі; l – довжина трубопроводу; d – діаметр трубопроводу; v – середня швидкість течії рідини.

Для ламінарного режиму руху в круглій трубі коефіцієнт λ визначається за теоретичною формулою

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (4.3)$$

При розрахунку трубопроводів об'ємних гідроприводів застосовується формула

$$\lambda = \frac{A}{Re}, \quad (4.4)$$

де $A = 75$ для сталевих труб; $A = 150$ – для гнучких шлангів.

При турбулентному режимі руху коефіцієнт λ у загальному випадку залежить від числа Рейнольдса Re і відносної шорсткості Δ/d (де Δ – еквівалентна шорсткість) і визначається за емпіричними формулами. При цьому розрізняють три області гідравлічних опорів - гідравлічно гладких труб, перехідну й квадратичну.

Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя λ визначається з формули Блазіуса і не залежить від шорсткості

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (4.5)$$

Область гідравлічно гладких труб має місце у разі $2320 < Re < 20 \cdot d/\Delta$. У перехідній області ($20 \cdot d/\Delta < Re < 500 \cdot d/\Delta$) коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначити з універсальної (застосовної для всіх областей) формули Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (4.6)$$

У квадратичній області опору (області гідравлічно шорсткуватих труб) коефіцієнт λ може бути знайдений з формули Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \cdot l_g \frac{d}{\Delta} + 1,14\right)^2}, \quad (4.7)$$

або за формулою Шифрінсона

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25}. \quad (4.8)$$

Середні значення еквівалентної шорсткості Δ труб наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Середні значення еквівалентної шорсткості труб, рукавів та шланг

Вид труби	Стан труби	Δ , мм
Безшовна сталева	Нова й чиста	0,03
	Після декількох років експлуатації	0,20
Сталева зварена	Нова й чиста	0,05
	Помірно заржавлена	0,50
	Стара заржавлена	1,00
Тягнена з кольорових металів	Нова, технічно гладка	0,005
Рукави і шланги гумові	–	0,03

Більш детальне значення еквівалентної шорсткості труб наведено у додатку В.

Для труб не круглого перерізу у формулах (4.2) – (4.8) замість діаметра підставляють значення гідравлічного діаметра.

При ламінарному русі рідини в круглих трубах втрати напору і тиску можна також визначити з формули Пуазейля

$$h_{mp} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot v}{g \cdot d^2} = \frac{128 \cdot \nu \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot g \cdot d^4}; \quad p_{mp} = \frac{128 \cdot \rho \cdot \nu \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot d^4}. \quad (4.9)$$

Втрати напору в місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_m = \xi_m \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (4.10)$$

де ξ_m – коефіцієнт місцевого опору.

У більшості випадків коефіцієнт ξ_m визначають за довідковими даними, отриманими на підставі дослідних даних. У додатку Д наведені значення коефіцієнтів для деяких місцевих опорів.

Для випадку раптового розширення труби, коефіцієнт місцевого опору визначають з формули

$$\xi_{pp} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2, \quad (4.11)$$

де S_1 і S_2 – площі перерізів труби до і після раптового розширення.

При раптовому звуженні труби без закруглення коефіцієнт опору визначають з формули Ідельчика:

$$\xi_{pz} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right), \quad (4.12)$$

де S_1 і S_2 – площі перерізів труби до і після раптового звуження.

Коефіцієнти місцевого опору для раптового розширення (4.11) і раптового звуження (4.12) віднесені до швидкості в трубі меншого перерізу.

Приклади рішення задач

Приклад 1.

До горизонтальної труби змінного перерізу ($D = 150$ мм, $d = 50$ мм), по якій прокачують бензин ($\rho = 750$ кг/м³), приєднаний диференціальний манометр, різниця рівнів ртуті в якому $h = 120$ мм (рис. 4.1).

Визначити витрату бензину Q .

Втратами напору на тертя по довжині знехтувати.

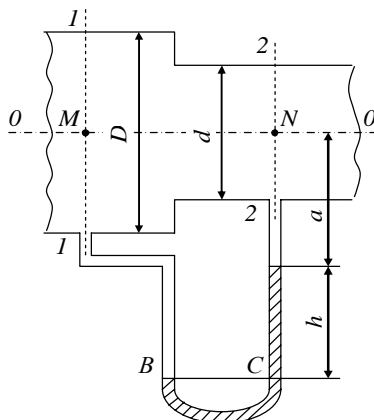


Рисунок 4.1 – Схема розрахункова до прикладу 1

Рішення. Запишемо рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 й 2-2 відносно поверхні 0-0 ($z_1 = z_2 = 0$):

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \xi_{pz} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g},$$

де ξ_{pz} – коефіцієнт опору раптового звуження, який визначається з формули

$$\begin{aligned}\xi_{pz} &= 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) = 0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right] = \\ &= 0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{50}{150}\right)^2\right] = 0,445.\end{aligned}$$

З рівняння Бернуллі знайдемо різницю п'єзометричних висот, приймаючи $\alpha = 1$

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + \xi_{pz} - \frac{v_1^2}{v_2^2}\right).$$

З рівняння нерозривності руху (3.7) одержуємо

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{d}{D}\right)^2.$$

Тому

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + \xi_{pz} - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right). \quad (4.13)$$

Нехай тиск у точках M і N дорівнюють відповідно p_1 і p_2 . Тоді тиск в точках B і C

$$p_B = p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h),$$

$$p_C = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h.$$

Оскільки

$$p_B = p_C ,$$

то

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h) = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h$$

або

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = h \cdot \left(\frac{\rho_{pm}}{\rho} - 1 \right). \quad (4.14)$$

Підставляючи вираження (4.14) у вираження (4.13), отримаємо

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \left(\frac{\rho_{pm}}{\rho} - 1 \right)}{1 + \xi_{p3} - \left(\frac{d}{D} \right)^4}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{13600}{750} - 1 \right)}{1 + 0,445 - \left(\frac{50}{150} \right)^4}} = 5,26 \text{ м/с.}$$

$$v_1 = v_2 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 = 5,26 \cdot \left(\frac{50}{150} \right)^2 = 0,584 \text{ м/с.}$$

Витрата бензину

$$Q = v_2 \cdot S_2 = 5,26 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,0103 \text{ м}^3 / \text{с} = 10,3 \text{ л/с}$$

5 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ

5.1 Розрахунок простих трубопроводів постійного перерізу

Простим називається трубопровід постійного або змінного перерізу, що не має паралельних ділянок і у якому витрата рідини постійна по довжині (рис. 5.1).

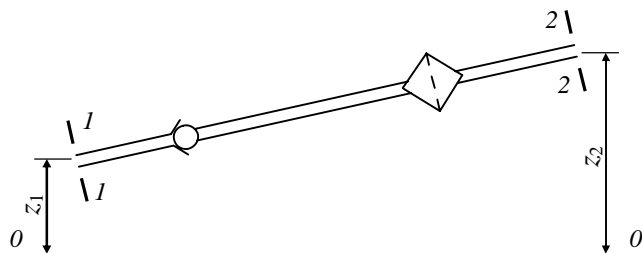


Рисунок 5.1 – Простий трубопровід

Вихідними для гідравлічного розрахунку трубопроводу є рівняння Бернуллі, що внаслідок постійності швидкості по довжині приймає вигляд

$$h_n = \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 \right) = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (5.1)$$

рівняння нерозривності (3.7), а також залежності для визначення втрат напору на тертя по довжині (4.2) і в місцевих опорах (4.10). При розрахунку простих трубопроводів зустрічаються наступні типи задачі.

Задача 1.

Потрібно визначити витрату рідини Q при заданих геометричних розмірах трубопроводу (l , d , Δ , z_1 й z_2), тисках (p_1 і p_2) і місцевих опорах ($\Sigma \xi$).

Так як число Рейнольдса в даній задачі підрахувати не можливо, то задаються режимом течії, ґрунтуючись на роді рідини (вода, бензин, гас - режим звичайно турбулентний; масла - ламінарний) з наступною перевіркою режиму течії після рішення задачі та визначення числа Рейнольдса.

З рівняння (5.1) способом послідовних наближень знаходять

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h_n}{\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi}}$$

(коефіцієнт λ у загальному випадку залежить від числа Рейнольдса, а значить і від швидкості). Для цього в першому наближенні варто задатися коефіцієнтом λ . Після обчислення швидкості уточнюють значення λ і роблять повторний розрахунок швидкості. Зазвичай буває достатньо другого наближення. Потім знаходять витрату рідини.

Задача 2.

Задано: витрата рідини Q , геометричні розміри трубопроводу (l , d , Δ), відмітки точок z_1 й z_2 , місцеві опори ($\Sigma \xi$) і тиск у кінцевому перерізі трубопроводу P_2 . Потрібно знайти тиск у початковому перерізі трубопроводу P_1 .

Спочатку визначають швидкість рідини, число Рейнольдса, область гідравлічного опору, коефіцієнт гідравлічного тертя λ і втрати напору

$$h_n = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}.$$

З рівняння (5.1) знаходять тиск P_1 .

Задача 3.

Визначити діаметр трубопроводу, при якому витрата рідини дорівнює Q , якщо задані тиски p_1 й p_2 , відмітки z_1 й z_2 , місцеві опори ($\Sigma \xi$), довжина трубопроводу l і шорсткість його стінок Δ .

Оскільки в ліву частину рівняння (5.1) входять задані величини, а права частина його є функцією діаметра, то він може бути знайдений із цього рівняння методом підбора. Для цього задаються рядом значень діаметра d і по них підраховують розрахункові втрати напору h'_n . Потім будують графік залежності $h'_n = f(d)$ і з нього, знаючи дійсні втрати h_n , визначають d .

5.2 Розрахунок складних трубопроводів

Під складними трубопроводами мають на увазі систему трубопроводів, що утримує відгалуження, послідовні й паралельні з'єднання труб, кільцеві ділянки, змінну витрату і т.д.

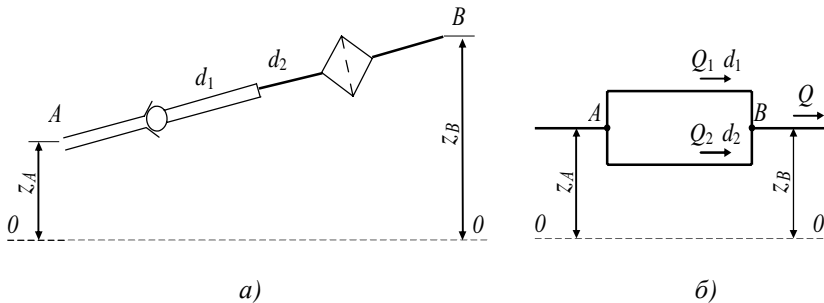


Рисунок 5.2 – Складні трубопроводи

При послідовному з'єднанні трубопроводів різного діаметра (рис. 5.2, а) виходять із того, що повні втрати напору в трубопроводі

дорівнюють сумі втрат напору на окремих його ділянках ($h_n = h_{n1} + h_{n2}$). Розрахунок таких трубопроводів доцільно робити графоаналітичним способом з використанням графіків залежності втрат напору від витрати (рис. 5.3, а). При цьому криву $h_n = f(Q)$ будують додаванням ординат кривих $h_{n1} = f(Q)$ і $h_{n2} = f(Q)$.

При розрахунку трубопроводів з паралельними ділянками (рис. 5.2, б) виходять із того, що сума витрат в окремих ділянках дорівнює повній витраті ($Q_1 + Q_2 = Q$) і що втрати напору у всіх ділянках однакові ($h_{n1} = h_{n2}$). Залежність повної витрати Q на паралельній ділянці від втрат напору h_n будується додаванням абсцис кривих $h_{n1} = f(Q)$ і $h_{n2} = f(Q)$ (рис. 5.3, б).

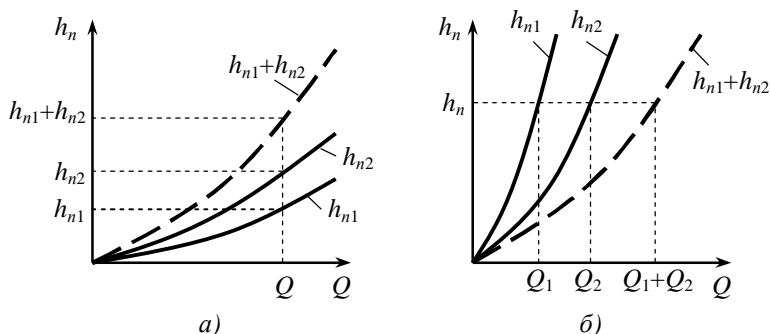


Рисунок 5.3 – Побудова характеристик складних трубопроводів

Якщо складний трубопровід утримує декілька ділянок з послідовним і паралельним з'єднанням простих трубопроводів, то для того щоб побудувати характеристику потрібного напору складного трубопроводу, доцільно використати наступну методику:

- представити трубопровід у вигляді з'єднання простих ділянок;

- розрахувати й побудувати характеристики кожної простої ділянки трубопроводу;
- провести графічне додавання характеристик паралельних ділянок;
- провести графічне додавання характеристик послідовних ділянок.

Якщо подача рідини по трубопроводу здійснюється насосом із заданою характеристикою, то принцип розрахунку такого трубопроводу полягає в спільній побудові в координатах $H - Q$ лінії потрібного напору трубопроводу й характеристики насоса. Точка перерізу цих ліній відповідає робочому режиму.

5.3 Неусталений рух рідини в трубопроводах.

Гідравлічний удар

Гідравлічним ударом називається коливальний процес, що складається з етапів різкого підвищення й зниження тиску по черзі, викликаний миттєвою зміною швидкості рідини. Він може виникнути при швидкому закритті засувки, миттєвій зупинці насоса, раптовому перекритті гідротурбіни. Розрізняють прямий і непрямий гідравлічний удар.

Прямий гідравлічний удар має місце тоді, коли час закриття засувки T_z менше тривалості фази T_ϕ гідравлічного удару, тобто

$$T_z < T_\phi = \frac{2 \cdot l}{c}, \quad (5.2)$$

де l – довжина трубопроводу; c – швидкість поширення ударної хвилі, обумовлена наступною формулою

$$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho \cdot \left(1 + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{d}{\delta}\right)}}, \quad (5.3)$$

де E_p і E – відповідно, модулі пружності рідини й матеріалу стінок трубопроводу; ρ – густина рідини; d і δ – внутрішній діаметр і товщина стінки трубопроводу.

При $T_z > T_\phi$ виникає непрямий гідравлічний удар.

Підвищення тиску при прямому гідравлічному ударі визначається з формули Жуковського

$$\Delta p_{y\partial} = \rho \cdot v_0 \cdot c, \quad (5.4)$$

де v_0 – швидкість руху рідини в трубопроводі до гідравлічного удару.

При непрямому гідравлічному ударі підвищення тиску буде меншим:

$$\Delta p'_{y\partial} = \Delta p_{y\partial} \cdot \frac{T_\phi}{T_z}. \quad (5.5)$$

Приклади рішення задач

Приклад 1.

Всмоктувальний трубопровід насоса має довжину $l = 5$ м і діаметр $d = 32$ мм, висота всмоктування $h = 0,8$ м (рис. 5.4). Визначити тиск наприкінці трубопроводу (перед насосом), якщо витрата масла ($\rho = 890$ кг/м³, $\nu = 10$ мм²/с), $Q = 50$ л/хв, коефіцієнт опору коліна $\xi_k = 0,3$, вентиля $\xi_v = 4,5$, фільтра $\xi_\phi = 10$.

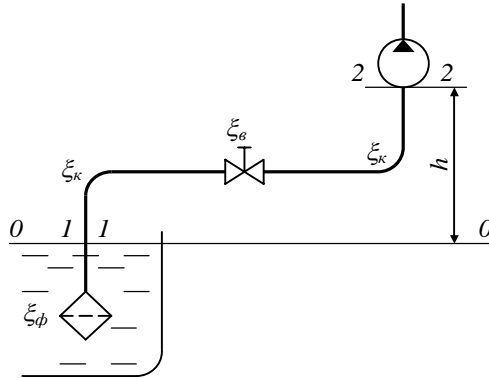


Рисунок 5.4 – Схема розрахунку до прикладу 1

Рішення. Визначаємо швидкість, число Рейнольдса й коефіцієнт

гідравлічного тертя по довжині при витраті $Q = \frac{50}{60} = 0,833 \text{ л/с}$:

$$v = \frac{4 \cdot Q^2}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,833 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,032^2} = 1,04 \text{ м/с};$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,04 \cdot 0,032}{10 \cdot 10^{-6}} = 3330;$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{3330^{0,25}} = 0,042.$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів

$$\Sigma \xi = \xi_{\phi} + 2 \cdot \xi_{\kappa} + \xi_{\theta} = 10 + 2 \cdot 0,3 + 4,5 = 15,1.$$

Втрати напору у всмоктувальному трубопроводі

$$h_n = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \left(0,042 \cdot \frac{5}{0,032} + 15,1 \right) \cdot \frac{1,04^2}{2 \cdot 9,81} = 1,2 \text{ м.}$$

З рівняння Бернуллі для перерізів 1–1 й 2–2 відносно поверхні порівняння $O-O$

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + h_n,$$

у якому $v_1 = 0$, $P_1 = P_{атм} = 10^5 \text{ Па}$, $z_1 = 0$, $v_2 = 1,04 \text{ м/с}$, $z_2 = h$, $h_n = 1,2 \text{ м}$, $\alpha = 1$, знаходимо тиск перед насосом

$$\begin{aligned} p_2 &= P_{атм} - \rho \cdot g \cdot (h + h_n) - \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 = \\ &= 100000 - 890 \cdot 9,81 \cdot (0,8 + 1,2) - \frac{890}{2} \cdot 1,04^2 = 82000 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Приклад 2.

У сталевому трубопроводі довжиною $l = 150 \text{ м}$, діаметром $d = 160 \text{ мм}$ і товщиною стінки $\delta = 3 \text{ мм}$ витрата Q гасу (густина $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) складає 60 л/с . Визначити: а) час закриття засувки T_z , при якому підвищення тиску в кінці трубопроводу при гідравлічному ударі не перевищить значення $\Delta p'_{y\partial} = 0,35 \text{ МПа}$; б) підвищення тиску при миттєвому закритті засувки. Модуль пружності матеріалу стінок сталевго трубопроводу $E = 210 \times 10^9 \text{ Па}$.

Рішення.

Швидкість руху гасу в трубопроводі до закриття засувки:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,16^2} = 3 \text{ м/с}.$$

Час закриття засувки визначимо з виразу (5.5) і урахуванням (5.2) та (5.4):

$$T_z = \frac{2 \cdot l \cdot \rho \cdot v_0}{\Delta p'_{y\partial}} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 800 \cdot 3}{0,35 \times 10^6} = 2,06 \text{ с.}$$

Щоб визначити тиск при миттєвому закритті засувки, необхідно знайти значення наступних величин.

Із додатку А коефіцієнт об'ємного стиснення гасу становить $\beta_p = 0,77 \times 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$.

Модуль пружності рідини:

$$E_p = \frac{1}{\beta_p} = \frac{1}{0,77 \times 10^{-9}} = 1,3 \times 10^9 \text{ Па.}$$

Швидкість поширення ударної хвилі визначимо з виразу (5.3):

$$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho \cdot \left(1 + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{d}{\delta}\right)}} = \sqrt{\frac{1,3 \times 10^9}{800 \cdot \left(1 + \frac{1,3 \times 10^9}{210 \times 10^9} \cdot \frac{0,16}{0,003}\right)}} = 1105 \text{ м/с.}$$

З виразу (5.4) визначимо підвищення тиску при миттєвому закритті засувки (прямий гідравлічний удар):

$$\Delta p_{y\partial} = \rho \cdot v_0 \cdot c = 800 \cdot 3 \cdot 1105 = 2,65 \times 10^6 \text{ Па} = 2,65 \text{ МПа.}$$

6 ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ ТА НАСАДКИ

6.1 Витікання рідини через отвори, насадки і дроселі при постійному напорі

У гідравліці розрізняють малі й великі отвори. Малим називають отвір, розміри якого малі в порівнянні з напором. При витіканні через малий отвір у тонкій стінці (рис. 6.1, а) відбувається стиск струменя, ступінь якого оцінюється коефіцієнтом стиснення

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S}, \quad (6.1)$$

де S_c – площа поперечного перерізу струменя; S – площа отвору.

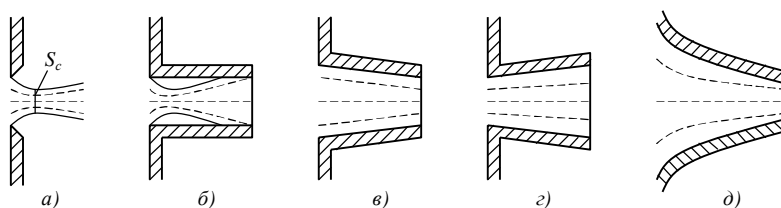


Рисунок 6.1 – Типи насадок

Насадки – це короткі патрубки довжиною 3–4 діаметри, що приставляють до отвору для збільшення витрати або одержання компактного далекобійного струменя (рис. 6.1). Вони бувають циліндричними, конічними (збіжними або розбіжними), коноїдальними (обкресленими за формою струменя) та ін. При витіканні через насадки $\varepsilon = 1$, тому $S_c = S$, де S – площа вихідного перерізу насадка.

При витіканні рідини через малі отвори в тонкій стінці і насадки відбувається перетворення потенційної енергії рідини в кінетичну. При постійному напорі швидкість і витрата рідини визначаються за формулами:

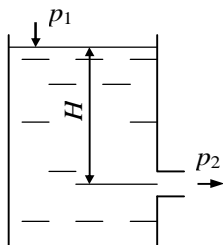


Рисунок 6.2 – Схема розрахунку до визначення параметрів витікання рідини через малі отвори та насадки

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right)}, \quad (6.2)$$

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right)}, \quad (6.3)$$

де φ – коефіцієнт швидкості; μ – коефіцієнт витрати; H – геометричний напір над центром ваги отвору (рис. 6.2); p_1 – тиск на вільній поверхні рідини; p_2 – тиск у середовищі, куди відбувається витікання.

Коефіцієнт швидкості

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}, \quad (6.4)$$

де α – коефіцієнт кінетичної енергії; ξ – коефіцієнт опору.

При витіканні з відкритого резервуара в атмосферу ($p_1 = p_2 = p_{атм}$) формули (6.2) і (6.3) мають наступний вигляд:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (6.5)$$

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (6.6)$$

У загальному випадку коефіцієнти μ , φ і ε залежать від числа Рейнольдса. На рис. 6.3 наведені ці залежності для малого отвору в тонкій стінці. У табл. 6.1 надані значення коефіцієнтів μ , φ і ε для отвору і насадків при великих числах Рейнольдса

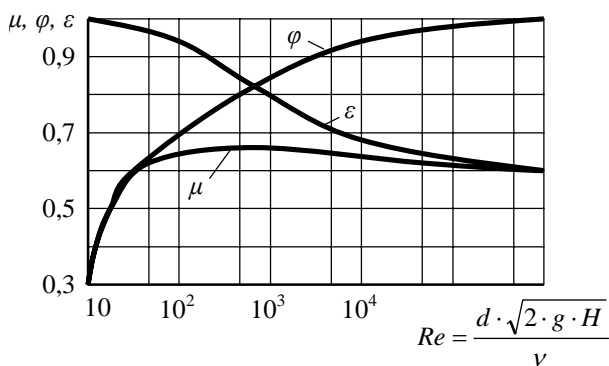


Рисунок 6.3 – Залежності коефіцієнти μ , φ і ε для малого отвору в тонкій стінці від числа Рейнольдса

Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнтів μ , φ і ε для отвору і насадків

Тип отвору або насадка	Значення коефіцієнтів		
	μ	φ	ε
Отвір у тонкій стінці	0,62	0,97	0,64
Зовнішній циліндричний насадок	0,82	0,82	1,00
Конічний збіжний насадок (кут конусності 12...15...15°)	0,94	0,96	0,98
Коноїдальний насадок	0,97	0,97	1,00

6.2 Витікання рідини через отвори і насадки при змінному напорі

Розглянемо витікання рідини із циліндричного резервуару з вертикальними стінками, площа поперечного перерізу якого S , через отвір у дні із площею S_0 .

У цьому параграфі будемо розглядати випадки, коли швидкість опускання рівня в резервуарі незначна, тому локальним прискоренням часток рідини можна знехтувати, розглядаючи процес витікання за нескінченно малий проміжок часу як усталений.

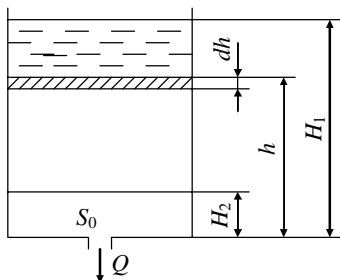


Рисунок 6.4 – Витікання рідини через отвір при змінному напорі

Нехай H_1 – початковий напір рідини в резервуарі, H_2 – кінцевий напір, а h – деякий проміжний напір (рис. 6.4). Нехай за нескінченно малий відрізок часу dT рівень рідини опустився на dh . Об’єм рідини, що витікає з резервуару за цей відрізок часу через отвір у дні, можна визначити двома способами:

$$dV = Q \cdot dT = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot dT,$$

$$dV = -S \cdot dh.$$

Знак мінус поставлений через зниження напору ($dh < 0$).
Прирівнюючи праві частини цих виразів і розділяючи змінні, отримаємо

$$dT = -\frac{S}{\mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \cdot dh.$$

Час, за який напір зменшиться від значення H_1 до значення H_2 ,

$$T = -\frac{S}{\mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot \int_{H_1}^{H_2} h^{-\frac{1}{2}} \cdot dh = \frac{2 \cdot S}{\mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}).$$

Час повного спорожнювання резервуару визначимо, поклавши $H_2 = 0$:

$$T = \frac{2 \cdot S \cdot \sqrt{H_1}}{\mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} = \frac{2 \cdot S \cdot H_1}{\mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}} = \frac{2 \cdot V_1}{Q_1},$$

де $V_1 = S_1 \cdot H_1$ – початковий об'єм рідини в резервуарі,
 $Q = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}$ – початкова витрата рідини через отвір.

Приклади рішення задач

Приклад 1.

Порівняти витрати рідини і втрати напору при витіканні через малий круглий отвір у тонкій стінці ($\mu_0 = 0,62$, $\varphi_0 = 0,97$), зовнішній циліндричний насадок ($\mu_1 = \varphi_1 = 0,82$), конічний збіжний насадок ($\mu_2 = \varphi_2 = 0,95$) і коноїдальний насадок ($\mu_3 = \varphi_3 = 0,97$). Напори H і діаметри вихідних перерізів у всіх випадках є однаковими.

Рішення. Витрата рідини у всіх випадках визначається з формули (6.6), у якій всі величини, за винятком μ , у всіх випадках однакові.

Нехай Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 – витрати відповідно через отвір, циліндричний, конічний і коноїдальний насадок. Тоді

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{\mu_1 \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{\mu_0 \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{\mu_1}{\mu_0} = \frac{0,82}{0,62} = 1,33,$$

тобто витрата через зовнішній циліндричний насадок

$$Q_1 = 1,33 \cdot Q_0.$$

Аналогічно знаходимо витрату через конічний насадок

$$Q_2 = \frac{\mu_2}{\mu_0} \cdot Q_0 = \frac{0,95}{0,62} \cdot Q_0 = 1,53 \cdot Q_0$$

і витрату через коноїдальний насадок

$$Q_3 = \frac{\mu_3}{\mu_0} \cdot Q_0 = \frac{0,97}{0,62} \cdot Q_0 = 1,56 \cdot Q_0.$$

Втрати напору можна знайти з рівняння Бернуллі, записаного для перерізу 1–1, що збігається з вільною поверхнею рідини в резервуарі, і перерізу 2–2, проведеного через вихідний переріз насадка, що після ряду спрощень зводиться до вигляду

$$H = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_n.$$

Підставляючи в це вираження значення

$$v_2 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad \text{і} \quad \alpha = 1,$$

після перетворень одержуємо

$$h_n = (1 - \varphi^2) \cdot H.$$

Втрата напору при витіканні через отвір

$$h_{n0} = (1 - \varphi_0^2) \cdot H = (1 - 0,97^2) \cdot H = 0,06 \cdot H ;$$

втрати напору при витіканні через насадок:

циліндричний

$$h_{n1} = (1 - \varphi_1^2) \cdot H = (1 - 0,82^2) \cdot H = 0,33 \cdot H ,$$

конічний

$$h_{n2} = (1 - \varphi_2^2) \cdot H = (1 - 0,95^2) \cdot H = 0,10 \cdot H ,$$

коноїдальний

$$h_{n3} = (1 - \varphi_3^2) \cdot H = (1 - 0,97^2) \cdot H = 0,06 \cdot H .$$

Таблиця варіантів контрольних робіт

№ в-та	Номера задач						№ в-та	Номера задач					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	1	17	67	86	116	154	26	10	42	72	111	141	179
2	2	18	68	87	117	155	27	11	43	71	112	142	180
3	3	19	69	88	118	156	28	12	44	70	113	143	181
4	4	20	70	89	119	157	29	13	45	69	114	144	182
5	5	21	71	90	120	158	30	14	46	68	115	145	183
6	6	22	72	91	121	159	31	15	47	67	114	146	184
7	7	23	73	92	122	160	32	16	48	66	113	147	185
8	8	24	74	93	123	161	33	1	49	65	112	148	186
9	9	25	75	94	124	162	34	2	50	64	111	149	187
10	10	26	76	95	125	163	35	3	51	63	110	150	154
11	11	27	77	96	126	164	36	4	52	62	109	151	155
12	12	28	78	97	127	165	37	5	53	61	108	152	156
13	13	29	79	98	128	166	38	6	54	60	107	153	157
14	14	30	80	99	129	167	39	7	55	79	106	116	158
15	15	31	81	100	130	168	40	8	56	80	105	117	159
16	16	32	82	101	131	169	41	9	57	81	104	118	160
17	1	33	83	102	132	170	42	10	58	82	103	119	161
18	2	34	84	103	133	171	43	11	59	83	102	120	162
19	3	35	85	104	134	172	44	12	60	84	101	121	163
20	4	36	78	105	135	173	45	13	61	85	100	122	164
21	5	37	77	106	136	174	46	14	62	59	99	123	165
22	6	38	76	107	137	175	47	15	63	58	98	124	166
23	7	39	75	108	138	176	48	16	64	57	97	125	167
24	8	40	74	109	139	177	49	1	65	56	96	126	168
25	9	41	73	110	140	178	50	2	66	55	95	127	169

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ

Задача 1

Визначити густину рідини, що отримана змішуванням 10 л рідини густиною $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ і 20 л рідини густиною $\rho_2 = 870 \text{ кг/м}^3$.

Задача 2

Сталевий трубопровід довжиною $l = 300 \text{ м}$ і діаметром $D = 500 \text{ мм}$ випробовується на міцність гідравлічним способом. Визначити об'єм води, що необхідно додатково подати в трубопровід під час випробування з метою підвищення тиску від $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ до $p_2 = 5 \text{ МПа}$. Розширення трубопроводу не враховувати. Об'ємний модуль пружності води $E = 2060 \text{ МПа}$.

Задача 3

Визначити, наскільки зменшиться тиск масла в закритому об'ємі ($V_0 = 150 \text{ л}$) гідроприводу, якщо витоки масла склали $\Delta V = 0,5 \text{ л}$, а коефіцієнт об'ємного стиснення рідини $\beta_p = 7,5 \times 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Деформацією елементів об'ємного гідроприводу, у яких перебуває зазначений об'єм масла, знехтувати.

Задача 4

Визначити підвищення тиску в закритому об'ємі гідроприводу при підвищенні температури масла від 20 до $40 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо температурний коефіцієнт об'ємного розширення $\beta_t = 7 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$, а коефіцієнт об'ємного стиснення $\beta_p = 6,5 \times 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Витоками рідини й деформацією елементів конструкції об'ємного гідроприводу знехтувати.

Задача 5

Визначити зміну положення рівня рідини у вертикальному циліндричному резервуарі, заповненому при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ маслом на висоту $2,7\text{ м}$, при підвищенні температури рідини до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо температурний коефіцієнт його об'ємного розширення дорівнює $0,0008\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Деформацією стінок резервуара знехтувати.

Задача 6

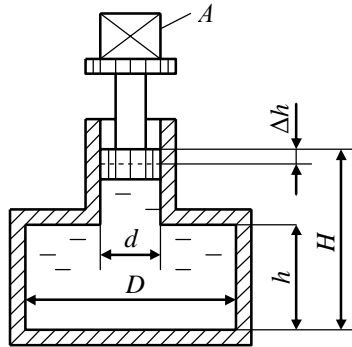
Тиск води в заповненому товстостінному щільно закритому резервуарі дорівнює $0,2\text{ МПа}$. Як зміниться тиск при підвищенні температури води від 10 до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Деформацією стінок резервуару і зміною густини води зі зміною температури знехтувати.

Задача 7

Каністра, повністю заповнена бензином, нагрілася на сонці до температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. На скільки підвищився б тиск бензину усередині каністри, якби вона була абсолютно твердою? Початкова температура бензину $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Модуль об'ємної пружності бензину прийняти рівним $E = 1300\text{ МПа}$, коефіцієнт температурного розширення $\beta_t = 8 \times 10^{-4}\text{ }1/^{\circ}\text{C}$.

Задача 8

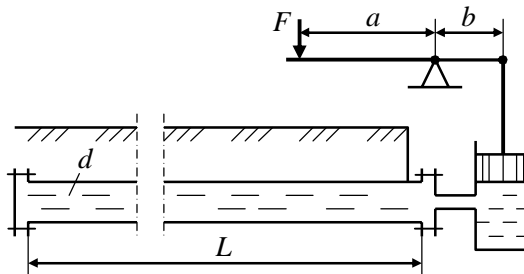
Визначити об'ємний модуль пружності рідини, якщо під дією вантажу A масою 250 кг поршень пройшов відстань $\Delta h = 5\text{ мм}$. Початкова висота положення поршня (без вантажу) $H = 1,5\text{ м}$, діаметри поршня $d = 80\text{ мм}$ і резервуара $D = 300\text{ мм}$, висота резервуара $h = 1,3\text{ м}$. Вагою поршня знехтувати. Резервуар вважати абсолютно твердим



Задача 9

Для обпресування водою підземного трубопроводу (перевірки герметичності) застосовується ручний поршневий насос. Визначити об'єм води (модуль пружності $E = 2000 \text{ МПа}$), який потрібно накачати в трубопровід для підвищення надлишкового тиску в ньому від 0 до $1,0 \text{ МПа}$. Вважати трубопровід абсолютно твердим.

Розміри трубопроводу: довжина $L = 500 \text{ м}$, діаметр $d = 100 \text{ мм}$. Чому дорівнює зусилля на рукоятці насоса в останній момент обпресування, якщо діаметр поршня насоса $d_n = 40 \text{ мм}$, а співвідношення плечей важільного механізму $a/b = 5$?



Задача 10

В результаті дії зовнішнього навантаження тиск у вертикально розташованому гідроциліндрі зріс від $p_1 = 10 \text{ МПа}$ до $p_2 = 15 \text{ МПа}$. Визначити зміну густини масла й величину опускання штока, якщо об'єм внутрішньої порожнини гідроциліндра при повністю висунутому штоку становить $V = 770 \text{ см}^3$, а діаметр поршня $d = 70 \text{ мм}$.

Густина масла ρ і модуль об'ємної пружності E прийняти рівними відповідно 890 кг/м^3 й 1362 МПа .

Задача 11

Для гідравлічного випробування підземного трубопроводу (перевірка герметичності) застосовується ручний поршневий насос. Визначити об'єм води (модуль об'ємної пружності $E = 2000 \text{ МПа}$), який потрібно закачати насосом у трубопровід для підвищення надлишкового тиску в ньому від 0 до $p_m = 0,5 \text{ МПа}$. Трубопровід вважати абсолютно твердим. Розміри трубопроводу: довжина $l = 100 \text{ м}$, діаметр $d = 50 \text{ мм}$.

Задача 12

У гідромотор щохвилини надходить мінеральне масло в об'ємі $V = 50 \text{ л}$ з температурою $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Відпрацьоване масло, що зливається з гідромотора, має температуру $t_2 = 40^\circ\text{C}$. Коефіцієнт температурного розширення масла $\beta_t = 700 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Визначити, який об'єм масла щохвилини зливається з гідромотора.

Задача 13

Робоча рідина отримана змішуванням двох масел: густина першого масла $\rho_1 = 880 \text{ кг/м}^3$, густина другого – $\rho_2 = 910 \text{ кг/м}^3$. Об'єм

отриманої суміші $V = 100$ л. Визначити зміст кожного масла в суміші, якщо її густина $\rho_c = 886 \text{ кг/м}^3$.

Задача 14

Суміш мінерального масла й гасу має густину $\rho_c = 860 \text{ кг/м}^3$. Гас становить 40 % від об'єму суміші. Визначити густину мінерального масла.

Задача 15

Визначити зміну об'єму й густини гасу при зміні температури від $t_1 = 30^\circ\text{C}$ до $t_2 = 45^\circ\text{C}$.

Первісний об'єм гасу $V = 100$ л.

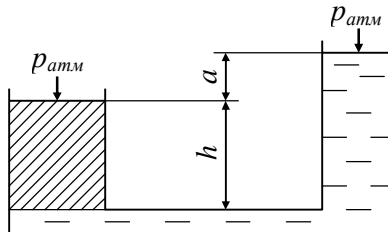
Задача 16

Визначити зміну об'єму й густини води при зміні надлишкового тиску від $p_1 = 2 \text{ МПа}$ до $p_2 = 7 \text{ МПа}$.

Первісний об'єм води $V = 75$ л.

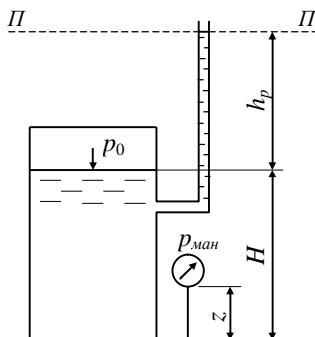
Задача 17

У сполучені резервуари наливо воду ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) і бензин. Визначити густину бензину, якщо висота стовпа води $h = 150$ мм, а різниця рівнів рідини в резервуарах $a = 60$ мм.



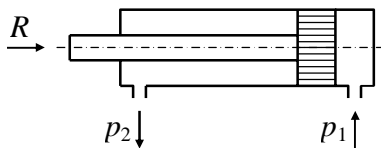
Задача 18

Манометр, підключений до закритого резервуара з нафтою ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), показує надлишковий тиск $p_{\text{ман}} = 36 \text{ кПа}$. Визначити абсолютний тиск повітря на поверхні рідини p_0 і положення п'єзометричної поверхні h_p , якщо рівень нафти в резервуарі $H = 3,06 \text{ м}$, а відстань від точки підключення до центра манометра $z = 1,02 \text{ м}$, атмосферний тиск $p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$.



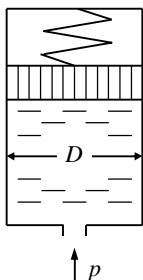
Задача 19

Визначити тиск масла p_1 , що подається в поршневу порожнину гідроциліндра, якщо надлишковий тиск у штоковій порожнині $p_2 = 80 \text{ кПа}$, зусилля на штоку $R = 10 \text{ кН}$, сила тертя поршня об циліндр $F = 0,4 \text{ кН}$, діаметр поршня $D = 125 \text{ мм}$, діаметр штока $d = 70 \text{ мм}$.



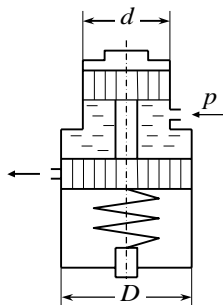
Задача 20

Поршень пружинного гідроакумулятора діаметром $D = 250$ мм під час зарядки здійнявся нагору на висоту $x = 14$ см. Визначити жорсткість пружини c , якщо тиск рідини $p = 1,0$ МПа. Тертям між поршнем і циліндром і вагою поршня знехтувати.



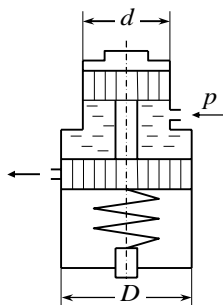
Задача 21

Попередній натяг пружини диференціального запобіжного клапана дорівнює $x = 18$ мм, жорсткість пружини $c = 7,5$ Н/мм. Визначити тиск рідини, при якому клапан відкриється, якщо діаметри поршнів $D = 25$ мм, $d = 20$ мм. Вагою поршнів і силою тертя знехтувати.



Задача 22

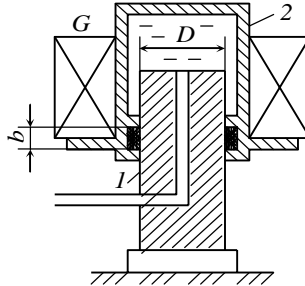
Діаметри поршнів диференціального запобіжного клапана дорівнюють $D = 30$ мм й $d = 20$ мм. Нехтуючи вагою поршнів і силою тертя, визначити тиск, при якому клапан відкриється, якщо жорсткість пружини дорівнює $c = 50$ Н/мм, а її попередній натяг $x_0 = 12$ мм.



Задача 23

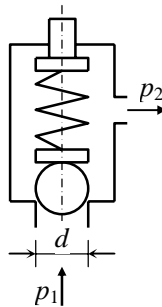
Гідравлічний акумулятор складається із плунжера 1, розташованого в циліндрі 2, що піднімається разом з вантажем при зарядці (нагнітанні рідини в циліндр). При розрядці акумулятора циліндр, ковзаючи по плунжеру, опускається вниз і рідина під тиском подається до споживача.

Визначити тиск при зарядці й розрядці акумулятора, якщо діаметр плунжера $D = 250$ мм, вага вантажу разом з рухливими частинами $G = 900$ кН, коефіцієнт тертя манжети об плунжер $f = 0,10$, ширина манжети $b = 35$ мм.



Задача 24

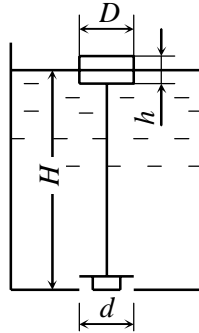
Визначити величину попередньої деформації пружини, що притискає кульку до сидла запобіжного клапана діаметром $d = 25 \text{ мм}$, якщо він відкрився при тиску $p_1 = 2,5 \text{ МПа}$. Тиск після клапана $p_2 = 0,35 \text{ МПа}$, жорсткість пружини $c = 150 \text{ Н/мм}$. Вагою кульки, пружини й шайби знехтувати.



Задача 25

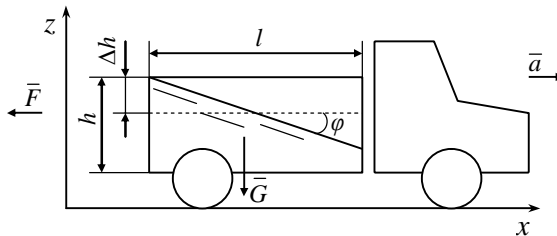
Щоб уникнути переповнення водою резервуар постачається поплавковим клапаном, що перекриває отвір діаметром $d = 50 \text{ мм}$ у дні резервуара.

Визначити діаметр D циліндричного поплавця висотою $h = 100$ мм, при якому максимальний рівень води в резервуарі не буде перевищувати $H = 1,0$ м. Вага клапана $G = 10$ Н, вагою поплавця знехтувати.



Задача 26

Визначити довжину шляху розгону L автомобіля-самоскида від швидкості $u_0 = 0$ до $u = 40$ км/ч і максимальне прискорення a , при якому цементний розчин ($\rho = 2200$ кг/м³) не виплеснеться з його кузова, довжина якого $l = 2,6$ м, ширина $b = 1,8$ м і висота $h = 0,8$ м. Розчин заповнює кузов на $3/4$ його висоти. З якою силою при цьому прискоренні цементний розчин діє на задній борт кузова? Рух автомобіля - прямолінійний, рівноприскорений.



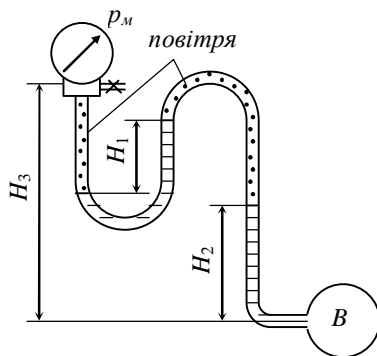
Задача 27

Визначити надлишковий тиск на дні океану, глибина якого $H = 10$ км, прийнявши густину морської води $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ і вважаючи її нестисливою. Визначити густину води на тій же глибині з урахуванням стискальності й прийнявши модуль об'ємної пружності $E = 2 \times 10^3 \text{ МПа}$.

Задача 28

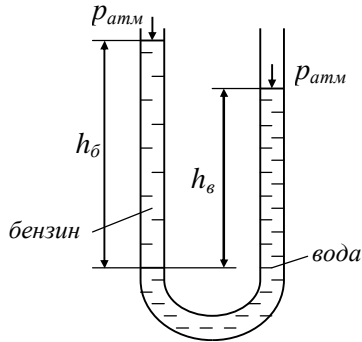
Визначити надлишковий тиск води в трубці B , якщо показання манометра $p_m = 0,025 \text{ МПа}$. Сполучна трубка заповнена водою й повітрям, як показано на схемі, причому $H_1 = 0,5 \text{ м}$; $H_2 = 3 \text{ м}$.

Як зміниться показання манометра, якщо при тому ж тиску в трубці всю сполучну трубку заповнити водою (повітря випустити через кран)? Висота $H_3 = 5 \text{ м}$.



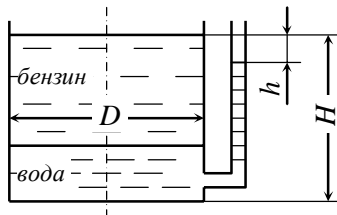
Задача 29

В U-образну трубку налито воду і бензин. Визначити густину бензину, якщо $h_b = 500 \text{ мм}$; $h_g = 350 \text{ мм}$. Капілярний ефект не враховувати.



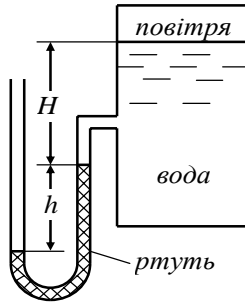
Задача 30

У циліндричний бак діаметром $D = 2$ м до рівня $H = 1,5$ м налити вода й бензин. Рівень води в п'єзометрі нижче рівня бензину на $h = 300$ мм. Визначити вагу бензину, що перебуває в баку, якщо ($\rho_б = 700$ кг/м³).



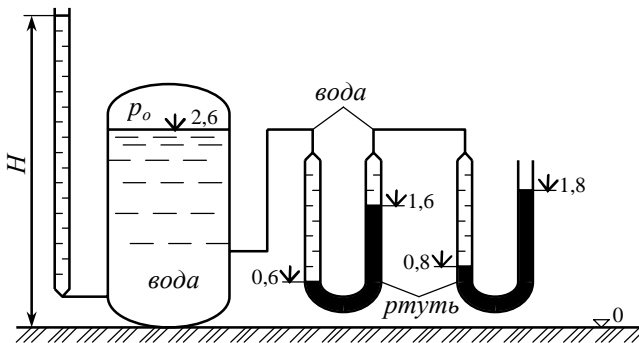
Задача 31

Визначити абсолютний тиск повітря в резервуарі, якщо показання ртутного приладу $h = 368$ мм, висота $H = 1$ м. Густина ртуті $\rho = 13\,600$ кг/м³. Атмосферний тиск 736 мм рт. ст.



Задача 32

Визначити надлишковий тиск p_0 повітря в напірному баці по показанню манометра, складеного із двох *U-образних* трубок із ртуттю. Сполучні трубки наповнені водою. Відмітки рівнів надано в метрах. Якої висоти H повинен бути п'єзометр для виміру того ж тиску p_0 ? Густина ртуті $\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$.

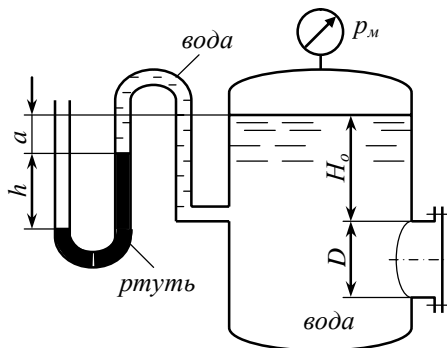


Задача 33

Визначити силу тиску рідини (води) на кришку люка діаметром $D = 1 \text{ м}$ у наступних двох випадках:

- 1) показання манометра $p_m = 0,08 \text{ МПа}$; $H_0 = 1,5 \text{ м}$;

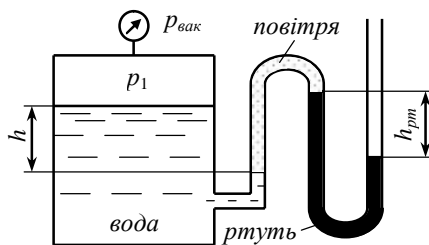
2) показання ртутного вакуумметра $h = 73,5$ мм при $a = 1$ м;
 $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м³; $H_0 = 1,5$ м.



Задача 34

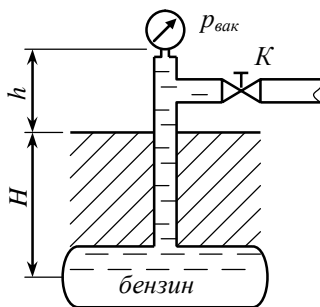
Визначити абсолютний тиск повітря в баку p_1 , якщо при атмосферному тиску, що відповідає $h_{атм} = 760$ мм рт. ст., показання ртутного вакуумметра $h_{рт} = 0,2$ м, висота $h = 1,5$ м.

Яке при цьому показання пружинного вакуумметра? Густина ртуті $\rho = 13600$ кг/м³.



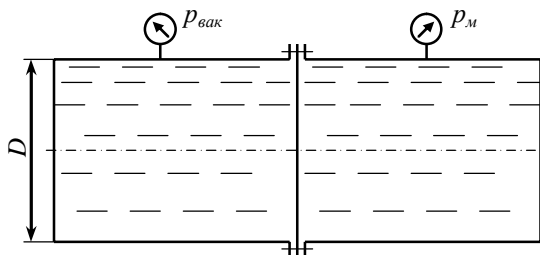
Задача 35

При перекритому крані K трубопроводу визначити абсолютний тиск у резервуарі з бензином, заритому на глибині $H = 5$ м, якщо показання вакуумметра, встановленого на висоті $h = 1,7$ м, дорівнює $p_{\text{вак}} = 0,02$ МПа. Атмосферний тиск відповідає $h_{\text{атм}} = 740$ мм рт. ст. Густина бензину $\rho_b = 700$ кг/м³.



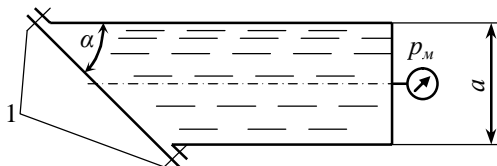
Задача 36

Визначити значення сили, що діє на перегородку, яка розділяє бак, якщо її діаметр $D = 0,5$ м, показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,08$ МПа й манометра $p_m = 0,1$ МПа.



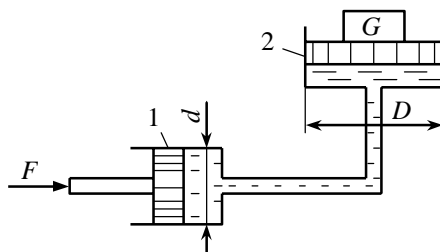
Задача 37

Визначити силу, що діє на болти 1 кришки бака, якщо показання манометра $p_m = 2 \text{ МПа}$, а кут нахилу кришки $\alpha = 45^\circ$. У перерізі бак має форму квадрата з стороною $a = 200 \text{ мм}$.



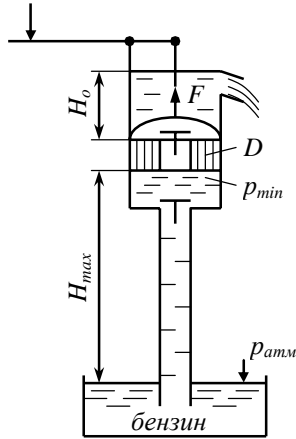
Задача 38

Визначити тиск у гідросистемі і вагу вантажу G , що лежить на поршні 2, якщо для його підйому до поршня 1 прикладена сила $F = 1 \text{ кН}$. Діаметри поршнів: $D = 300 \text{ мм}$, $d = 80 \text{ мм}$. Різницею висот знехтувати.



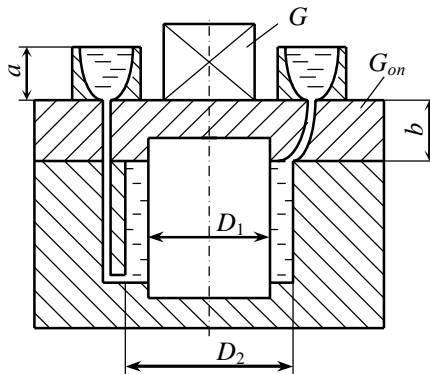
Задача 39

Визначити максимальну висоту H_{\max} , на яку можна підсмоктувати бензин поршневим насосом, якщо тиск його насичених парів становить $h_{\text{н.п}} = 200 \text{ мм рт. ст.}$, а атмосферний тиск $h_{\text{атм}} = 700 \text{ мм рт. ст.}$. Чому дорівнює при цьому сила уздовж штока, якщо $H_0 = 1 \text{ м}$, $\rho_6 = 700 \text{ кг/м}^3$; $D = 50 \text{ мм}$?



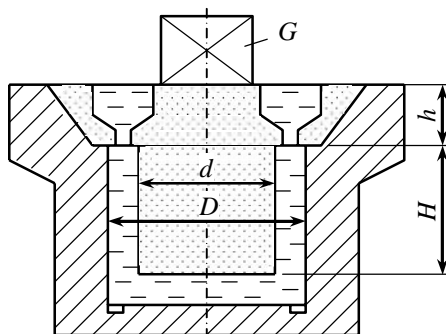
Задача 40

Визначити мінімальну силу ваги вантажу G , що при заливанні форми чавуном потрібно покласти на верхню опоку, щоб запобігти її спливанню. Вага верхньої опоки $G_{on} = 650 \text{ Н}$. Густина рідкого чавуну $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$. Вагу чавуну в літниках і випарах не враховувати. Розміри: $a = 150 \text{ мм}$; $b = 150 \text{ мм}$; $D_1 = 160 \text{ мм}$; $D_2 = 300 \text{ мм}$.



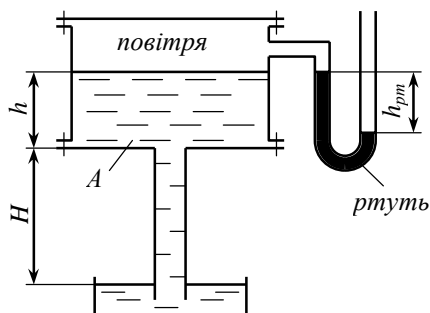
Задача 41

Визначити мінімальну силу ваги вантажу G , що при заливанні форми чавуном потрібно покласти на верхній стрижень, щоб запобігти його спливанню. Вага стрижнів з урахуванням ваги чавуну в літнику й випарі $G_1 = 50 \text{ Н}$. Густина рідкого чавуну $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$; розміри: $H = 200 \text{ мм}$; $D = 140 \text{ мм}$; $h = 80 \text{ мм}$; $d = 120 \text{ мм}$.



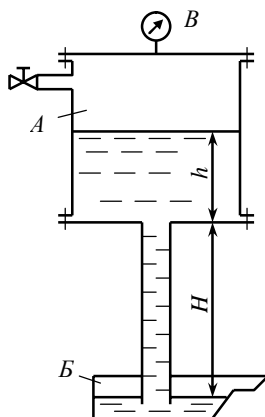
Задача 42

У резервуарі А і у трубі вода перебуває у спокої; показання ртутного приладу $h_{pm} = 295 \text{ мм}$. Визначити висоту H , якщо $h = 1 \text{ м}$.



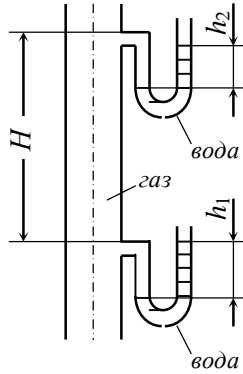
Задача 43

У герметичному резервуарі-живильнику *A* перебуває розплавлений бабіт ($\rho = 8000 \text{ кг/м}^3$). При показанні вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,07 \text{ МПа}$ заповнення розливного ковша *Б* припинилося. При цьому $H = 750 \text{ мм}$. Визначити висоту рівня бабіту h у резервуарі-живильнику *A*.



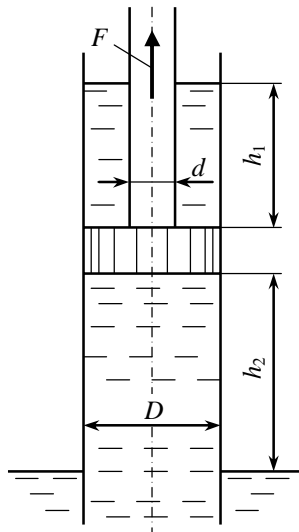
Задача 44

Надлишковий напір газу на першому поверсі будинку становить $h_1 = 100 \text{ мм вод. ст.}$. Визначити надлишковий напір h_2 газу на висоті $H = 60 \text{ м}$, вважаючи густину повітря й газу незмінними. Густина газу $\rho_g = 0,70 \text{ кг/м}^3$, повітря $\rho_n = 1,29 \text{ кг/м}^3$.



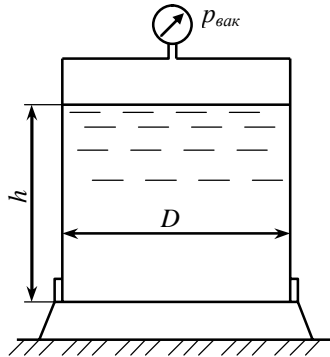
Задача 45

Визначити силу F , необхідну для утримання поршня на висоті $h_2 = 2 \text{ м}$ над поверхнею води в колодязі. Над поршнем піднімається стовп води висотою $h_1 = 3 \text{ м}$. Діаметри: поршня $D = 100 \text{ мм}$, штока $d = 30 \text{ мм}$. Вагу поршня й штока не враховувати.



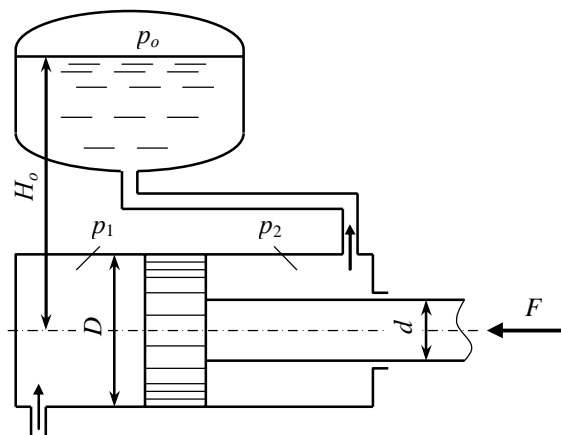
Задача 46

У резервуарі перебуває розплавлений свинець ($\rho = 11 \text{ г/см}^3$). Визначити силу тиску, що діє на дно резервуару, якщо висота рівня свинцю $h = 500 \text{ мм}$, діаметр резервуару $D = 400 \text{ мм}$, показання мановакуумметра $p_{\text{вак}} = 30 \text{ кПа}$.



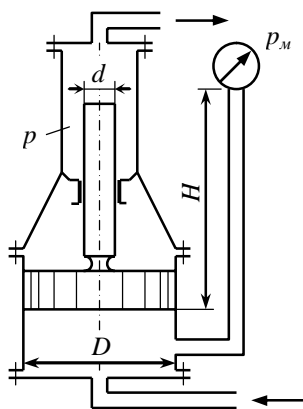
Задача 47

Визначити тиск p_1 рідини, яку необхідно підвести до гідроциліндра, щоб перебороти зусилля, спрямоване уздовж штока $F = 1 \text{ кН}$. Діаметри: циліндра $D = 50 \text{ мм}$, штока $d = 25 \text{ мм}$. Тиск у бачку $p_0 = 50 \text{ кПа}$, висота $H_0 = 5 \text{ м}$. Силу тертя не враховувати. Густина рідини $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.



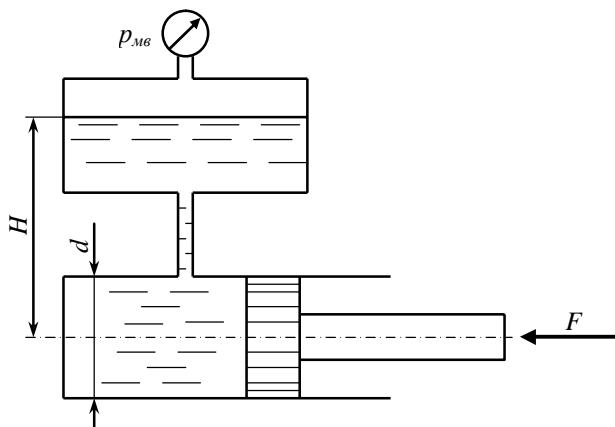
Задача 48

Визначити тиск p у верхньому циліндрі гідроперетворювача (мультиплікатора), якщо показання манометра, приєднаного до нижнього циліндра, дорівнює $p_m = 0,48 \text{ МПа}$. Поршні переміщуються нагору, причому сила тертя становить 10 % від сили тиску рідини на нижній поршень. Вага поршнів $G = 4 \text{ кН}$. Діаметри поршнів: $D = 400 \text{ мм}$, $d = 100 \text{ мм}$; висота $H = 2,5 \text{ м}$; густина масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



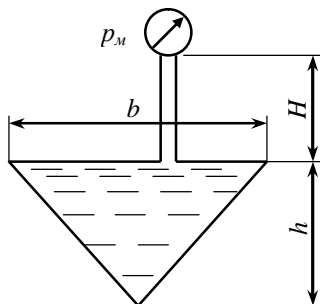
Задача 49

Визначити показання мановакуумметра p_{mv} , якщо до штока поршня прикладена сила $F = 0,1 \text{ кН}$. Його діаметр $d = 100 \text{ мм}$, висота $H = 1,5 \text{ м}$, густина рідини $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



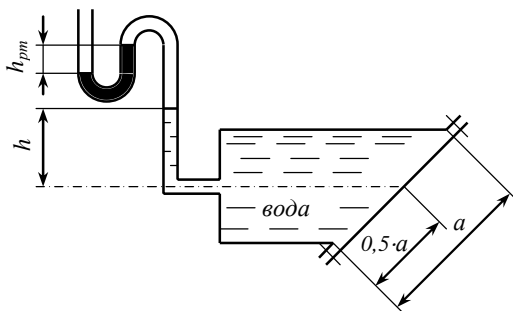
Задача 50

Визначити силу, що діє на кожну із чотирьох стінок резервуару, що має форму переверненої правильної піраміди, якщо $p_m = 0,5 \text{ МПа}$, $H = 4 \text{ м}$ і $h = 1,2 \text{ м}$; кожна сторона основи піраміди $b = 0,8 \text{ м}$. Густина рідини $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



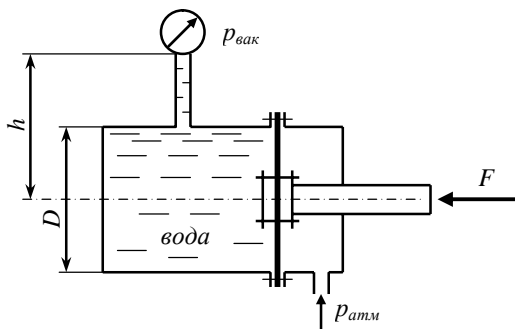
Задача 51

Визначити сили, що діють на верхні F_v і нижні F_n болти кришки, яка має форму прямокутника висотою $a = 0,64$ м і шириною $b = 1,5$ м. Показання ртутного вакуумметра $h_{рт} = 150$ мм, висота $h = 2,2$ м.



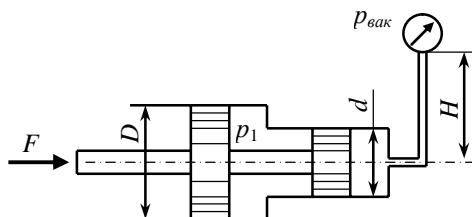
Задача 52

Визначити силу F , що діє на шток гнучкої діафрагми, якщо її діаметр $D = 200$ мм, показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,05$ МПа, висота $h = 1$ м. Площу штока знехтувати. Знайти абсолютний тиск у лівій порожнині, якщо $h_{\text{атм}} = 740$ мм рт. ст.



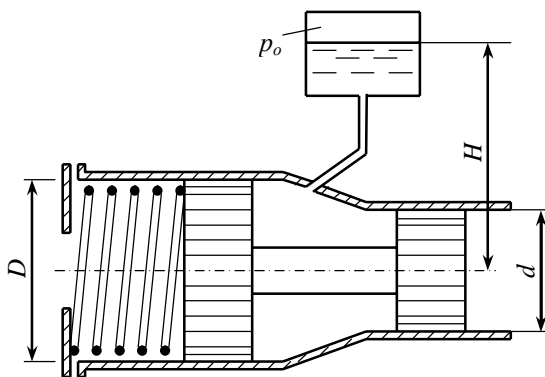
Задача 53

Визначити силу F на штоку золотника, якщо показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 60 \text{ кПа}$, надлишковий тиск $p_1 = 1 \text{ МПа}$, висота $H = 3 \text{ м}$, діаметри поршнів $D = 20 \text{ мм}$ й $d = 15 \text{ мм}$, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.



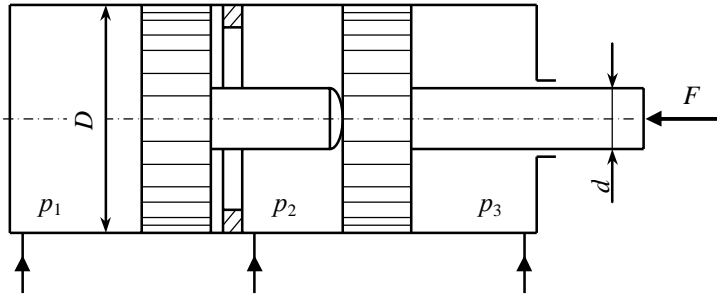
Задача 54

Система із двох поршнів, з'єднаних штоком, перебуває в рівновазі. Визначити силу, що стискає пружину. Рідина, що перебуває між поршнями і у бачку, – масло густиною $\rho = 870 \text{ кг/м}^3$. Діаметри: $D = 80 \text{ мм}$; $d = 30 \text{ мм}$; висота $H = 1000 \text{ мм}$; надлишковий тиск $p_0 = 10 \text{ кПа}$.



Задача 55

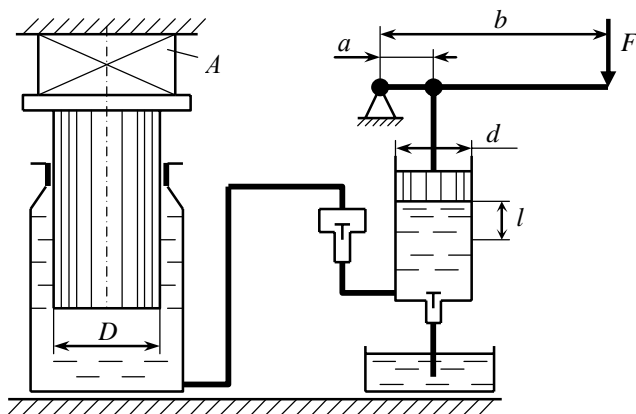
Визначити тиск p_1 необхідний для втримання штоком трипозиційного гідроциліндра навантаження $F = 50 \text{ кН}$; тиск $p_2 = p_3 = 0,3 \text{ МПа}$; діаметри: $D = 40 \text{ мм}$, $d = 20 \text{ мм}$.



Задача 56

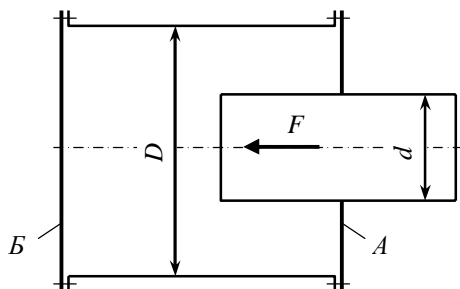
Тиск у циліндрі гідравлічного преса підвищується в результаті нагнітання в нього рідини ручним поршневим насосом і стиску її в циліндрі. Визначити число подвійних ходів n поршня ручного насоса, необхідне для збільшення сили пресування деталі A від 0 до $0,8 \text{ МН}$, якщо діаметри поршнів: $D = 500 \text{ мм}$, $d = 10 \text{ мм}$; хід поршня ручного насоса $l = 30 \text{ мм}$; об'ємний модуль пружності рідини $E = 1300 \text{ МПа}$; об'єм рідини в пресі $V = 60 \text{ л}$.

Чому дорівнює максимальне зусилля F на рукоятці насоса при ході нагнітання, якщо $b/a = 10$?



Задача 57

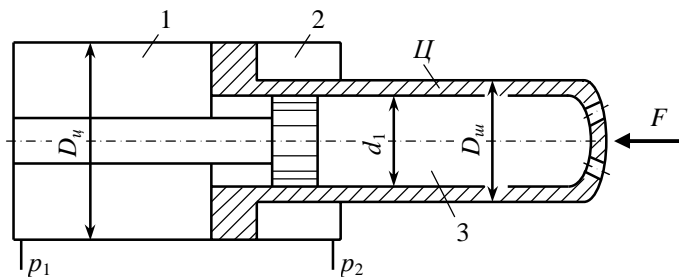
Визначити навантаження на болти кришок A і B гідравлічного циліндра діаметром $D = 160$ мм, якщо до плунжера діаметром $d = 120$ мм прикладена сила $F = 20$ кН.



Задача 58

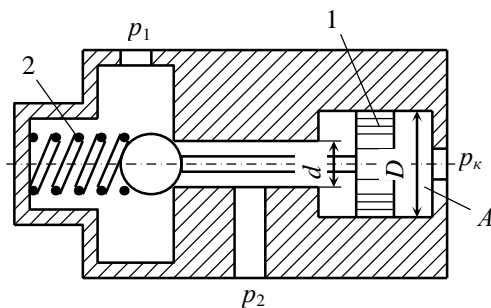
Визначити тиск p_1 у порожнині 1, необхідний для втримання циліндром Ц навантаження $F = 70$ кН. Протитиск у порожнині 2

дорівнює $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$, тиск у поршневій порожнині 3 дорівнює атмосферному. Розміри: $D_u = 80 \text{ мм}$; $D_{iu} = 70 \text{ мм}$; $d_1 = 50 \text{ мм}$.



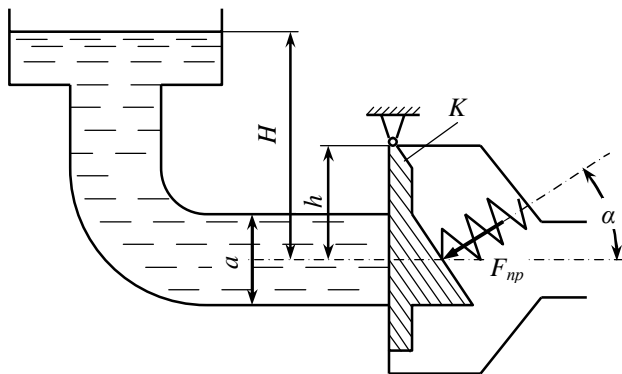
Задача 59

На рисунку представлена конструктивна схема гідрозамка, прохідний переріз якого відкривається при поданні в порожнину A керуючого потоку рідини з тиском p_k . Визначити, при якому мінімальному значенні p_k штовхач поршня 1 зможе відкрити кульковий клапан, якщо відомо: попереднє зусилля пружини 2 $F = 50 \text{ Н}$; $D = 25 \text{ мм}$, $d = 15 \text{ мм}$, $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Силами тертя знехтувати.



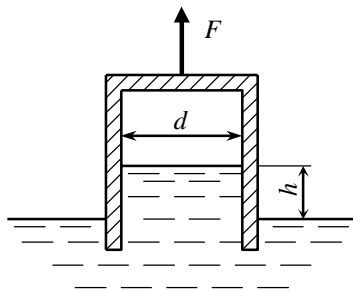
Задача 60

Визначити, при якій висоті рівня води почне відкриватися клапан K , якщо сила пружини $F_{np} = 2 \kappa H$, кут її установки $\alpha = 45^\circ$, висота $h = 0,3$ м. Труба перед клапаном має квадратний переріз з стороною $a = 300$ мм.



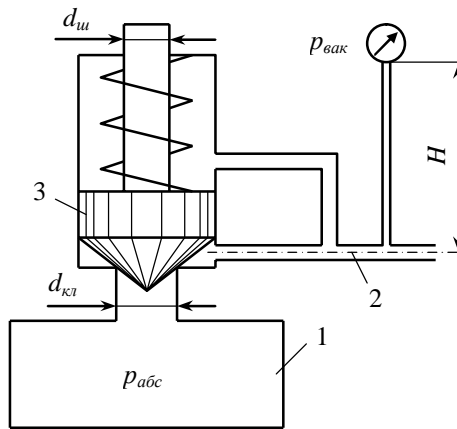
Задача 61

Визначити абсолютний тиск на поверхні рідини в резервуарі, що підтримує сила $F = 10$ Н і висоту h , якщо атмосферний тиск становить $h_{атм} = 740$ мм рт. ст., вага резервуару $G = 2$ Н, а його діаметр $d = 60$ мм. Товщиною стінки резервуару знехтувати. Густина рідини $\rho = 1000$ кг/м³.



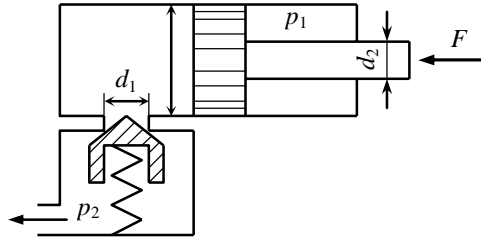
Задача 62

Визначити абсолютний тиск у резервуарі 1, якщо подача рідини з нього по трубопроводу 2 припинилася і клапан 3 закритися. Показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,05 \text{ МПа}$, висота $H = 2,5 \text{ м}$, сила пружини $F_{\text{пр}} = 10 \text{ Н}$, густина рідини $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, атмосферний тиск відповідає $h_{\text{атм}} = 755 \text{ мм рт. ст.}$, діаметри $d_{\text{кл}} = 20 \text{ мм}$, $d_{\text{ш}} = 10 \text{ мм}$. Вертикальними розмірами клапана 3 знехтувати.



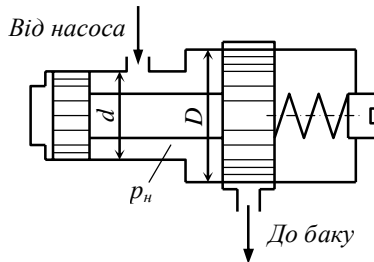
Задача 63

Визначити мінімальне значення сили F , прикладеної до штока, під дією якої почнеться рух поршня діаметром $D = 80 \text{ мм}$, якщо сила пружини, що притискає клапан до сидла, дорівнює $F_0 = 100 \text{ Н}$, а тиск рідини $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Діаметр вхідного отвору клапана (сидла) $d_1 = 10 \text{ мм}$. Діаметр штока $d_2 = 40 \text{ мм}$, тиск рідини в штоковій порожнині гідроциліндра $p_1 = 1,0 \text{ МПа}$.



Задача 64

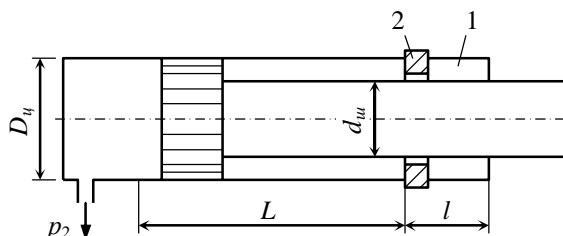
Визначити величину попереднього підтискання пружини диференціального запобіжного клапана (мм), що забезпечує початок відкриття клапана при $p_n = 0,8 \text{ МПа}$. Діаметри клапана: $D = 24 \text{ мм}$, $d = 18 \text{ мм}$; жорсткість пружини $c = 6 \text{ Н/мм}$. Тиск праворуч від великого й ліворуч від малого поршнів - атмосферне.



Задача 65

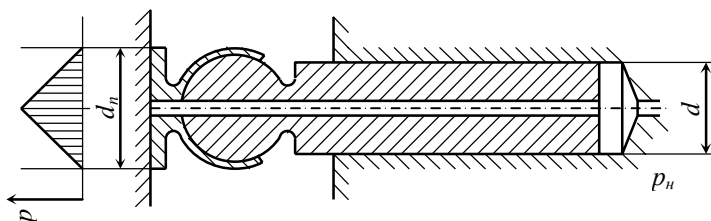
Для забезпечення зворотного ходу гідроциліндра його порожнина 1 заповнена повітрям під початковим тиском p_1 . Знайти розмір l , що визначає положення стопорного кільця 2, який обмежує хід штока. Розміри циліндра: $D_{ц} = 150 \text{ мм}$; $d_{ш} = 130 \text{ мм}$; хід штока $L = 400 \text{ мм}$. Сила тертя поршня й штока 400 Н , тиск зливу

$p_2 = 0,3 \text{ МПа}$, тиск повітря на початку зворотного ходу $p_{1max} = 2 \text{ МПа}$.
 Процес розширення й стиснення повітря прийняти ізотермічним.



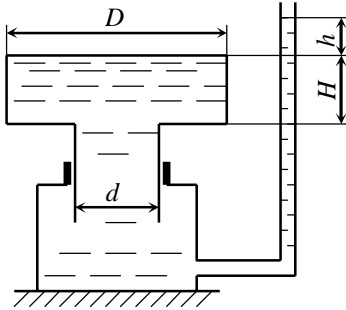
Задача 66

Визначити діаметр п'яти d_n плунжера аксіально-плунжерного насоса з умови безвідривного ковзання п'яти до диска з 5%-ним запасом по силі, що притискає. Закон розподілу тиску в зазорі прийняти лінійним (див. епюру). Діаметр плунжера $d = 12 \text{ мм}$. Площу отвору в плунжері не враховувати.



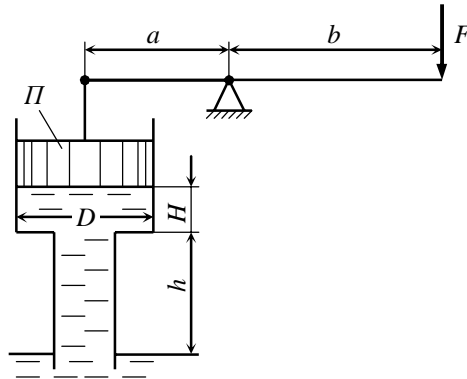
Задача 67

Визначити висоту h стовпа води в п'єзометричній трубці. Стовп води врівноважує порожній поршень з $D = 0,5 \text{ м}$ і $d = 0,2 \text{ м}$, що має висоту $H = 0,3 \text{ м}$. Власною вагою поршня і тертям в ущільненні знехтувати.



Задача 68

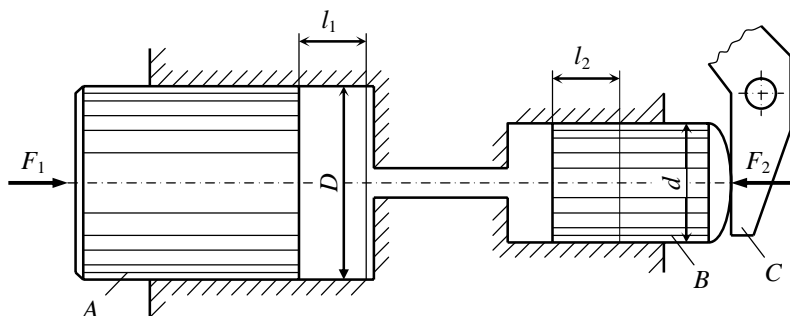
Визначити силу F , необхідну для утримання в рівновазі поршня Π , якщо труба під поршнем заповнена водою, а розміри труби: $D = 100$ мм, $H = 0,5$ м; $h = 4$ м. Довжини важеля: $a = 0,2$ м и $b = 1,0$ м. Власною вагою поршня знехтувати.



Задача 69

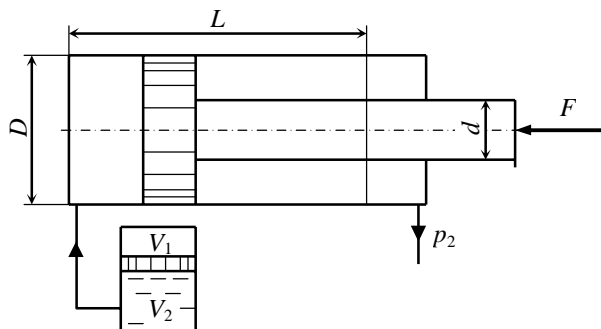
У системі дистанційного гідрокерування необхідно забезпечити хід l_2 поршня B рівним ходу l_1 поршня A , тобто $l_1 = l_2 = l = 32$ мм. Поршень B діаметром $d = 20$ мм повинен діяти на важіль C з силою

$F_2 = 8 \text{ кН}$. Циліндри і трубопровід заповнені маслом з модулем пружності $E = 1400 \text{ МПа}$. Об'єм масла, залитого при атмосферному тиску, $V = 700 \text{ см}^3$. Визначити діаметр D поршня A и силу F_1 , прикладену до нього. Пружністю стінок циліндрів і трубок, а також силами тертя поршнів об стінки циліндрів знехтувати.



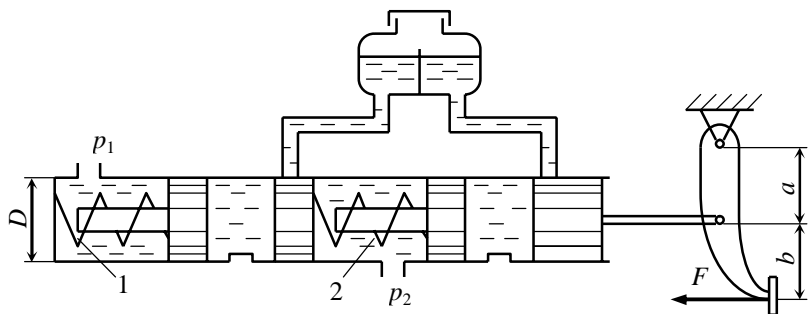
Задача 70

Визначити об'єм гідроаккумулятора $V_a = V_1 + V_2$, що забезпечує випуск штока гідроциліндра проти дії навантаження $F = 45 \text{ кН}$. Діаметри: циліндра $D = 120 \text{ мм}$; штока $d = 60 \text{ мм}$; хід штока $L = 1200 \text{ мм}$; тиск на злив $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$. Процес розширення повітря вважати ізотермічним, максимальний тиск у системі $p_{\max} = 12 \text{ МПа}$.



Задача 71

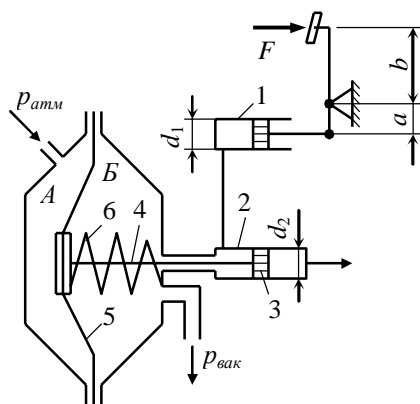
На рисунку представлена схема головного гальмового циліндра автомобіля в момент гальмування. Визначити силу F , яку необхідно прикласти до педалі гальма, щоб тиск у робочих циліндрах передніх коліс був $p_1 = 6 \text{ МПа}$. Яким при цьому буде тиск у робочих циліндрах задніх коліс p_2 ? При розрахунку прийняти: зусилля пружини 1 - $F_1 = 100 \text{ Н}$, пружини 2 - $F_2 = 150 \text{ Н}$, $d = 20 \text{ мм}$, $a = 60 \text{ мм}$, $b = 180 \text{ мм}$. Силами тертя знехтувати.



Задача 72

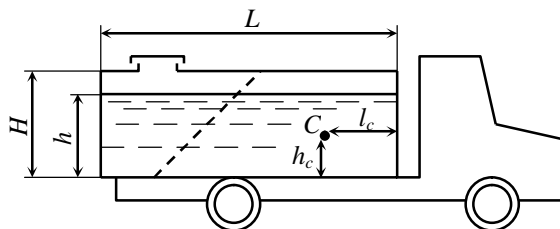
На рисунку показана принципова схема гідровакуумного підсилювача гідроприводу гальм автомобіля. Тиск рідини, утворюваний в гідроциліндрі 1 завдяки натисканню на ножну педаль з силою F , передається в ліву порожнину гальмового гідроциліндра 2. Крім тиску рідини на поршень 3 у тому ж напрямку діє сила уздовж штока 4, пов'язаного з діафрагмою 5. Остання відокремлює сполучену з атмосферою порожнину А від порожнини Б, у котрій завдяки з'єднанню її з всмоктувальним колектором двигуна при натисканні на педаль утворюється вакуум. Пружина 6 при цьому діє на діафрагму справа наліво з силою F_{np} .

Визначити тиск рідини, що подається із правої порожнини гідроциліндра 2 до колісних гальмових циліндрів. Прийняти: зусилля педалі $F = 200 \text{ Н}$; сила пружини $F_{np} = 20 \text{ Н}$; тиск у порожнині B $p_{\text{вак}} = 0,06 \text{ МПа}$; діаметри: діафрагми 5 $D = 100 \text{ мм}$, гідроциліндра 1 $d_1 = 25 \text{ мм}$ і гідроциліндра 2 $d_2 = 20 \text{ мм}$; відношення плечей $b/a = 5$. Площиною перерізу штока 4 знехтувати.



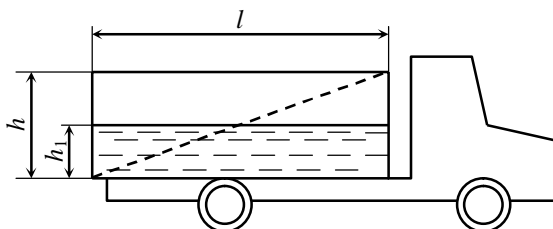
Задача 73

Визначити розташування центра ваги C бетонного розчину (h_c і l_c), залитого в закритий кузов автомобіля при його гальмуванні з прискоренням $a = g$. Вважати, що кузов має форму паралелепіпеда: $L = 1,92 \text{ м}$, $H = 1,2 \text{ м}$ і $h = 1 \text{ м}$.



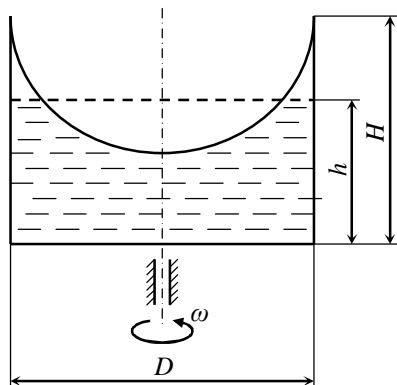
Задача 74

У кузов автомобіля-самоскида до рівня $h_1 = 0,4$ м налитий цементний розчин. Визначити найменший припустимий шлях гальмування самоскида від швидкості $v = 36$ км/год до зупинки, виходячи з умови, що розчин не виплеснувся з кузова. Для спрощення прийняти, що кузов самоскида має форму прямокутної коробки розмірами $l = 2,5$ м; $h = 0,8$ м; ширина кузова $b = 1,8$ м, а рух автомобіля при гальмуванні рівноуповільнений.



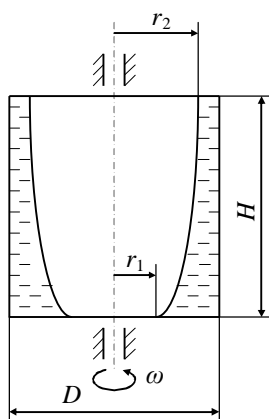
Задача 75

У резервуар висотою $H = 0,3$ м залита рідина до рівня $h = 0,2$ м. Визначити, до якої кутової швидкості ω можна розкрутити резервуар, для того щоб рідина не виплеснулася з нього, якщо його діаметр $D = 100$ мм.



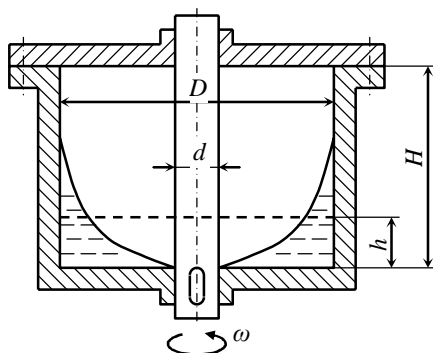
Задача 76

При відливанні циліндричної пустотілої заготовки в обертівій щодо вертикальної осі формі через дію сил ваги нижній внутрішній радіус r_1 буде менше верхнього внутрішнього радіуса r_2 . Визначити їхню різницю, якщо висота виливка $H = 0,5$ м, форма обертається з кутовою швидкістю $\omega = 200$ c^{-1} ; її діаметр $D = 200$ мм і вона в початковий момент заповнена на 30 % свого об'єму.



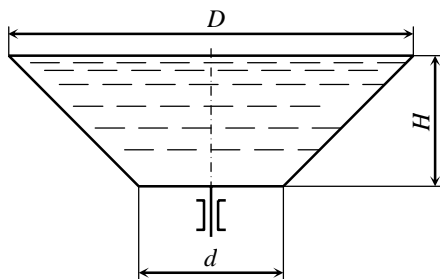
Задача 77

Циліндричний резервуар діаметром $D = 80$ мм обертається на вертикальному валу діаметром $d = 30$ мм. Визначити мінімальну кутову швидкість ω , при якій рідина не буде стикатися з валом, якщо спочатку резервуар був заповнений до рівня $h = 0,05$ м. Вважати, що висота резервуару H досить велика, щоб при цій кутовій швидкості рідина не сягала кришки резервуару.



Задача 78

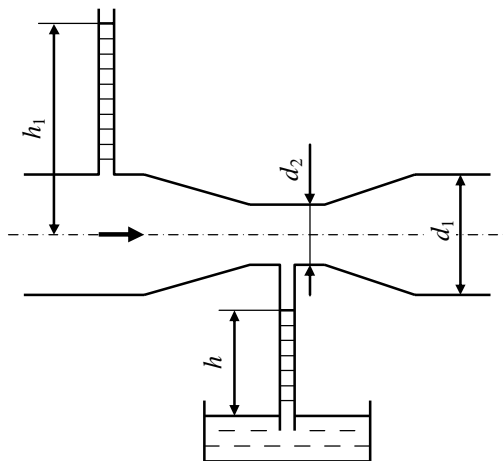
Визначити мінімальну частоту обертання n , яку потрібно передати резервуару, зображеному на, навколо його вертикальної осі для повного його спорожнювання. Розміри: $D = 200$ мм; $d = 100$ мм; $H = 50$ мм.



Задача 79

По горизонтальній трубі діаметром $d_1 = 100$ мм, що має звуження $d_2 = 40$ мм, рухається вода (витрата $Q = 6$ л/с). Визначити абсолютний тиск у вузькому перерізі, якщо рівень води у відкритому п'єзометрі перед звуженням $h_1 = 1,5$ м.

При якій витраті води Q ртуть у трубці, приєднаній до трубопроводу у вузькому перерізі, підніметься на висоту $h = 10$ см, якщо при цьому $h_1 = 1,2$ м? Втратами напору знехтувати.



Задача 80

Індустріальне масло ІГП-30, температура якого 20°C , надходить від насоса в гідроциліндр по трубопроводу $d = 22$ мм. Визначити режим течії масла, а також температуру, при якій ламінарний режим змінюється турбулентним, якщо подача насоса $Q = 105$ л/хв.

Задача 81

Бензин ($\rho = 750 \text{ кг/м}^3$) витікає з резервуара по горизонтальній трубі змінного перерізу ($d_1 = 50 \text{ мм}$, $d_2 = 40 \text{ мм}$, $d_3 = 22 \text{ мм}$) під постійним напором. Визначити об'ємну витрату й середню швидкість на всіх ділянках трубопроводу, якщо маса бензину, що витік за 15 хв, дорівнює 340 кг.

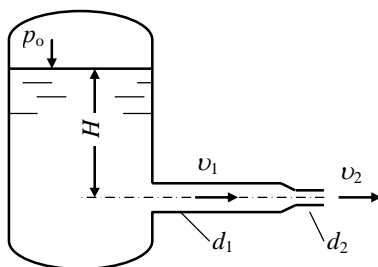
Задача 82

Із закритого резервуара під напором $H = 1 \text{ м}$ вода витікає в бак по горизонтальній трубі змінного перерізу ($d_1 = 50 \text{ мм}$, $d_2 = 25 \text{ мм}$). Визначити середні швидкості течії на окремих ділянках трубопроводу й час наповнення бака місткістю $0,12 \text{ м}^3$, у який витікає вода, якщо надлишковий тиск на поверхні рідини в резервуарі дорівнює 10 кПа , а втрати напору в трубопроводі $h_n = 0,05 \text{ м}$.

Як зміняться швидкості течії й час наповнення бака при зменшенні обох діаметрів у два рази, якщо втрати напору при цьому збільшилися до $h'_n = 1,6 \text{ м}$.

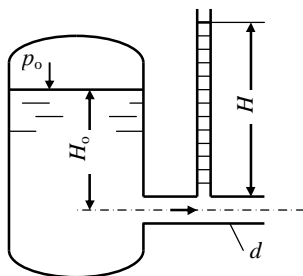
Задача 83

З напірного бака вода тече по трубі діаметром $d_1 = 20 \text{ мм}$ і потім витікає в атмосферу через насадок (брандспойт) з діаметром вихідного отвору $d_2 = 10 \text{ мм}$. Надлишковий тиск повітря в баці $p_0 = 0,18 \text{ МПа}$; висота $H = 1,6 \text{ м}$. Нехтуючи втратами енергії, визначити швидкості руху води в трубі v_1 і на виході з насадка v_2



Задача 84

Визначити витрату гасу, що витікає з баку по трубопроводу діаметром $d = 50$ мм, якщо надлишковий тиск повітря в баку $p_o = 16$ кПа; висота рівня $H_o = 1$ м; висота підйому гасу в п'єзометрі, відкритому в атмосферу, $H = 1,75$ м. Втратами енергії знехтувати. Густина гасу $\rho = 800$ кг/м³.

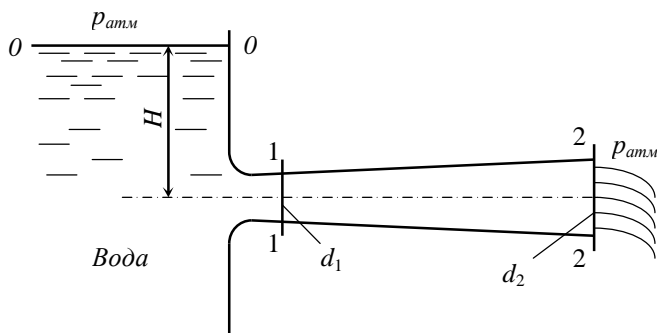


Задача 85

Рідина витікає з відкритого резервуара в атмосферу через трубу, що має плавне зуження до діаметра d_1 , а потім поступове розширення до d_2 . Витікання відбувається під дією напору $H = 3$ м. Нехтуючи втратами енергії, визначити абсолютний тиск у вузькому перерізі

труби 1–1, якщо співвідношення діаметрів $d_2 / d_1 = \sqrt{2}$; атмосферний тиск відповідає $h_{атм} = 750 \text{ мм рт. ст.}$; густина рідини $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Знайти напір $H_{кр}$, при якому абсолютний тиск у перерізі 1–1 буде дорівнювати нулю.

Вказівка. Рівняння Бернуллі варто записати два рази, наприклад для перерізів 0–0 і 2–2, а потім для перерізів 1–1 і 2–2.



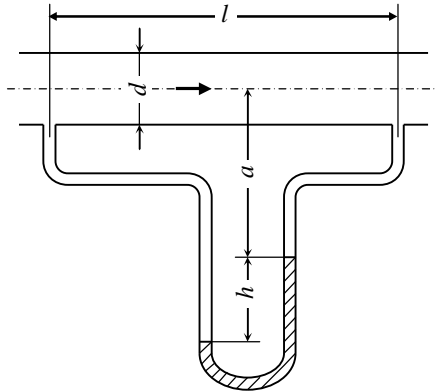
Задача 86

При прокачуванні бензину ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$) по трубі довжиною $l = 5,5 \text{ м}$ і діаметром $d = 15 \text{ мм}$ падіння тиску в трубопроводі $\Delta p = 0,11 \text{ МПа}$. Приймаючи закон опору квадратичним, визначити еквівалентну шорсткість труби Δ , якщо витрата $Q = 0,9 \text{ л/с}$.

Задача 87

По трубопроводу діаметром $d = 12 \text{ мм}$ перекачується масло індустріальне ІПП-18 ($\rho = 890 \text{ кг/м}^3$) з температурою $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначити показання h ртутного диференціального манометра, приєднаного до трубопроводу у двох точках, віддалених одна від одної на відстань $l = 3 \text{ м}$, якщо витрата масла $Q = 0,3 \text{ л/с}$.



Задача 88

Визначити втрати тиску на тертя в трубопроводі діаметром $d = 250 \text{ мм}$ і довжиною $l = 1,5 \text{ км}$, по якому перекачується бензин ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,75 \text{ мм}^2/\text{с}$) з витратою $Q = 65,5 \text{ т/ч}$.

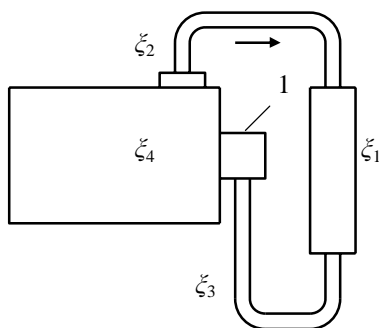
Як зміняться ці втрати при зменшенні діаметра труби на 20%? Шорсткість стінок трубопроводу прийняти $\Delta = 0,2 \text{ мм}$.

Задача 89

Визначити коефіцієнт опору вентиля, встановленого наприкінці трубопроводу діаметром $d = 50 \text{ мм}$, якщо показання манометра перед вентилям $p_{\text{ман}} = 3,7 \text{ кПа}$, а витрата води $Q = 2,5 \text{ л/с}$.

Задача 90

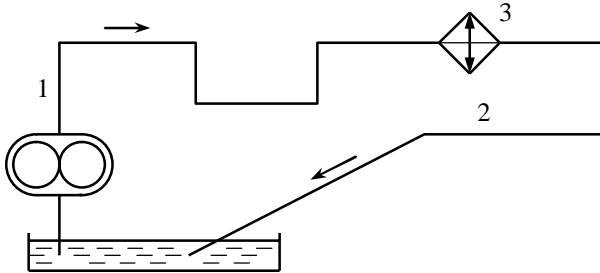
Визначити втрати напору в системі охолодження двигуна внутрішнього згоряння, що включає в себе відцентровий насос 1, радіатор ($\xi_1 = 5$), термостат ($\xi_2 = 3$), трубопроводи ($\xi_3 = 1,5$) і водяну сорочку двигуна ($\xi_4 = 4,5$), якщо витрата води $Q = 4,2$ л/с. Всі коефіцієнти місцевих опорів віднесені до швидкості в трубі діаметром $d = 50$ мм. Втратами напору на тертя знехтувати.



Задача 91

У системі змащення двигуна внутрішнього згоряння одна із секцій шестерінчастого насоса нагнітає масло по трубопроводу 1 у масляний радіатор 3, з якого воно, охолодившись, зливається в піддон по трубопроводу 2. Визначити необхідний тиск насоса, нехтуючи втратами тиску у всмоктувальній трубі, якщо його подача $Q = 0,4$ л/с, розміри трубопроводу $l_1 = 1,8$ м, $d_1 = 10$ мм, $l_2 = 1,1$ м, $d_2 = 15$ мм, кінематична в'язкість масла в трубопроводі 1 $\nu_1 = 8$ мм²/с, в трубопроводі 2 – $\nu_2 = 11$ мм²/с (після охолодження), густина масла $\rho = 900$ кг/м³. Трубопровід 1 має п'ять колін ($\xi_{\text{до}} = 0,3$), трубопровід 2 – три коліна. Радіатор 3 розглядати як місцевий опір з коефіцієнтом

$\xi = 2$, віднесеним до швидкості в трубопроводі 2, коефіцієнт опору входу в трубу 1 $\xi_{\text{вх}} = 0,5$, коефіцієнт опору виходу із труби 2 $\xi_{\text{вих}} = 1$. Труби - гладкі.



Задача 92

Швидкість руху масла ПП-18 ($\rho = 890 \text{ кг/м}^3$) у напірній гідролінії об'ємного гідроприводу становить $4,7 \text{ м/с}$. Як зміняться втрати тиску на тертя в гідролінії при підвищенні температури масла від 20 до $50 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо її довжина дорівнює $6,7 \text{ м}$, а діаметр – 15 мм . Кінематичну в'язкість масла визначити по додатку А.

Задача 93

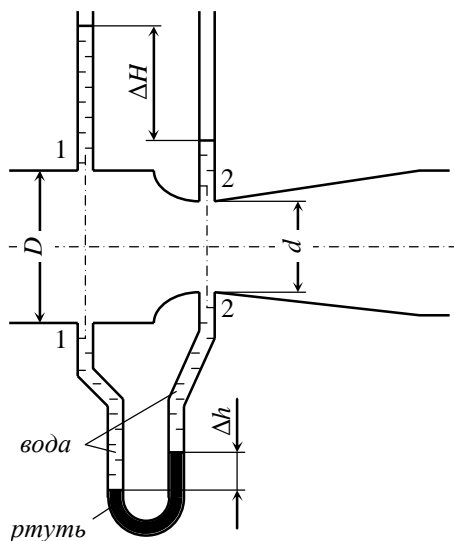
Визначити потужність, що необхідна для перекачування нафти ($\rho = 880 \text{ кг/м}^3$) по трубопроводу довжиною 10 км і діаметром 250 мм у кількості $3,11 \text{ МН/год}$ при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\nu = 25 \text{ мм}^2/\text{с}$) і $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\nu = 10 \text{ мм}^2/\text{с}$), якщо шорсткість стінок трубопроводу дорівнює $0,2 \text{ мм}$.

Задача 94

Різниця показань відкритих п'єзометрів h , встановлених на початку і наприкінці горизонтальної труби довжиною 6 м і діаметром 25 мм, прямо пропорційна витраті рідини Q . Визначити її кінематичну в'язкість ν , якщо $Q = 1$ л/с, а $h = 1,6$ м. Як зміниться h при збільшенні діаметра у два рази й збереженні тієї ж витрати рідини?

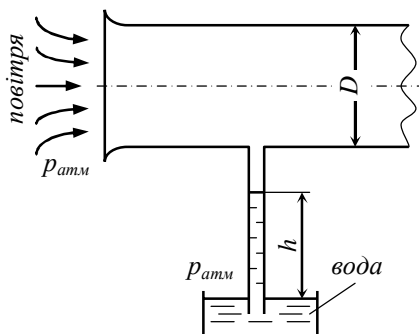
Задача 95

До витратоміра Вентурі приєднані два п'єзометра і диференціальний ртутний манометр. Виразити витрату води Q через розміри витратоміра D й d , різницю показань п'єзометрів ΔH , а також через показання диференціального манометра Δh . Надано коефіцієнт опору ζ ділянки між перерізами 1–1 і 2–2.



Задача 96

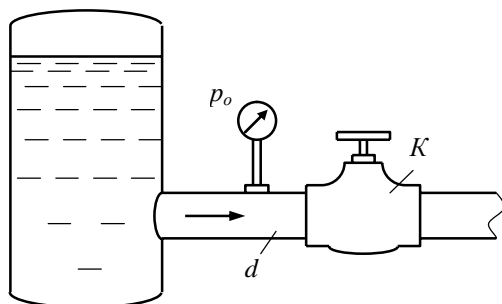
Визначити вагову витрату повітря по трубі з плавно закругленим входом і циліндричною частиною діаметром $D = 200$ мм, якщо показання вакуумметра у вигляді вертикальної скляної трубки, опущеної в резервуар з водою, $h = 250$ мм. Коефіцієнт опору вхідної частини труби (до місця приєднання вакуумметра) $\zeta = 0,1$. Густина повітря $\rho_{\text{пов}} = 1,25$ кг/м³.



Задача 97

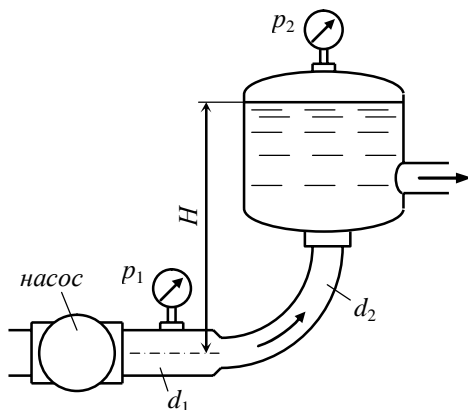
Від бака, у якому за допомогою насоса підтримується постійний тиск рідини, відходить трубопровід діаметром $d = 50$ мм. Між баком і краном K на трубопроводі встановлений манометр. При закритому положенні крана $p_0 = 0,5$ МПа. Знайти зв'язок між витратою рідини в трубопроводі Q і показанням манометра p при різних відкриттях крана, прийнявши коефіцієнт опору вхідної ділянки трубопроводу (від бака до манометра) рівним $\zeta = 0,5$. Густина рідини $\rho = 800$ кг/м³.

Підрахувати витрату рідини при повному відкритті крана, коли показання манометра дорівнюють $p = 0,485$ МПа.



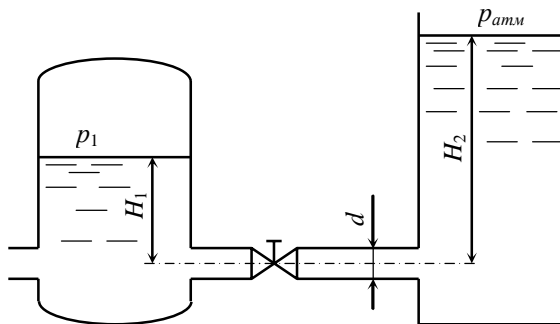
Задача 98

Насос нагнітає рідину в напірний бак, де встановилися постійний рівень на висоті $H = 2 \text{ м}$ і постійний тиск $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Манометр, установлений на виході з насоса на трубі діаметром $d_1 = 75 \text{ мм}$, показує $p_1 = 0,25 \text{ МПа}$. Визначити витрату рідини Q , якщо діаметр скривленої труби, що підводить рідину до бака, дорівнює $d_2 = 50 \text{ мм}$; коефіцієнт опору цієї труби прийняти рівним $\xi = 0,5$. Густина рідини $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



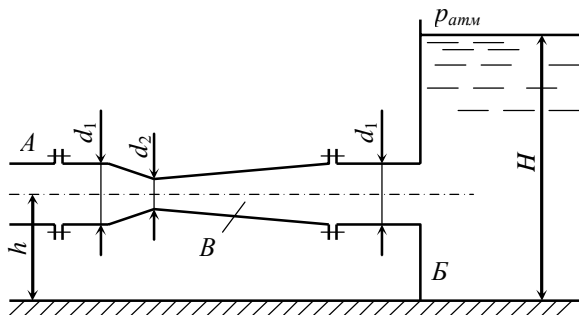
Задача 99

Вода перетікає з напірного бака, де надлишковий тиск повітря $p = 0,3 \text{ МПа}$, у відкритий резервуар по короткій трубі діаметром $d = 50 \text{ мм}$, на якій установлений кран. Чому повинен дорівнювати коефіцієнт опору крана для того, щоб витрата води становила $Q = 8,7 \text{ л/с}$? Висоти рівнів $H_1 = 1 \text{ м}$ й $H_2 = 3 \text{ м}$. Урахувати втрату напору на вході в трубу ($\xi_{\text{вх}} = 0,5$) і на виході з труби (раптове розширення).



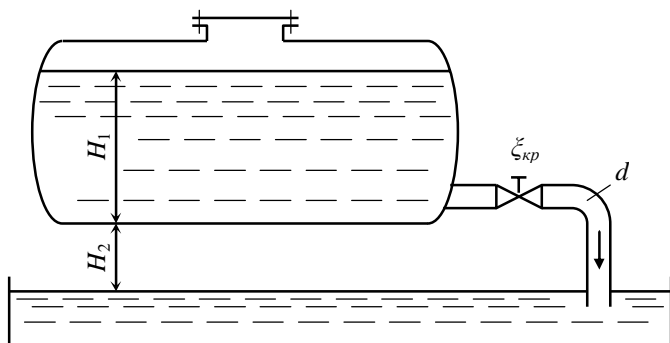
Задача 100

Для виміру витрати води, що подається по трубі A в бак B , установлено витратомір Вентурі B . Визначити максимальну витрату, яку можна пропускати через даний витратомір за умови відсутності в ньому кавітації, якщо температура води $t = 60^\circ \text{C}$ (тиск насичених парів відповідає $h_{\text{н.п}} = 2 \text{ м вод. ст.}$). Рівень води в баці підтримується постійним, рівним $H = 1,5 \text{ м}$; $h = 0,5 \text{ м}$. Розміри витратоміра: $d_1 = 50 \text{ мм}$; $d_2 = 20 \text{ мм}$. Атмосферний тиск прийняти рівним 760 мм рт. ст. . Коефіцієнт опору дифузора $\xi_{\text{диф}} = 0,2$.



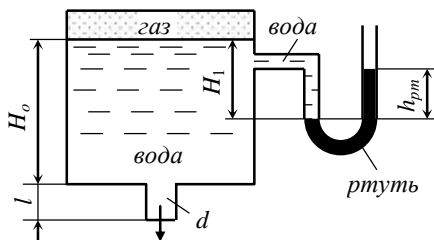
Задача 101

Бензин зливається із цистерни по трубі діаметром $d = 50$ мм, на якій установлений кран з коефіцієнтом опору $\zeta_{кр} = 3$. Визначити витрату бензину при $H_1 = 1,5$ м і $H_2 = 1,3$ м, якщо у верхній частині цистерни має місце вакуум $h_{вак} = 73,5$ мм рт. ст. Втрати на тертя в трубі знехтувати. Густина бензину $\rho = 750$ кг/м³.



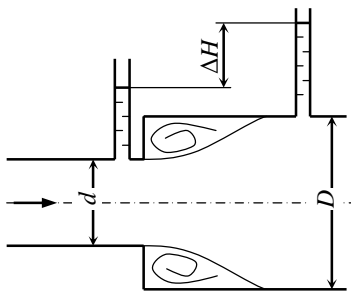
Задача 102

Визначити витрату води, що витікає з бака через коротку трубку (насадок) діаметром $d = 30$ мм і коефіцієнтом опору $\zeta = 0,5$, якщо показання ртутного манометра $h_{pm} = 1,47$ м; $H_1 = 1$ м; $H_0 = 1,9$ м; $l = 0,1$ м.



Задача 103

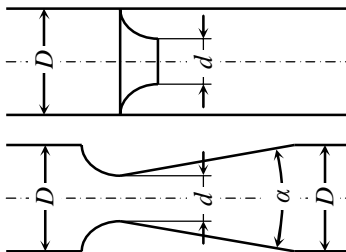
При раптовому розширенні труби від d до D виходить збільшення тиску, якому відповідає різниця показань п'єзометрів ΔH . Визначити, при якому співвідношенні площ широкого і вузького перерізів труби ($n = D^2/d^2$) збільшення тиску буде найбільшим. Виразити величину ΔH_{max} через швидкість у вузькому перерізі.



Задача 104

Порівняти коефіцієнти опору мірного сопла d , встановленого в трубі D , і витратоміра Вентурі, що складається з такого ж сопла діаметром d і дифузора. Коефіцієнти опору визначити як відношення сумарної втрати напору до швидкісного напору в трубопроводі. Надано відношення діаметрів $D/d = 2$. Прийняти коефіцієнти опорів: сопла $\zeta_c = 0,05$; дифузора $\zeta_{\text{диф}} = 0,15$ (обидва коефіцієнти належать швидкості у вузькому перерізі). Визначити втрати напору, спричинювані мірним соплом h_c і витратоміром h_p , при однаковій швидкості потоку в трубі $v = 3 \text{ м/с}$.

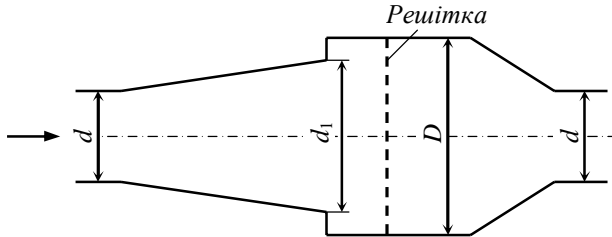
Вказівка. На виході із сопла врахувати втрати напору на раптове розширення.



Задача 105

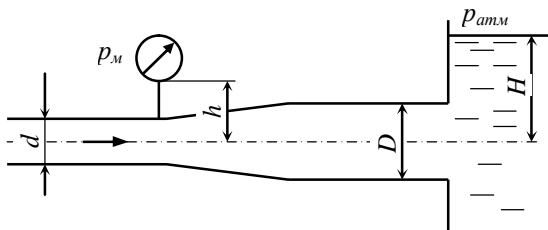
Порівняти коефіцієнти опору витратоміра Вентурі, дані якого наведені в задачі 104, і спеціального витратоміра, показаного на рисунку. Останній складається з дифузора ($\zeta_{\text{диф}} = 0,15$), що розширює потік до діаметра $d_1 = 1,4 \cdot d$, раптового розширення широкої частини до діаметра $D = 2,5 \cdot d$, в якій встановлена решітка для вирівнювання

швидкостей ($\zeta_p = 0,05$) і сопла ($\zeta_c = 0,05$). Коефіцієнти віднесені до швидкості в трубі діаметром d .



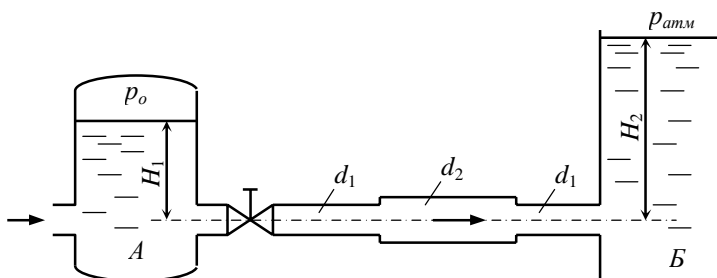
Задача 106

Визначити витрату рідини, що витікає із труби діаметром $d = 16 \text{ мм}$ через плавне розширення (дифузور) і далі по трубі діаметром $D = 20 \text{ мм}$ у бак. Коефіцієнт опору дифузора $\zeta = 0,2$ (віднесений до швидкості в трубі), показання манометра $p_m = 20 \text{ кПа}$; висота $h = 0,5 \text{ м}$; $H = 5 \text{ м}$; густина рідини $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Врахувати втрати на раптове розширення, втратами на тертя знехтувати, режим течії вважати турбулентним.



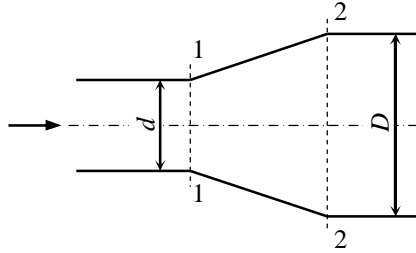
Задача 107

Вода перетікає з напірного бака A в резервуар B через вентиль з коефіцієнтом опору $\xi_e = 3$ по трубі. Діаметри: $d_1 = 40$ мм, $d_2 = 60$ мм. Вважаючи режим течії турбулентним і нехтуючи втратами на тертя по довжині, визначити витрату. Врахувати втрати напору при раптових звуженнях і розширеннях. Висоти: $H_1 = 1$ м, $H_2 = 2$ м; надлишковий тиск у напірному баку $p_0 = 0,15$ МПа.



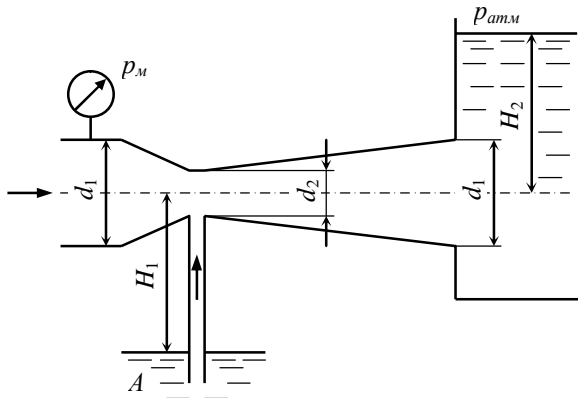
Задача 108

Нехтуючи втратами напору, визначити ступінь розширення дифузора $n = \left(D/d\right)^2$, при якому тиск у перерізі 2–2 зростає у два рази в порівнянні з тиском у перерізі 1–1. Розрахунок провести при наступних даних: витрата рідини $Q = 1,5$ л/с; діаметр $d = 20$ мм; тиск у перерізі 1–1 $p_1 = 10$ кПа; густина рідини $\rho = 1000$ кг/м³; режим течії прийняти: а) ламінарним і б) турбулентним. Потік у дифузорі вважати стабілізованим і безвідривним.



Задача 109

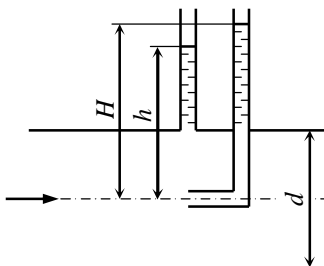
Визначити мінімальний тиск p_m , вимірюваний манометром перед звуженням труби, при якому буде відбуватися підсмоктування води з резервуара A в вузькому перерізі труби. Розміри: $d_1 = 60$ мм; $d_2 = 20$ мм; $H_1 = 6$ м; $H_2 = 1$ м. Прийняти коефіцієнти опору: сопла $\zeta_c = 0,08$, дифузора $\zeta_{диф} = 0,30$.



Задача 110

По довгій трубі діаметром $d = 50$ мм протікає рідина ($\nu = 200 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$). Визначити витрату рідини й тиск у

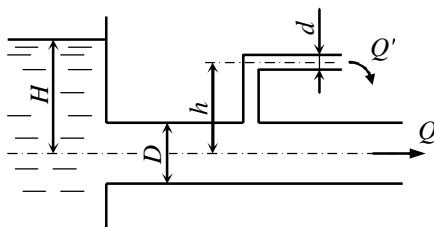
перерізі, де встановлено п'єзометр ($h = 60 \text{ см}$) і трубку Піто ($H = 80 \text{ см}$).



Задача 111

Вода тече по трубі діаметром $D = 20 \text{ мм}$, що має відвід ($d = 8 \text{ мм}$). Зневажаючи втрати напору, визначити витрату рідини у відводі Q' , якщо витрата в основній трубі $Q = 1,2 \text{ л/с}$; висоти $H = 2 \text{ м}$, $h = 0,5 \text{ м}$. Режим течії вважати турбулентним.

Вказівка. Вважати, що тиск перед відводом витрачається на створення швидкісного напору у відводі і підйом рідини на висоту h .

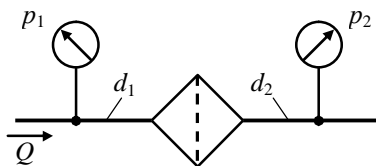


Задача 112

Для визначення втрат тиску на фільтрі встановлені манометри, як показано на рисунку. При пропущенні через фільтр рідини, витрата

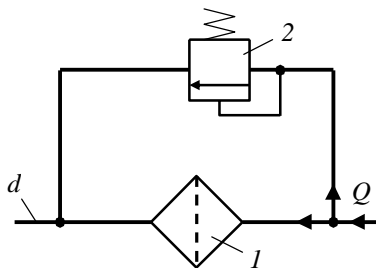
якої $Q = 1 \text{ л/с}$; тиск: $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,12 \text{ МПа}$. Визначити, чому дорівнює втрата тиску у фільтрі, якщо відомо: $d_1 = 10 \text{ мм}$, $d_2 = 20 \text{ мм}$, $\rho_{\text{ж}} = 900 \text{ кг/м}^3$.

Вказівка. Втратою тиску на ділянках від місць установки манометрів до фільтра знехтувати. Прийняти $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.



Задача 113

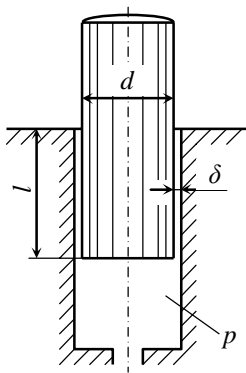
У гідросистемі з витратою масла $Q = 0,628 \text{ л/с}$ паралельно фільтру 1 установлений переливний клапан 2, що відкривається при перепаді тиску на $\Delta p = 0,2 \text{ МПа}$. Визначити в'язкість ν , при якій почнеться відкриття клапана, якщо коефіцієнт опору фільтра пов'язаний з числом Рейнольдса формулою $\xi_\phi = A/Re$, де $A = 2640$; Re підраховується по діаметру труби $d = 20 \text{ мм}$; $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.



Задача 114

Без урахування швидкості та напрямку руху плунжера визначити максимально можливий секундний витік рідини через зазор між насосним плунжером і циліндром, якщо діаметр плунжера $d = 20$ мм; радіальний зазор при співвісному розташуванні плунжера й циліндра $\delta = 0,01$ мм; властивості рідини: $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$. Тиск, створюваний насосом, $p = 25 \text{ МПа}$; довжина зазору $l = 30$ мм.

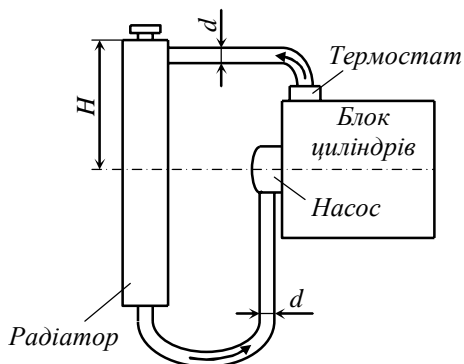
Вказівка. Використати формулу $\lambda = \frac{96}{\text{Re}}$, де $\text{Re} = \frac{2 \cdot \delta \cdot \nu}{\nu}$.



Задача 115

Визначити напір, створюваний насосом системи охолодження автомобільного двигуна, при наступних даних: подача насоса $Q = 3,9 \text{ л/с}$; коефіцієнти опору: блоку циліндрів $\zeta_1 = 3,5$; термостату $\zeta_2 = 2,5$; радіатора $\zeta_3 = 4,0$; труби (шланги) від радіатора до насоса $\zeta_4 = 2,0$. Всі коефіцієнти віднесені до швидкості в трубі діаметром $d = 40$ мм. Чому дорівнює абсолютний тиск перед входом у насос, якщо у верхній частині радіатора виник вакуум $p_{\text{вак}} = 1 \text{ кПа}$; висота

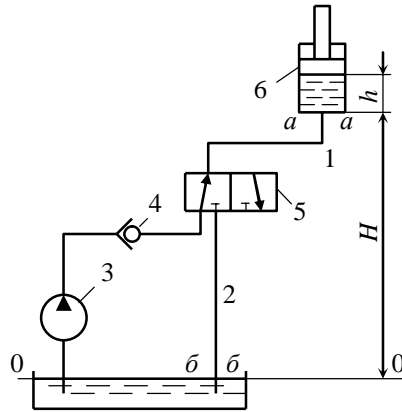
$H = 0,4 \text{ м}$; атмосферний тиск відповідає $h_{атм} = 750 \text{ мм рт. ст.}$,
 густина рідини $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$?



Задача 116

Визначити діаметр напірної гідролінії об'ємного гідроприводу, по якій масло подається насосом 3 через зворотний гідроклапан 4 і гідророзподільник 5 у гідроциліндр 6, якщо загальна довжина гідролінії $l = 7,3 \text{ м}$, втрата тиску в ній $\Delta p = 0,1 \text{ МПа}$, подача насоса $Q = 94 \text{ л/хв.}$

Робоча рідина має густину $\rho = 880 \text{ кг/м}^3$, кінематичну в'язкість $\nu = 10 \text{ мм}^2/\text{с}$. У розрахунках врахувати коефіцієнти місцевих опорів: зворотного гідроклапана ($\xi_{кл}=2$), коліна ($\xi_0 = 0,33$), гідророзподільника ($\xi_p = 2,5$). Вертикальною відстанню між насосом 3 і гідроциліндром 6 знехтувати. Труби – гладкі.



Задача 117

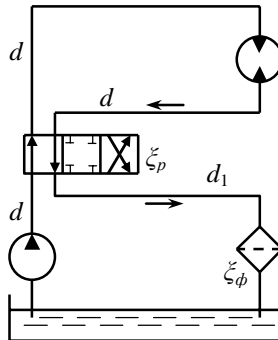
За умовою задачі 116 знайти час зворотного ходу поршня гідроциліндра діаметром $D = 250$ мм, який відбувається під дією ваги $G = 4$ кН піднятого вантажу, якщо хід поршня $h = 250$ мм, розміри труб 1 і 2, відповідно, дорівнюють $l_1 = 5,5$ м, $d_1 = 20$ мм, $l_2 = 1,8$ м, $d_2 = 32$ мм. Вертикальна відстань від гідроциліндра до бака $H = 2$ м. У розрахунках врахувати місцеві втрати: на вході в трубу з гідроциліндра ($\xi_{ex} = 0,5$), у гідророзподільнику ($\xi_p = 2,5$) і у двох колінах ($\xi_{do} = 0,33$).

Робоча рідина має густину $\rho = 880$ кг/м³, кінематичну в'язкість $\nu = 10$ мм²/с.

Задача 118

Напірна гідролінія об'ємного гідроприводу має довжину $l = 4,8$ м і діаметр $d = 20$ мм, зливна – $l_1 = 3,5$ м і $d_1 = 32$ мм, подача насоса $Q = 96$ л/хв, робоча рідина – масло ІП-30 ($\rho = 890$ кг/м³).

Зневажаючи витоками рідини в гідроапаратурі, побудувати графік залежності втрат тиску в обох гідролініях від температури робочої рідини. У розрахунках врахувати місцеві опори колін ($\xi_k = 0,5$), розподільника ($\xi_p = 2$) і фільтру ($\xi_\phi = 12$).



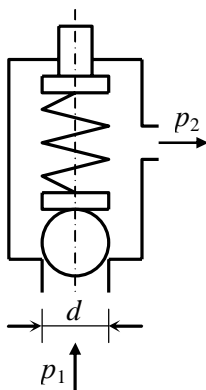
Задача 119

Зробити перевірку на міцність сталевій трубі діаметром $d = 200$ мм, у якій є можливим прямий гідравлічний удар. Товщина стінок труби $\delta = 4$ мм, що допускає напругу на розтягання $[\sigma] = 140$ МПа, швидкість руху води $u_0 = 5$ м/с, тиск до удару $p_0 = 0,25$ МПа.

Задача 120

До гідророзподільника, час спрацювання якого $T_3 = 0,03$ с, підводиться витрата масла ($\rho = 900$ кг/м³, $E_p = 1,35 \times 10^9$ МПа) $Q = 1$ л/с по латунному трубопроводу довжиною $l = 7,5$ м і діаметром $D = 16$ мм. Перед гідророзподільником установлений кульковий запобіжний клапан діаметром $d = 12$ мм, твердість пружини якого $C_1 = 50$ Н/мм.

Визначити величину попереднього підтискання пружини x_0 , при якому клапан спрацьовує при гідравлічному ударі, якщо товщина стінки трубопроводу $\delta = 1$ мм, модуль пружності латуні $E = 1,13 \times 10^{11}$ Па, початковий тиск $p_0 = 0,5$ МПа.



Задача 121

По трубопроводу змінного перерізу ($l_1 = 170$ м, $d_1 = 80$ мм, $l_2 = 80$ м, $d_2 = 50$ мм, $\Delta = 0,1$ мм) масло ІГП-30 ($\rho = 890$ кг/м³) з температурою 30 °С витікає в атмосферу із закритого резервуара, причому вихідний переріз трубопроводу розташований на 4,3 м вище рівня рідини. Визначити витрату масла Q при надлишковому тиску на вільній поверхні рідини $p_0 = 1,0$ МПа. У розрахунках врахувати втрати напору на тертя й втрати у вентилях ($\xi_s = 7,5$), установленому наприкінці трубопроводу. Іншими місцевими опорами знехтувати.

Який тиск p_0 необхідно створити на поверхні рідини, щоб зберегти ту ж витрату при постійному діаметрі всього трубопроводу $d_1 = d_2 = 50$ мм.

Задача 122

Трубопровід довжиною 250 м, по якому вода з водонапірної башти надходить до споживача, може бути складений із двох ділянок труб діаметром $d_1 = 50$ мм і $d_2 = 32$ мм. Визначити довжини окремих ділянок трубопроводу l_1 і l_2 , при яких витрата води буде становити $7,5$ м³/ч, якщо вертикальна відстань від рівня води у водонапірній башті до центра вихідного перерізу труби дорівнює 26 м, шорсткість труб – 0,1 мм, температура води – 20 °С.

У розрахунках врахувати втрати на тертя й втрати у двох вентилях ($\xi_v = 5$), установлених по одному на кожній ділянці трубопроводу. Іншими місцевими опорами і швидкісним напором на виході з труби знехтувати.

Задача 123

Рідина з густиною $\rho = 850$ кг/м³ і в'язкістю $\nu = 200 \times 10^{-6}$ м²/с подається на відстань $l = 20$ м по горизонтальній трубі діаметром $d = 20$ мм у кількості $Q = 1,57$ л/с. Визначити тиск і потужність, які потрібні для зазначеної подачі. Місцеві гідравлічні опори відсутні.

Задача 124

Гас перекачується по горизонтальній трубі довжиною $l = 50$ м і діаметром $d = 50$ мм у кількості $Q = 9,8$ л/с. Визначити потрібний тиск і необхідну потужність, якщо властивості гасу: $\nu = 2,5 \times 10^{-6}$ м²/с; $\rho = 800$ кг/м³. Труба гідравлічно гладка. Місцевими гідравлічними опорами знехтувати.

Задача 125

По трубопроводу діаметром $d = 10 \text{ мм}$ і довжиною $l = 10 \text{ м}$ подається рідина з в'язкістю $\nu = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ під дією перепаду тиску $\Delta p = 4 \text{ МПа}$; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Визначити режим течії рідини в трубопроводі.

Вказівка. Скористатися виразом для числа Re через Q і законом Пуазейля, виключити з них витрату Q і, визначивши критичний перепад тиску, що відповідає зміні режиму, порівняти його з заданим перепадом.

Задача 126

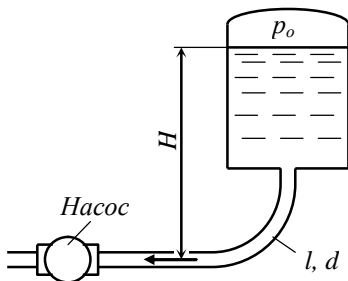
Визначити режим течії рідини при температурі 10°C ($\nu = 40 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) по трубопроводу довжиною $l = 3 \text{ м}$, що при перепаді тиску $\Delta p = 2 \text{ МПа}$ повинен забезпечувати витрату $Q = 1 \text{ л/с}$. Густина $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Вказівка. Скористатися виразом для числа Re через Q і законом Пуазейля, виключити з них діаметр d і, визначивши перепад тиску, що відповідає зміні режиму, порівняти його з заданим перепадом.

Задача 127

На рисунку показаний всмоктувальний трубопровід гідросистеми. Довжина трубопроводу $l = 1 \text{ м}$, діаметр $d = 20 \text{ мм}$, витрата рідини $Q = 0,314 \text{ л/с}$, абсолютний тиск повітря в бачку $p_0 = 100 \text{ кПа}$, $H = 1 \text{ м}$, густина рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Визначити абсолютний тиск перед входом у насос при температурі робочої рідини $t = +25^\circ\text{C}$ ($\nu = 20 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Як зміниться шуканий тиск у зимовий час, коли при цій же витраті температура рідини впаде до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\nu = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).



Задача 128

Загальна довжина однієї з виконавчих магістралей гідросистеми $l = 10 \text{ м}$; діаметр $d = 10 \text{ мм}$; швидкість руху робочої рідини $v = 7,5 \text{ м/с}$; в'язкість $\nu = 50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. У зв'язку з нагріванням робочої рідини в системі відбувається зниження в'язкості до $\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ і турбулізація потоку в гідравлічно гладкій трубі. Наскільки зміниться сумарна втрата напору в зазначеній магістралі при турбулізації потоку і незмінній витраті рідини?

Задача 129

Визначити витрату газу в гладкій горизонтальній трубі довжиною $l = 40 \text{ м}$; діаметром $d = 40 \text{ мм}$, якщо різниця тиску у початковому й кінцевому перерізах труби $\Delta p = 160 \text{ кПа}$. В'язкість газу $\nu = 2 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; густина $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.

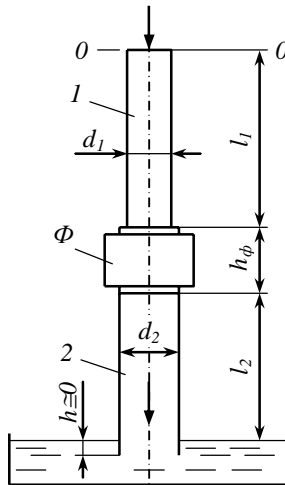
Вказівка. Задачу вирішувати методом послідовних наближень, задаючись спочатку значенням коефіцієнта λ у першому наближенні.

Задача 130

Рідина з густиною $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ і в'язкістю $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ нагнітається по горизонтальному трубопроводу довжиною $l = 4 \text{ м}$ і діаметром $d = 25 \text{ мм}$. Визначити тиск у початковому перерізі, якщо в кінцевому перерізі трубопроводу тиск атмосферний, витрата рідини $Q = 6 \text{ л/с}$; шорсткість стінок трубопроводу $\Delta = 0,06 \text{ мм}$.

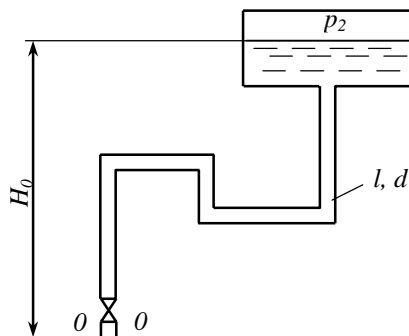
Задача 131

Рідина з гідросистеми витікає в бак через трубопровід 1 довжиною $l_1 = 3 \text{ м}$ і діаметром $d_1 = 15 \text{ мм}$; фільтр Φ , опір якого є еквівалентним опору трубопроводу довжиною $l = 300 \cdot d_1$ і трубопровід 2 довжиною $l_2 = 5 \text{ м}$ й діаметром $d_2 = 25 \text{ мм}$. Визначити витрату рідини, якщо її в'язкість $\nu = 50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; густина $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; тиск в перерізі 0-0 $p_0 = 0,25 \text{ МПа}$; висота фільтра $h = 0,3 \text{ м}$. Врахувати втрату напору на виході з труби в бак.



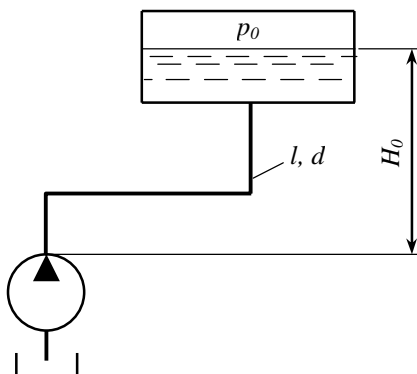
Задача 132

Визначити потрібний напір, який необхідно створити в перерізі 0–0 для подачі в бак води з в'язкістю $\nu = 0,8 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, якщо довжина трубопроводу $l = 80 \text{ м}$; його діаметр $d = 50 \text{ мм}$; витрата рідини $Q = 15 \text{ л/с}$; висота $H_0 = 30 \text{ м}$; тиск у баку $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$; коефіцієнт опору крана $\zeta_1 = 5$; коліна $\zeta_2 = 0,8$; шорсткість стінок труби $\Delta = 0,04 \text{ мм}$.



Задача 133

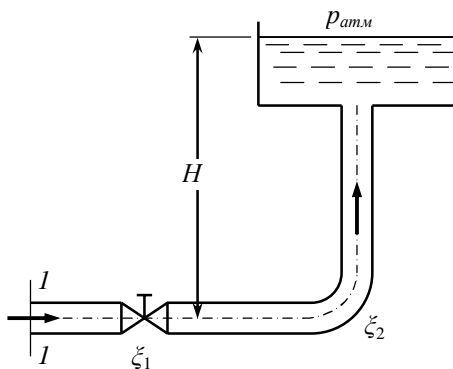
При якому діаметрі трубопроводу подача насоса складе $Q = 1 \text{ л/с}$, якщо на виході з нього напір $H_{расп} = 9,6 \text{ м}$; довжина трубопроводу $l = 10 \text{ м}$; еквівалентна шорсткість $\Delta_e = 0,05 \text{ мм}$; тиск у баку $p_0 = 30 \text{ кПа}$; висота $H_0 = 4 \text{ м}$; в'язкість рідини $\nu = 1,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ та її густина $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Місцевими гідравлічними опорами в трубопроводі знехтувати. Врахувати втрати при вході в бак.



Задача 134

Визначити витрату в трубі для подачі води (в'язкість $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) на висоту $H = 16,5 \text{ м}$, якщо діаметр труби $d = 10 \text{ мм}$; її довжина $l = 20 \text{ м}$; напір у перерізі $I-I$ труби перед краном $H_1 = 20 \text{ м}$; коефіцієнт опору крана $\zeta_1 = 4$, коліна $\zeta_2 = 1$. Трубу вважати гідравлічно гладкою.

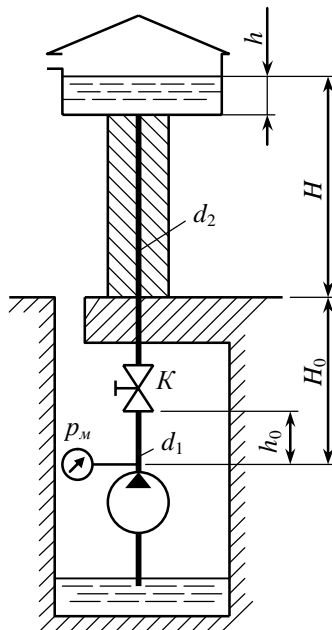
Вказівка. Задачу розв'язати методом послідовних наближень, задаючись коефіцієнтом Дарсі λ з подальшим його уточненням.



Задача 135

Вода з в'язкістю $\nu = 2 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ нагнітається насосом з колодязя у водонапірну башту по вертикальному трубопроводі. Визначити діаметр труби від крана до бака d_2 , якщо висота вежі $H = 10 \text{ м}$, глибина занурення насоса $H_0 = 5 \text{ м}$, висота рівня рідини в баку $h = 1 \text{ м}$, довжина ділянки трубопроводу від насоса до крана $h_0 = 3 \text{ м}$, його діаметр $d_1 = 40 \text{ мм}$, коефіцієнт опору крана $\xi_K = 3$ (віднесений до діаметра d_1) показання манометра $p_m = 0,3 \text{ МПа}$, подача насоса $Q = 1,5 \text{ л/с}$.

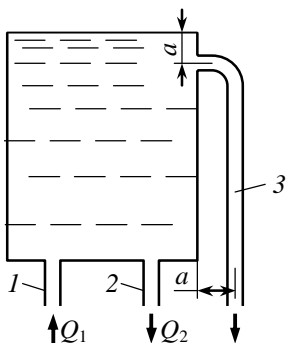
Врахувати втрату швидкісного напору при вході в бак. Труби вважати гідравлічно гладкими.



Задача 136

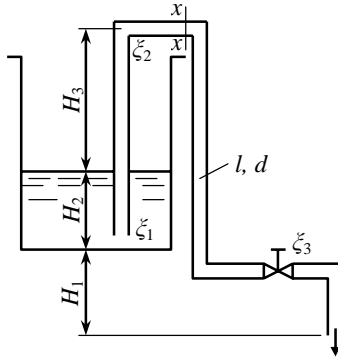
Вода по трубі 1 подається у відкритий бак і витікає по трубі 2. Щоб уникнути переливання води через край бака влаштована вертикальна зливальна труба 3 діаметром $d = 50 \text{ мм}$.

Визначити необхідну довжину L труби 3 з умови, щоб при $Q_1 = 10 \text{ л/с}$ і перекритій трубі 2 ($Q_2 = 0$) вода не переливалася через край бака. Режим течії вважати турбулентним. Прийняти наступні значення коефіцієнтів опору: на вході в трубу $\zeta_1 = 0,5$; у коліні $\zeta_2 = 0,5$; на тертя по довжині труби $\lambda = 0,03$; $a \approx 0$.



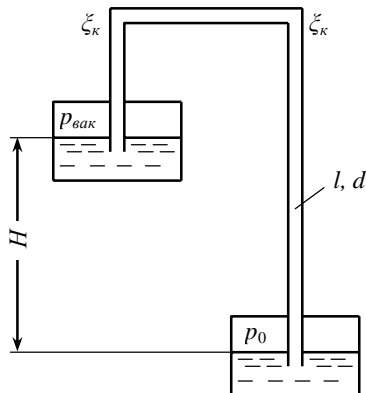
Задача 137

Визначити витрату води через сифонний трубопровід, зображений на рисунку, якщо висота $H_1 = 1 \text{ м}$; $H_2 = 2 \text{ м}$; $H_3 = 4 \text{ м}$. Загальна довжина труби $l = 20 \text{ м}$; діаметр $d = 20 \text{ мм}$. Режим течії вважати турбулентним. Урахувати втрати при вході в трубу $\zeta_1 = 1$, у колінах $\zeta_2 = 0,20$, у вентилі $\zeta_3 = 4$ і на тертя в трубі $\lambda = 0,035$. Підрахувати вакуум у верхньому перерізі $x-x$ труби, якщо довжина ділянки від входу в трубу до цього перерізу $l_x = 8 \text{ м}$.



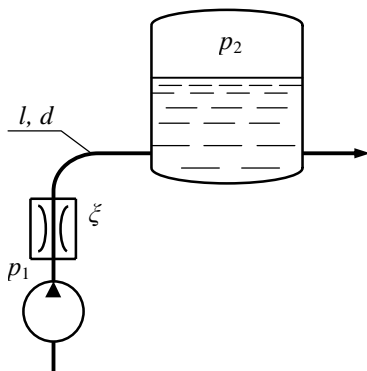
Задача 138

Труба, що з'єднує два баки, заповнена рідиною з в'язкістю $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ і густиною $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Визначити, при якій висоті H рідина буде рухатися з верхнього бака в нижній з витратою $Q = 0,05 \text{ л/с}$, а при якій висоті H буде рухатися у зворотному напрямку з тією же витратою, якщо довжина труби $l = 2,5 \text{ м}$, її діаметр $d = 8 \text{ мм}$, коефіцієнт опору кожного коліна $\zeta_k = 0,5$, надлишковий тиск у нижньому баку $p_0 = 7 \text{ кПа}$, вакуум у верхньому баку $p_{\text{вак}} = 3 \text{ кПа}$. Трубу вважати гідравлічно гладкою.



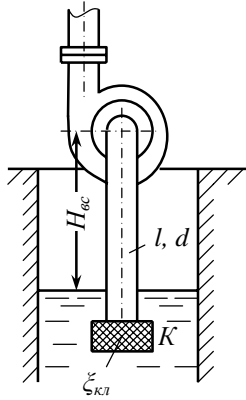
Задача 139

Який тиск повинен створювати насос при подачі масла $Q = 0,4$ л/с і при тиску повітря в пневмогідравлічному акумуляторі $p_2 = 2$ МПа, якщо коефіцієнт опору квадратичного дроселя $\zeta = 100$; довжина трубопроводу від насоса до акумулятора $l = 4$ м; діаметр $d = 10$ мм? Властивості масла $\rho = 900$ кг/м³; $\nu = 50 \times 10^{-6}$ м²/с. Коефіцієнт ζ віднесений до труби $d = 10$ мм.



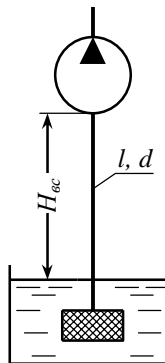
Задача 140

Визначити абсолютний тиск води перед входом у відцентровий насос при подачі $Q = 0,628$ л/с і висоті всмоктування $H_{вс} = 5$ м. Всмоктувальну трубу, довжина якої $l = 8$ м, діаметр $d = 20$ мм, вважати гідравлічно гладкою. Врахувати опір прийомного клапана K з фільтруючою сіткою $\zeta_{кл} = 3$. В'язкість води $\nu = 1 \times 10^{-6}$ м²/с. Атмосферний тиск – 750 мм рт. ст.



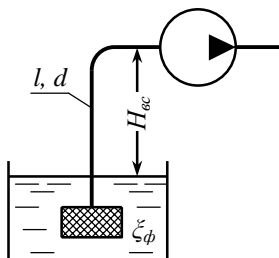
Задача 141

Визначити граничну висоту всмоктування масла насосом при подачі $Q = 0,4$ л/с і умови безкавітаційної роботи насоса, вважаючи, що абсолютний тиск перед входом у насос повинен бути $p \geq 30$ кПа. Розміри трубопроводу: $l = 2$ м; $d = 20$ мм. Властивості масла: $\rho = 900$ кг/м³, $\nu = 200 \times 10^{-6}$ м²/с. Атмосферний тиск 750 мм рт. ст. Опором вхідного фільтра знехтувати.



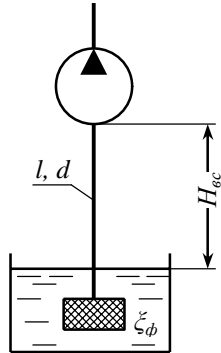
Задача 142

Визначити максимальну витрату бензину Q , яку можна допустити у всмоктувальному трубопроводі насоса бензоколонки з умови відсутності кавітації перед входом у насос, якщо висота всмоктування $H_{вс} = 4$ м, розміри трубопроводу: $l = 6$ м; $d = 24$ мм; граничний тиск бензину прийняти $p_{н.п} = 40$ кПа. Режим течії вважати турбулентним. Коефіцієнт опору прийомного фільтра $\zeta_{\phi} = 2$, коефіцієнт опору тертя $\lambda = 0,03$, $h_{атм} = 750$ мм рт. ст., $\rho_{\phi} = 750$ кг/м³.



Задача 143

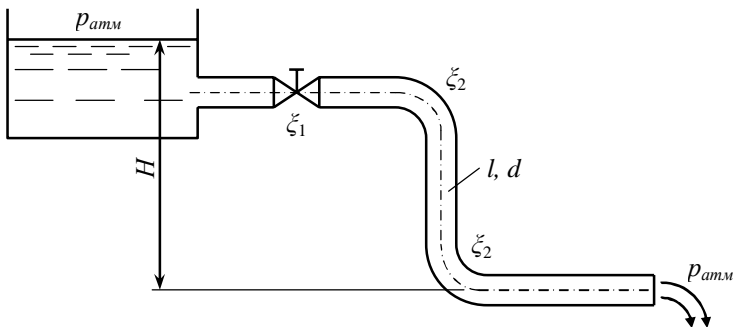
Визначити мінімально можливий діаметр всмоктувального трубопроводу, якщо подача насоса $Q = 1$ л/с, висота всмоктування $H_{вс} = 2,5$ м, довжина трубопроводу $l = 3$ м, шорсткість труби $\Delta = 0,08$ мм, коефіцієнт опору вхідного фільтра $\zeta_{\phi} = 5$, максимально припустимий вакуум перед входом у насос $p_{вак} = 0,08$ МПа, в'язкість робочої рідини $\nu = 1 \times 10^{-6}$ м²/с, густина $\rho = 1000$ кг/м³.



Задача 144

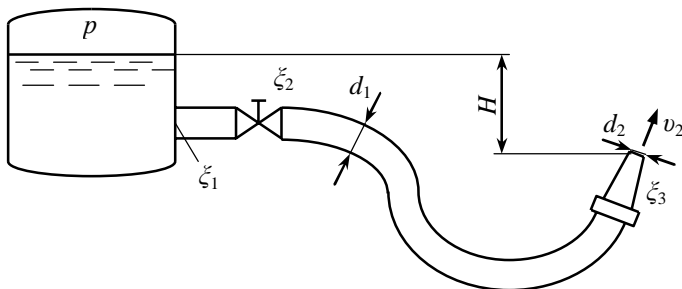
Визначити витрату води з в'язкістю $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, що витікає через трубу з бака, якщо діаметр труби $d = 20 \text{ мм}$, довжина $l = 10 \text{ м}$, висота $H = 8 \text{ м}$, коефіцієнт опору крана $\zeta_1 = 3$, коліна $\zeta_2 = 1$, шорсткість труби $\Delta = 0,05 \text{ мм}$.

Вказівка. Задачу вирішити методом послідовних наближень, задавшись коефіцієнтом λ .



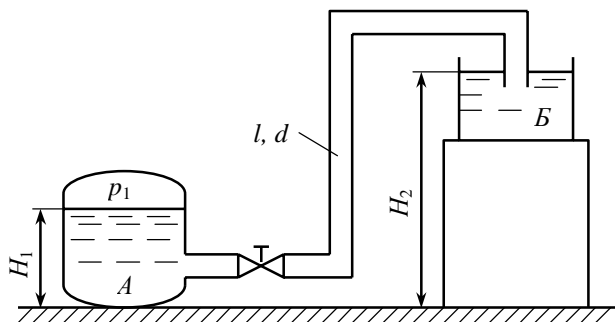
Задача 145

Визначити тиск у напірному баку p , необхідний для одержання швидкості витікання із брандспойта $v_2 = 20 \text{ м/с}$. Довжина шланга $l = 20 \text{ м}$, діаметр $d_1 = 20 \text{ мм}$, діаметр вихідного отвору брандспойта $d_2 = 10 \text{ мм}$. Висота рівня води в баку над отвором брандспойта $H = 5 \text{ м}$. Врахувати місцеві гідравлічні опори при вході в трубу $\zeta_1 = 0,5$, у крані $\zeta_2 = 3,5$, у брандспойті $\zeta_3 = 0,1$, що віднесені до швидкості v_2 . Шланг вважати гідравлічно гладким. В'язкість води $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



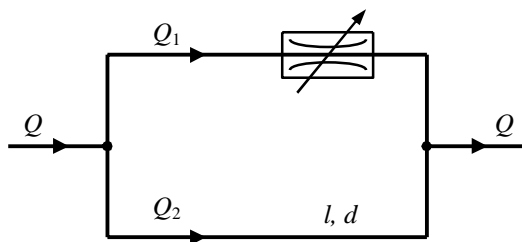
Задача 146

Вода перетікає з бака A в резервуар B по трубі діаметром $d = 25 \text{ мм}$, довжиною $l = 10 \text{ м}$. Визначити витрату води Q , якщо надлишковий тиск у баці $p_1 = 200 \text{ кПа}$, висоти рівнів $H_1 = 1 \text{ м}$, $H_2 = 5 \text{ м}$. Режим течії вважати турбулентним. Коефіцієнти опору прийняти: на вході в трубу $\zeta_1 = 0,5$; у вентилі $\zeta_2 = 4$; у колінах $\zeta_3 = 0,2$; на тертя $\lambda = 0,025$.



Задача 147

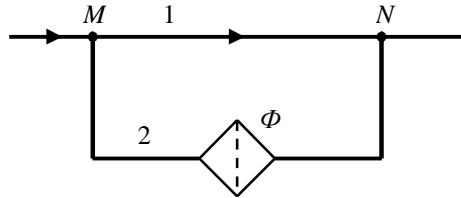
Надано витрату у основній гідролінії $Q = 3 \text{ л/с}$ і розмір однакових по довжині l і діаметру d паралельних ділянок ($l = 1 \text{ м}$, $d = 10 \text{ мм}$). В одній з них встановлено дросель з коефіцієнтом опору $\xi = 9$. Вважаючи режим течії турбулентним і прийнявши $\lambda = 0,03$, визначити витрати в ділянках Q_1 і Q_2 .



Задача 148

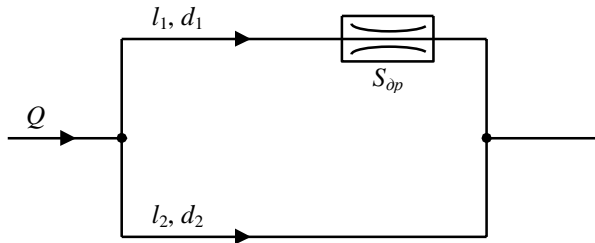
Трубопровід з витратою рідини $Q = 0,32 \text{ л/с}$ у точці M розділяється на два трубопроводи: перший з розмірами $l_1 = 1,0 \text{ м}$, $d_1 = 10 \text{ мм}$; другий з розмірами $l_2 = 2,0 \text{ м}$, $d_2 = 8 \text{ мм}$. У точці N ці трубопроводи замикаються. У другому трубопроводі встановлений фільтр Φ , опір якого є еквівалентним трубі довжиною $l_3 = 200 \cdot d_2$.

Визначити витрату и втрату тиску в кожному трубопроводі при $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ і $\nu = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



Задача 149

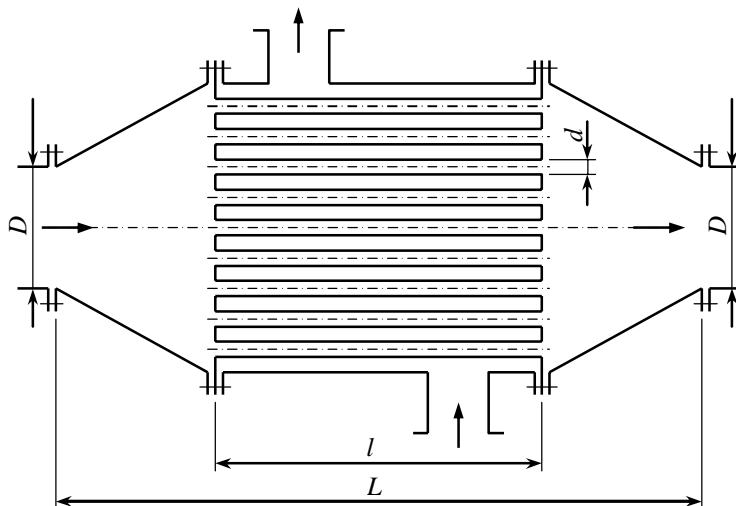
Визначити, при якому прохідному перерізі дроселя витрати в паралельних трубопроводах будуть однаковими, якщо довжини трубопроводів $l_1 = 5 \text{ м}$ и $l_2 = 10 \text{ м}$; їхні діаметри $d_1 = d_2 = 12 \text{ мм}$; коефіцієнт витрати дроселя $\mu = 0,7$; в'язкість робочої рідини $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; витрата рідини перед розгалуженням $Q = 0,2 \text{ л/с}$. Трубопровід вважати гідравлічно гладким.



Задача 150

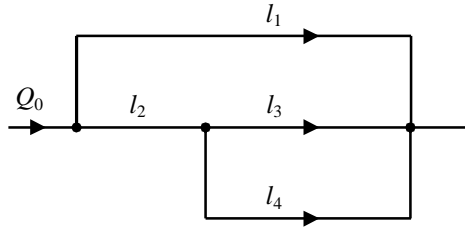
На трубопроводі діаметром $D = 400 \text{ мм}$, що підводить воду до ТЕЦ, встановлений трубчастий підігрівник води. Сума живих перерізів трубок ($d = 25 \text{ мм}$) зроблена приблизно рівною площі перерізу

трубопроводу; довжина трубок $l = 0,5 \cdot L$; число трубок $n = 256$. Нехтуючи опором конусів и втратами на вході в трубки і на виході з них, визначити, у скільки разів опір підігрівника є більшим за опір ділянки трубопроводу діаметром D и довжиною L , на місце якого встановлено підігрівник. Використовувати формулу Блазіуса.



Задача 151

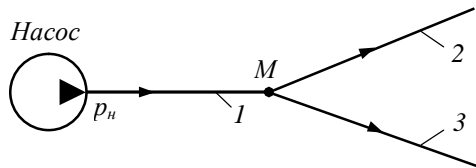
На рисунку показаний складний трубопровід. Визначити витрати у кожному із простих трубопроводів, якщо їх довжини, відповідно, дорівнюють: $l_1 = 5$ м, $l_2 = 3$ м, $l_3 = 3$ м, $l_4 = 6$ м, а сумарна витрата $Q_0 = 6$ л/хв. Вважати, що режим течії ламінарний, а діаметри трубопроводів однакові.



Задача 152

Насос подає масло по трубопроводу 1 довжиною $l_1 = 5$ м і діаметром $d_1 = 10$ мм у кількості $Q = 0,3$ л/с. У точці M трубопровід 1 розгалужується на два трубопроводи (2 і 3), що мають розміри: $l_2 = 8$ м; $d_2 = 8$ мм й $l_3 = 2$ м; $d_3 = 5$ мм. Визначити тиск, створюваний насосом, і витрату масла в кожному розгалуженні трубопроводу (Q_2 і Q_3) при в'язкості масла $\nu = 50 \times 10^{-6}$ м²/з і густині $\rho = 900$ кг/м³. Режим течії на всіх трьох ділянках вважати ламінарним. Місцеві гідравлічні опори відсутні. Тиск у кінцевих перерізах труб атмосферний, а геометричні висоти однакові.

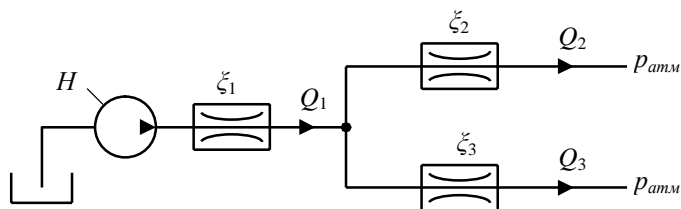
Вказівка. Скласти три рівняння з невідомими: p_n , Q_2 і Q_3 .



Задача 153

Насос забезпечує витрату $Q_1 = 0,6$ л/с по трубопроводу, у якому встановлено дросель з коефіцієнтом опору $\zeta_1 = 3$. У точці M трубопровід розгалужується на два трубопроводи, один з яких містить

дросель з коефіцієнтом опору $\zeta_2 = 10$, а інший – з $\zeta_3 = 40$. Нехтуючи втратами тиску на тертя по довжині, визначити витрати рідини у розгалуженнях і тиск насоса. Діаметр труб $d = 10 \text{ мм}$ ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

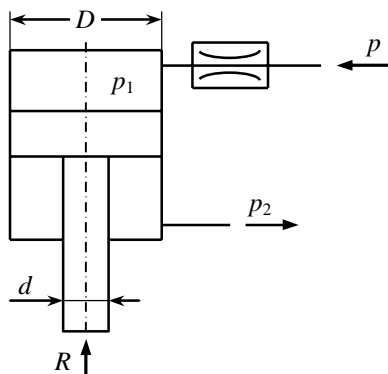


Задача 154

Масло через дросель діаметром $d_0 = 1,5 \text{ мм}$ подається у поршневу порожнину гідроциліндра. Тиск перед дроселем $p = 12,5 \text{ МПа}$, тиск на злив $p_2 = 200 \text{ кПа}$, зусилля на штоку $R = 20 \text{ кН}$. Діаметр поршня $D = 80 \text{ мм}$, діаметр штока $d = 50 \text{ мм}$.

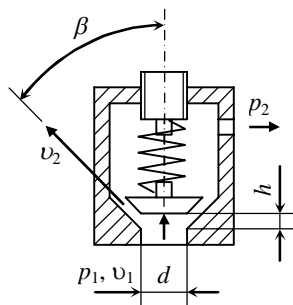
Визначити швидкість переміщення поршня, якщо коефіцієнт витрати дроселя $\mu = 0,62$, густина робочої рідини $\rho = 895 \text{ кг/м}^3$. Вагою поршня й штока, тертям у гідроциліндрі й витоками рідини знехтувати. Рух поршня вважати рівномірним.

Яким повинен бути діаметр дроселя d_{01} , щоб швидкість переміщення поршня стала дорівнювала $v_1 = 5 \text{ см/с}$?



Задача 155

Визначити витрату масла через конічний переливний клапан, діаметр якого $d = 26$ мм, якщо тиск перед клапаном $p_1 = 12$ МПа, тиск на злив $p_2 = 0$, висота підйому клапана $h = 0,5$ мм, кут $\beta = 45^\circ$, коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$, густина масла $\rho = 890$ кг/м³.



Задача 156

Рідина витікає з відкритого бака через отвір у його дні діаметром 10 мм при постійному напорі $H = 2,0$ м. Визначити

коефіцієнти витрати, швидкості й стиснення струменя (μ , φ , ε), а також коефіцієнт опору ξ і втрату напору h_n , якщо резервуар місткістю 92 л, у який витікає рідина, заповнюється за 5 хв, а діаметр струменя в стислому перерізі дорівнює 8 мм.

Задача 157

Визначити витрату рідини через малий отвір у тонкій стінці при напорі $H = 1,5$ м, якщо при напорі $H_1 = 2$ м він дорівнює 1,22 л/с.

Задача 158

Приток води у відкритий бак, у дні якого є отвір діаметром 20 мм, дорівнює 0,7 л/с. Визначити максимальний напір, що встановиться у баку.

Задача 159

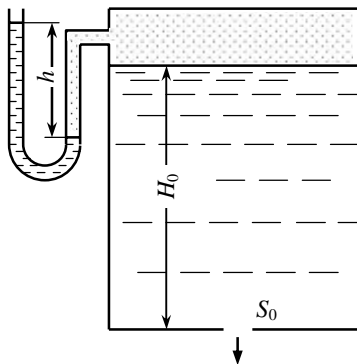
Із закритого резервуара вода витікає в атмосферу через отвір діаметром 15 мм у боковій стінці, що перебуває на глибині 1,8 м під поверхнею рідини. Визначити витрату води Q , якщо надлишковий тиск на вільній поверхні рідини в резервуарі $p_0 = 8$ кПа, а коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$. На скільки потрібно збільшити тиск p_0 , щоб витрата води збільшилась на 20 %.

Задача 160

Рідина виливається з відкритого бака через квадратний отвір ($a \times a$) у його дні при постійному напорі $H = 1,7$ м. Визначити розмір отвору a для пропуску витрати $Q = 3,2$ л/с, якщо коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$.

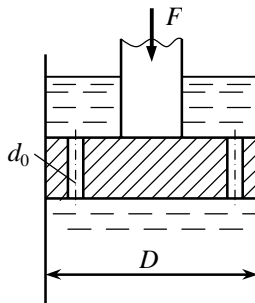
Задача 161

Визначити витрату рідини ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$), що витікає з бака через отвір площею $S_0 = 1 \text{ см}^2$. Показання ртутного приладу, що вимірює тиск повітря $h = 268 \text{ мм}$, висота $H_0 = 2 \text{ м}$, коефіцієнт витрати отвору $\mu = 0,60$.



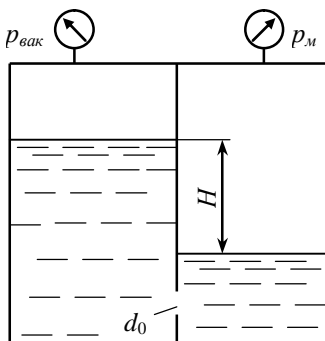
Задача 162

Визначити швидкість переміщення поршня вниз, якщо до його штока прикладена сила $F = 10 \text{ кН}$. Поршень діаметром $D = 50 \text{ мм}$ має п'ять отворів діаметром $d_0 = 2 \text{ мм}$ кожний. Отвори розглядати як зовнішні циліндричні насадки з коефіцієнтом витрати $\mu = 0,82$; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



Задача 163

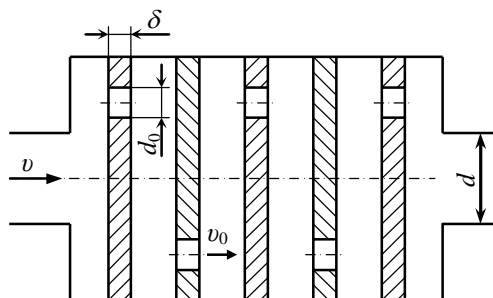
Визначити напрямок витікання рідини ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) через отвір $d_0 = 5 \text{ мм}$ і витрату, якщо різниця рівнів $H = 2 \text{ м}$, показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 147 \text{ мм рт. ст.}$, показання манометра $p_m = 0,25 \text{ МПа}$, коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$.



Задача 164

Визначити коефіцієнт опору багатоступінчастого дроселя, віднесений до швидкості в трубі діаметром $d = 10 \text{ мм}$, якщо дросель складається з п'яти рівнів.

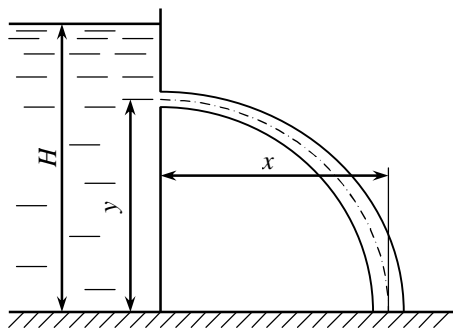
Кожен рівень являє собою отвір діаметром $d_0 = 2 \text{ мм}$ у стінці товщиною $\delta = 1,0 \text{ мм}$. Прийняти коефіцієнт витрати такого отвору рівним $\mu = 0,62$ і вважати, що взаємний вплив рівнів дроселя відсутній (швидкість у проміжках між стінками гаситься до нуля), а повна втрата напору розподіляється між рівнями порівно. Визначити повну втрату тиску в дроселі при швидкості течії в трубі $v = 1 \text{ м/с}$, якщо густина рідини $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.



Задача 165

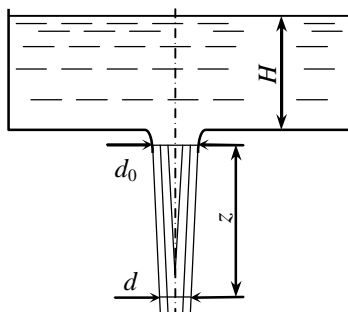
З резервуара, установленого на підлозі і заповненого рідиною до висоти H , відбувається витікання рідини через отвір у стінці. На якій висоті y повинен бути отвір, щоб відстань x до місця падіння струменя на підлогу було максимальною? Визначити цю відстань. Рідину вважати ідеальною.

Вказівка. Використати формулу для взаємозв'язку швидкості витікання рідини з координатами траєкторії струменя $v = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot y}}$.



Задача 166

Рідина витікає через сопло діаметром d_0 , влаштоване в горизонтальному дні резервуару. Знайти зв'язок між діаметром d струменя і висотою z , якщо напір дорівнює H . Опорами знехтувати.



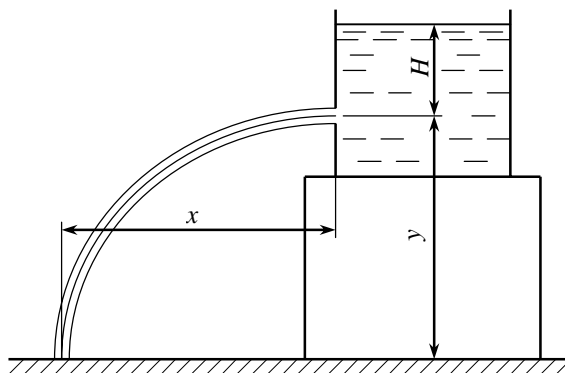
Задача 167

При дослідженні витікання через круглий отвір діаметром $d_0 = 10$ мм отримано: діаметр струменя $d_c = 8$ мм; напір $H = 2$ м; час наповнення об'єму $V = 10$ л складає $t = 32,8$ с. Визначити коефіцієнти стиснення ε , швидкості φ , витрати μ і опору ζ . Розподіл швидкостей по перерізу струменя прийняти рівномірним.

Задача 168

При витіканні рідини через отвір діаметром $d_0 = 10$ мм було обміряно: відстань $x = 5,5$ м, висоту $y = 4$ м, напір $H = 2$ м і витрату рідини $Q = 0,305$ л/с. Підрахувати коефіцієнти стиснення ε , швидкості φ , витрати μ і опору ζ . Розподіл швидкостей по перерізу струменя вважати рівномірним. Опором повітря знехтувати.

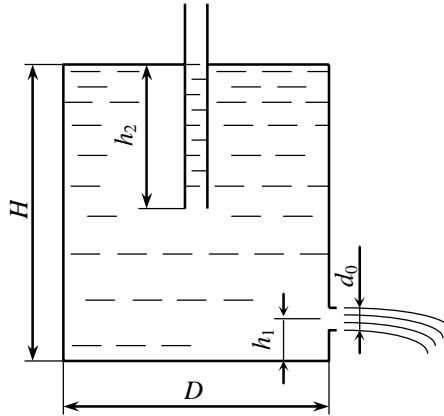
Вказівка. При рішенні використати вказівку до задачі 165.



Задача 169

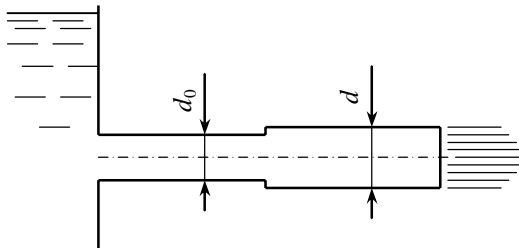
«Судина Маріотта» являє собою щільно закритий резервуар, у кришці якого укріплена трубка, що з'єднує резервуар з атмосферою. Трубка може бути укріплена на різній висоті. У стінці резервуару є отвір діаметром $d_0 = 10$ мм, через який відбувається витікання в атмосферу. Який тиск установиться в резервуарі на рівні нижнього обріза трубки при витіканні? Визначити швидкість витікання і час спорожнювання «судини Маріотта» від верху до нижнього обріза трубки. Об'ємом рідини в трубці і опором при витіканні знехтувати ($\varepsilon = 1$).

Форма резервуару циліндрична, з наступними розмірами: $D = 100$ мм; $H = 2$ м, $h_1 = 0,2$ м, $h_2 = 1$ м.



Задача 170

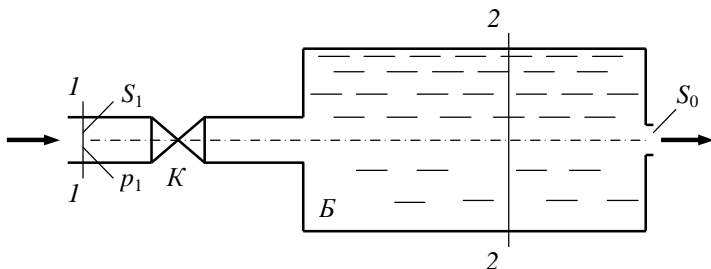
Як зміниться витрата води Q (%) через зовнішній циліндричний насадок ($\mu = 0,82$) діаметром $d_0 = 20$ мм, якщо до нього приєднати циліндричну трубку діаметром $d = 30$ мм і отримати витікання з заповненням вихідного перерізу трубки? Втратою на тертя по довжині знехтувати. Підрахувати максимальну витрату, при якій можливе таке витікання. Прийняти коефіцієнт стиснення струменя усередині насадка $\varepsilon = 0,64$; $h_{атм} = 750$ мм рт. ст.; $h_{н.н} = 40$ мм рт. ст.



Задача 171

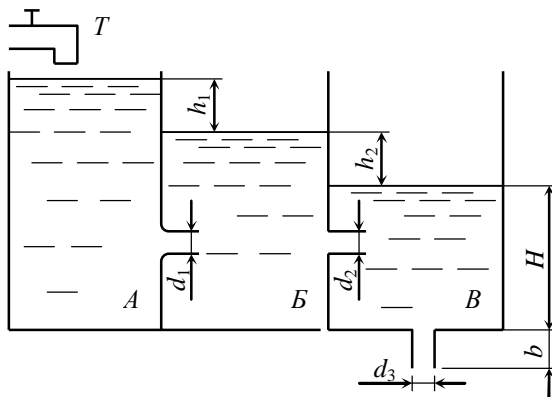
Вода під надлишковим тиском $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ по трубі з площею поперечного перерізу $S_1 = 5 \text{ см}^2$ подається до балона B , заповненого водою. На трубі перед балоном установлений кран K з коефіцієнтом місцевого опору $\xi = 5$. З балона B вода витікає в атмосферу через отвір площею $S_0 = 1 \text{ см}^2$; коефіцієнт витрати отвору дорівнює $\mu = 0,63$. Визначити витрату води Q .

Вказівка. Записати рівняння Бернуллі для перерізів 1–1 і 2–2 та основну формулу для витрати при витіканні.



Задача 172

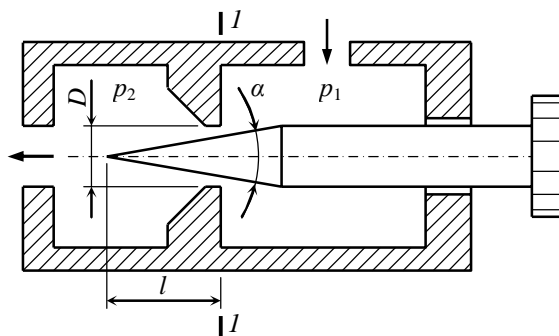
Вода по трубі T подається в резервуар A , звідкілья через сопло діаметром $d_1 = 8 \text{ мм}$ перетікає в резервуар B . Далі через зовнішній циліндричний насадок $d_2 = 10 \text{ мм}$ вода попадає в резервуар B і, нарешті, витікає в атмосферу через зовнішній циліндричний насадок $d_3 = 6 \text{ мм}$. При цьому $H = 1,1 \text{ м}$; $b = 25 \text{ мм}$. Визначити витрату води через систему і перепади рівнів h_1 й h_2 . Коефіцієнти витікання прийняти: $\mu_1 = 0,97$, $\mu_2 = \mu_3 = 0,82$.



Задача 173

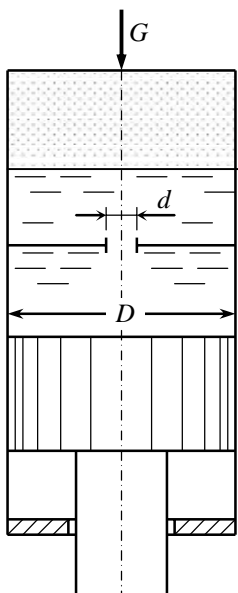
На рисунку зображено схему регульованого голчастого дроселя. Визначити, на яку відстань l необхідно всунути голку в отвір дроселя для забезпечення перепаду тиску $\Delta p = p_1 - p_2 = 3 \text{ МПа}$, якщо кут голки $\alpha = 30^\circ$, діаметр отвору дроселя $D = 6 \text{ мм}$, його коефіцієнт витрати $\mu = 0,8$, витрата рідини $Q = 1,2 \text{ л/с}$, густина робочої рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

Вказівка. Площу кільця дроселя визначити по наближеній формулі $S = S_0 - S_c$, де S_0 – площа отвору, S_c – площа голки в перерізі $I-I$.



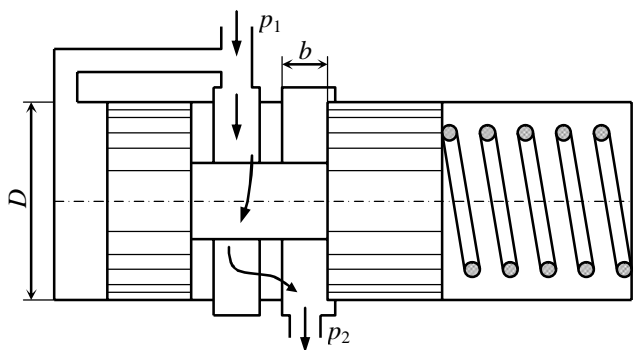
Задача 174

На рисунку показана спрощена схема літакового гідропневмоамортизатора. Процес амортизації при посадці літака відбувається за рахунок проштовхування робочої рідини через отвір $d = 8 \text{ мм}$ і за рахунок стиснення повітря. Діаметр поршня $D = 100 \text{ мм}$. Визначити швидкість руху циліндра відносно поршня в початковий момент амортизації, якщо первісний тиск повітря у верхній частині амортизатора $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$, розрахункове зусилля уздовж штока $G = 50 \text{ кН}$, коефіцієнт витрати отвору $\mu = 0,75$, густина робочої рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



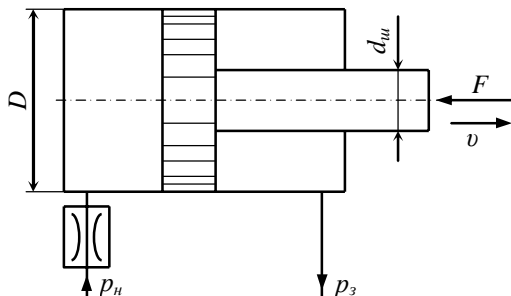
Задача 175

Визначити ширину прохідного отвору b і жорсткість пружини c переливного клапана, що починає перекривати прохідний отвір при падінні тиску на вході p_1 до 10 МПа й повністю перекриває його при $p_1 = 9$ МПа. Перепад тиску на агрегаті $\Delta p = p_1 - p_2$ при повністю відкритому золотнику і витраті $Q = 1,5$ л/с повинен бути 0,3 МПа. Прохідний отвір виконаний у вигляді кільцевої щілини, діаметр золотника $D = 12$ мм, коефіцієнт витрати вікна золотника $\mu = 0,62$; $\rho = 850$ кг/м³.



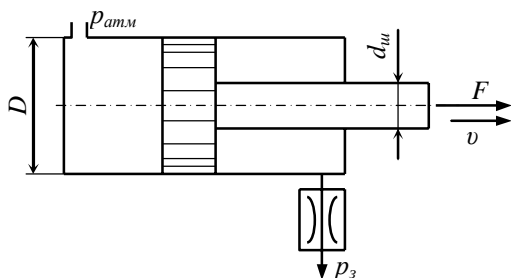
Задача 176

Визначити силу F , що подолана штоком гідроциліндра при русі його проти навантаження з швидкістю $v = 20$ мм/с. Тиск на вході в дросель $p_n = 20$ МПа; тиск на злив $p_z = 0,3$ МПа; коефіцієнт витрати дроселя $\mu = 0,62$; діаметри: отвору дроселя $d = 1,2$ мм; циліндра $D = 70$ мм; штоку $d_{ш} = 30$ мм. Густина рідини $\rho = 900$ кг/м³.



Задача 177

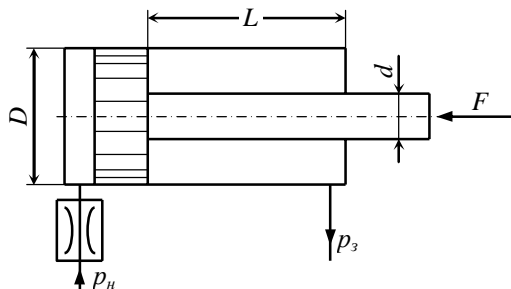
Визначити діаметр отвору дроселя, встановленого на зливі з гідроциліндра, за умови руху штока циліндра під дією зовнішнього навантаження $F = 60 \text{ кН}$ з швидкістю $v = 200 \text{ мм/с}$. Діаметри: штока $d_{ш} = 40 \text{ мм}$, циліндра $D = 80 \text{ мм}$, коефіцієнт витрати дроселя $\mu = 0,65$, густина рідини $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$, тиск на зливі $p_з = 0,3 \text{ МПа}$.



Задача 178

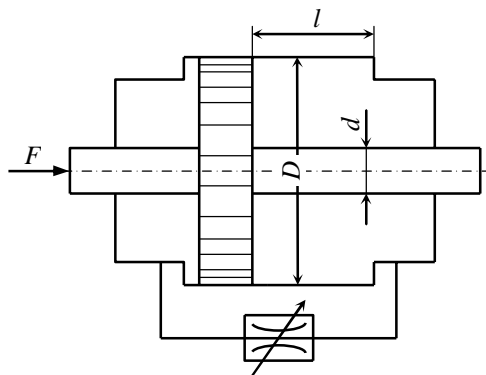
Визначити час повного ходу поршня гідроциліндра при русі проти навантаження, якщо тиск на вході в дросель $p_н = 16 \text{ МПа}$, тиск на зливі $p_з = 0,3 \text{ МПа}$. Навантаження уздовж штока $F = 35 \text{ кН}$, коефіцієнт витрати дроселя $\mu = 0,62$, діаметр отвору в дроселі

$d_{op} = 1 \text{ мм}$, густина масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, діаметри: циліндра $D = 60 \text{ мм}$, штока $d = 30 \text{ мм}$; хід штока $L = 200 \text{ мм}$.



Задача 179

Права й ліва порожнини циліндра гідрогаляма, що має діаметр поршня $D = 140 \text{ мм}$ і діаметр штока $d = 60 \text{ мм}$, з'єднуються між собою через дросель з площею прохідного перерізу $S_{op} = 20 \text{ мм}^2$ і коефіцієнтом витрати $\mu = 0,65$. Визначити час, за який поршень пересунеться на величину ходу $l = 350 \text{ мм}$ під дією сили $F = 15 \text{ кН}$, якщо густина рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

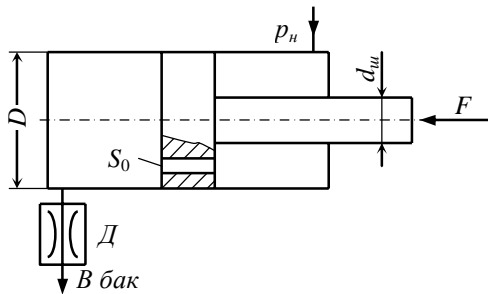


Задача 180

Рідина з густиною $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ подається від насоса в гідроциліндр, а потім через отвір у поршні площею $S_0 = 5 \text{ мм}^2$ і гідродросьель D у бак ($p_6 = 0$).

1) Визначити, при якій площині прохідного перерізу дроселя D поршень буде перебувати в нерухомій рівновазі під дією сили $F = 3000 \text{ Н}$, якщо діаметр поршня $D = 100 \text{ мм}$, діаметр штока $d_{ш} = 80 \text{ мм}$, коефіцієнт витрати отвору в поршні $\mu_0 = 0,8$, коефіцієнт витрати дроселя $\mu_{dp} = 0,65$, тиск насоса $p_n = 1 \text{ МПа}$.

2) Визначити, площу прохідного перерізу дроселя D , при якій поршень буде пересуватися з швидкістю $v_n = 1 \text{ см/с}$ вправо.

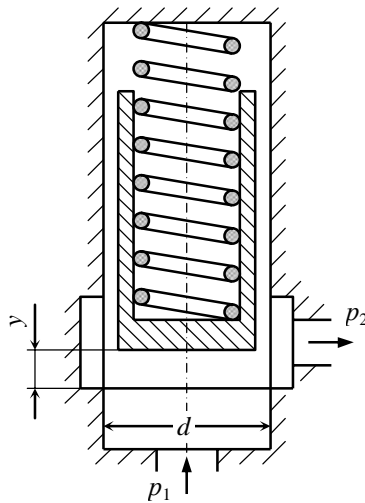


Задача 181

Зображений на рисунку переливний клапан плунжерного типу призначений для того, щоб підтримувати заданий тиск p_1 рідини на вході шляхом безперервного її зливу. Однак точність підтримки тиску залежить від розміру клапана і характеристики пружини. Знайти зв'язок між витратою через клапан Q і тиском p_1 , якщо відомі наступні величини: діаметр клапана d ; постійний тиск на виході із клапана p_2 ,

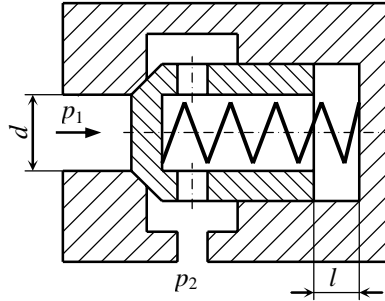
сила пружини $F_{пр,0}$ при $y = 0$; жорсткість пружини c ; коефіцієнт витрати щілинного отвору μ , що не залежить від висоти підйому y . Можна вважати, що тиск p_1 рівномірно розподілений по площі клапана $\pi \cdot d^2 / 4$. Задачу вирішити в загальному виді.

Вказівка. Варто записати вираз для витрати через коефіцієнт μ , площу щілини і перепад тиску, а також рівняння рівноваги клапана.



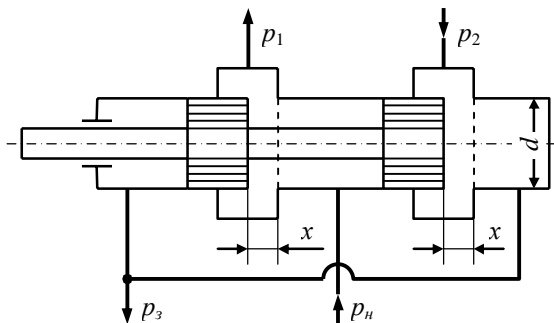
Задача 182

Зворотний клапан діаметром $d = 20$ мм служить для пропуску рідини ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$) тільки в одному напрямку. Визначити перепад тиску $\Delta p = p_1 - p_2$ на клапані, якщо $p_1 = 1,6 \text{ МПа}$. Жорсткість пружини $c = 13 \text{ Н/мм}$, її попереднє підтискання $y_0 = 8 \text{ мм}$, максимальний хід клапана $l = 3 \text{ мм}$, коефіцієнт витрати $\mu = 0,8$, об'ємна витрата $Q = 1 \text{ л/с}$.



Задача 183

Визначити перепад тиску $\Delta p = p_1 - p_2$ у системі гідроприводу за дроселюючим розподільником при переміщенні його золотника на $x = 2$ мм, якщо подача насоса дорівнює витраті на злив: $Q_n = Q_3 = 1$ л/с; тиск насоса $p_n = 5$ МПа; тиск зливу $p_3 = 0,2$ МПа; коефіцієнти витрати дроселюючих щілин $\mu = 0,75$; діаметр золотника розподільника $d = 12$ мм, густина робочої рідини $\rho = 900$ кг/м³.



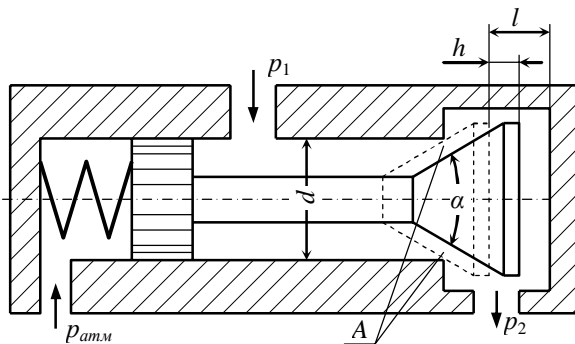
Задача 184

Редукційний клапан призначений для забезпечення постійного тиску на виході з нього $p_2 = 11 \text{ МПа}$. Визначити необхідні жорсткість пружини і її попереднє підтискання (при повністю відкритому клапані), що забезпечують зміну тиску за клапаном $\Delta p_2 = \pm 4 \%$ від p_2 , якщо його діаметр $d = 12 \text{ мм}$, максимальний хід $l = 3 \text{ мм}$, кут конуса $\alpha = 60^\circ$, коефіцієнт витрати щілини дроселя $\mu = 0,8$, густина робочої рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Чому дорівнює максимальна витрата рідини через клапан, якщо максимальний тиск перед ним $p_1 = 12 \text{ МПа}$?

Вказівка. Площу прохідного перерізу конусної щілини A визначити по спрощеній формулі

$$S_{щ} = \pi \cdot d \cdot h \cdot \sin(\alpha / 2),$$

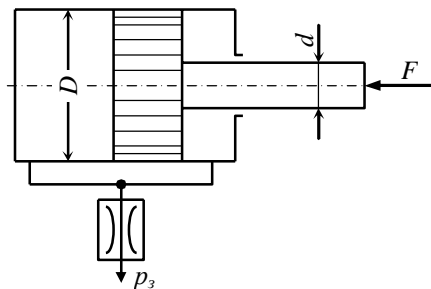
де h – хід клапана.



Задача 185

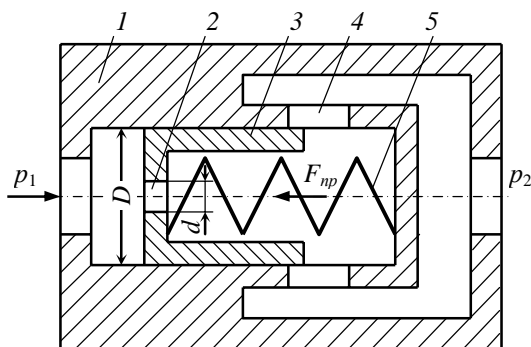
Вважаючи рідину нестисливою, визначити швидкість руху поршня під дією сили $F = 10 \text{ кН}$ на штоку, діаметр поршня $D = 80 \text{ мм}$, діаметр штока $d = 30 \text{ мм}$, прохідний переріз дроселя $S_{др} = 2 \text{ мм}^2$, його

коефіцієнт витрати $\mu = 0,75$, надлишковий тиск зливу $p_3 = 0$, густина робочої рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



Задача 186

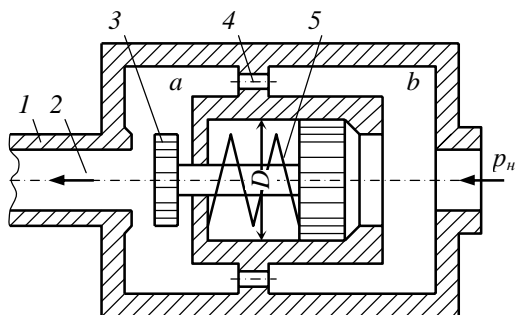
На рисунку представлена конструктивна схема регулятора витрати (клапан, що забезпечує постійність витрати). Він складається з корпусу 1 з дроселюючими отворами 4, рухливого плунжера 3 з дроселюючим отвором 2 і пружини 5. Визначити, при якому значенні сили пружини F_{np} регулятор буде забезпечувати витрату $Q = 5 \text{ л/хв}$, якщо діаметри $D = 20 \text{ мм}$, $d = 3 \text{ мм}$; коефіцієнти витрати дроселюючих отворів $\mu = 0,8$; густина робочої рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Вважати, що в межах робочого ходу плунжера сила пружини залишається постійною.



Задача 187

На рисунку показаний гідроапарат, призначення якого полягає в тому, що у випадку руйнування трубопроводу *1* клапан *3* перекриває отвір *2* і тим самим перешкоджає викиду робочої рідини з гідросистеми. При нормальній роботі перепад тиску в порожнинах *a* й *b*, обумовлений опором отворів *4*, є недостатнім для стиснення пружини *5* і клапан *3* під дією сили попереднього підтискання пружини $F_0 = 200 \text{ Н}$ перебуває в крайньому правому положенні. Визначити мінімальне значення витрати Q , при якому клапан *3* почне пересуватися вліво, якщо відомо: $D = 20 \text{ мм}$; сумарна площа отворів *4* $S_0 = 0,5 \text{ см}^2$; коефіцієнт витрати отворів $\mu = 0,62$; густина рідини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

Виразити в загальному виді силу, з якою клапан *3* буде притискатися до сідла у випадку руйнування трубопроводу *1*, прийнявши: максимальний хід клапана x ; жорсткість пружини c ; діаметр отвору *2* d ; тиск на вході в гідроапарат p_n .



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

1. Некрасов Б.Б. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу [Текст] : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Б.Б. Некрасов, И.В. Фатеев, Ю.А. Беленков. – М. : Высш. шк., 1989. – 192 с.

2. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов [Текст] / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров. – К. : Вища школа, 1986. – 208 с.

3. Расчет, проектирование и эксплуатация объемного гидропривода [Текст] : учеб. пособие / З.Л. Финкельштейн, О.М. Яхно, В.Г. Чебан, З.Я. Лур'є. – К. : НТУУ «КПИ», 2006. – 216 с.

4. Финкельштейн З.Л. Гидравлика и гидропривод (краткий курс) [Текст] : учеб. пособие / З.Л. Финкельштейн, В.Г. Чебан. – Алчевск : ДГМИ, 2002. – 165 с.

5. Амосов В.А. Гидравлика горных машин и установок в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие / В.А. Амосов, Ю.А. Рутковский. – К. : УМК ВО, 1991. – 244 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Характеристики робочих рідин

Рідина	Густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт об'ємного		Кінематична в'язкість, мм ² /с, при температурі, °С		
		стиснення $\beta_p \times 10^9$, Па ⁻¹	розширення $\beta_t \times 10^3$, °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	-
Гліцерин	1260	0,25	0,49	-	1180	-
Бензин	680-780	0,92	1,255	0,93	-	0,54
Гас	790-820	0,77	0,96	2,7	2,5	1,50
Спирт етиловий	790	0,78	1,10	-	1,52	0,50
Мазут	890-940	-	-	-	2000	-
Нафта легка	884	0,78	0,60	-	25	-
Нафта важка	924	0,78	0,60	-	140	-
Масла:						
індустріальні						
ІГП-18	880	0,72	0,73	-	100	18
ІГП-30	885	-	-	-	170	30
ІГП-38	890	-	-	-	-	38
ІГП-49	895	0,68	-	-	400	49
АМГ-10	850	0,74	0,83	-	18	10
турбінне-57	920	0,56	0,65	-	-	55-59
веретенне АУ	880	-	-	-	50	12-14
трансформаторне	890	-	-	-	30	9,6
турбінне 30 й 34	900	-	-	-	-	28-32
Повітря	1,20	-	-	-	1490	-

ДОДАТОК Б

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

ДОДАТОК В

Значення еквівалентної шорсткості Δ_e для різних труб

Вид труби	Стан труби	Δ_e , мм
Труба безшовна сталева	Нова	0,02÷0,05
	Після декількох років експлуатації	0,15÷0,3
Труба сталева зварена	Нова	0,03÷0,01
	З незначною корозією (після очищення)	0,10÷0,20
	Помірно заржавлена	0,30÷0,70
	Стара заржавлена	0,80÷1,50
	Сильно заржавлена або з великими відкладеннями	2,0÷4,0
Труба сталева оцинкована	Нова	0,10÷0,20
	Після декількох років експлуатації	0,40÷0,70
Труба тягнена зі скла та кольорових металів	Нова, технічно гладка	0,001÷0,01
Чавунна труба	Нова	0,20÷0,50
	Після декількох років експлуатації	0,5÷1,5
Рукава та шланги гумові		0,03

ДОДАТОК Д
Орієнтовні значення коефіцієнтів місцевих опорів

Місцевий опір	ξ_m
Вхід у трубу при гострих кромках (рис. Д.1, а)	0,5
Вхід у трубу з округленими кромками (рис. Д.1, б)	$0,05 \div 0,2$
Раптове розширення труби ($d_2 > d_1$) (рис. Д.2, а)	$(1 - d_1^2/d_2^2)^2$
Раптове звуження труби ($d_2 < d_1$) (рис. Д.2, б)	$0,5 \times (1 - d_2^2/d_1^2)$
Вихід із труби під рівень (рис. Д.3)	1,0
Різкий поворот труби (коліно) на 90° (рис. Д.4, а)	1,10
Плавний поворот труби (відвід) на 90° (рис. Д.4, б)	0,15
Засувка при повнім відкритті	0,15
Запобіжні й зворотні клапани (без урахування зусилля пружини)	$2 \div 3$
Трійники зі з'єднанням і поділом потоків під різними кутами	Зазначені на рис. Д.5

Продовження додатку Д

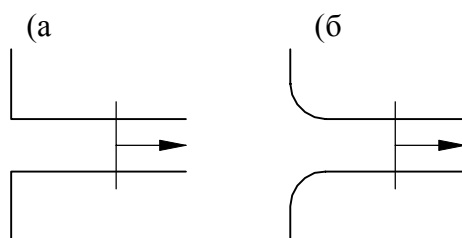


Рисунок Д.1 - Схеми різних входів у трубопровід

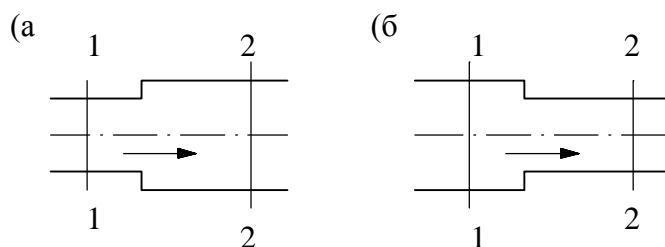


Рисунок Д.2 - Схеми раптового розширення й звуження труби

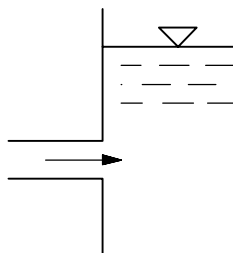


Рисунок Д.3 - Схема виходу із труби в резервуар

Продовження додатку Д

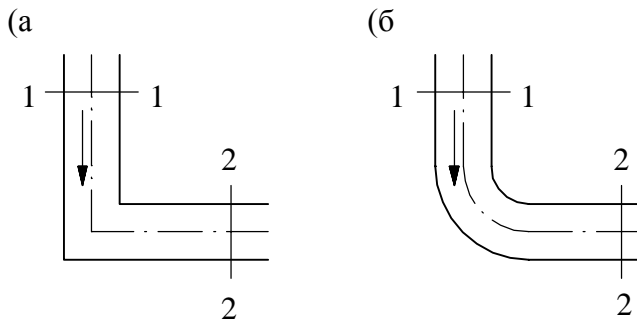


Рисунок Д.4 - Схеми різкого й плавного повороту трубопроводу

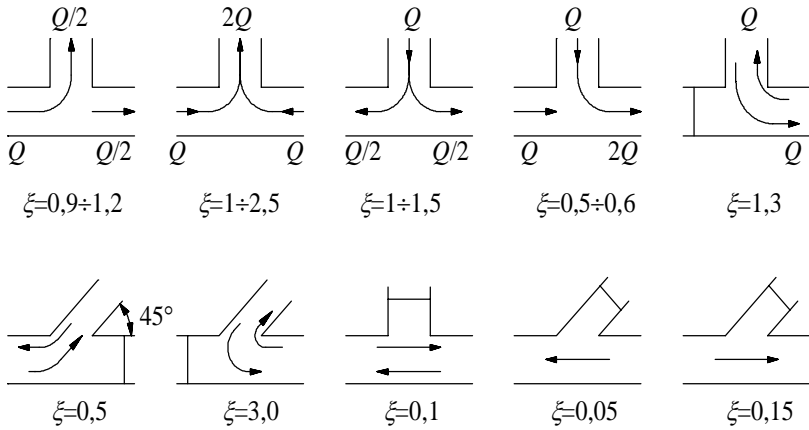
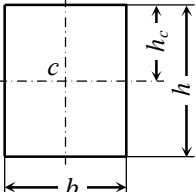
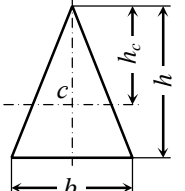
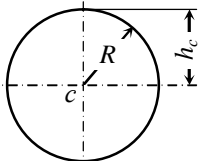
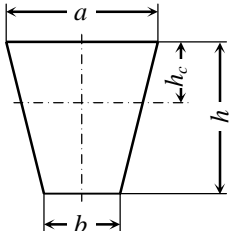


Рисунок Д.5 - Схеми трійників

ДОДАТОК Е

Момент інерції J_0 , координата центра ваги h_c і
площина S найпоширеніших плоских фігур

Фігура	J_c	h_c	S
	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{h}{2}$	$b \cdot h$
	$\frac{b \cdot h^3}{36}$	$\frac{2 \cdot h}{3}$	$\frac{b \cdot h}{2}$
	$\frac{\pi \cdot R^4}{4}$	R	$\pi \cdot R^2$
	$\frac{h^3 \cdot (a^2 + 4 \cdot a \cdot b + b^2)}{36 \cdot (a + b)}$	$\frac{h \cdot (a + 2 \cdot b)}{3 \cdot (a + b)}$	$\frac{h \cdot (a + b)}{2}$

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІДИН	4
Приклади рішення задач.	6
2 ГІДРОСТАТИКА	8
2.1 Гідростатичний тиск	8
2.2 Сила гідростатичного тиску на плоскі стінки й криволінійні поверхні	11
2.3 Закон Архімеда. Плавання тіл	14
2.4 Відносний спокій рідини	16
2.5 Вказівки до рішення задач	20
Приклади рішення задач.	21
3 ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ	39
3.1 Основні поняття про рух рідини. Рівняння витрати (нерозривності потоку)	39
3.2 Рівняння Бернуллі	41
3.3 Режими руху рідини	44
3.4 Вказівки до рішення задач	45
Приклади рішення задач	46
4 ГІДРАВЛІЧНІ ОПОРИ	51
Приклади рішення задач	55
5 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ	58
5.1 Розрахунок простих трубопроводів постійного перерізу	58
5.2 Розрахунок складних трубопроводів	60
5.3 Неусталений рух рідини в трубопроводах. Гідравлічний удар	62
Приклади рішення задач.	63
6 ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ ТА НАСАДКИ	67

6.1 Витікання рідини через отвори, насадки й дроселі при постійному напорі	67
6.2 Витікання рідини через отвори й насадки при змінному напорі	70
Приклади рішення задач.	71
Таблиця варіантів контрольних робіт	74
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ	75
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС	177
ДОДАТКИ	178
Додаток А	179
Додаток Б	180
Додаток В	181
Додаток Д	182
Додаток Е	185