

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: «Експлуатація та ремонт машин»



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для індивідуальної роботи здобувача з дисципліни
«Гідравліка, гідро та пневмоприводи»

для здобувачів спеціальності
J8 Автомобільний транспорт

ОПП Автомобільний транспорт

Кропивницький
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: «Експлуатація та ремонт машин»

для індивідуальної роботи здобувача з дисципліни
«Гідравліка, гідро та пневмоприводи»

для здобувачів спеціальності
J8 Автомобільний транспорт

ОПП Автомобільний транспорт

Затверджено
на засіданні кафедри ЕРМ
Протокол № 7 від 17.11.2025 р.

2025

«Гідравліка, гідро та пневмоприводи» методичні вказівки для індивідуальної роботи здобувача з вивчення дисципліни спеціальності J8 Автомобільний транспорт ОПІ Автомобільний транспор /Укл.: Т.В. Руденко, Ю.В. Кулешков. Під загальною редакцією Руденка Т.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025 – 66с.

Укладачі:

Руденко Т.В. - кандидат технічних наук, доцент кафедри ЕРМ.

Кулешков Ю.В. – доктор технічних наук, професор кафедри ЕРМ

Методичні вказівки призначені для виконання індивідуальних завдань при підготовці до поточного контролю знань здобувачів спеціальності J8 Автомобільний транспорт

Рецензент:

Бевз О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри ЕРМ.

Відповідальний за випуск: Руденко Т.В.

Комп'ютерний набір і верстка: Руденко Т.В.

Ó Гідравліка, гідро та пневмоприводи
Укладачі: Т.В. Руденко, Ю.В. Кулешков. 2025

Зміст

Вступ.....	4
1. Загальні методичні вказівки до індивідуальної роботи.....	5
2. Загальні рекомендації по розв'язанню гідравлічних задач.....	5
3. Структура процесу розв'язання задачі.....	8
3.1. Аналіз задачі.....	9
3.2. Пошук способу розв'язання задачі.....	10
3.3. План розв'язання задачі і здійснення плану розв'язання.....	11
3.4. Перевірка рішення.....	12
4. Задачі для індивідуальної роботи.....	13
4.1 Фізичні властивості рідин і газів.....	13
4.2 Гідростатика.....	18
4.3. Режими течії рідини.....	29
4.4. Рівняння Д. Бернуллі.....	31
4.4.1 Методика використання рівняння Д. Бернуллі при розв'язанні задач...	32
4.4.2 Задачі по рівнянню Д. Бернуллі.....	33
4.5 Втрати напору (тиску) у трубопроводах.....	38
4.6 Витікання рідини через отвори і насадки.....	45
4.7 Гідравлічний удар.....	50
4.8 Гідравлічні машини.....	52
Додаток 1.....	58
Додаток 2.....	61
Додаток 3.....	62
Список використаної літератури.....	63

Вступ

Кредитно-модульна система навчання передбачає обов'язкову індивідуальну роботу студентів. Так як машинобудівна гідравліка є прикладною інженерною наукою, то студентам потрібно опанувати методику гідравлічних розрахунків. А це можливо тільки при умові систематичного вирішення конкретних гідравлічних задач. Навчальним планом не передбачено практичних занять, тому саме в індивідуальну роботу студентів і включені різноманітні задачі по усім головним розділам машинобудівної гідравліки. Індивідуальні завдання для індивідуальної роботи складаються з задач по сьомо основним темам, а саме: фізичним властивостям рідин, гідростатиці, рівнянню Д. Бернуллі, гідравлічним розрахункам напірних трубопроводів, витіканню рідини через отвори і насадки, гідравлічному удару, гідромашинам і гідроприводу. Кількість задач для кожного студента визначається викладачем, а термін виконання залежить від графіку навчального процесу. За кожну вирішену задачу студент одержує певну кількість балів, які зараховуються до загальної кількості балів відповідно до кожного змістовного модуля дисциплін

„Гідравліка і гідропневмоавтоматика”, “Гідравліка і гідропневмоприводи”

Терміни виконання індивідуальних завдань обумовлені графіком навчального процесу.

1. Загальні методичні вказівки до індивідуальної роботи

Перед розв'язанням задачі потрібно вивчити теоретичний матеріал згідно заданої теми індивідуальної роботи. Для цього потрібно не тільки зрозуміти основні положення теорії, але самостійно довести всі її основні положення. Особливу увагу звернути на прикладні питання теорії, котрі будуть потрібні при розв'язанні задач. Самостійні докази і висновки є гарним тренуванням і першим кроком до самостійного розв'язання задач.

Особливо важливо провести порівняльний аналіз різних методик розв'язання або різних формул, котрі використовуються для визначення деякої величини, і чітко визначити область їх застосування.

Усі розрахункові формули, котрі зустрічались при вивченні теорії, потрібно записати в зошит для індивідуальної роботи.

Саме така підготовка до індивідуальної роботи дозволяє систематизувати матеріал, виявити зв'язок між різними величинами і дозволяє полегшити розробку алгоритму рішення задачі.

При опануванні нового матеріалу також необхідно записувати усі питання, котрі залишились незрозумілими. Постановка і запис питань допомагає розвитку мислення і формуванню навичок грамотного висловлення своїх думок.

2. Загальні рекомендації по розв'язанню гідравлічних задач

При розв'язанні будь-якої гідравлічної задачі можна виділити наступні основні етапи:

- ~ розуміння задачі;
- ~ розв'язання задачі в загальному вигляді;
- ~ одержання числового результату;
- ~ аналіз рішення.

Прочитавши задачу , необхідно її зрозуміти , тобто проаналізувати. Для цього потрібно:

- ~ зобразити гідравлічну схему або пристрій, який потрібно обчислити. Якщо схема задана, то її потрібно накреслити, позначивши усі параметри, котрі входять в умову задачі;

- ~ розібратися у призначенні і взаємодії усіх елементів накресленої схеми;

- ~ дати визначення усіх величин , що входять в умови задачі і в першу чергу тієї величини, котру потрібно знайти;

- ~ якщо у вказані визначення входять нові величини, котрі не задані в умові задачі, їх потрібно позначити на схемі. Кожній новій величині дати визначення;

- ~ для цього потрібно установити, яким теоретичним законам або правилам підкорюються величини, котрі розглянути в аналізі задачі. При цьому велику допомогу може надати перелік формул, котрі були записані в зошит при самостійному опануванні теоретичного матеріалу;

- ~ використовуючи вказані визначення і закони, корисно записати рід величин, починаючи з невідомої і закінчуючи заданими. Між ними повинні бути в логічній послідовності розташовані усі величини, котрі забезпечують логічний перехід від невідомих к заданим величинам;

- ~ закінчуючи аналіз задачі , необхідно виявити в ній ті чи інші обмеження, котрі пред'являються як до величин, що задані в тексті , так до нових величин, що одержані при попередньому аналізі задачі. Кожні обмеження потрібно записати у вигляді відповідного математичного співвідношення;

- ~ закінчивши аналіз задачі, переходять до пошуку алгоритму розв'язання задачі. Цей пошук зводиться до складання ланцюга розрахункових співвідношень, який дозволить визначити невідомі величини через послідовний ряд заданих і додаткових величин, або до складання системи рівнянь, в яку входять вказані величини.

На рис 1. показана структура процесу розв'язання задачі

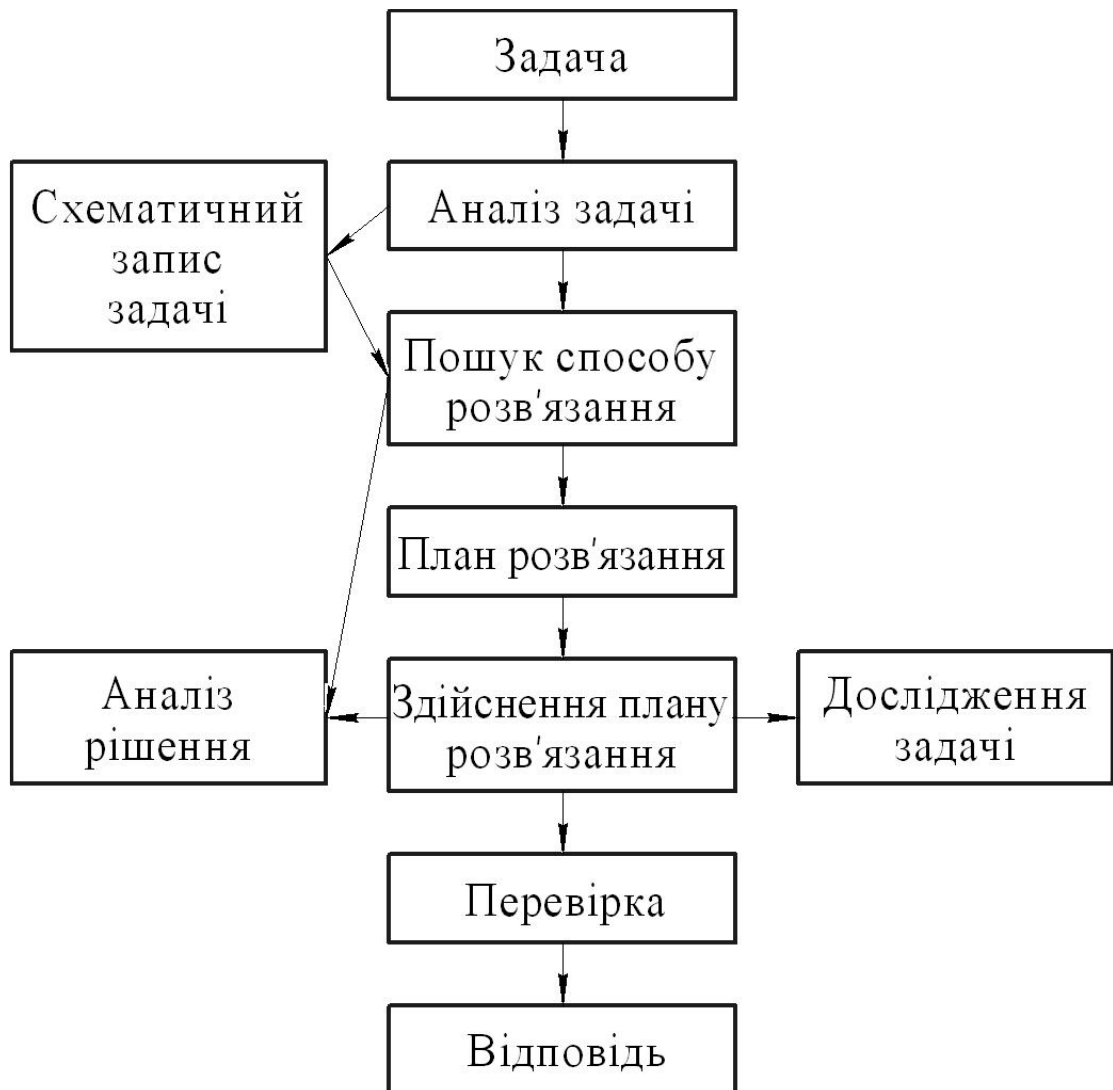


Рис. 1 Схема структури процесу розв'язання задачі

В обох випадках потрібно оцінити раціональність рішення в загальному вигляді шляхом знаходження невідомих величин у вигляді розрахункових формул. Іноді вигідніше без виводу розрахункових формул одразу перейти к чисельному розв'язанню одержаної системи рівнянь або к поетапному чисельному визначенню усіх величин, котрі входять в послідовний ряд розрахункових співвідношень.

При розв'язанні задачі в загальному вигляді можна здійснити частинну перевірку правильності рішення. Рішення неправильне, якщо не співпадають розмірності окремих складових. При одержанні чисельної відповіді потрібно

звернути увагу на вибір одиниць вимірювання і потрібну точність розрахунку тієї чи іншої величини. Не має сенсу, наприклад, обчислювати опір трубопроводу з вісьма значущими цифрами, якщо розміри самої труби визначені з точністю $\pm 0,5\%$, коефіцієнт гідравлічного тертя – з точністю 3...5%, прискорення вільного падіння - з точністю 0,5%.

Розв'язання задачі потрібно закінчити аналізом одержаного рішення. Такий аналіз включає в себе перевірку правильності рішення, відповідність одержаного рішення теоретичним положенням. Корисно встановити - чи є інший, більш раціональний спосіб розв'язання і т. ін..

Необхідно звернути увагу на порядок одержаних величин, оцінити точність рішення.

3. Структура процесу розв'язання задачі

Розглянемо структуру процесу розв'язання задачі на конкретному прикладі.

Задача. Сферична кришка, що закриває круглий отвір в стінці резервуару, закріплена двома болтами (рис.2). Визначити розтягуючі зусилля, котрі виникають в кожному болті, якщо глибина занурення у верхній точці кришки $h = 3,0$ м, діаметр кришки $d = 1,2$ м. Рідина в резервуарі-вода.

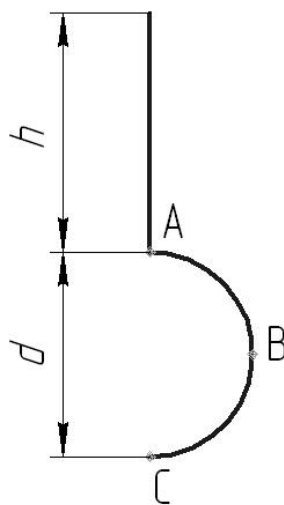


Рис. 2

3.1. Аналіз задачі

Накреслимо рисунок і доповнимо його (рис.3). Вкажемо на рисунку розтягуючі зусилля N_A і N_C , котрі виникають у болтах під дією сили тиску води, що діє на кришку ABC. Для обчислення цих зусиль потрібно обчислити рівнодійну силу тиску води на кришку.

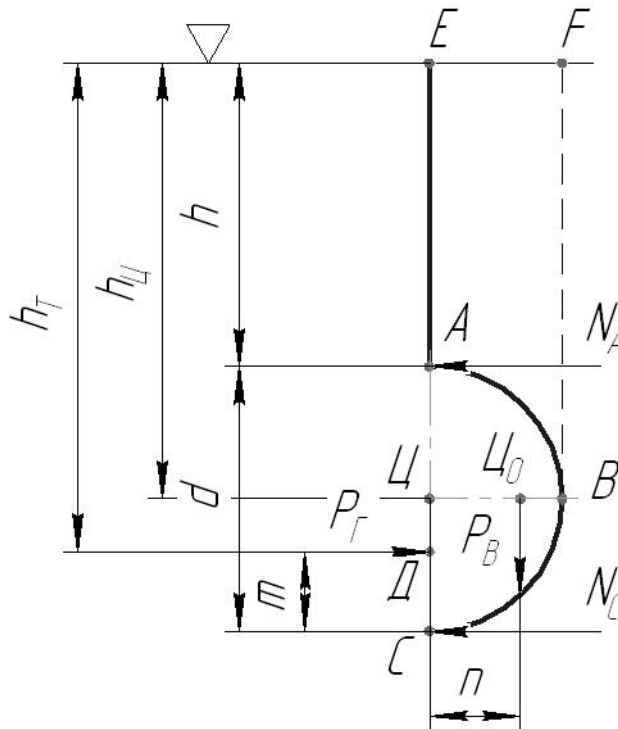


Рис. 3

Так як кришка є криволінійною поверхнею, зручно знаходити рівнодійну силу по її складовим: горизонтальною складовою P_H і вертикальною складовою P_B

Горизонтальна складова $P_H = \rho g h_{\text{ц}}$, (1)

де ρ – густина води. Приймаємо $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

g – прискорення вільного падіння. Приймаємо $g = 9,81 \text{ м/с}^2$

$h_{\text{ц}}$ – глибина занурення центра тяжіння площі ω_x ;

ω_x – проекція сферичної кришки на вертикальну площину. Це коло діаметром d з центром тяжіння у точці Ц. Таким чином $\omega_x = \pi d^2/4$. Прикладена ця сила в центрі тиску (точка Т), глибина занурення якого h_T . Силу P_Γ , точки Ц і Д, глибини їх занурення h_C і h_T покажемо на рис.3

Для обчислення h_T використаємо формулу:

$$h_m = h_u + \frac{I_0}{w_x h_u}, \quad (2)$$

$$\text{де: } h_C = h + d/2, \quad (3)$$

$$\text{Момент інерції } I_0 = \pi d^4/64, \quad (4)$$

$$\text{Вертикальна складова } P_B = \rho g W, \quad (5)$$

де W – об'єм тіла тиску.

Для визначення об'єму тіла тиску потрібно його побудувати. Для цього поділимо поверхню полусфери горизонтальною площиною на верхню частину АВ і нижню – ВС. Вертикальна сила на верхню частину кришки дорівнює вазі рідини в об'ємі АВЕФ

($P_{AB} = \rho g W_{ABEF}$) і спрямована вгору, вертикальна сила на нижню частину кришки ВС дорівнює вазі рідини в об'ємі ВСЕФ ($P_{BC} = \rho g W_{BCEF}$) і спрямована вниз. Ці сили на рис.3 не показані.

Вертикальна складова сили тиску на усю кришку дорівнює різниці цих сил:

$$P_B = P_{BC} - P_{AB} = \rho g W,$$

Де W – об'єм напівсфери .

$$W = \pi d^3/12, \quad (6)$$

Прикладена ця сила в центрі тяжіння напівсфери (т Ц₀) і спрямована вниз.

Покажемо на рис.3 точку Ц₀ і силу P_B .

3.2. Пошук способу розв'язання задачі

Схема запису задачі показана на рис. 3.

Розтягуюче зусилля N_A і N_C можна знайти з умови рівноваги кришки:

$$F_x = 0, \Sigma M_c = 0; \quad \Sigma F_x = -N_A + P_\Gamma - N_C, \quad (7)$$

$$\Sigma M_C = -N_A d + P_\Gamma m + P_B n, \quad (8)$$

де m – плече сили P_Γ (відстань від точки C до лінії дії горизонтальної складової P_Γ);

n – плече сили P_B (відстань від т C до лінії дії вертикальної складової P_B).

Покажемо величини m і n на рис.3 і визначимо їх:

$$m = h + d - h_T; \quad n = 2d/3, \quad (9)$$

3.3. План розв’язання задачі і здійснення плану розв’язання

Задачу раціональніше розв’язувати не в загальному вигляді., а розрахунки виконувати поетапно.

Запишемо в логічній послідовності усі розрахункові співвідношення, тобто план розв’язання задачі. З рівнянь (1) визначимо N_A і N_C :

$$N_A = \frac{P_\Gamma m + P_B n}{d}, \quad N_C = P_\Gamma - N_A, \quad (10)$$

$$P_\Gamma = \rho g (h + d/2) \pi d^2 / 4, \quad (11)$$

$$P_B = \rho g \pi d^3 / 12, \quad (12)$$

$$h_T = (h + d/2) + \frac{4\rho d^4}{64\rho d^2 (h + d/2)} = h + d/2 + \frac{d^2}{16(h + d/2)}, \quad (13)$$

Знайдемо числові значення вихідних величин:

$$d = 1,2 \text{ м}; \quad h = 3,0 \text{ м}; \quad \rho = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

Глибина занурення центру тиску

$$h_T = 3,0 + \frac{1,2}{2} + \frac{1,2^2}{16(3,0 + \frac{1,2}{2})} = 3,625 \text{ м.}$$

Плече сили P_Γ : $m = 3,0 + 1,2 - 3,625 = 0,575 \text{ м.}$

плече сили P_B : $n = \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 1,4} = 0,255 \text{ м.}$

Вертикальна складова

$$P_B = 1000 \times 81 \times \frac{3,14 \times 2^3}{12} = 4,43 \text{ кН.}$$

Горизонтальна складова

$$P_r = 1000 \times 81 \left(3,0 + \frac{1,2}{2} \right) \frac{3,14 \times 2^2}{4} = 39,88 \text{ кН.}$$

Розтягуючі зусилля

$$N_A = \frac{39,88 \times 0,575 + 4,43 \times 0,255}{1,2} = 20,05 \text{ кН}; \quad N_C = 39,88 - 20,05 = 19,83 \text{ кН.}$$

3.4. Перевірка рішення

Щоб перевірити правильність розв'язання задачі достатньо обчислити момент сил, що діють на кришку відносно точки А

$$\Sigma M_A = 0; \quad \Sigma M_A = P_B n - N_C d - P_r (d - m) = 0, \quad (14)$$

де $(d - m)$ – плече сили P_B відносно точки А.

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 4,43 \cdot 0,255 - 19,93 \cdot 1,2 - 39,88 (1,2 - 0,575) = 0 \\ &24,95 - 24,95 = 0. \end{aligned}$$

Таким чином, задача розв'язана правильно.

В даному випадку дослідження задачі не потрібно, так як ніяких обмежень в умові задачі немає.

Відповідь: розтягуючі зусилля в болтах А і С дорівнюють : $N_A = 20,05$ кН;

$$N_C = 19,83 \text{ кН.}$$

Примітка: на прикладі розв'язання цієї задачі докладно показана структура процесу її розв'язання. Очевидно, що більшість міркувань виконують в розумі, а в зошиті розміщують тільки розв'язання задачі і рисунок. Не кожна задача має усі етапи розв'язання.

4. Задачі для індивідуальної роботи

Перед початком виконання індивідуальної роботи потрібно опрацювати теоретичний матеріал за вказаною темою, дати відповіді на наступні запитання і усі формули записати в зошит для індивідуальної роботи.

4.1 Фізичні властивості рідин і газів

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Як визначають густину і питому вагу однорідної рідини? Який зв'язок існує між густиною і питомою вагою?
2. Що називають питомим об'ємом? В яких випадках використовують це поняття?
3. Який зв'язок існує між густиною, температурою і тиском для ідеальних газів?
4. Що називають числом Маха? За яких значень числа Маха можна не враховувати стисливість повітря?
5. Що називають швидкістю звуку? Як визначають цю величину для краплинних рідин і для газів у випадку адіабатної течії?
6. Що називають стисливістю рідин? Якими коефіцієнтами характеризується стисливість? Зв'язок між ними.
7. Чим характеризується температурне розширення рідин?
8. Що називають в'язкістю рідин і газів?
9. Запишіть закон Ньютона –Петрова.
10. Якими коефіцієнтами характеризується в'язкість? Розмірність цих коефіцієнтів в системах одиниць вимірювання СГС, СІ.
11. Від чого залежить розчинність газів в рідинах? Чим вона характеризується?

Задача 1

Задана робоча рідина складається з масла і гасу і має густину $885 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Гас має густину $\rho_{\text{г}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ і складає 25% об'єму суміші.

Визначте густину і питому вагу масла.

Примітка: Маса суміші дорівнює сумі мас її компонентів. Об'єм суміші дорівнює сумі об'ємів її компонентів. Густина суміші - це відношення маси суміші до об'єму суміші. Якщо один компонент складає $x\%$, то другий - $(100-x)\%$.

Задача 2

Визначте швидкість розповсюдження акустичних хвиль, якщо об'ємний модуль пружності $K=2020$ МПа, а густина $\rho = 0,998 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Задача 3

Визначте динамічний коефіцієнт в'язкості η повітря при таких умовах:

$\eta = 15 \text{ сСт}$, температура повітря $t = 20^\circ \text{C}$, атмосферний тиск $P_{\text{атм}} = 1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$,

$$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

Задача 4

Обчислити модуль пружності рідини, якщо при $\Delta P = 50 \text{ МПа}$, $\frac{\Delta V}{V} = 2,5\%$.

Задача 5

Визначте коефіцієнт динамічної в'язкості η , якщо $F_T = 0,1256 \text{ Н}$, $d = 200 \text{ мм}$, $l = 10 \text{ м}$, $\frac{du}{dr} = 20 \text{ с}^{-1}$. Чому дорівнює Π , якщо $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Задача 6

Визначте густину робочої рідини, якщо $\rho_{t=20^\circ \text{C}} = 820 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\beta_t = 7 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{град}}$, а температура рідини $t = 60^\circ \text{C}$.

Задача 7

Зазор між двома пластинами, з яких одна нерухома, а друга пересувається зі швидкістю $u_0 = 5 \frac{см}{с}$, заповнено рідиною, напруження тертя на поверхні пластини $t = 0,09 Па$. Висота зазору $h = 1,1 мм$.

Визначте динамічний коефіцієнт в'язкості цієї рідини. Вважати, що швидкість розподіляється по висоті зазору за лінійним законом.

Задача 8

Визначте початковий об'єм рідини, якщо зміна об'єму $DV = 3 л$, $Dp = 20 МПа$, а модуль пружності $K = 2000 МПа$.

Задача 9

Визначити абсолютний тиск води на глибині 3 км, якщо густина морської води $\rho = 1,03 \frac{г}{см^3}$, а атмосферний тиск $p_{атм} = 760 ммрт.ст.$ Чому дорівнює зміна густини $\Delta\rho$ на цій глибині, якщо $K = 2010 МПа$?

Задача 10

Визначити питому вагу і густину нафти, якщо вага 4,5 л нафти $G = 4,17 кг$.

Задача 11

Визначте густину і питому вагу суміші, якщо $m_1 = 2 кг$, $m_2 = 3 кг$, $V_1 = 2,3 л$, $V_2 = 3,5 л$.

Задача 12

Визначити, як змінюється густина мастила, якщо тиск зростає на 32 МПа, $\rho_0 = 920 \frac{кг}{м^3}$, а об'ємний модуль пружності $K = 1700 МПа$.

Задача 13

Суміш рідини складається з масла ($\rho_m = 0,9 \frac{кг}{дм^3}$) і гасу ($\rho_g = 0,8 \frac{г}{см^3}$).

Об'єм гасу в суміші складає 40%. Визначте густину і питому вагу суміші.

Задача 14

Обчислити силу тертя на внутрішній поверхні труби при таких умовах:

$$d = 250 \text{ мм} ; l = 15 \text{ м} ; \frac{du}{dr} = -15 \text{ с}^{-1} ; r = 0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} ; n = 15 \text{ сСт} .$$

Задача 15

Визначте кінематичну в'язкість повітря при температурі 120°C і тискові 450 кПа , якщо динамічний коефіцієнт в'язкості при цій температурі

$$\tau = 7,3 \times 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}).$$

Задача 16

Визначте кінематичну в'язкість повітря при $t = 20^\circ \text{C}$ і $P = 4 \frac{\text{кгС}}{\text{см}^2}$, якщо

динамічний коефіцієнт в'язкості змінюється за законом $\tau = 1,75 \times 10^{-5} + 5,03 \times 10^{-8} \cdot$

$$\text{Equation.3} \text{ Па} \cdot \text{с} . \quad (R = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}})$$

Задача 17

Визначте густину морської води на глибині 4 км., де абсолютний тиск $P_{\text{абс}} = 414 \text{ кг/см}^2$; атмосферний тиск $P_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$. Густина морської води на

$$\text{вільній поверхні} \quad \rho_0 = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Задача 18

Визначити силу тертя і дотичні напруження у повітропроводі з прямокутним поперечним перерізом, якщо: $a = 400 \text{ мм}$; $b = 300 \text{ мм}$; $l = 50 \text{ м}$ Equation.3 ;

$$n = 15 \text{ сСт} ; r = 1,21 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} ; \frac{du}{db} = 10 \frac{1}{\text{с}} .$$

Задача 19

Тиск рідини в закритому трубопроводі $P = 0,3 \text{ МПа}$. Як зміниться тиск, якщо температура рідини збільшиться на 50°C ; $b_p = 0,5 \times 10^{-9} \text{ Па}$;

$$b_t = 1,2 \times 10^{-4} \text{ град}^{-1} .$$

Задача 20

Визначте як змінюється густина масла, якщо тиск підвищується на $\Delta P = 32 \text{ МПа}$. При атмосферному тискові $\rho_0 = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Модуль пружності рідини $K = 1750 \text{ МПа}$.

Задача 21

Визначте який об'єм води треба підкачати при гідравлічному випробуванні трубопроводу, якщо $\Delta P = 300 \text{ бар}$, $l = 10 \text{ м}$, $d = 100 \text{ мм}$, $K = 2050 \text{ МПа}$.

Задача 22

Визначте відносну зміну густини рідини внаслідок її нагрівання від 20°C до 90°C , $\beta_t = 4 \times 10^{-4} \text{ град}^{-1}$.

Задача 23

Тиск рідини в закритій посудині дорівнює $P = 0,25 \text{ МПа}$. Яким стане тиск, якщо температура рідини зростає на $\Delta t = 25^\circ\text{C}$, $\beta_t = 8 \times 10^{-4} \text{ град}^{-1}$, $K = 2000 \text{ МПа}$. Зміною розмірів посудини знехтувати.

Задача 24

Визначте густину робочої рідини, якщо $\rho_{20^\circ\text{C}} = 820 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\beta_t = 7 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{град}}$, а температура рідини $t = 60^\circ\text{C}$.

Задача 25

Як змінюється об'єм води у системі опалення, якщо $V_0 = 100 \text{ м}^3$, а температура рідини зростає від 15°C до 95°C . $\beta_t = 6,4 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{град}}$.

Задача 26

До 5 літрів антифризу додали 5,5 літрів води. Визначте масу суміші і густину, якщо $\rho_{\text{антиф}} = 0,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$.

Задача 27

Визначте до якого руху відноситься (дозвукового, звукового, надзвукового) рух повітря, якщо абсолютний тиск повітря $P_{абс} = 750$ мм рт. ст., температура повітря 25°C , показчик адіабати $\kappa = 1,4$, швидкість повітря 50 м/с , 250 м/с , 420 м/с .

Задача 28

Визначте швидкість розповсюдження акустичних хвиль у маслі АМГ-10, якщо густина масла $\rho = 850\text{ кг/м}^3$, об'ємний модуль пружності $K = 1750\text{ МПа}$.

4.2 Гідростатика

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

- 1.Що називають гідростатичним тиском? Що таке середній тиск і тиск у точці рідини?
- 2.Які одиниці вимірювання тиску в системах СГС, СІ, технічній системі? Які використовують несистемні одиниці тиску?
- 3.В чому полягає геометричний і фізичний сенс основного рівняння гідростатики?
- 4.Що називають абсолютним тиском, манометричним тиском і вакуумом?
- 5.Чому дорівнює максимальна величина вакууму?
- 6.Як обчислити тиск в будь-якій точці рідини?
- 7.Як визначають рівнодійну силу тиску на плоску горизонтальну і похилу стінки? В чому полягає відмінність цих формул?
- 8.Що називають центром тиску?
- 9.Як знаходять координати центра тиску?
- 10.Що називають тілом тиску. В якому випадку об'єм тіла тиску умовно вважають від'ємною величиною ?
- 11.Як визначаються горизонтальні і вертикальна складові рівнодійної сили тиску на криволінійну поверхню?

12. Вивести формулу для визначення товщини тонкостінних циліндрів.

13. Сформулюйте закон Архімеда. Як визначається виштовхуюча сила?

14. Які сили діють на рідину у випадках відносного спокою рідини?

Задача 29

Визначте тиск на дні океану, якщо $H = 9 \text{ км}$, $\rho = 1,03 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Вважати морську воду нестисливою. Як зміниться густина води, якщо врахувати стисливість. Прийняти $K = 2030 \text{ МПа}$.

Задача 30

Визначити тиск рідини на дно циліндра (рис 4), якщо зусилля на штоку циліндра $F = 10 \text{ кН}$, діаметр циліндра $D = 100 \text{ мм}$, висота циліндра $h = 250 \text{ мм}$, густина рідини $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Яку долю у відсотках складає ваговий тиск від поверхневого тиску?

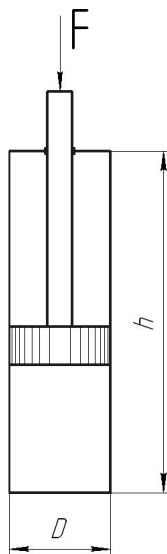


Рис.4

Задача 31

Визначте силу тиску на дно конічного резервуара, заповненого водою, якщо діаметр основи конуса $D = 1,5 \text{ м}$, $\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, висота конуса $H = 2 \text{ м}$.

Як зміниться тиск, якщо конус замінити циліндром такого ж діаметру і висоти?

Задача 32

Визначте силу F , котра діє на шток поршня (рис.5), якщо діаметр поршня гідроциліндру $D = 100\text{мм}$, а тиск під поршнем $P = 100 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

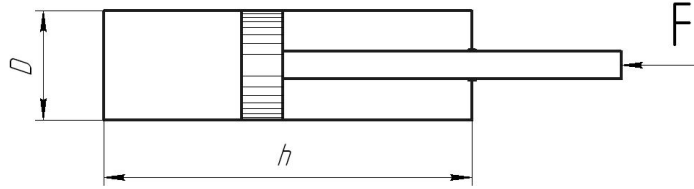


Рис.5

Задача 33

Визначте абсолютний тиск, якщо показання п'єзометра $h = 150\text{мм}$ рт. ст. Відносна густина ртуті $d_{рт} = 13,6$. Атмосферний тиск $P_{атм} = 1,03 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$.

Задача 34

Визначте надлишковий тиск повітря, якщо густина повітря $\rho = 2,1\text{кг/м}^3$,

$$t = 50^{\circ}\text{C}, R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}, P_{атм} = 1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

Задача 35

Визначте $h_{\text{вак}}$ і побудуйте епюри тиску на стінку водяного вакуумметра (рисб), якщо : $P_{абс} = 85\text{кПа}$; $P_{атм} = 10^5\text{Па}$

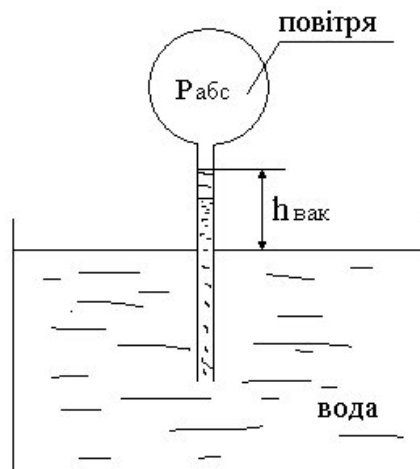


Рис.6

Задача 36

Побудувати епюри тиску і визначити силу на ділянку 2,3 (рис7), якщо

$\rho_1 = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $H_1 = 0,5 \text{ м}$; $\rho_2 = 1,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $H_2 = 0,6 \text{ м}$; $b_1 = b_2 = 0,3 \text{ м}$ - ширина стінки

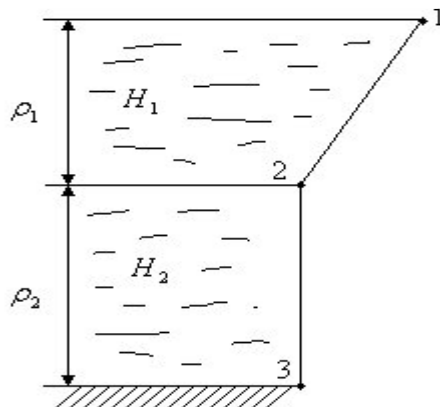


Рис.7

Задача 37

Побудувати епюри тиску (рис.8), якщо $H_1 = 0,5 \text{ м}$; $H_2 = 0,8 \text{ м}$; $\rho = 0,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

$\alpha = 30^\circ$; $b = 0,4 \text{ м}$ - ширина стінки.

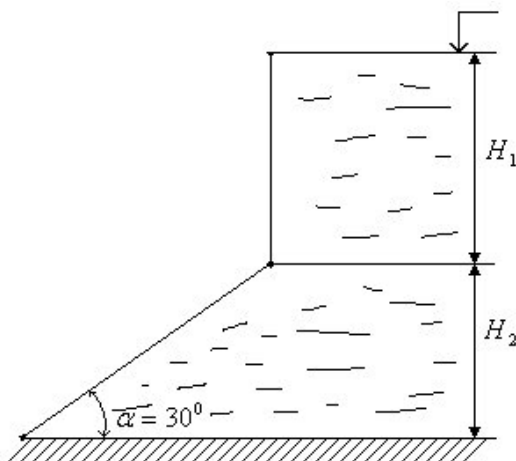


Рис.8

Задача 38

Побудувати епюри тиску і визначити рівнодійну силу тиску (рис.9) графоаналітичним способом $H_1 = 1 \text{ м}$; $H_2 = 0,45 \text{ м}$; $\gamma = 1 \frac{\text{т}}{\text{см}^3}$; $\nu = 0,3 \text{ м}$ -ширина стінки.

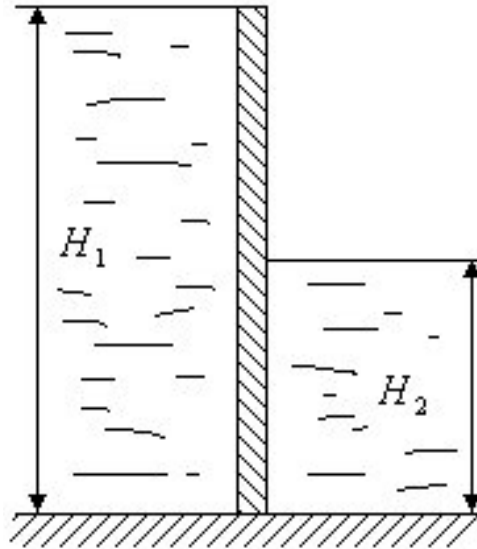


рис.9

Задача 39

Побудувати епюри тиску і визначити силу тиску на ділянку 1-2 (рис10);

$H_1 = 0,5 \text{ м}$; $H_2 = 0,5 \text{ м}$; $\gamma = 700 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$; $\nu_{1-2} = 0,25 \text{ м}$.

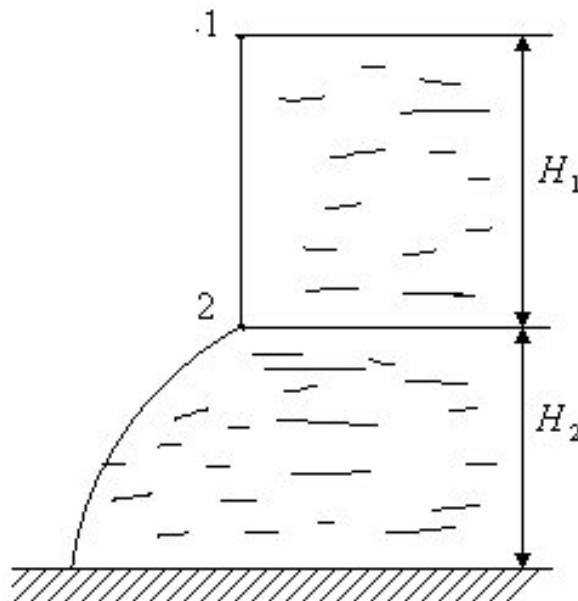


Рис.10

Задача 40

Побудувати епюри тиску на складну стінку і визначити силу тиску на ділянку 2-3 графоаналітичним способом. (рис.11)

$$H_1 = 0,5 \text{ м}; H_2 = 0,6 \text{ м}; H_3 = 0,4 \text{ м}; \gamma = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \nu_{2-3} = 0,3 \text{ м};$$

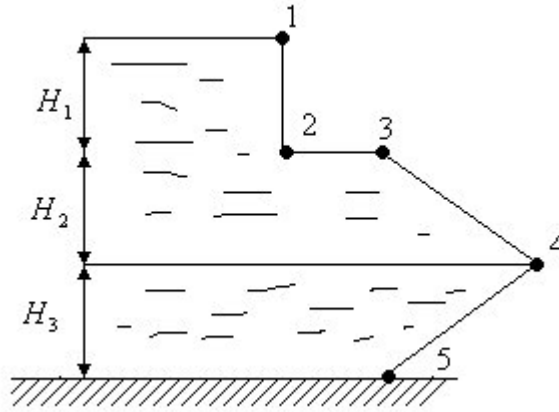


Рис.11

Задача 41

Побудувати рівнодійну епюру тиску і визначити силу тиску графоаналітичним способом (рис.12), якщо: $H = 1 \text{ м}; \nu = 1 \text{ м}; \gamma_1 = 10^3 \text{ кг./м}^3$.
 $\gamma_2 = 1,2 \text{ г./см}^3$.

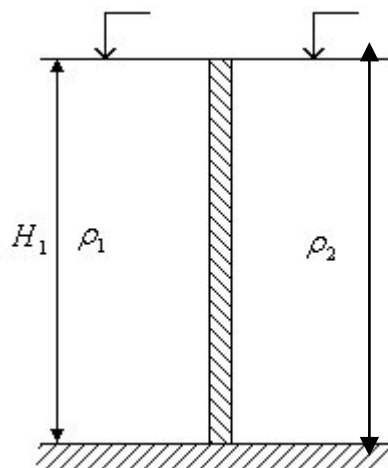


Рис.12

Задача 42

Побудувати рівнодійну епюру тиску і знайти рівнодійну силу тиску графоаналітичним способом: $H_1 = 2\text{ м.}$; $H_2 = 1\text{ м.}$; $\rho = 1\text{ м.}$; $\rho_1 = 1\text{ г/см}^3$; $\rho_2 = 1,2\text{ г/см}^3$. (рис.13)

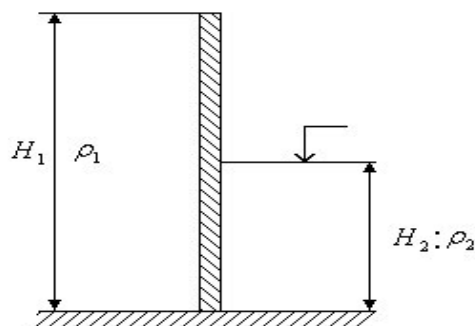


Рис.13

Задача 43

Визначте товщину стінки всмоктувальної гідро лінії, якщо внутрішній діаметр $d = 50\text{ мм.}$; максимальний тиск $P = 200\text{ кгс/см}^2$; $[\sigma] = 400\text{ МПа}$. Коефіцієнт запасу $k = 3$.

Задача 44

Визначте силу тиску на прямокутну кришку (рис.14) і координати центра тиску при таких умовах: $a = 0,4\text{ м.}$; $b = 0,6\text{ м.}$; $H_0 = 1,5\text{ м.}$; $\rho = 900\text{ кг/м}^3$; $I_0 = \frac{ba^3}{12}$.

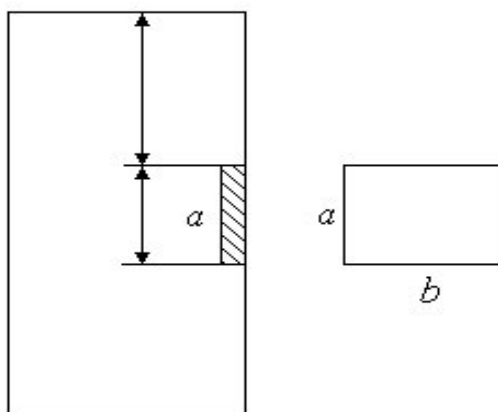


Рис. 14

Задача 45

Побудувати епюру на похилу частину плоскої стінки і визначити рівнодійну силу тиску на цій ділянці графоаналітичним способом, якщо:

$H_1 = 3\text{ м.}; H_2 = 2\text{ м.}; \gamma = 1\text{ г/см}^3.; b_{2-3} = 2\text{ м.}$ - ширина стінки 2-3.(рис.15)

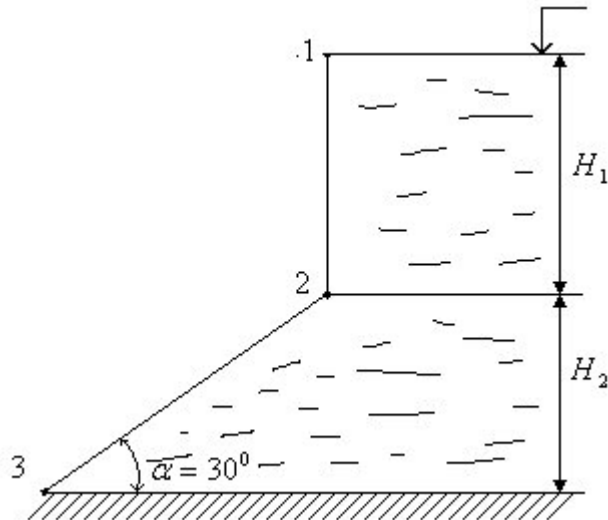


Рис.15

Задача 46

Визначте натяг троса, який удержує плоский затвор (рис16) шириною b , якщо глибина води перед тросом h . Вагою затвора знехтувати. Побудувати епюру тиску. Вихідні дані до задачі 46 наведені у таблиці 1.

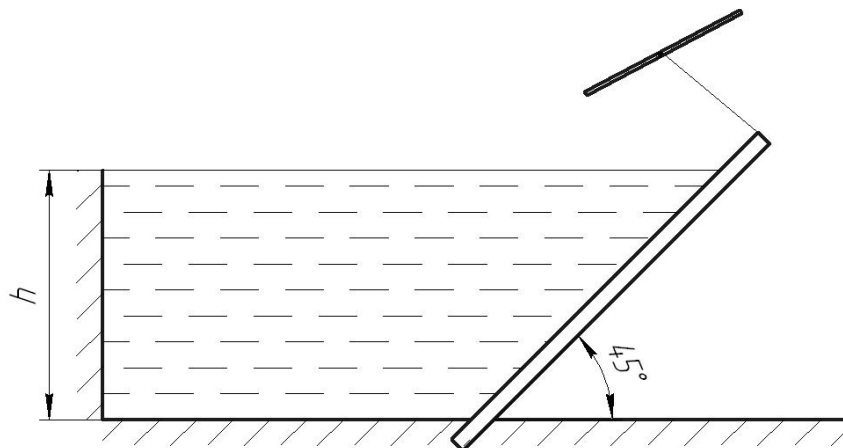


Рис. 16

Вихідні дані до задачі 46

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b,м	2.0	2.2	2.7	2.6	2.4	1.8	1.6	3.0	3.2	3.4
h,м	2.5	3.2	4.0	5.0	1.8	3.4	2.2	1.5	4.2	1.6

Задача 47

Визначте силу тиску води на квадратний затвор (рис.17), який встановлений у вертикальній стінці, якщо відома відстань між центром ваги стінки і центом тиску e . а сторона квадрата – a . вихідні дані до задачі 47 наведені у таблиці 2.

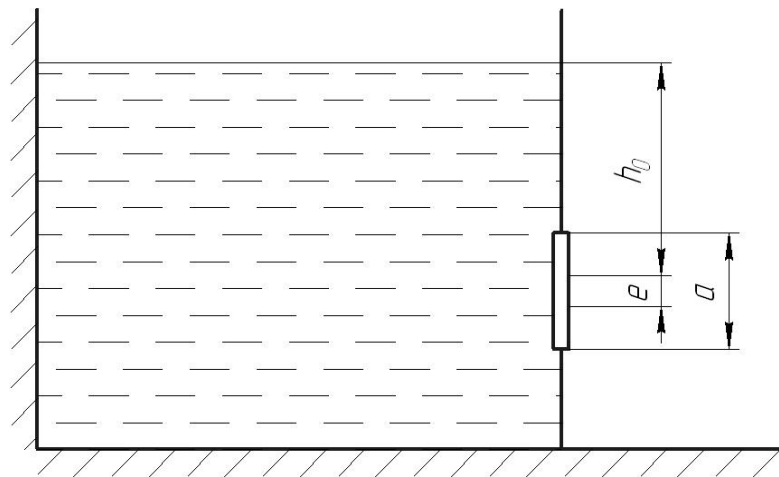


Рис.17

Вихідні дані для задачі 47

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
e, см	6	7	8	9	10	12	14	5	11	15
a,м	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	0,9

Задача 48

Визначте висоту параболоїда, якщо діаметр циліндра (рис.18) $D = 120\text{мм}$, а кутова швидкість $\omega = 40\text{с}^{-1}$.

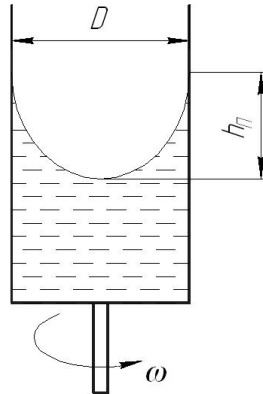


Рис.18

Побудуйте епюру тиску на бокову стінку циліндра. Для цього визначте тиск на стінці циліндра у точці, що відповідає вершині параболоїда.

Задача. 49

Циліндрична посудина заповнена рідиною до глибини $H_0 = 0,6\text{м}$, діаметр циліндра $d = 0,22\text{м}$, висота циліндра $H = 0,9\text{м}$. Чому дорівнюватиме мінімальне значення частоти обертання циліндра, при якій вода почне вилитись з циліндра? Побудувати епюру тиску на дно циліндра.

Задача 50

Визначте тиск p в посудині, яка вільно падає. Рівень рідини в посудині $H = 0,6\text{ м}$ $P_{атм} = 750 \text{ мм рт.с.}$

Задача 51

Установити закон зміни тиску, якщо рідина знаходиться у посудині, що піднімається вертикально вгору з прискоренням $a = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ і визначте тиск на

глибині $h = 20\text{см}$ $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Задача 52

Побудувати профіль вільної поверхні рідини, яка знаходиться у паливному баці (рис.19) при таких умовах: автомобіль рухається з прискоренням або гальмуванням, величина прискорення ($\pm a, \text{ м/с}^2$); рівень палива в баці $H, \text{ м}$; довжина баку $L, \text{ м}$. Побудувати епюри тиску на дно бака. Густина палива $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$. Вихідні дані до задачі 52 наведені у таблиці 3.

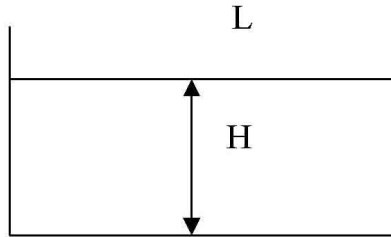


Рис 19

Таблиця 3

Вихідні дані до задачі 52

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a, \text{ м/с}^2$	0,5	0,7	0,9	-1,2	-0,8	2,0	2,4	2,8	3,2	3,4
$H, \text{ м}$	0.2	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
$L, \text{ м}$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,60	0,62	0,65	0,70	0,72	0,80

Задача 53

В циліндричну посудину (рис.20) висотою $H=0,3\text{м}$ налита рідина до рівня $h = 0,2\text{м}$. Визначте якою повинна бути кутова швидкість, щоб рідина не виливалася, якщо діаметр $D = 100\text{мм}$.

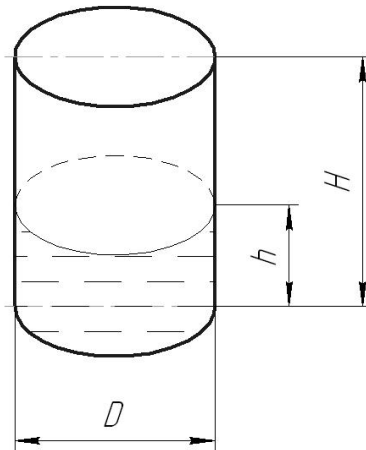


Рис.20

Задача 54

Паливний бак автомобіля має довжину $L = 0,6\text{м}$, ширину $b = 0,5\text{ м}$ і висоту $H = 0,2\text{м}$. Автомобіль рухається з прискоренням $a = 3,27\text{ м/с}^2$. Визначте мінімальну кількість палива, котра забезпечує його подавання без підсмоктування повітря. Вважати, що бензопровід встановлений у центрі горизонтальної проекції бака і його діаметр дуже малий в порівнянні з довжиною бака, $h = 10\text{мм}$. (рис.21)

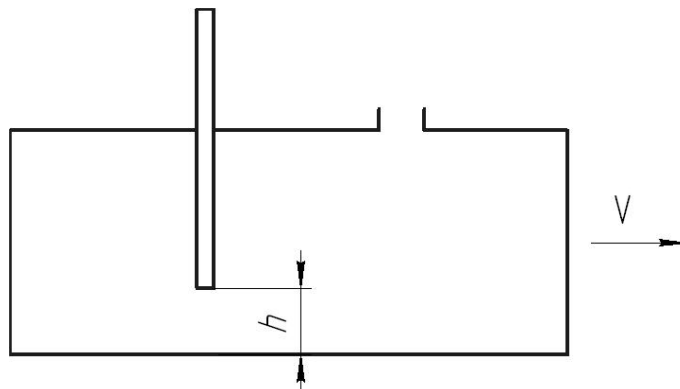


Рис.21

Задача 55

В кузов автомобіля-самоскида до рівня $h_1 = 0,4$ м наливо цементний розчин. Визначте мінімально допустимий шлях гальмування самоскида від швидкості $v = 36$ км/год до зупинки, виходячи з умови, що розчин не вилітєть з кузова. Вважати, що кузов самоскида має форму прямокутної коробки з розмірами : довжина $l = 2,5$ м; висота $h = 0,8$ м і ширина $b = 1,8$ м . Гальмування здійснюється з постійним прискоренням.(рис.22)

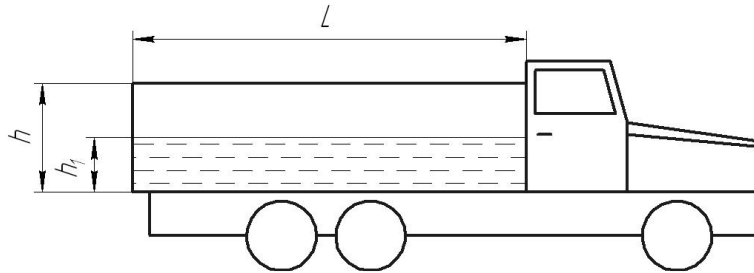


Рис.22

4.3. Режими течії рідини

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Які існують режими течії рідини? Як визначити режим течії рідини в круглих і не круглих трубах?
2. Який фізичний сенс має число Рейнольда? Чому дорівнює нижнє критичне число Рейнольда для круглих труб?
3. Чому дорівнює верхнє критичне число Рейнольдса ?
4. Як втрати енергії залежать від режиму течії рідини?

Задача 56

Визначити режим течії рідини (повітря) у вентиляційній мережі, якщо переріз повітропроводу прямокутний і має сторони: $a = 500 \text{ мм}$, $b = 250 \text{ мм}$, $\nu = 15 \text{ сСт.}$; $u = 25 \text{ м/с}$.

Задача 57

Визначте при якій швидкості ламінарний режим переходе в турбулентний, якщо $d = 50 \text{ мм}$, $\nu = 25 \text{ сСт.}$

Задача 58

Визначте при якій швидкості турбулентний режим переходе в ламінарний, якщо діаметр труби $d = 100 \text{ мм}$, а кінематична в'язкість $\nu = 15 \text{ сСт.}$

Задача 59

Витрата рідини $Q = 180 \text{ л/хвил}$, діаметр труби $d = 25 \text{ мм}$, динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu = 30 \text{ сП}$, густина рідини $0,9 \text{ г/см}^3$. Визначте режим течії рідини.

Задача 60

Визначте при якій витраті ламінарний режим переходе в турбулентний, якщо $d = 150 \text{ мм}$, $\nu = 2,5 \text{ сСт.}$

Задача 61

Визначте при якій витраті турбулентний режим переходе в ламінарний, якщо діаметр труби $d = 200 \text{ мм}$, а кінематична в'язкість $\nu = 1,5 \text{ сСт.}$

Задача 62

Визначте режим течії рідини в трубі квадратного перерізу, якщо сторона квадрата $a = 250 \text{ мм}$, рідина – повітря, в'язкість повітря $\nu = 15 \text{ сСт}$, швидкість повітря $V = 50 \text{ м/с}$. Якою буде об'ємна витрата повітря?

Задача 63

Число Рейнольдса при русі повітря в трубі круглого перерізу $Re = 425600$, в'язкість повітря $\nu = 7 \text{ сСт}$, діаметр повітропроводу $d = 400 \text{ мм}$. Якою буде швидкість повітря?

Задача 64

Витрата води у водопровідній мережі $Q = 15 \text{ л/с}$. Діаметр труби $d = 200 \text{ мм}$.

В'язкість води

$M = 1,3 \text{ сП}$. Густина води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Визначте режим течії рідини

Задача 65

Витрата робочої рідини $Q = 320 \text{ л/хвил}$, швидкість рідини $V = 6 \text{ м/с}$, Число

Рейнольдса $Re = 25600$. Визначте діаметр труби.

Задача 66

Яким повинен бути діаметр труби, щоб ламінарний режим перейшов у турбулентний, якщо витрата рідини $Q = 120 \text{ л/хвил}$, а $v = 7 \text{ сСт}$.

Задача 67

Яким повинен бути діаметр труби, щоб турбулентний режим перейшов у ламінарний, якщо витрата рідини $Q = 180 \text{ л/хвил}$, а $v = 10 \text{ сСт}$.

4.4. Рівняння Д. Бернуллі

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Який геометричний сенс має рівняння Д.Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини ?
2. Який фізичний і механічний сенс має рівняння Д.Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини.
3. Чим відрізняється рівняння Д.Бернуллі для струминки реальної рідини від аналогічного рівняння для ідеальної рідини?
4. Що називають повним гідродинамічним напором?
5. Який рух рідини вважають плавно змінним? Які він має особливості?
6. Який фізичний сенс коефіцієнта Коріоліса? Від чого залежить значення цього коефіцієнта

4.4.1 Методика використання рівняння Д. Бернуллі при розв'язанні задач

1. Записати рівняння Д.Бернуллі у загальному вигляді:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}, \quad (15)$$

2. Аналізуючи гідравлічну схему, вибрати два конкретних перерізи, для яких відома найбільша кількість гідравлічних елементів. Вибираючи перерізи можна користуватись такими порадами:

- ~ якщо в системі є бак з рідиною, то в якості одного з перерізів можна вибрати вільну поверхню рідини в баці, тому що швидкістю руху рідини в баці можна знехтувати, а тиск на вільній поверхні майже завжди відомий - частіше всього дорівнює атмосферному тискові;
- ~ якщо в системі кінцевий переріз трубопроводу виходить в атмосферу, то в цьому перерізі абсолютний тиск дорівнює атмосферному, або надлишковий тиск дорівнює нулю;
- ~ переріз, де розташований той чи інший прилад для вимірювання тиску: манометр, вакуумметр, п'єзометр;
- ~ нерухоме повітря перед входом в трубу, в яку всмоктується повітря з атмосфери

3. Пронумерувати перерізи за шляхом руху рідин (але не навпаки) і позначити їх на гідравлічній схемі.
4. Вибрати площину відліку. Вона завжди горизонтальна і рекомендується проводити її через центр ваги нижчого з перерізів. Тоді одна координата z буде дорівнювати нулю, а інші координати z будуть величинами додатними. Якщо трубопровід горизонтальний, то краще площину відліку провести через вісь трубопроводу. Потрібно пам'ятати, що вертикальна координата z завжди відлічується від площини відліку вгору.
5. Показати площину(лінію) відліку на гідравлічній схемі, позначивши її цифрами 0-0.

6. Тиск p , що входить в праву і ліву частини рівняння, повинен бути заданий в одній системі відліку (абсолютній або надлишкової).
7. Сумарні втрати напору завжди записуються в правій частині рівняння Д. Бернуллі зі знаком “+”.
8. Якщо рідина вважається ідеальною, то втратами напору нехтують, а коефіцієнти Коріоліса $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.
9. Для вибраних перерізів записати конкретні значення гідравлічних параметрів і підставити в рівняння Д. Бернуллі і розв’язати задачу.
10. Якщо після підстановки в рівнянні Д. Бернуллі залишилось дві невідомі величини, то потрібно скористуватися рівнянням нерозривності у одному з виглядів:

$$v_1 \frac{\rho d_1^2}{4} = v_2 \frac{\rho d_2^2}{4}, \quad (16) \quad \text{або} \quad v_1 = \frac{4Q}{\rho d_1^2}, v_2 = \frac{4Q}{\rho d_2^2}, \quad (17)$$

і розв’язати задачу.

4.4.2 Задачі по рівнянню Д.Бернуллі

Задача 68

З напірного баку вода тече по трубі (рис.23) діаметром $d_1 = 20$ мм, а потім витікає в атмосферу через насадок діаметром $d_2 = 10$ мм. Надлишковий тиск повітря в баці $p_0 = 0,18$ МПа; рівень води в баці $H = 1,6$ м. Нехтуючи втратами енергії, визначте швидкість води в трубі v_1 і на виході з насадку v_2 .

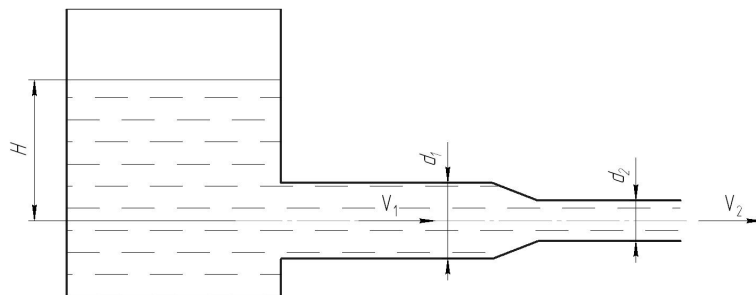


Рис.23

Задача 69

Визначити тиск у перерізі 2-2 (рис.24), якщо $Q = 180 \text{ л/хвил}$; $d_1 = 40 \text{ мм}$.;
 $d_2 = 20 \text{ мм}$.; $p_1 = 180 \text{ кПа}$.; $H = 1,5 \text{ м}$.; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Втрати не враховувати.

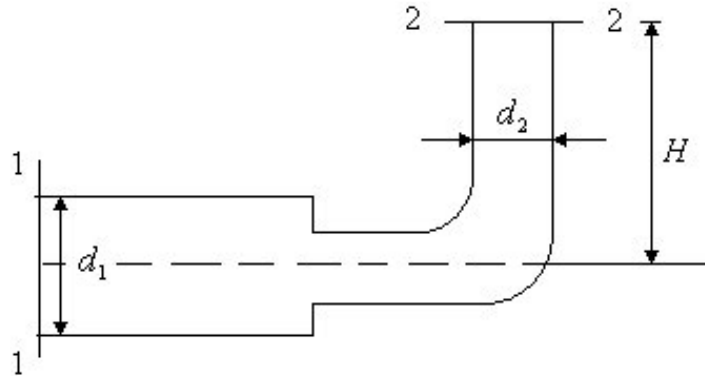


Рис 24

Задача 70

На яку висоту може всмоктуватись вода з резервуару по трубопроводу, який приєднано до вузького перерізу горизонтального трубопроводу (рис.25), якщо: $Q = 1 \text{ л/с}$; $p_1 = 10 \text{ кПа}$; $d_2 = 10 \text{ мм}$.; $d_1 = 40 \text{ мм}$.

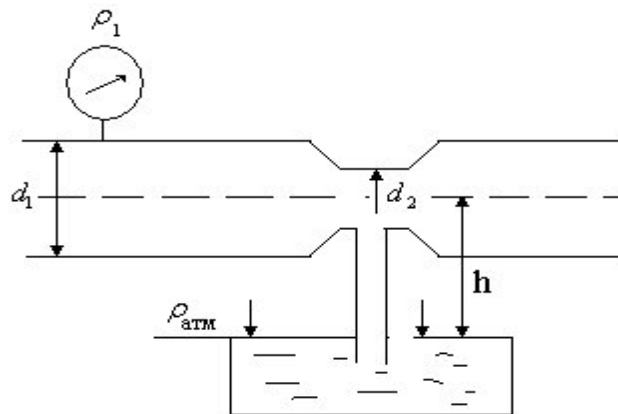


Рис.25

Задача 71

Визначте витрату води, якщо різниця рівней води в п'єзометричних трубках $h = 1,5\text{ м}$; діаметри трубопроводу $D = 40\text{ мм.}$; $d = 20\text{ мм.}$. Втрати напору не враховувати.(рис.26)

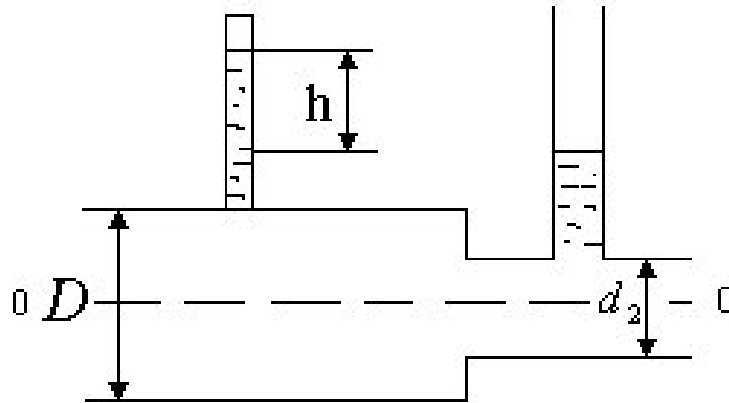


Рис.26

Задача 72

Визначте витрату води (рис.27), якщо: $p_1 = 39240\text{ Па}$; $d_1 = 200\text{ мм.}$; $\frac{P_{2\text{вак}}}{\rho g} = 3\text{ м.}$
водного стовпчика – вакуум; $d_2 = 100\text{ мм.}$

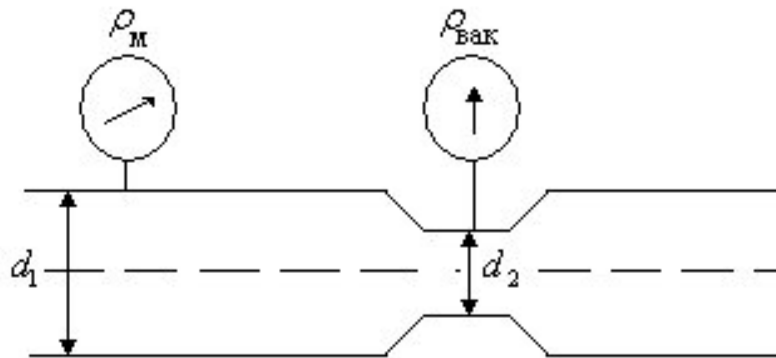


Рис.27

Задача 73

З резервуару по трубі змінного перерізу рідина витікає в атмосферу. Вважаючи рідину ідеальною, визначити швидкість витікання, витрату рідини і тиск на кожній ділянці трубопроводу (рис.28). Побудувати п'єзометричну і напірні лінії, якщо рівень рідини в резервуарі H , м ; діаметри труб d_1, d_2, d_3 , мм; густина рідини ρ , кг/м³. Вихідні дані до задачі 73 наведені у таблиці 4.

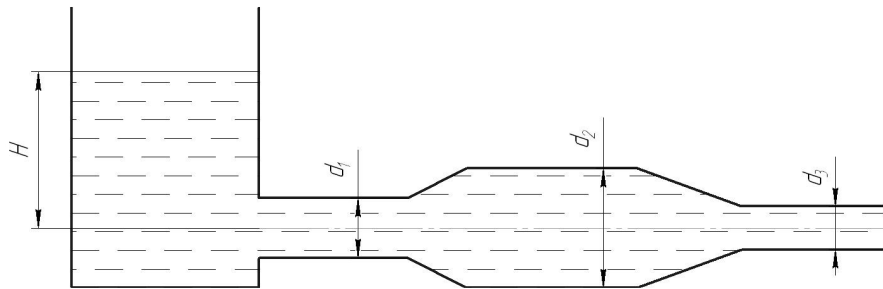


Рис.28

Таблиця 4

Вихідні дані до задачі 73

Варіант	H , м	ρ , кг/м ³	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм
1	3,0	900	32	64	40
2	2,8	950	25	50	32
3	2,6	850	16	32	20
4	2,4	890	40	80	50
5	2,2	1000	50	100	63
6	2,0	700	63	125	70
7	1,8	750	15	30	20
8	1,6	910	20	40	32
9	1,4	856	40	80	50
10	1,2	998	10	20	16
11	1,0	835	12	24	16
12	0,8	840	20	40	32
13	0,6	825	16	32	20
14	0,5	915	10	20	15
15	0,4	1000	8	16	12

Задача 74

Визначте витрату нестисливої нев'язкої рідини у трубопроводі змінного перерізу (рис.29) і побудуйте напірну і п'єзометричну лінії, якщо відомі відмітки z_1 і z_2 , надлишковий тиск на поверхні рідини в резервуарі p_1 і у вихідному перерізі тиск атмосферний $-p_{\text{атм}}$. Діаметри труб d_1, d_2, d_3 . Густина рідини $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Вихідні дані до задачі 74 наведені у таблиці 5.

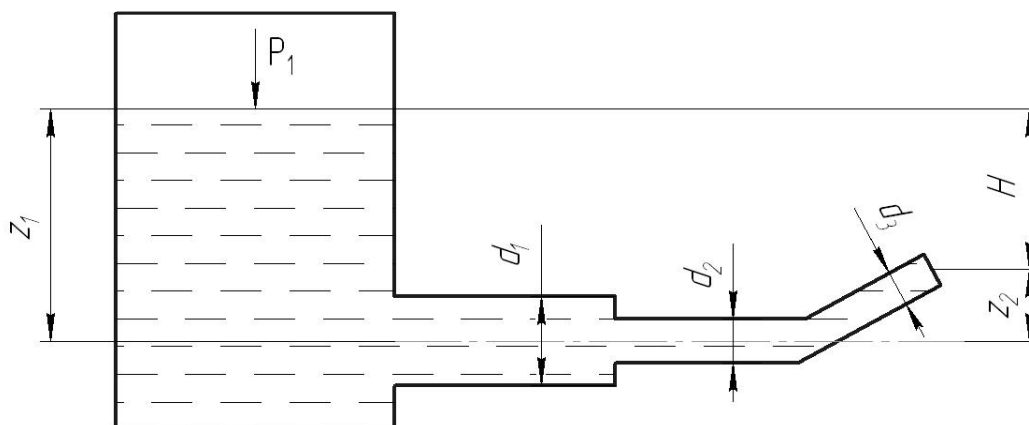


Рис.29

Таблиця 5.

Вихідні дані до задачі 74

Варіант	$d_1, \text{мм}$	$d_2, \text{мм}$	$d_3, \text{мм}$	$p_1, \text{кПа}$	$z_1, \text{м}$	$z_2, \text{м}$
1	2	3	4	5	6	7
1	125	65	75	60	4,0	2,0
2	130	70	80	50	4,2	2,2
3	140	75	80	70	4,4	2,5
4	150	80	90	80	4,6	2,8
5	175	90	100	80	4,8	3,0
6	200	100	110	90	5,0	2,5
7	160	80	90	45	5,2	2,7
8	150	75	90	50	5,4	3,0
9	100	50	75	70	5,6	2,8
10	140	70	90	60	5,1	2,0
11	90	45	50	40	4,9	1,5
12	120	60	80	30	5,3	1,9
13	250	125	150	50	6,0	2,0
14	300	150	175	80	6,1	2,1
15	350	175	200	90	6,5	2,3

4.5 Втрати напору (тиску) у трубопроводах

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Чому в реальних рідинах виникають втрати напору? Які існують втрати напору?
2. Як обчислюються втрати напору по довжині при ламінарному русі?
3. Які існують зони опору при турбулентному русі?
4. Чим відрізняються області гладкостінного, доквадратичного та квадратичного опору одна від одної та як в цих областях обчислюється коефіцієнт Дарсі?
5. Які втрати напору називають місцевими? Як визначаються втрати напору в місцевих опорах в квадратичній області опору?
6. Причини виникнення місцевих втрат.
7. Як визначаються втрати напору в місцевих опорах при ламінарному русі?
8. Як визначити еквівалентну довжину трубопроводу?
9. Що таке принцип суперпозиції втрат?

Задача 75

Визначте висоту водонапірної башти для забезпечення роботи гідравлічної системи, що зображена на рисунку 30. Гідравлічна система має наступні параметри: витрата води Q при температурі 10°C , діаметри труб d_1 і d_2 , довжини труб l_1 і l_2 . Труби мають шорсткість k , Вільний напір у вихідному перерізі труби дорівнює $h_v = 10$ м. Врахувати місцеві опори при вході в трубопровід, раптове звуження від діаметра d_1 до діаметра d_2 .

Примітка: коефіцієнт місцевого опору при вході в трубопровід $\xi_{\text{вх}} = 0,5$; коефіцієнт місцевого опору при раптовому розширенні обчислити за формулою.

$$\xi_{\text{рз}} = 0,5 [1 - (d_2/d_1)^2], \quad (18)$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкостів води $\nu = 1,31 \text{сСт}$. Задачу вирішити за допомогою рівняння Д. Бернуллі з урахуванням втрат напору. Вихідні дані до задачі 75 наведені у таблиці 6.

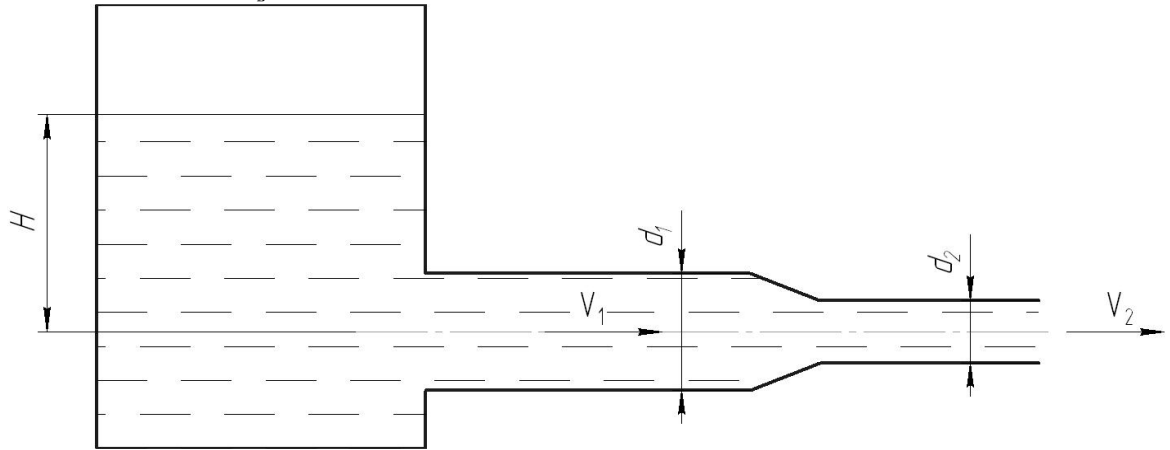


Рис.30

Вихідні дані до задачі 75

Таблиця 6

Варіант	Q, л/с	d ₁ , мм	d ₂ , мм	l ₁ , м	l ₂ , м	k, мм
1	7,0	80	40	70	30	0,06
2	7,2	90	50	80	40	0,07
3	7,5	100	60	100	25	0,75
4	7,7	115	75	120	60	0,60
5	6,8	70	40	125	70	0,90
6	6,6	50	32	30	20	0,03
7	7,9	120	60	135	70	0,50
8	8,0	125	70	140	50	0,60
9	8,2	125	75	145	60	0,10
10	8,4	140	60	150	80	0,20
11	8,6	150	75	160	30	0,35
12	8,3	110	50	170	100	0,80
13	6,5	50	25	80	40	1,10
14	8,7	175	80	180	90	1,20

Задача 76

Визначте витрату гасу, що витікає з трубопроводу діаметром $d = 50$ мм, якщо надлишковий тиск в баці $p_0 = 16$ кПа; висота рівня $H_0 = 1$ м; висота піднімання гасу у відкритому в атмосфері п'єзометрі $H = 1,75$ м. Втратами енергії знехтувати. Густина гасу $\rho = 800$ кг/м³. (рис.31)

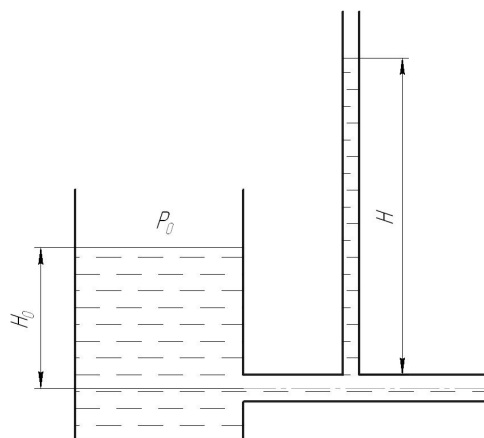


Рис.31

Задача 77

Визначте вагову витрату повітря в трубі з плавно закрученим входом і циліндричною частиною діаметром $D = 200$ мм (рис.32), якщо показання вакуумметра у вигляді вертикальної скляної трубки, що опущена в посудину з водою, $h = 250$ мм. Коефіцієнт опору вхідної частини труби (до місця приєднання вакуумметра) $\zeta = 0,1$. Густина повітря $\rho = 1,25$ кг/м³.

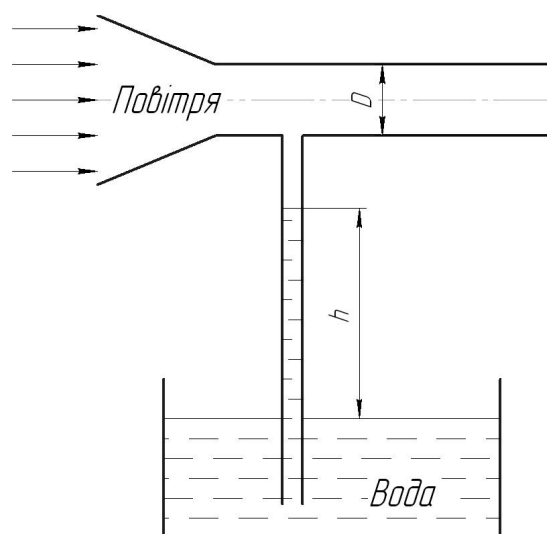


Рис.32

Задача 78

Для визначення втрат тиску на фільтрі установлені манометри, як показано на рисунку. При пропусканні через фільтр рідини, витрата якої $Q = 1$ л/с; тиск $p_1 = 0,1$ МПа, $p_2 = 0,12$ МПа. Визначте чому дорівнює втрата тиску у фільтрі, якщо $d_1 = 10$ мм, $d_2 = 20$ мм, густина рідини $\rho = 900$ кг/м³. (рис.33)

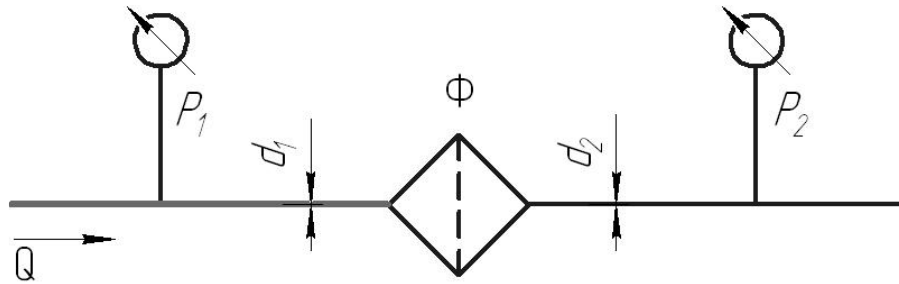


Рис.33

Задача 79

Визначте режим течії рідини і втрати напору при таких умовах:

$$Q = 240 \text{ л/хвил.}; d = 60 \text{ мм.}; \nu = 20 \text{ сСт}; l = 50 \text{ м.}; K_e = 0,06 \text{ мм.}$$

Задача 80

Визначити втрати напору в трубі з діаметром $d = 50$ мм., якщо

$$Q = 240 \text{ л/хвил.}, \nu = 25 \text{ сСт}, \rho = 900 \text{ кг/м}^3, K_e = 1 \text{ мм.}, \text{ довжина труби } l = 5 \text{ м.}$$

Задача 81

Визначити втрати напору якщо: $d = 120$ мм.; $l = 150$ м.; $M = 36000 \frac{\text{кг}}{\text{годину}}$;

$$\rho_{\text{рід}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \nu = 0,08 \text{ Пас}; K_e = 0,1 \text{ мм.}$$

Задача 82

Визначте режим течії рідини і втрати напору при таких умовах:

$$Q = 180 \text{ л/хвил.}; d = 30 \text{ мм.}; \nu = 20 \text{ сСт}; l = 80 \text{ м.}; K_e = 0,6 \text{ мм.}$$

Задача 83

В трубі діаметром $d = 150 \text{ мм}$. тече масло $\nu = 1,6 \text{ сСт}$, $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, витрата рідини $Q = 30 \text{ л/с}$, який режим течії масла і які втрати тиску на 1 м труби.

$K_e = 0,6 \text{ мм}$. ?

Задача 84

Визначте втрати тиску у всмоктувальній гідролінії, якщо: $l = 12 \text{ м}$; $d = 50 \text{ мм}$; $Q = 240 \text{ л/хвил}$; $\nu = 1,5 \text{ сСт}$; $\rho = 0,89 \text{ г/см}^3$; $K_e = 1 \text{ мм}$, на гідро лінії є клапан ($\alpha_{\text{кл}} = 8,5$).

Задача 85

Визначте потрібний напір насосної установки, якщо $H_{\text{ст}} = 5 \text{ м}$; довжина напірного трубопроводу $l = 50 \text{ м}$; $d = 25 \text{ мм}$; $Q = 3,6 \text{ м}^3/\text{год}$; $\nu = 1 \text{ сСт}$; $\alpha_x = 150$; $K_e = 0,1 \text{ мм}$; $H_{\text{потр.}} = H_{\text{ст.}} + \alpha h_w$.

Задача 86

Визначте повні втрати тиску у напірній гідролінії, якщо витрата робочої рідини Q ; л/хвил,

Діаметр гідролінії D , мм довжина гідро лінії l , м. Робоча рідина має густину ρ , кг/м^3 , кінематична в'язкість ν , сСт. Напірна гідролінія має 2 повороти ($\xi_{\text{пов}} = 0,39$) і гідророзподільник, втрати тиску в якому $\Delta P = 0,18 \text{ МПа}$. Еквівалентна рівномірно-зерниста шорсткість k_e , мм. Вихідні дані до задачі 86 наведені у таблиці 7.

Таблиця 7

Вихідні дані для задачі 86

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q, л/хвил	60	90	120	140	150	160	180	200	220	240	260	300	320
D, мм	10	16	20	25	25	32	32	40	40	50	50	63	63
l, м	5,0	5,2	6,0	6,4	7,0	7,5	8,0	8,2	8,4	8,6	9,0	9,2	9,5
ρ , кг/м^3	929	900	890	880	865	858	850	848	830	820	825	845	910
ν , сСт	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
k_e , мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,5

Задача 87

Визначити абсолютний тиск води на вході у відцентровий насос (рис.34), якщо подача рідини Q , л/с, висота всмоктування $H_{вс}$, м. Довжина труби L , м, діаметр труби D , мм. На трубі є плавний поворот ($\zeta_{пов} = 0,3$.) Кінематична в'язкість води $\nu = 0,05$ Ст. Атмосферний тиск $P_{атм} = 750$ мм рт. ст.. Еквівалентна рівномірна-зерниста шорсткість k_e , мм. Густина води $\rho = 1000$ кг/м³. Вихідні дані для задачі 87 наведені у таблиці 8.

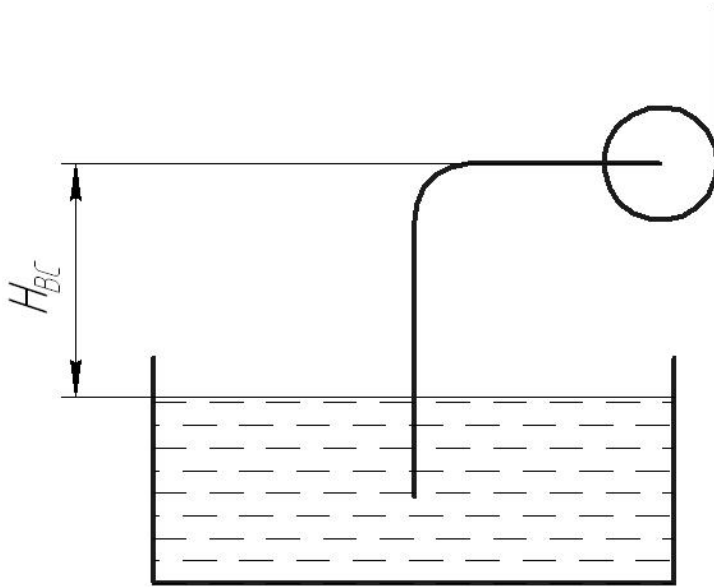


Рис.34

Таблиця 8

Вихідні дані до задачі 87

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q , л/с	0,30	0,40	0,45	0,47	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65
L , м	8	7	6,6	7,0	7,2	7,6	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9	9,2
D , мм	50	40	63	80	100	100	120	120	60	70	60	90	100
$H_{вс}$, м	7	6,2	6,4	6,5	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6
k_e , мм	0,06	0,08	0,09	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Задача 88

Визначте напір, що створює насос системи охолодження автомобільного двигуна (рис.35) при наступних даних :подача насоса $Q = 3,9$ л/с; коефіцієнти опорів: блоку циліндрів $\zeta_1 = 3,5$; термостату $\zeta_2 = 2,5$; радіатору $\zeta_3 = 4,0$; труби(шланга) від радіатору до насоса $\zeta_4 = 2,0$. Усі коефіцієнти віднесені до швидкості в трубі діаметром $d = 40$ мм. Чому дорівнює абсолютний тиск перед входом в насос , якщо у верхній частині радіатора вакуум

$P_{\text{вак}} = 1$ кПа; висота $H = 0,4$ м ; атмосферний тиск $P_{\text{атм}} = 100$ кПа., густина рідини $\rho = 1000$ кг/м³

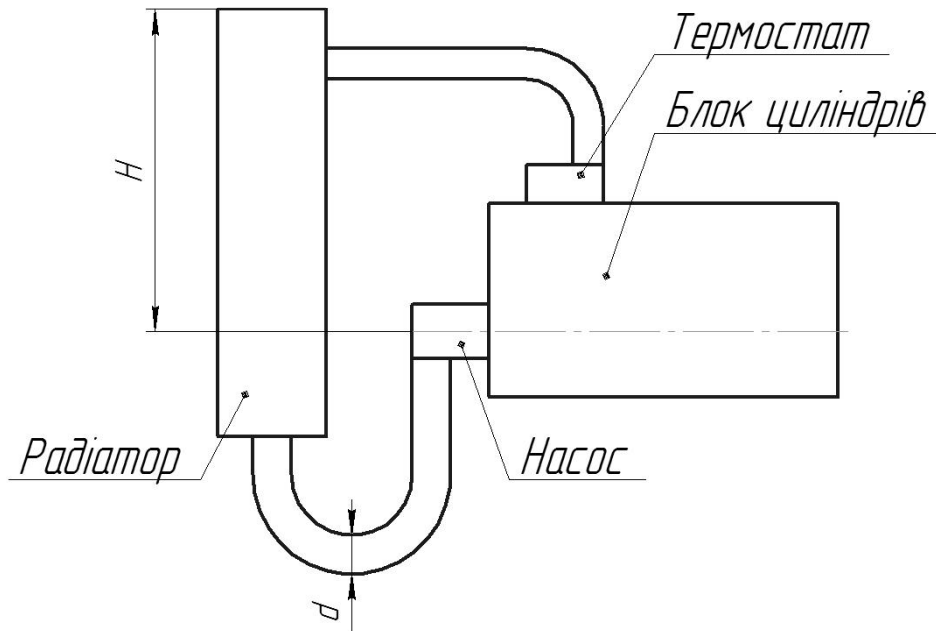


Рис.35

4.6 Витікання рідини через отвори і насадки

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Які отвори можна вважати отворами у тонкій стінці?
2. Чому при витіканні рідини через маленькій отвір виникає стислий переріз?

3. Чим характеризують досконале стиснення струминки?
4. Як змінюються кількісні показники витікання, коли стиснення струминки буде недосконалим?
5. Від чого залежить теоретична швидкість витікання рідини під час витікання в атмосферу?
6. Чому справжня і теоретична швидкість витікання неоднакові? Яка з них більша?
7. В чому полягає фізичний зміст коефіцієнта швидкості?
8. Як пов'язані між собою коефіцієнти витрати і швидкості?
9. За якої умови витікання рідини крізь отвір у товстій стінці можна вважати витіканням через циліндричну насадку? Чому витрата через циліндричну насадку більша, ніж крізь отвір з таким самим діаметром?
10. Наведіть класифікації насадок.
11. Чому в насадках виникає вакуум?
12. Як визначити час спорожнення посудини?

Задача 89

Визначте швидкість і витрату рідини при витіканні через малий отвір в тонкій стінці і через циліндричний насадок і на скільки відсотків пропускна спроможність циліндричного насадка більше, ніж при витіканні рідини через круглий отвір і на скільки відсотків швидкість витікання рідини через круглий отвір більша, ніж через насадок. Коефіцієнти швидкості для отвору і циліндричного насадка дорівнюють $j_0 = 0,97$; $j_n = 0,82$; коефіцієнти витрати - $m_0 = 0,62$, $m_n = 0,82$. Вихідні дані до задачі 89 наведені у таблиці 9.

Таблиця 9

Вихідні дані для задачі 89

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, м	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	2,5
D, мм	10	12	15	20	24	30	32	40	45	50

Задача 90

Визначте витрату рідини, густина якої $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, що витікає з баку через отвір (рис.36), площа якого $\omega = 1 \text{ см}^2$.

Тиск повітря на вільній поверхні рідини в баці $p_0 = 35,7 \text{ кПа}$., Висота $H_0 = 2 \text{ м}$.

Коефіцієнт витрати отвору $m_0 = 0,60$.

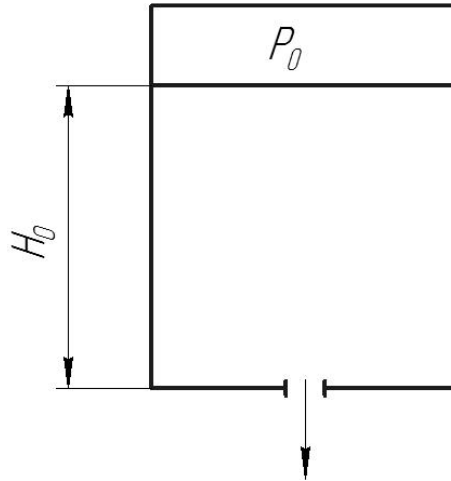


Рис.36

Задача 91

Визначте напрямок витікання рідини через отвір (рис.37) діаметром $d = 5 \text{ мм}$ і витрату рідини, якщо різниця рівній $H = 2 \text{ м}$, показання вакуумметра $p_{\text{вак}} = 147 \text{ мм рт.ст}$, показання манометра $p_m = 0,25 \text{ МПа}$, коефіцієнт витрати $m_0 = 0,62$.

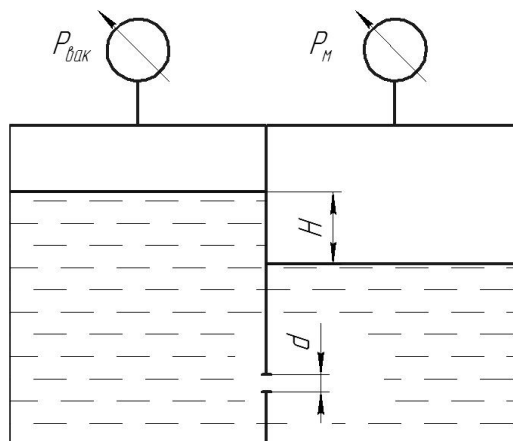


Рис. 37

Задача 92

При витіканні рідини через отвір діаметром $d = 10\text{ мм}$ заміряли наступні величини: відстань $x = 5,5\text{ м}$, висота $y = 4\text{ м}$, напір $H = 2\text{ м}$ і витрата рідини $Q = 0,305\text{ л/с}$. Обчислити коефіцієнти стиснення ϵ , швидкості ϕ , витрати μ і опору ζ . Розподіл швидкостей по перерізу струмені вважати рівномірним. (рис.38) Опором повітря знехтувати.

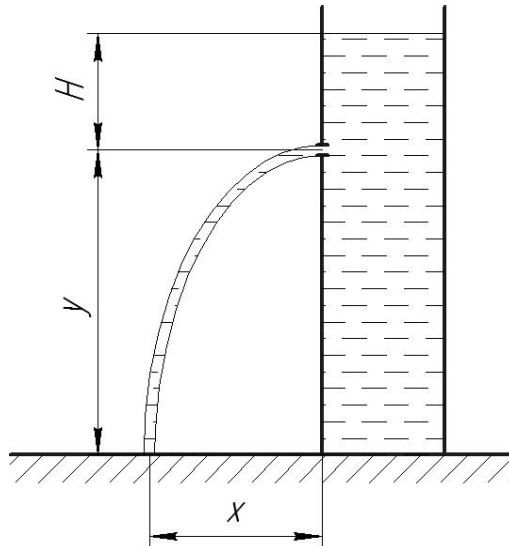


Рис.38

Задача 93

Вода по трубі Т подається в резервуар А, з якого через сопло діаметром $d_1 = 8\text{ мм}$ перетікає в резервуар Б. Далі через зовнішній циліндричний насадок діаметром $d_2 = 10\text{ мм}$ попадає в резервуар В і на кінець витікає в атмосферу через зовнішній циліндричний насадок $d_3 = 6\text{ мм}$ (рис.39). При цьому $H = 1,1\text{ м}$, $b = 25\text{ мм}$. Визначте витрату води через цю систему і перепади рівній h_1 і h_2 . Коефіцієнти витрати прийняти $\mu_1 = 0,97$, $\mu_2 = 0,82$.

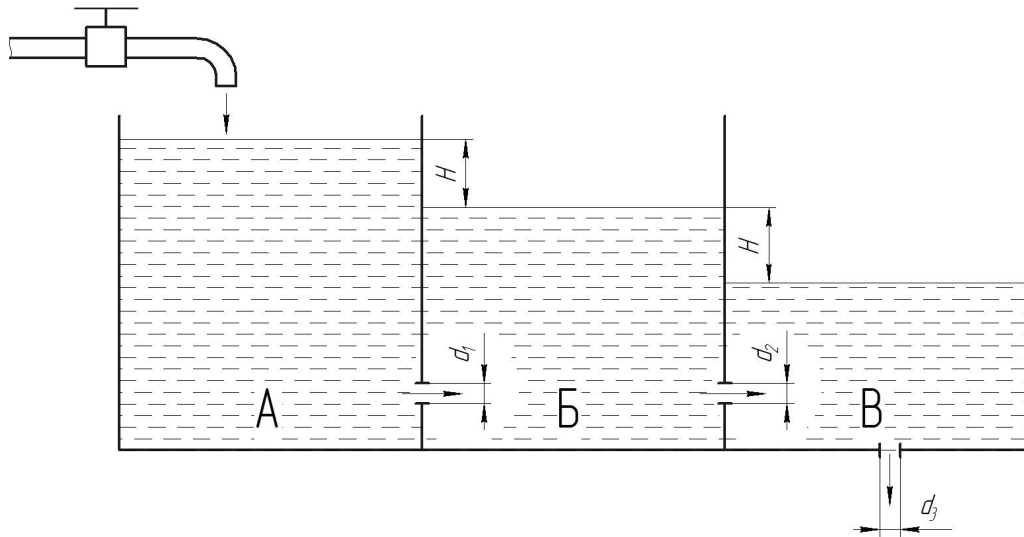


Рис.39

Задача 94

Визначте витрату бензину через жиклер карбюратора діаметром $d = 1,2\text{мм}$, (рис.40) якщо коефіцієнт витрати жиклера $\mu = 0,8$. Опором бензинової трубки знехтувати. Тиск у поплавковій камері дорівнює атмосферному. Біля горловини дифузора вакуум, $p_{\text{вак}} = 18\text{кПа}$, густина бензину $\rho = 750\text{кг/м}^3$.

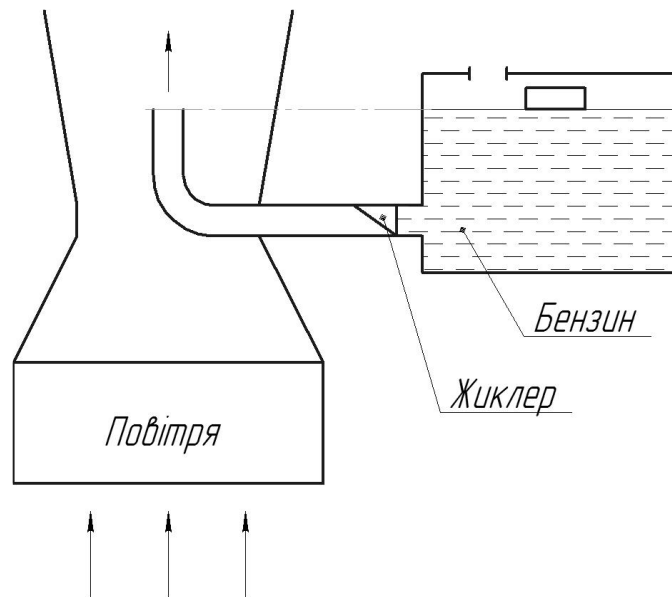


Рис.40

Задача 95

Визначити час спорожнення резервуара (рис.41) з площею поверхні рідини $\Omega = 100\text{м}^2$, від рівня рідини H_1 , м до рівня H_2 , м. Витікання відбувається через різні отвори і насадки, коефіцієнти витрати μ яких наведені у таблиці .
Діаметр отвору або насадка d ,мм . Вихідні дані до задачі наведені у табл. 10.

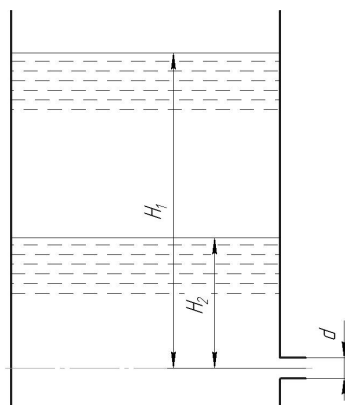


Рис.41

Таблиця 10

Вихідні дані для задачі 95

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_1 , м	6	7	8	9	10	4	5	3	6	8	11	10
H_2 , м	4	3	4	5	7	1	2	1	3	5	6	4
μ	0,82	0,62	0,45	0,71	0,82	0,62	0,62	0,45	0,82	0,62	0,45	0,45
d , мм	100	120	150	110	90	140	110	200	80	110	175	190

4.7 Гідравлічний удар

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Поясніть фізичне явище виникнення гідравлічного удару.
1. Що називають швидкістю ударної хвилі і як її визначають?
2. Як визначити ударний тиск при прямому гідравлічному ударі?

3. Що називають фазою гідравлічного удару?
4. Коли буде мати місце прямий гідравлічний удар, а в якому випадку він буде непрямым або неповним?
5. Як визначити ударний тиск під час непрямого гідравлічного удару?
6. Як визначити тиск при неповному гідравлічному ударі?

Задача 96

Визначте тип гідравлічного удару і обчислите підвищення тиску при гідравлічному ударі, якщо відомий час спрацювання запірно-регулюючого органу t , швидкість розповсюдження ударної хвилі c , густина рідини ρ витрата рідини Q , довжина гідролінії L і діаметр гідро лінії D . Вихідні дані до задачі 96 наведені у таблиці 11.

Таблиця 11

Вихідні дані до задачі 96

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, c	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	1,00
$\rho, \text{кг/м}^3$	850	875	894	848	854	900	920	828	905	838
$C, \text{м/с}$	1120	1030	1010	1200	1080	1085	1105	1240	1235	1212
$Q, \text{м}^3/\text{хвил}$	90	120	140	150	160	180	190	200	240	300
$L, \text{м}$	6	7	8	9	5	10	12	3	11	8
$D, \text{мм}$	15	20	25	30	32	25	20	16	20	40

Задача 97

Визначити підвищення тиску у водопровідній лінії довжиною L , якщо тривалість закривання запірного пристрою T_1 і T_2 , діаметр труби D , товщина стінок δ , матеріал – сталь, швидкість течії до гідравлічного удару v . Густина

води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Швидкість поширення ударної хвилі в необмеженому просторі прийняти $c_0 = 1425 \text{ м/с}$. Вихідні дані до задачі наведені у таблиці 12.

Таблиця 12

Вихідні дані до задачі 97

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, \text{м}$	500	1000	2000	700	800	900	1200	1300	1400	2500
$T_1, \text{сек}$	5	1	4	3	4	6	2	1	8	2
$T_2, \text{сек}$	2	3	1	1	2	3	4	5	2	1
$D, \text{мм}$	100	125	100	150	125	175	75	100	175	200
$V_0, \text{м/с}$	1,00	1,20	1,25	1.30	1.35	1.40	0,70	1,55	0,75	0,9
$\delta, \text{мм}$	5,5	6,0	7	8	9	10	11	12	14	16

Задача 98

Визначте тиск при неповному гідравлічному ударі, якщо швидкість розповсюдження ударної хвилі - c , густина рідини ρ , початкова швидкість руху рідини V_0 , кінцеве значення швидкості V . Вихідні дані до задачі 98 наведені у таблиці 13.

Таблиця 13

Вихідні дані до задачі 98

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$c, \text{м/с}$	1320	1250	1150	1200	1110	1290	1310	1050	1080	1250
$V_0, \text{м/с}$	6,0	5,6	5,6	4,5	4,5	4,5	5,3	5,3	5,0	5,0
$V, \text{м/с}$	2,5	2,3	2,0	1,5	2,0	1,3	2,3	1,8	2,5	3,0
$\rho, \text{кг/м}^3$	920	900	890	880	850	825	810	780	750	700

4.8 Гідравлічні машини

Для розв'язання задач за цією темою потрібно дати відповіді на наступні запитання.

1. Що називають гідромашинами?
2. За якими ознаками класифікують гідромашини?
3. Які основні параметри характеризують роботу гідромашин?
4. Що називають теоретичними характеристиками відцентрового насосу?
5. Які існують три типи лопаток робочого колеса? Поясніть відмінність в їх теоретичних характеристиках.
6. Коефіцієнт корисної дії відцентрового насоса. Які три види втрат енергії існують в гідромашинах?
7. Як визначаються справжні характеристики відцентрового насоса?
8. Що називають робочою точкою? Як пов'язане з нею питання вибору насоса для даної мережі?
9. Що називають полем робочих характеристик насоса?
10. Запишіть формули подібності для подібних режимів одного насоса.
11. Як перерахувати характеристики насоса від одного режиму роботи до іншого?
12. Що називають коефіцієнтом швидкохідності? Як класифікують робочі колеса за коефіцієнтом швидкохідності?
13. Обґрунтуйте необхідність застосування послідовного з'єднання насосів.
14. Чому необхідно застосовувати паралельне з'єднання насосів?
15. Охарактеризуйте принцип дії об'ємних гідромашин.
16. Які спільні властивості мають об'ємні насоси?
17. На які типи підрозділяються об'ємні гідромашини за характером руху і формою робочих органів?
18. Що є робочою камерою об'ємної гідромашини?
19. На які параметри впливає витік рідини в об'ємному насосі?

20. Які конструктивні параметри впливають на подачу насосів? Чому нерівномірність подавання поршневого насосу є неминучою?
21. Властивості роторних насосів і їх класифікація.
22. В яких типах насосів можливе регулювання подач та реверсування потоків рідини?

Задача 99

При випробуванні насоса одержані наступні дані: надлишковий тиск на виході з насоса $p_2 = 0,35$ МПа, вакуум перед входом в насос $h_{\text{вак}} = 294$ мм рт.ст., подача насоса $Q = 6,5$ л/с, крутячий момент на валу насоса $M = 41$ Н·м, частота обертання вала насоса $n = 800$ об/хвил. Визначте потужність, що розвивається насосом, споживчу потужність і коефіцієнт корисної дії. Діаметри всмоктувального і напірного трубопроводів вважати однаковими.

Задача 100

Відцентровий насос працює с частотою обертання $n_1 = 1500$ об/хвил і помпує рідину в трубопровід, для якого задана крива потрібного напору $H_{\text{потр}} = f(Q)$. (дивись рисунок 42) На тому же графіку дана характеристика насоса H_n при вказаній частоті обертання. Яку частоту обертання потрібно надати даному насосу, щоб збільшити подачу в два рази?

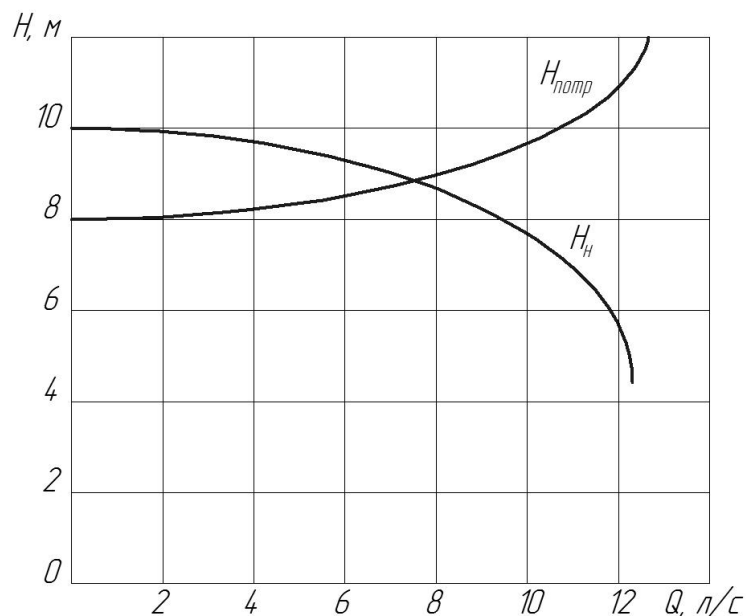


Рис 42

Задача 101

Відцентровий насос подає холодну воду у кількості Q м³/год з колодязя до напірного баку при $P_0 = P_k$ по трубі діаметром d мм з повною висотою підйому h м. Визначити повний коефіцієнт корисної дії насоса, якщо потужність на валу насоса $N = 14$ кВт, а сумарний коефіцієнт опору трубопроводу $\sum \zeta = 10,5$. Вихідні дані до задачі 101 наведені у таблиці 14.

Таблиця 14

Вихідні дані до задачі 101

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{год}$	100	95	90	85	80	82	84	92	95	102
$d, \text{мм}$	150	145	130	125	120	122	140	145	150	160
$h, \text{м}$	32	32	38	40	42	44	46	40	35	30

Задача 102

Визначити потужність на валу відцентрового насоса, подача якого Q м³/год, якщо показання манометра на нагнітальному патрубку P_n кгс/см², показання вакуумметра на всмоктувальному патрубку P_v мм рт. ст., а вертикальна відстань між манометром и точкою приєднання вакуумметра $\Delta H = 0,6$ м.

Коефіцієнт корисної дії насоса прийняти $\eta_s = 0,62$. Робоча рідина вода, діаметри всмоктувального і напірного трубопроводів однакові. Вихідні дані до задачі 102 наведені у таблиці 15.

Таблиця 15

Вихідні дані до задачі 102

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{год}$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$P_n, \text{кгс}/\text{см}^2$	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3
$P_v, \text{мм рт. ст}$	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290

Задача 103

Характеристика відцентрового насоса приведена на рис.43. Визначте подачу насоса і ККД при подаванні води у відкритий резервуар на висоту H по трубі діаметром d мм, довжиною L м, якщо коефіцієнт гідравлічного тертя λ , а місцеві втрати напору складають 10% від втрат по довжині. Вихідні дані до задачі наведені у таблиці 16.

Таблиця 16

Вихідні дані до задачі 103

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, \text{м}$	12	14	15	16	17	18	20	18	16	14
$d, \text{мм}$	60	65	70	75	70	68	66	72	74	75
$L, \text{м}$	50	52	54	56	58	60	62	64	65	62
λ	0,020	0,025	0,033	0,032	0,028	0,030	0,032	0,035	0,038	0,040

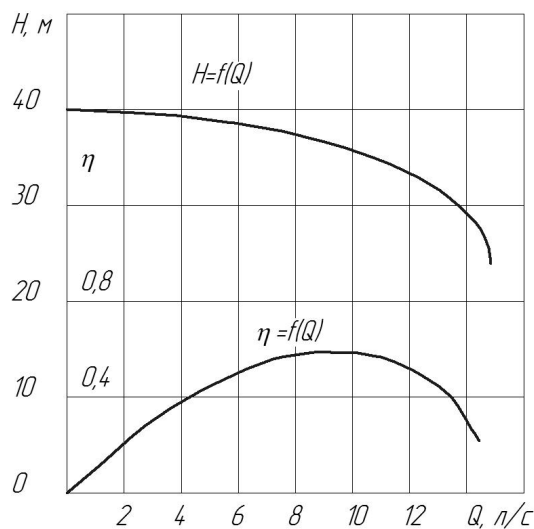


Рис.43

Задача 104

Характеристика насоса при $n_1=950$ об/хвил наведена на рисунку 44. Визначте в скільки разів зменшиться витрата води, якщо характеристика мережі визначається рівнянням $H = 10 + 17500 Q^2$ (витрату рідини підставляти в $\text{м}^3/\text{с}$), а частота обертання стане n_2 . Вихідні дані до задачі 104 наведені у таблиці 17.

Вихідні дані до задачі 104

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n, об/хвил	920	910	900	890	870	850	820	800	790	750

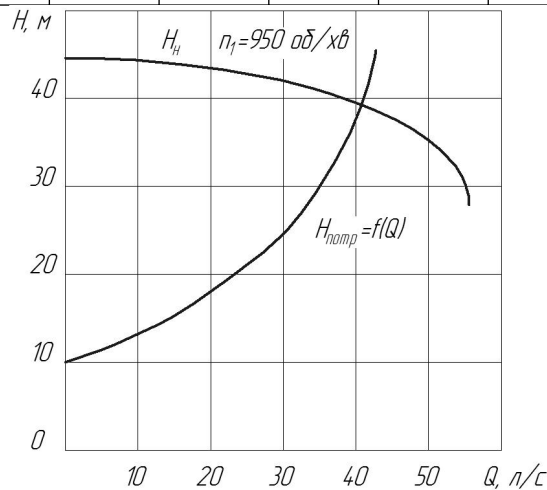


Рис.44

Задача 105

Визначте витрату води через трубу діаметром d мм і довжиною L м, якщо абсолютна шорсткість трубопроводу Δ_1 мм, а напір $H = 10$ м. Як зміниться витрата води, якщо замінити трубу на нову з шорсткістю Δ_2 мм. Вихідні дані до задачі 105 наведені у таблиці 18.

Таблиця 18

Вихідні дані до задачі 105

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	150	125	175	175	200	225	200	225	250	250
L , м	500	550	600	650	680	700	720	660	600	500
Δ_1 , мм	0,8	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	0,3
Δ_2 , мм	0,2	0,25	0,2	0,25	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

Довідкові дані до задачі 105

Значення модуля витрати K для круглих чавунних труб

Діаметр, мм	K , л/с $\Delta = 0,2-0,3$	K , л/с $\Delta=0,4-0,6$	K , л/с $\Delta =0,8-1,0$
100	77,53	63,96	51,56
125	139,24	115,44	93,79
150	224,51	186,95	152,78
175	335,9	280,7	230,5
200	476,9	399,7	329,5
225	648,0	544,5	450,4
250	852,4	717,8	595,4
300	1373,9	1161,4	967,9

Довідкові дані та основні розрахункові формули

Величина	Формула	Розмірність
1	2	3
Густина	$\rho = m/V$	кг/м ³
Питома вага	$\gamma = G/V = \rho g$	Н/м ³
Коефіцієнт об'ємного стиснення	$b_p = \frac{1}{V_0} \frac{DV}{Dp}$	м ² /Н
Модуль об'ємної пружності	$K = 1/\beta_p$	Па
Густина при тискові p	$r_p = \frac{r_0}{1 - b_p Dp}$	кг/м ³
Сила в'язкості	$F_T = \pm \mu S du/dh$	Н
Динамічна в'язкість	$\mu = \tau / du/dh$	Па·с
Кінематична в'язкість	$\nu = \mu/\rho$	м ² /с
Коефіцієнт температурного розширення	$b_t = \frac{1}{V_0} \frac{DV}{Dt}$	1/град
Густина при температурі t	$r = \frac{r_0}{1 + b_t Dt}$	кг/м ³
Рівняння Клайперона - Менделєєва	$\rho = p/RT$	кг/м ³
Газова стала R	$R=8314/\mu$	Дж/кг·град
Термодинамічна температура	$T = t^0C + 273$	
Основне рівняння гідростатики	$Z + p/\rho g = \text{const}$	м

1	2	3
Формула для визначення тиску	$p = p_0 + \rho g$	Н/м ²
Рівнодійна сила тиску	$F = \omega (p_0 + \rho g h_{цв})$	Н
Координати центра тиску	$l_{цт} = l_{цв} + I_0 / \omega l_{цв}$	м
Витрата рідини	$Q = v \cdot \omega$	м ³ /с
Середня швидкість в круглій трубі	$v = \frac{4Q}{\rho d^2}$	м/с
Число Рейнольдса	$Re = vd/\nu$	безрозмірне
Рівняння Д. Бернуллі	$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_{в}$	м
Втрати по довжині	$h_d = l \frac{v^2}{d 2g}$	м
Місцеві втрати	$h_m = \sum V \frac{v^2}{2g}$	м
Коефіцієнт стиснення	$\varepsilon = \omega_0 / \omega$	безрозмірний
Швидкість витікання через отвори і насадки	$v = j \sqrt{2gH}$	м/с
Витрата рідини	$Q = mw \sqrt{2gH}$	м ³ /с
Час зниженні рівня рідини в резервуарі	$t = \frac{2W}{mw \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$	с
Формула Жуковського	$\Delta p_{уд} = \rho v_0 c$	Па
Ударний тиск при непряму ударі	$\Delta p_{непр} = \rho v_0 c T / \tau_{зак}$	Па

1	2	3
Ударний тиск при неповному ударі	$\Delta p_{\text{непов}} = \rho(v_0 - v) c$	Па
Потрібний напір	$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \Sigma h_{\omega}$	м
Напір насоса	$H = \frac{p_{\text{ман}}}{\rho g} + \frac{p_{\text{вак}}}{\rho g} + h_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$	м
Споживча потужність насоса	$N_{\text{сп}} = M\omega$	Вт
Корисна потужність насоса	$N = Q\rho gH$	Вт
Закон пропорційності	$Q_1/Q_2 = n_1/n_2; H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2;$ $N_1/N_2 = (n_1/n_2)^3$	-

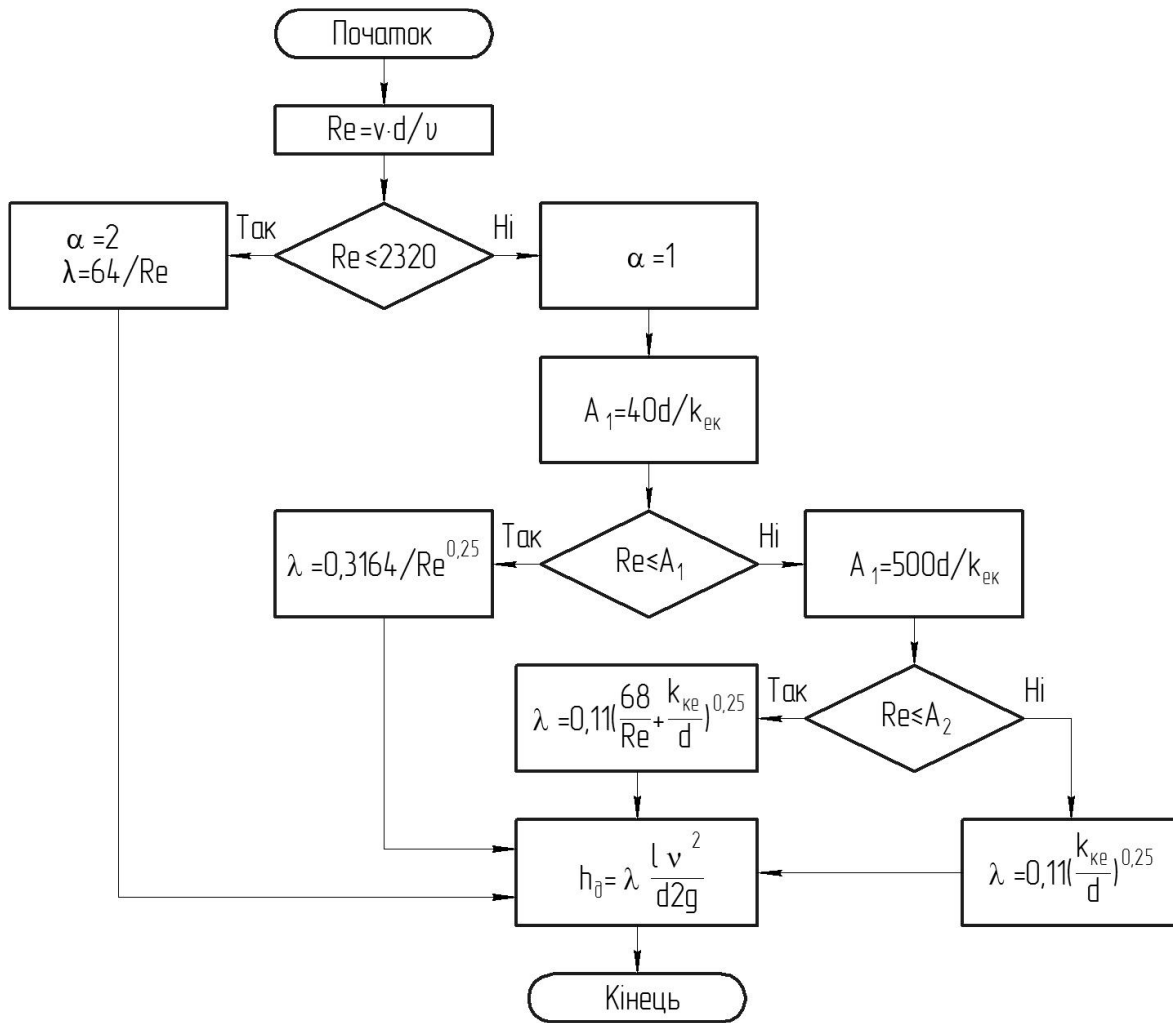


Рис. 45

Блок-схема алгоритму розрахунку втрат напору по довжині

Додаток 3

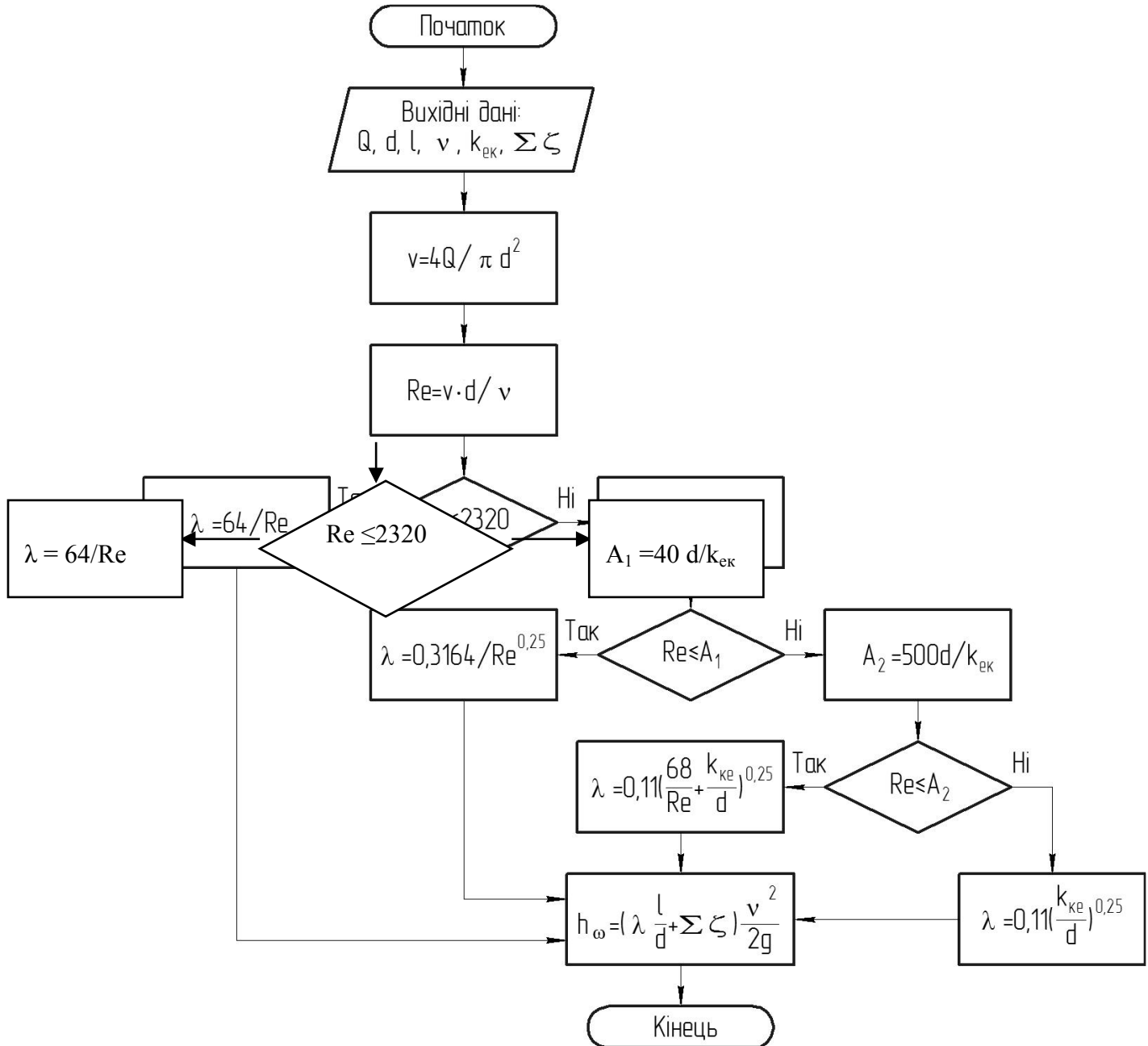


Рис. 46.

Блок-схема алгоритму розрахунку сумарних втрат напору в трубопроводі

Список рекомендованої літератури

1. Практикум з гідравліки : навч. посіб. / Т.В. Руденко, М.В. Красота, Ю.В. Кулешков ; М-во освіти і науки України, Центральнуукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 201 с.
2. Левицький, Б. Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б. Ф. Левицький, Н. П. Ленін. – Львів : Світ, 1994. – 264 с.
3. Гідравліка і нагнітачі : навч. посібник / О. М. Грабовський, О. М. Щабієв. – Київ : НМКВО, 1992. – 312 с.
4. Кулінченко, В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. – Київ : ІНКОС, Центр навчальної літератури, 2006. - 616 с.
- 5 Дідур, В. А. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / В. А. Дідур, О. Д. Савченко, С. І. Пастушенко, С. І. Мовчан. – Запоріжжя : Прем'єр, 2005. – 464 с.
6. Збірник задач з гідравліки / Глухов Г.М., Чумаков Г.А., Луняка К.В. – Херсон, 2001. - 90 с.
7. Срібнюк, С. М. Зв'язок вакууму з виникненням явища кавітації / С. М. Срібнюк, Л. Л. Зубричева, // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Акад. буд-цтва України. – Х. : ХДТУБА, 2010 – вип. 59. – С. 293 – 297
8. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків / В. І. Мандрус, Н. П. Лещій, В. М. Звягін. – Львів : Світ, 1995. – 264 с
9. Тітов, Ю. П., Яковенко, М. М. Інженерна гідравліка. Навчально-методичний посібник до практичних занять. – Харків : ХНАМГ, 2005 - 91 с.
10. Науменко, І. І. Гідравліка. Підручник / І. І. Науменко. – Рівне : НУВГП, 2005. – 475 с.
11. Кравченко, В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко ; – К.: Кондор, 2003. – 288 с
12. Гідравліка, гідро та пневмоприводи. Методичні вказівки до лабораторних робіт. Для студентів спеціальностей: 274 / Уклад. : Т. В. Руденко, Н. В. Ковальчук, Ю. В. Кулешков. – Кропивницький : ЦНТУ, 2017.- С. -54.

Методичні вказівки для індивідуальної роботи здобувача з дисципліни
«Гідравліка, гідро та пневмоприводи»

для здобувачів спеціальності

18 Автомобільний транспорт

ОПП Автомобільний транспорт

Укладачі: Т.В. Руденко
Ю.В. Кулешков

Комп'ютерний набір і верстка: Т.В. Руденка.

РВЛ ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.