

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
З  
ГІДРАВЛІКИ  
для студентів заочного факультету ДонНТУ  
усіх фахів

Затверджено на засіданні  
Кафедри “Гірнича механіка”  
Протокол № 12 від 20.05.2004р.

Затверджено на засіданні  
навчально-видавничній ради ДонНТУ  
протокол №3 від 28.04.2004р.

УДК 532 (076.1)

Методичні вказівки та контрольні завдання з гідравліки для студентів заочного факультету ДонНТУ усіх фахів / Малеев В.Б., Лазаренко В.І. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – 56 с.

Справжні “Методичні вказівки...” призначені для студентів усіх фахів заочного факультету ДонНТУ, які мають в учбових планах дисципліни, що містять розділ “Гідравліка”.

Вони містять методичні вказівки з розв’язання задач з основних тем розділу “Гідравліка”, приклади розв’язання таких задач, задачі для самоперевірки, завдання на контрольну роботу №1, основні довідкові данні для розв’язання задач.

Укладачі: Малеев В.Б.  
Лазаренко В.І.

Рецензент: проф. д.т.н. Сафянц С.М.

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	3
Частина I. Методичні вказівки та приклади розв'язання типових задач, задачі для самоперевірки по темам:	
1. Загальні фізичні якості рідини.....	5
2. Тиск рідини, що перебуває у спокої.....	6
3. Сила тиску рідини на стінки. Закон Архімеда.....	8
4. Кінематика рідини.....	11
5. Рівняння Бернуллі.....	12
6. Режими руху рідини. Гідравлічні опори.....	15
7. Розрахунок трубопроводів.....	19
Частина II. Методичні вказівки з виконання та змісту контрольної роботи №1.....	23
Контрольні задачі.....	25
Додатки	
Додаток 1. Співвідношення між одиницями.....	51
Додаток 2. Узагальнені параметри для розрахунку не нових водопровідних труб.....	52
Додаток 3. Коефіцієнти місцевих опорів.....	53

## ВСТУП

“Методичні вказівки та контрольні завдання з гідравліки” призначені для студентів усіх фахів заочного факультету ДонНТУ, в учбових планах яких передбачені курси, що мають розділ “Гідравліка”, та охоплює першу частину цих курсів.

Справжні “Методичні вказівки...” складаються з двох частин та додатків. 1 частина вміщує методичні вказівки з розв’язання прикладів та задач з загальних тем гідравліки, приклади розв’язання типових задач та задачі для самоперевірки. 2 частина вміщує загальні вказівки з виповнення та оформлення контрольної роботи №1, таблицю для вибору номерів контрольних задач та зміст контрольної роботи №1 (по розділу “Гідравліка”). Крім цього, тут наведені задачі, що можуть бути видані студентам стаціонару та вечірніх факультетів в обсязі домашнього завдання (див. Задачі №№ 76 – 87). Додатки вміщують основні довідкові дані, потрібні для розв’язання задач, що входять у контрольну роботу №1.

Вивчення розділу “Гідравліка” студентами-заочниками засновується на самостійній праці з підручниками, справжніми “Методичними вказівками...” та виповненні контрольної роботи №1 (у межсесійний період), а також проходження лабораторного практикуму, відвідування обзорних та тематичних лекцій, практичних занять та консультацій ( в період лабораторно-екзаменаційної сесії).

Увесь розділ поділено на окремі теми. Вивчення кожної теми має сенс проводити у такій послідовності: вивчення теоретичного матеріалу по підручникам, розгляд приведених у підручнику та справжніх “Методичних вказівках...” прикладів задач з розв’язаннями, розв’язання рекомендованих для самоперевірки задач та прикладів, розв’язання задачі, що входить до контрольної роботи №1 та відноситься до даної теми.

Не треба розв’язувати контрольні задачі, якщо Ви ще не пропрацювали теоретичний матеріал теми, а також не розібравшись у приведених прикладах розв’язання задач та не розв’язавши задачі для самоперевірки. Невиконання цієї умови спричиняє, як правило, помилки в контрольній роботі.

Починаючи самостійне розв’язання задач, треба продумати план розв’язання задачі, визначити, якими теоретичними законами, формулами або рівняннями треба користуватись у даному випадку та лише після цього розв’язувати задачу.

С грудня 1978 року ДЕВ 1052-78, у відповідності з яким треба обов’язково застосовувати одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць (Сі). Цією системою одиниць треба користуватись як при вивченні курсу, а також при розв’язанні задач. Так як у техніці широко застосовуються прилади, що градуйовані у одиницях що застосовувались раніше (кгс/см<sup>2</sup>, мм рт.ст. та інші), то в умовах багатьох задач застосовуються ці одиниці, але у розрахункових формулах та рівняннях значення усіх величин повинні підставлятися в одиницях Сі. У процесі вивчення курсу та розв’язання задач студент повинен навчитись швидко та безпомилково переводити одиниці різних систем, а також в несистемні одиниці, в одиниці Сі. Переклад деяких одиниць в одиниці Сі наведено у додатку 1.

Основним підручником по розділу “Гідравліка” для студентів заочного факультету ДонНТУ є:

Гідравліка та гідропривід: Підручник для студентів гірничих фахів вузів/ В.Г. Гейер, В.С. Дулін, О.Н. Заря. – третє видання, перепрацьоване та доповнене – М.: Недра, 1991. – 331 с.

Далі усі звернення у справжніх методичних вказівках на номери сторінок (наприклад, с.127, або с.38-41), малюнків (наприклад, рис.7.5), формул та рівнянь (наприклад (4.13)) зроблено стосовно до цього підручника.

Студенти фахів ТМ та Маш можуть користуватись також підручником:

Гідравліка, гідромашини та гідроприводи: Підручник для машинобудівних Вузів/ Т.М. Башта, С.С.Руднев, Б.Б. Некрасов та ін. – друге видання, перепрацьоване – М.: Машинобудівництво, 1982. – 423 с.

При підготовці до лабораторних робіт та оформленні звітів по ним студентам усіх фахів, що вивчають розділ “Гідравліка”, треба користуватись учбовим посібником:

Лабораторний практикум з гідравліки/ В.С. Дулін. – Донецьк: ДПІ, 1982. – 48 с.

## Частина 1

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ, ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ З ТЕМ:

## 1. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ЯКОСТІ РІДИНИ

Розв'язання прикладів з матеріалу цієї теми звичайно не викликає важкості у студентів, що пропрацювали по підручнику теоретичний матеріал (с. 7-13), бо частіше за все зводяться до підстановки заданих величин у розрахункові формули.

Приклад 1.1. Визначити густину рідини, якщо маса 1 літру її складає 820 г.

Для розв'язання цього прикладу скористаємось формулою (1.1) та підставимо усі величини у одиницях Сі

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,82}{0,001} = 820 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 1.2. Визначити густину метану, якщо його відносна густина дорівнює 0,556.

Для розв'язання цього прикладу скористаємось формулою (1.2.) та поясненнями до неї

$$\rho = \beta \cdot \rho_{\text{ст}} = 0,556 \cdot 1,2 = 0,668 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 1.3. Визначити густину повітря, якщо температура дорівнює  $-23^\circ\text{C}$  та тиск 765 мм.рт.ст.

Знаючи, що за стандартними умовами ( $T_{\text{ст}}=293 \text{ К}$  та  $p_{\text{ст}}=101325 \text{ Па}$ ) повітря має густину  $\rho_{\text{ст}}=1,2 \text{ кг/м}^3$ , згідно з рівнянням (1.5) робимо перерозрахунок:

$$\rho = \rho_{\text{ст}} \cdot \frac{p}{p_{\text{ст}}} \cdot \frac{T_{\text{ст}}}{T} = 1,2 \cdot \frac{102000}{101325} \cdot \frac{293}{250} = 1,416 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 1.4. Визначити динамічну в'язкість рідини, що має густину  $884 \text{ кг/м}^3$ , а кінематична в'язкість  $0,3 \text{ Ст (см}^2/\text{с)}$ .

З формули (1.11) знайдемо

$$\mu = \rho \cdot \nu = 884 \cdot 0,00003 = 0,0265 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Приклад 1.5. Визначити кінематичну в'язкість мінеральної олії при температурі  $70^\circ\text{C}$ , якщо при температурі  $50^\circ\text{C}$  вона має умовну в'язкість  $2,7^\circ\text{ВУ}_{50}$ .

Спочатку знаходимо кінематичну в'язкість олії при  $t=50^\circ\text{C}$  за формулою (1.12)

$$\nu_{50} = \left(0,0731 \cdot \text{ВУ}_{50} - \frac{0,0631}{\text{ВУ}_{50}}\right) \cdot 10^{-4} = \left(0,0731 \cdot 2,7 - \frac{0,0632}{2,7}\right) \cdot 10^{-4} = 0,221 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с},$$

а потім за формулою (1.15) знайдемо  $\nu$  при температурі  $t=70^\circ\text{C}$

$$\nu_{70} = \nu_{50} \left(\frac{50}{t}\right)^n = 0,221 \cdot 10^{-4} \left(\frac{50}{70}\right)^{1,93} = 0,115 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с},$$

де  $n=1,93$  – показник ступені, знайдений інтерполяцією з таблиці, що приведена на с.13 підручника /нижче формули (1.15)/.

### Задачі для самоперевірки

1.6. Визначити відносну густина метано-повітряної суміші, якщо її густина дорівнює  $0,87 \text{ кг/м}^3$ .

Відповідь:  $\delta=0,725$

1.7. Визначити густина метану при температурі  $30^\circ\text{C}$  та тиску  $740 \text{ мм.рт.ст.}$

Відповідь:  $\rho=0,629 \text{ кг/м}^3$

1.8. Визначити динамічну в'язкість олії, якщо її густина дорівнює  $910 \text{ кг/м}^3$ , а умовна в'язкість  $-3,1^\circ\text{ВУ}$ .

Відповідь:  $\mu=0,0188 \text{ Па}\cdot\text{с}$

1.9. Визначити кінематичну в'язкість повітря при температурі  $40^\circ\text{C}$ .

Відповідь:  $\nu=0,17\cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

1.10. Визначити динамічну в'язкість олії АМГ - 10 при температурі  $30^\circ\text{C}$  та тиску  $10 \text{ МПа}$ , якщо при нормальному атмосферному тиску та температурі  $50^\circ\text{C}$  його умовна в'язкість дорівнює  $1,84^\circ\text{ВУ}_{50}$ , а відносна густина  $0,85$ .

Відповідь:  $\mu=23,3\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$

### 2. ТИСК РІДИНИ, ЩО ПЕРЕБУВАЄ У СПОКОЇ

Загальні типи задач по матеріалу цієї теми розв'язуються з застосуванням загального рівняння гідростатики, тому необхідно спочатку розібрати, що зображує собою це рівняння та окремі його члени, чітко знати, що таке вакуум, манометричний та абсолютний тиски, в яких межах вони можуть змінюватись. Необхідно також ознайомитись з застосовуваними у техніці одиницями вимірювання тиску та перерахунком одних одиниць у інші (див. Додаток 1).

Для розв'язання задач з застосуванням загального рівняння гідростатики необхідно провести у однорідній рідині, що перебуває у спокої, горизонтальну площину, що є в даному випадку площиною рівного тиску (для зручності розв'язання має сенс проводити її по кордону розділу двох рідин). У характерних місцях цієї площини виділяють дві точки та записують для них рівняння рівноваги  $p_1=p_2$ , де  $p_1$  та  $p_2$  - абсолютні тиски у цих точках. Потім, згідно з основним рівнянням гідростатики замінюють  $p_1$  та  $p_2$  через звісні або іскові величини та знаходять іскову величину.

Приклад 2.1. Визначити показання вакуумметра  $p_v$  (мм.рт.ст.), якщо манометр показує  $p_m=0,45 \text{ кгс/см}^2$ ,  $H_1=0,75 \text{ м}$ ,  $H_2=350 \text{ мм}$ , відносна густина олії  $\delta_m=0,89$ .

Проведемо на межі розділу ртуті з водою площину рівного тиску, слід якої на чертежі - лінія 00, виділимо на ній точки 1 та 2 та запишемо рівняння:  $p_1=p_2$ .

У відповідності з загальним рівнянням гідростатики (2.9)

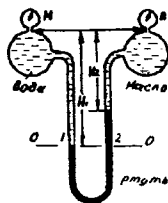
$$p_1 = p'_o + p_o g H_1 \text{ та}$$

$$p_2 = p''_o + \rho_w g H_2 + \rho_{pm} g (H_1 - H_2)$$

де  $p'_o$  та  $p''_o$  - абсолютні тиски рідини у верхніх точках резервуарів:

$$p'_o = p_o + p_w, \quad p''_o = p_o - p_v$$

Таким чином  $p_o + p_w + \rho_w g H_1 = p_o - p_v + \rho_w g H_2 + \rho_{pm} g (H_1 - H_2)$ ,



Звідки

$$p_a = \rho_m g H_2 + \rho_{pm} g (H_1 - H_2) - p_m - \rho_s g H_1 = 890 \cdot 9,81 \cdot 0,35 +$$

$$+ 13600 \cdot 9,81 \cdot (0,71 - 0,35) - 0,45 \cdot 98,1 \cdot 10^3 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,75 = 4920 \text{ Па}$$

$$h_a = \frac{p_a}{\rho_{pm} g} = \frac{4920}{13600 \cdot 9,81} = 0,369 \text{ м.рт.ст.} \approx 37 \text{ мм.рт.ст.}$$

Для побудовання епюри тиску – графічного зображення закону зміни тиску необхідно знати першу властивість гідростатичного тиску та основне рівняння гідростатики. Перша залежність дає якісну характеристику – показує, як діє тиск по відношенню до поверхні (стінки), а друга залежність дає кількісну характеристику – дає можливість вирахувати значення тиску в тій або іншій точці рідини (та примикаючої до неї стінки).

Приклад 2.2. Побудувати епюру збиткового тиску для контуру бокової стінки посудини, якщо височини стовпів рідин в посудині та їх відносні густини дорівнюють:

$$H_1 = 500 \text{ мм}, \delta_1 = 0,8, H_2 = 400 \text{ мм}, \delta_2 = 1.$$

Збитковий тиск на вільній поверхні рідини дорівнює нулю, таким чином, в точці А  $p_a = 0$ .

Збитковий тиск в точці В дорівнює

$$p_b = \rho_1 g H_1 = 800 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 4905 \text{ Па.}$$

Відкладемо у прийнятому масштабі значення тисків у кожній точці (у відповідності з першою властивістю гідростатичного тиску – нормально до стінки) та кінці відрізків з'єднуємо прямими лініями. Отримана фігура й буде епюрою збиткового тиску.

Розв'язання задач за допомогою закону Паскаля не викликає важкості, тому проілюструємо його на прикладі.

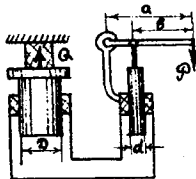
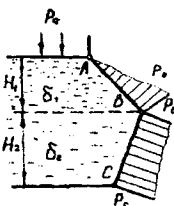
Приклад 2.3. Визначити зусилля  $Q$ , що стискує досліджуєми зразок у гідравлічному пресі, якщо до рукоятки важеля докладено зусилля  $\mathcal{P} = 200 \text{ Н}$ . Плечі важеля  $a = 500 \text{ мм}$ ,  $b = 450 \text{ мм}$ ; діаметри поршнів  $D = 480 \text{ мм}$ ,  $d = 40 \text{ мм}$ ; ККД системи  $\eta = 0,85$ .

У відповідності з правилом важеля зусилля, повідомлене малому поршню, може бути знайдено з вираження

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

Тиск рідини в малому циліндрі буде

$$p = \mathcal{P}' \cdot \frac{1}{\pi d^2} = \frac{2000}{3,14 \cdot 0,04^2} = 1,59 \cdot 10^6 = 1,59 \text{ МПа.}$$





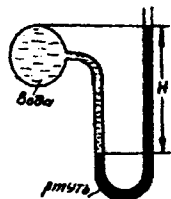
У відповідності з принципом Паскаля цей тиск передається однаково в усі боки, у тому числі й великому поршню, отже

$$Q = p \frac{\pi D^2}{4} \eta = 1,59 \cdot 10^6 \frac{\pi \cdot 0,48^2}{4} 0,85 = 244400 \text{ Н} \approx 244 \text{ кН}.$$

#### Задачі для самоперевірки.

2.4. Визначити абсолютний тиск води у верхній точці закритого резервуару, якщо різниця рівнів ртуті в U-образній трубці  $H=300$  мм, а показ барометра  $p_a=960$  мбар.

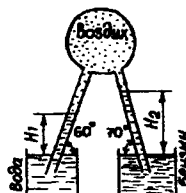
Відповідь:  $p_x=133$  кПа.



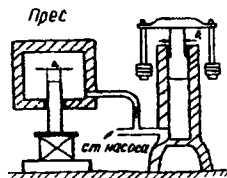
2.5. Визначити височину рівня бензину в правій трубці  $H_2$  (мм), якщо в лівій трубці вода піднялась на височину  $H_1=0,4$  м.

Відносна густина бензину  $\delta_6=0,72$ .

Відповідь:  $H_2=555$  мм.



2.6. Визначити зусилля, яке може розвинути гідравлічний прес при штампівці виробу, якщо маса рами з вагою гідравлічного акумулятора  $m=20$  т, діаметри поршнів: гідроакумулятора  $D_1=100$  мм, преса  $D_2=250$  мм. Масою поршнів та тертям в у щільненнях знехтувати.



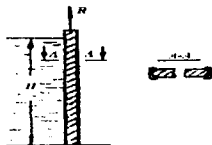
Відповідь:  $F=1,23$

### 3. СИЛА ТИСКУ РІДИНИ НА СТІНКИ. ЗАКОН АРХІМЕДА

Розв'язання задач з матеріалу цієї теми виконується по формулам, що наведені в підручнику на с. 27-54. Однак, дуже часто для розв'язання задач треба застосувати спочатку закони теоретичної механіки (рівняння рівноваги сил, рівняння рівноваги моментів сил), а потім використовувати закони гідравліки, що виконують в даному випадку другорядну роль – вони дозволяють знайти силу тиску рідини на будь-яку поверхню (стінку) або точку її прикладення (див., наприклад, с. 29 підручника).

При розв'язанні задач на криволінійні стінки та необхідності знаходження вертикальної складової сили тиску на таку стінку треба спочатку розібрати та уяснити поняття про тіло тиску, освоїти методику його знаходження, розібрати наведені на с.32 підручника приклади тіл тиску.

Приклад 3.1. Прямокутний металевий щит масою  $m=3$  т та шириною  $B=2$  м перегороджує канал та може



переміщуватись в вертикальному напрямі в двох бокових напрямних, що виготовлені з швелерів. Визначити силу  $R$ , яку необхідно докласти до щита для його підйому, якщо височінь води в каналі  $H=3$  м, а коефіцієнт тертя щита у напрямних  $f=0,25$ .

Розглянемо спочатку які сили діють на щит, та як вони направлені. Окрім сили  $R$ , що направлена вертикально в гору, на щит ще діє сила ваги  $G$  та сила тертя  $T$ , що направлена вертикально вниз. Таким чином умова рівноваги буде:

$$R-G-T=0 \text{ звідки } R=G+T,$$

$$\text{де } G=mg=3000 \cdot 9,81=29430 \text{ Н,}$$

$$T=\rho g h_c F f,$$

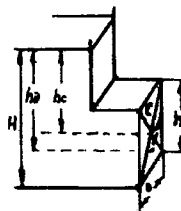
де  $F=B \cdot H=2 \cdot 3=6 \text{ м}^2$  – площа щита, що змочена водою,

$h_c=H/2=3/2=1,5 \text{ м}$  – вертикальна координата центру ваги площини  $F$ .

$$T=1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 0,25=22070 \text{ Н.}$$

$$R=29430+22070=51500 \text{ Н}=51,5 \text{ кН.}$$

Приклад 3.2. Визначити силу тиску води  $\mathcal{P}$  на прямокутну перемичку та вертикальну координату центру тиску  $h_d$ , якщо височінь перемички  $h=2,2$  м, а ширина  $b=3$  м; височінь поверхні води над ґрунтом  $H=4$  м.



Сила тиску води на перемичку за формулою (2.22):

$$\mathcal{P}=\rho g h_c F=1000 \cdot 9,81 \cdot 2,9 \cdot 6,6=188000=188 \text{ кН,}$$

де  $h_c=H-h/2=4-2,2/2=2,9 \text{ м}$  – вертикальна координата центру ваги перемички – відстань по вертикалі від центру ваги (точки  $C$ ) до вільної поверхні рідини;

$F=b \cdot h=3 \cdot 2,2=6,6 \text{ м}^2$  – площа перемички.

Вертикальна координата центру тиску – точки прикладення сили тиску  $\mathcal{P}$  (точки  $D$ ) за формулою (2.25)

$$h_d = h_c + \frac{J_c}{h_c \cdot F} = 2,9 + \frac{2,66}{2,9 \cdot 6,6} = 3,04 \text{ м,}$$

де  $J_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3,2 \cdot 2^3}{12} = 2,66 \text{ м}^4$  – момент інерції площини стінки

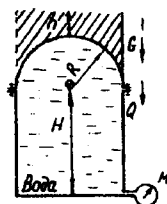
(перемички) відносно горизонтальної осі, що проходить через її центр ваги.

Примітка. Через те що стінка вертикальна, то в формулі (2.25)  $u_d=h_d$ , а  $u_c=h_c$ .

Приклад 3.3. Визначити силу, що діє на болти, що утримують напівсферичну кришку радіусу  $R=1$  м на циліндричному резервуарі височиною  $H=2$  м, якщо показ манометра  $p_m=0,4 \text{ кгс/м}^2$ , а маса кришки  $m=264 \text{ кг}$ .

На цю кришку діють сила тиску води  $\mathcal{P}$ , сила ваги кришки  $G$  та реакція болтів  $Q$ .

Сила ваги кришки прямує вертикально вниз та дорівнює



$$G=mg=264 \cdot 9,81=2590 \text{ Н.}$$

Сила тиску води на кришку може бути знайдена за формулою (2.26), однак, через те що кришка (криволінійна стінка) розташована симетрично вертикальної осі, то горизонтальні складові сили тиску  $\mathcal{P}_x=0$  та  $\mathcal{P}_y=0$ , а, отже  $\mathcal{P} = \sqrt{\mathcal{P}_z^2} = \mathcal{P}_z = \rho g V$ , де  $V$  – об'єм тіла тиску. У відповідності з визначенням, наведеним на с. 31-32 підручника, об'єм тіла тиску в даному випадку є різниця об'ємів циліндра радіуса  $R$  та височиною  $(R+h)$  та напівсфери радіуса  $R$  (див. заштрихований об'єм на малюнку), т.ч.

$$V = \pi R^2 (h + R) - \frac{1}{2} \frac{4}{3} \pi R^3, \text{ де } h = \frac{P_M}{\rho g} - (H + R) \text{ тоді}$$

$$V = \pi R^2 \left( \frac{P_M}{\rho g} - H - R + R \right) - \frac{2}{3} \pi R^3 = \pi R^2 \left( \frac{P_M}{\rho g} - H - \frac{2}{3} R \right) =$$

$$= \pi \cdot 1^2 \left( \frac{0,4 \cdot 9,81 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81} - 2 - \frac{2}{3} \cdot 1 \right) = 4,189 \text{ м}^3$$

через те що об'єм тіла тиску не заповнений рідиною, воно є фіктивним та  $\mathcal{P}_z = \mathcal{P}$  прямує вертикально вгору.

Отже, рівняння рівноваги діючих сил буде

$$\mathcal{P} - Q - G + \mathcal{P} = 0, \text{ де } \mathcal{P} = \rho g V = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,189 = 41090 \text{ Н.}$$

Тоді  $Q = \mathcal{P} - G = 41090 - 2590 = 38500 \text{ Н} = 38,5 \text{ кН.}$

Розв'язання задач з застосуванням закону Архімеда не викликає звичайно труднощів у студентів, тому розв'яжемо конкретний приклад.

Приклад 3.4. Понтон, що має форму паралелепіпеда, з розмірами : довжина  $L=4$  м, ширина  $B=2$  м, височінь  $H=0,7$  м та масою  $m_0=800$  кг плаває у воді.

Визначити найбільшу вантажопідйомність понтона  $m_{\max}$  якщо височінь його бортів над ватерлінією  $e=0,2$  м.

Понтон знаходиться у рівновазі під дією сил ваги вантажу  $Q$  та понтону  $G_0$ , та Архімедової сили  $\mathcal{P}$ .

$$\mathcal{P} - Q_{\max} - G_0 + = 0, \text{ звідки } Q_{\max} = \mathcal{P} - G_0 = - m_0 g.$$

У відповідності з законом Архімеда

$$\mathcal{P} = \rho g V = \rho g B L h = \rho g B L (H - e) = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot (0,7 - 0,2) =$$

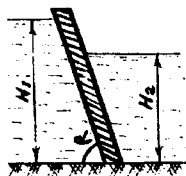
$$= 39240 \text{ Н}$$

Тоді  $Q_{\max} = 39240 - 800 \cdot 9,81 = 31400$  Н, а  $m_{\max} = \frac{Q_{\max}}{g} = \frac{31400}{9,81} = 3200$  кг.

### Задачі для самоперевірки.

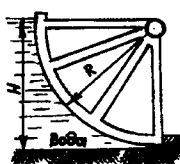
3.5. Визначити наслідкову сил тиску води на щит, що перегороджує канал прямокутної форми шириною  $B=2,5$  м, якщо  $H_1=3$  м,  $H_2=1,8$  м,  $\alpha=60^\circ$ .

Відповідь:  $\mathcal{P} = 816$  кН.



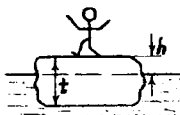
3.6. Визначити силу тиску води на циліндричний затвор платини, а також кут нахилу до горизонту лінії дії цієї сили, якщо ширина затвору  $B=4$  м, а радіус  $R=2$  м.

Відповідь:  $\mathcal{P} = 146$  кН;  $\alpha = 57^\circ 30'$ .



3.7. Визначити височінь виступаючої над водою частини крижини  $h$ , якщо площина крижини  $F=7$  м<sup>2</sup>, а її товщина  $t=400$  мм, маса людини  $m=70$  кг, відносна густина криги  $\delta_k=0,9$ .

Відповідь:  $h=30$  мм.



## 4. КІНЕМАТИКА РІДИНИ.

Розв'язання задач з матеріалу цієї теми, частіше за все, не визиває важкості у студентів, що пропрацювали по підручнику теоретичний матеріал (с.40-45), бо зводяться звичайно до підставлення відомих числових даних у розрахункові формули.

Приклад 4.1. Визначити масову витрату метано-повітряної суміші в шахтному дегазаційному газопроводі діаметром  $d=150$  мм, якщо її середня швидкість  $v=14$  м/с, а густина  $\rho=0,65$  кг/м<sup>3</sup>.

Згідно з формулою (3.13) знайдемо

$$Q_m = \rho \vartheta \omega = \rho \vartheta \frac{\pi d^2}{4} = 0,65 \cdot 14 \cdot \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} = 0,161 \text{ кг/с.}$$

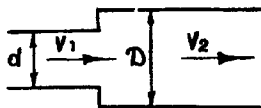
Приклад 4.2. Визначити середню швидкість води в шахтному водовідливному трубопроводі діаметром  $d=200$  мм, якщо подача насоса (витрата води в трубопроводі)  $Q=290$  м<sup>3</sup>/г.

По формулі (3.11) знайдемо  $\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0806}{\pi \cdot 0,2^2} = 2,57$  м/с.

Приклад 4.3. Визначити гідравлічний радіус шахтної виробки, що має перетин в світі  $3,7$  м<sup>2</sup> та периметр  $7,8$  м.

По формулі (3.5) знайдемо  $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{3,7}{7,8} = 0,474 \text{ м.}$

Приклад 4.4. Визначити середню швидкість олії в широкій перетині трубопроводу  $v_2$ , якщо його середня швидкість у вузькій перетині  $v_1=1,25 \text{ м/с}$ , а діаметри труб  $d=100 \text{ мм}$  та  $D=125 \text{ мм}$ .



У відповідності з рівнянням нерозривності потоку (3.22) знаходимо

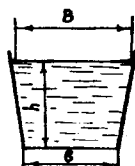
$$Q_2 = Q_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = Q_1 \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1,25 \left(\frac{0,1^2}{0,125^2}\right) = 0,8 \text{ м/с.}$$

**Задачі для самоперевірки.**

4.5. Визначити витрату повітря в каналі шахтного вентиляційного пристрою, якщо його середня швидкість  $v=12 \text{ м/с}$ , а розміри каналу: ширина  $b=4540 \text{ мм}$ , височінь  $h=3800 \text{ мм}$ .

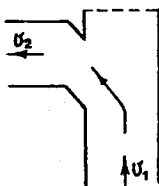
Відповідь:  $Q=207 \text{ м}^3/\text{с}$ .

4.6. Визначити гідравлічний радіус каналу трапецеїдального розтину з розмірами :  $h=2 \text{ м}$ ,  $b=3 \text{ м}$ ,  $B=4 \text{ м}$ .



Відповідь:  $R=0,983 \text{ м}$ .

4.7. Визначити середню швидкість повітря у вентиляційному стволі шахти  $v_1$ , якщо середня швидкість повітря у суміжному до ствола каналі вентиляторного приладу  $v_2=12 \text{ м/с}$ , діаметр ствола  $D=5 \text{ м}$ , а розміри каналу  $4800 \cdot 4000 \text{ мм}$ .



Відповідь:  $v_1=11,7 \text{ м/с}$ .

## 5. РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ.

Рівняння Бернуллі є одним з загальних рівнянь гідравліки, на базі якого виводиться ціла низка розрахункових залежностей для різноманітних випадків руху рідини, а також розв'язуються багато практичних задач, тому його вивченню треба приділити багато уваги. Необхідно уяснити та чітко уявити собі енергетичну та гідравлічну суть рівняння Бернуллі, що, виявляють окремі члени рівняння, які напори вимірюються трубкою Піто та п'єзометром, що встановлені у будь якому перетині трубопроводу, а також як вони повинні розміщуватися для вірного вимірювання напорів.

Особливу увагу треба приділити застосуванню рівняння Бернуллі для розв'язання практичних задач. Звичайно для розв'язання задач по схемі потоку проводять два живих розтину та площину порівняння – горизонтальну площину, відносно якої порівнюються запаси питомої енергії у вибраних

перетинах. Площина порівняння може бути проведена у будь-якому місці, однак зручніше її проводити через центр ваги одного з перетинів, бо в цьому випадку  $z_1$  або  $z_2$  буде дорівнювати нулю.

Перетини проводять нормально до напрямку руху рідини, а місця їх проведення вибирають так, щоб перетини були плоскими (на прямолінійних ділянках потоку постійного перетину), а також, щоб в одному з них були відомі величини, що входять до рівняння Бернуллі ( $v$ ,  $p$ ,  $z$ ), а в другому – одна невідома, але іскома величина. Звичайно такими місцями є вільна поверхня рідини, вихід з трубопроводу, місцеві підключення вимірюючих приладів та інші. Перетини рекомендують нумерувати по ходу рідини, бо в цьому випадку член, що враховує витрати напору ( $H_{\text{пот}}$ ), буде завжди знаходитись в правій частині рівняння Бернуллі, та буде мати знак «+».

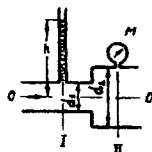
В тих випадках, коли не вдається вибрати два перетину так, щоб невідомою була тільки одна величина, треба проводити більше двох перетинів, або використовувати одно з раніше використаних рівнянь (звичайно таким рівнянням є рівняння нерозривності потоку).

Для вибраних перетинів записується рівняння Бернуллі, в нього підставляються числові значення відомих величин та розраховується значення іскомої величини.

При рівномірному руху (а, як було вказано вище, перетини як раз й вибираються на прямолінійних ділянках потоку, де має місце рівномірний рух) можна приймати для потоків з маленькими живими перетинами (наприклад в трубопроводах): при турбулентному режимі руху  $\alpha=1$ , при ламінарному режимі руху  $\alpha=2$ ; більш докладно режими руху та витрати напору розглядаються в наступній темі.

Треба пам'ятати, що при підстановці тисків в обидві сторони рівняння Бернуллі треба підставляти одноіменні тиски (абсолютні або збиткові). Краще підставляти абсолютні тиски ( $p=p_a+p_m$  або  $p=p_a-p_m$ ), бо в одному з розтинів може бути манометричний тиск, а в іншому – вакуум, то недолік знаку може привести до помилки в визначенні іскомої величини.

5.1. Визначити показання манометра  $p_m$  (мм.рт.ст.), якщо прийняти, що по трубопроводу рухається ідеальна рідина з відносною щільністю  $\delta=0,9$ , височінь рівня рідини у п'езометрі  $h=400$  мм, витрата рідини  $Q=180$  м<sup>3</sup>/г, а діаметри труб  $d_1=100$  мм, та  $d_2=125$  мм.



Проведемо два перетину по потоку рідини в трубопроводі: I – в місці підключення п'езометра, II – в місці підключення манометра та площину порівняння – по осі потоку (слід її на схемі – лінія 00).

Запишемо рівняння Бернуллі (4.12) для вибраних перетинів потоку ідеальної

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

В цьому випадку для вибраних перетинів:

– швидкості рідини у відповідності з рівнянням (3.11)

$$u_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d^2}, \dots, u_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{4Q}{\pi d^2};$$

– абсолютні тиски рідини  $p_1 = p_a + \rho gh$ ,  $p_2 = p_a + p_m$ ;

– відстані центрів ваги перетинів від прийнятої площини порівняння  $z_1 = 0$  та  $z_2 = 0$ , бо центри ваги перетинів знаходяться на площині порівняння.

Звичайно усе, що записано раніше, записують стисло, як показано в таблиці.

Підставивши ці значення параметрів в рівняння Бернуллі, одержуємо

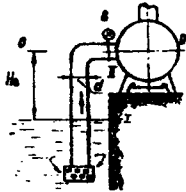
	$v$	$p$	$z$
I	$\frac{4Q}{\pi d_1^2}$	$p_a + \rho gh$	0
II	$\frac{4Q}{\pi d_2^2}$	$p_a + p_m$	0

$$\frac{16Q^2}{2g\pi^2 d_1^4} + \frac{p_a + \rho gh}{\rho g} + 0 = \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d_2^4} + \frac{p_a + p_m}{\rho g} + 0, \text{ звідки}$$

$$p_m = \rho g \left[ \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left( \frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right) + h \right] = 900 \cdot 9,81 \frac{8 \cdot 0,05^2}{\pi^2 \cdot 9,81} \left[ \left( \frac{1}{0,1^2} - \frac{-1}{0,125^2} \right) + 4 \right] =$$

$$= 15040 \text{ Па} = 113,5 \text{ мм.рт.ст.}$$

Приклад 5.2. Визначити геометричну височінь всмоктування насоса (відстань по вертикалі від осі насоса до вільної поверхні рідини в колодязі)  $H_{вс}$ , якщо діаметр всмоктуючого трубопроводу  $d=200$  мм, подача насоса  $Q=223$  м<sup>3</sup>/г, показ вакуумметра  $h_v=515$  мм рт.ст., втрати напору у всмоктуючому трубопроводі  $H_{вт}=2,8$  м.



Проведемо два розтини: I – по вільній поверхні води у колодязі, II – по потоку в трубопроводі в місці підключення вакуумметра, та площину порівняння – по осі насоса (слід її на схемі – лінія 00).

Запишемо рівняння Бернуллі (4.31) для вибраних перетинів потоку реальної рідини

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + H_{вт}.$$

В цьому випадку:

– швидкість води в трубопроводі (перетині II) у відповідності з рівнянням

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,062}{\pi \cdot 0,2^2} = 1,97 \text{ м/с};$$

– швидкістю води в I перетині можна знехтувати ( $v_1 \approx 0$ ), бо її значення у порівнянні з швидкістю води в трубопроводі дуже мале (якщо врахувати, що діаметр колодязя  $D$ , що найменше, в 5-6 разів більше за  $d$ , то  $v_1 = v_2 (d:D)^2 = v_2 (1:5)^2 = 0,04 v_2$ , а тому що швидкість входить до першого члену рівняння Бернуллі в квадраті, то  $H_{вт1} = 0,0016 \cdot H_{вт2}$ ); абсолютні тиски в вибраних перетинах:

$$p_1 = p_a, p_2 = p_a - p_B, \text{ де } p_B = \rho_{рт} g h = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,515 = 68700 \text{ Па};$$

– відстані центрів ваги вибраних перетинів від прийнятої площини порівняння:  $z_1 = -H_{BC}$ ,  $z_2 = 0$  (знак “-” в першому випадку поставлено тому, що центр ваги I розтину знаходиться нижче площини порівняння);

– коефіцієнт Кориоліса  $\alpha_2$  може бути прийнятий рівним одиниці, бо при руху води в трубах зі звичайними швидкостями має місце турбулентний режим руху (детальніше про це див. Тему 6);

– значення  $\alpha_1$  не представляє в даному випадку інтересу, бо  $v_1 = 0$ .

Запишемо в таблицю знайдені значення параметрів.

	$\alpha$	$v$	$p$	$z$
I	-	0	$p_a$	$-H_{BC}$
II	1	$\frac{4Q}{\pi d_2^2}$	$p_a + p_B$	0

Підставивши ці значення до рівняння Бернуллі, одержуємо

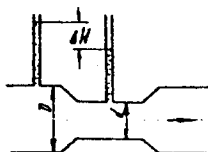
$$0 + \frac{p_a}{\rho g} - H_{BC} = \frac{1 \cdot g^2}{2g} + \frac{p_a - p_B}{\rho g} + 0 + H_m, \text{ звідки}$$

$$H_{BC} = \frac{p_B}{\rho g} - \frac{g^2}{2g} - H_m = \frac{68700}{1000 \cdot 9,81} - \frac{1,97^2}{2 \cdot 9,81} - 2,8 = 4 \text{ м.}$$

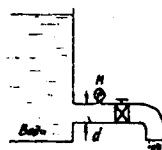
**Задачі для самоперевірки.**

5.2. Визначити витрату води в трубопроводі  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), якщо різниця рівнів в п'езометрах  $\Delta H = 94$  мм, а діаметри труб:  $d = 200$  мм,  $D = 400$  мм. Витратами напору знехтувати.

Відповідь:  $Q = 158 \text{ м}^3/\text{г}$ .



5.3. Визначити показ манометра при закритому крані  $p_m'$  ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), якщо при відкритому крані манометр показує  $p_m = 0,05 \text{ кгс}/\text{см}^2$ , витрата води через кран  $Q = 44,2 \text{ м}^3/\text{год}$ , діаметр труби  $d = 50$  мм. Втратами напору на вході знехтувати. Відповідь:  $p_m' = 0,25 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .



## Тема 6. РЕЖИМИ РУХУ РІДИНИ. ГІДРАВЛІЧНІ ОПОРИ.

Задачі з матеріалу цієї теми розв'язуються аналогічно 5-му розділу з використанням рівняння Бернуллі. Особливостями цих задач є необхідність визначення режиму руху рідини та обчислення втрат напору. Для цього студентам необхідно пропрацювати по підручнику с. 64-88.

Слід пам'ятати, що втрати напору в одних и тих же трубах, виробках та ін., а також в місцевих опорах окрім ряду інших факторів у значній мірі



залежать від режиму руху протікаючих по ним потоків. Залежить від режиму руху й коефіцієнт Кориоліса  $\alpha$ , що входить в перші члени рівняння Бернуллі (див. методвказівки до теми 5). Тому, перед тим як приступати до розв'язання задач, в котрих розглядається рух реальних рідин, необхідно встановити режим руху, що має місце в тому чи іншому випадку.

При руху таких малов'язких рідин як вода, повітря, бензин та ін. в трубах звичайних діаметрів ( не капілярах) зі звичайними швидкостями перевірку режиму руху можна і не робити – він завжди буде турбулентним, а при руху в'язких рідин ( різноманітних олій, мазуту, нафти, та ін.) завжди треба знайти число Рейнольдса й порівняти його з критичним значенням (для прямих труб круглого перетину  $Re_{кр}=2320$ ).

При розв'язанні наведених нижче контрольних задач на цю тему для вирахування коефіцієнту Дарсі  $\lambda$  можна користуватись формулами: при ламінарному режимі руху  $\lambda=64:Re$  (5.21), при турбулентному режимі руху  $\lambda = 1 : (1,74 + 2 \lg \frac{d}{2\Delta})^2$  (5.35). Значення коефіцієнтів місцевих опорів  $\zeta$  треба приймати з додатку 3 до справжніх методвказівок.

Приклад 6.1. Насос перекачує по трубопроводу діаметром  $d=100$  мм та довжиною  $L=133$  м  $Q_m=36$  т/г нафти, відносна густина якої  $\delta_n=0,85$ , а в'язкість  $15^\circ BU$ . Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>). Місцевими опорами знехтувати.

Тому, що в трубопроводі рухається рідина, що має значну в'язкість, визначимо спочатку режим її руху.

Середня швидкість руху нафти у відповідності з формулою (3.13)

$$v = \frac{Q_T}{\rho_n \omega} = \frac{4Q}{\pi d^2 \rho_n} = \frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 850} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Кінематична в'язкість нафти у відповідності з формулою (1.12)

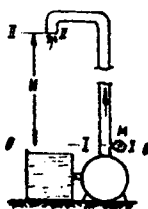
$$\nu = (0,0731 \cdot \text{ } ^\circ BU - \frac{0,0631}{\text{ } ^\circ BU}) \cdot 10^{-4} = (0,0731 \cdot 15 - \frac{0,0631}{15}) \cdot 10^{-4} = 1,093 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с.}$$

Число Рейнольдса у відповідності з формулою (5.6)

$$Re = \frac{v d}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 0,1}{1,093 \cdot 10^{-4}} = 1370.$$

Тому що  $Re=1370 < Re_{кр}=2320$ , то режим руху нафти в трубопроводі – ламінарний.

Проведемо по потоку в трубопроводі два перетини: I – в місці підключення манометра, II – в місці виходу нафти з трубопроводу та площину порівняння – по I



	$\alpha$	$v$	$p$	$z$
I	2	$v$	$p_a + p_m$	0
II	2	$v$	$p_a$	H

перетину (слід її на схемі – лінія 00). Запишемо для цих двох перетинів рівняння Бернуллі та підставимо в нього значення величин, що приведені в таблиці

$$\frac{\alpha_1 \mathcal{G}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{\alpha_2 \mathcal{G}_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + H_{\text{м.н.}}$$

$$\frac{2\mathcal{G}^2}{2g} + \frac{p_o + p_M}{\rho_H g} + 0 = \frac{2\mathcal{G}^2}{2g} + \frac{p_o}{\rho_H g} + H + H_{\text{м.н.}}$$

Тому що по умові втратами напору в місцевих опорах можна знехтувати, то  $H_{\text{м.н.}} = H_{\text{д.н.}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\mathcal{G}^2}{2g}$ ,

де  $\lambda$  – коефіцієнт Дарсі, який при ламінарному режимі руху дорівнює  $\lambda = 64 / \text{Re} = 64 / 1370 = 0,0467$  /див. формулу (5.21)/.

Таким чином

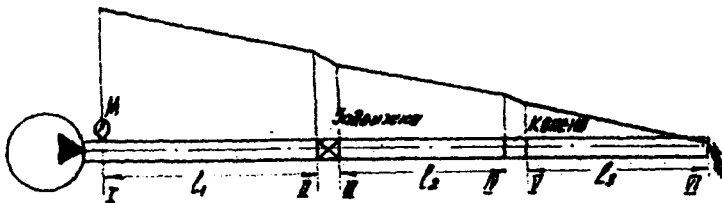
$$p_M = \rho_H g \left( H + \lambda \frac{l}{d} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \right) = 850 \cdot 9,81 \cdot \left( 20 + 0,0467 \frac{133}{0,1} \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} \right) =$$

$$= 226000 \text{ Па} = 2,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Приклад 6.2. Насос подає воду по горизонтальному водопроводу з внутрішнім діаметром труб  $d=200$  мм та височиною виступів шорсткості  $\Delta=0,5$  мм. Довжини прямолінійних ділянок  $l_1=80$  м,  $l_2=60$  м,  $l_3=70$  м. В трубопроводі мається засувка Лудло, що відкрита наполовину, та коліно з закругленням  $R=125$  мм під кутом  $80^\circ$ . Визначити показ манометра  $p_M$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата води  $Q=360$  м<sup>3</sup>/г, а також збудувати п'єзометричну лінію.

Проведемо площину порівняння по осі трубопроводу та два перетину: I – в місці встановлення манометра, VI – в місці виходу води з трубопровода та запишемо для них рівняння Бернуллі

$$\frac{\alpha_1 \mathcal{G}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{\alpha_2 \mathcal{G}_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + H_{\text{м.н.}}$$



Для цього випадку:

Як слідство  $\frac{g^2}{2g} + \frac{P_a + P_M}{\rho g} + 0 = \frac{g^2}{2g} + \frac{P_a}{\rho g} + 0 + H_{sm}$ , звідки

$$P_M = \rho g H_{sm} = \rho g \left( \lambda \frac{\sum l}{d} \cdot \frac{g^2}{2g} + \sum \zeta \frac{g^2}{2g} \right). (*)$$

Визначимо середню швидкість руху води з рівняння (3.11)

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,1}{\pi \cdot 0,2^2} = 3,19 \text{ м/с.}$$

З рівняння (5.6) знайдемо число Рейнольдса

$$Re = \frac{g \cdot d}{\nu} = \frac{3,19 \cdot 0,2}{0,01 \cdot 10^{-4}} = 638000.$$

Тому що  $Re=638000 > Re_{кр}=2320$ , то режим руху води турбулентний. Як видно з графіка Нікурадзе (див. мал. 5.9 підручника) при  $Re=638000$  та  $\Delta:d=0,0025$  труби є гідравлічно шорсткими, тому для визначення коефіцієнту Дарсі  $\lambda$  можна скористуватись формулою Нікурадзе (5.35)

$$\lambda = \frac{1}{\left[ 1,74 + 2 \lg \left( \frac{d}{2\Delta} \right) \right]^2} = \frac{1}{\left[ 1,74 + 2 \lg \left( \frac{0,2}{2 \cdot 0,0005} \right) \right]^2} = 0,0249.$$

З таблиць додатку 3 знаходимо значення коефіцієнтів місцевих опорів: засувки Лудло при  $x:d=1/2$  –  $\zeta_k=2,06$ , коліна з закругленням при  $d:R=0,2:0,125=1,6$  та  $\alpha=90^\circ$  –  $\zeta_k=1,097$ ; при  $\alpha=80^\circ$  –

$$\zeta_k = \zeta \left( \frac{180^\circ - \alpha}{90^\circ} \right) = 1,097 \cdot \frac{180 - 80}{90} = 1,218.$$

Підставляючи знайдені значення до рівняння (\*), одержуємо

$$P_M = 1000 \cdot 9,81 \left[ 0,0249 \frac{80 + 60 + 70}{0,2} \cdot \frac{3,19^2}{2 \cdot 9,81} + (2,06 + 1,218) \cdot \frac{3,19^2}{2 \cdot 9,81} \right] =$$

$$= 149700 \text{ Па} = 1,53 \text{ кгс/см}^2.$$

Для побудування п'єзометричної лінії розіб'ємо увесь трубопровід перетинами I,II,III,IV,V,VI на окремі ділянки та визначимо з рівнянь (5.1) та (5.5) втрати напору на кожній ділянці трубопроводу (між двома сусідніми перетинами), а потім знайдемо п'єзометричні напори у всіх перетинах, знаючи,

що  $H_{n_1} = \frac{P_{M_1}}{\rho g} = 0$ , а  $H_{n_2} = \frac{P_{M_2}}{\rho g} = 15,26$  м. Результати розрахунків наведені

нижче:

Ділянка	V-VI	IV-V	III-IV	II-III	I-II
$H_{sm}$ , м	4,52	0,632	3,874	1,069	5,166

Розтин	VI	V	IV	III	II	I
$H_n, \text{ м}$	0	4,52	5,15	9,03	10,1	15,26

Відкладаючи у прийнятному масштабі значення  $H_n$  у відповідних перетинах нормально осі потоку та поєднуючи кінці цих відрізків прямими лініями, одержуємо п'єзометричну лінію (див.схему).

Приклад 6.3. Визначити потужність  $N_n$  (кВт), що втрачається потоком води при переміщенні останнього по трубопроводу в умовах попередньої задачі.

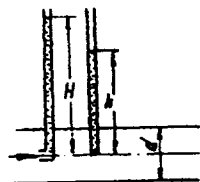
У відповідності з рівнянням (4.38)

$$N_n = \rho g H_n Q = p_n Q = 149700 \cdot 0,1 = 14970 \text{ Вт} = 14,97 \text{ кВт}.$$

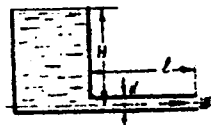
**Задачі для самоперевірки.**

6.4. Визначити режим руху рідини по трубопроводу діаметром  $d=50$  мм, якщо рівні рідини в трубках  $H=670$  мм та  $h=230$  мм, а в'язкість рідини  $1,2^\circ \text{ ВУ}$ .

Відповідь: турбулентний, бо  $Re=41700$ .

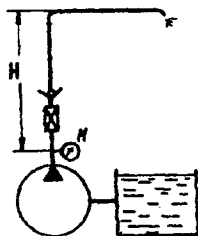


6.5. Визначити довжину трубопроводу  $l$  (м), що підключений до резервуара з нафтою висотиною  $H=12$  м, якщо витрата по ньому дорівнює  $Q_m=100$  т/г. Відносна густина нафти  $\delta_n=0,92$ , умовна в'язкість  $15^\circ \text{ ВУ}$ . Коефіцієнт опору входу в трубу прийняти  $\zeta=0,73$ .



Відповідь:  $l=274$  м.

6.6. Визначити височину нагнітання  $H$  (м), якщо по шахтному водовідливному трубопроводу діаметром  $d=100$  мм з абсолютною шорсткістю труб  $\Delta=0,2$  мм та довжиною  $l=142$  м переміщується  $Q=58$  м<sup>3</sup>/г води. Ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d=5/8$ , кут відкриття пластини зворотного клапана  $\alpha=60^\circ$ , радіус закруглення коліна  $R=83$  мм. Показання манометра  $p_m=12,8$  кгс/см<sup>2</sup>.



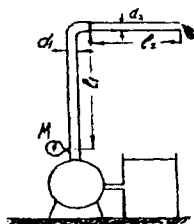
Відповідь:  $H=120$  м.

## 7. РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ.

Задачі з матеріалу цієї теми можуть розв'язуватись аналогічно попередньому з застосуванням рівняння Бернуллі, однак простіше їх розв'язувати, використовуючи одержане з рівняння Бернуллі рівняння напірної характеристики трубопроводу (6.10). Для визначення втрат напору в трубопроводі в цих задачах треба користуватись узагальненими параметрами – див. (6.3) або (6.4). Втрати напору при послідовному та паралельному з'єднанні окремих простих трубопроводів можуть бути знайдені по формулам (6.15) та

(6.22). Для розв'язання задач з цієї теми необхідно пропрацювати по підручнику с. 88 – 100.

Приклад 7.1. Визначити витрату води по трубопроводу, що складається з двох ділянок сталених не нових безшовних гарячекатаних труб (ГОСТ 8732 – 78) довжиною  $l_1=270$  м та  $l_2=430$  м з товщиною стінок  $\delta=3$  мм та зовнішніми діаметрами  $d_{31}=70$  мм та  $d_{32}=89$  мм (1-а ділянка трубопроводу розташована вертикально, а 2-а ділянка – горизонтально). Показ манометра  $p_m=32$  кгс/см<sup>2</sup>. Місцевими опорами знехтувати.



Для розв'язання цієї задачі скористаємось рівнянням

$$\text{напірної характеристики трубопроводу (6.10)} \quad H = \frac{P_s - P_n}{\rho g} + H_f + H_{\text{зм}}.$$

В цьому випадку: повний напір в трубопроводі (якщо знехтувати швидкісним напором)  $H = \frac{P_s}{\rho g}$ ; початкове  $p_n$  та кінцеве  $p_k$  тиски дорівнюють атмосферному; геометрична височина  $H_f=l_1$  (височині підйому води), а втрати напору з рівнянь (6.15) та (6.3) або (6.4)

$$H_{\text{ном}} = aQ^2 = (a_1 + a_2)Q^2 = (A_{\text{дл}1}l_1 + A_{\text{дл}2}l_2)Q^2 \text{ або}$$

$$H_{\text{ном}} = \left( \frac{l_1}{k_1^2} + \frac{l_2}{k_2^2} \right) Q^2.$$

Таким чином  $\frac{P_s}{\rho g} = 0 + l_1 + (A_{\text{дл}1}l_1 + A_{\text{дл}2}l_2)Q^2$ , звідки

$$Q = \sqrt{\frac{P_s - l_1 \rho g}{A_{\text{дл}1}l_1 + A_{\text{дл}2}l_2}}.$$

Звертаємось до таблиці узагальнених параметрів (див. додаток 2) та знаходимо значення одиничних опорів по довжині для заданих діаметрів та товщин стінок:  $A_{\text{дл}1}=1010$  с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> та  $A_{\text{дл}2}=991$  с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>. Тому що витрата, а як слідство, й швидкості води в трубах невідомі, то визначити поправочний коефіцієнт  $k_1$  неможливо, тому приймемо його доки рівним 1, а після знаходження витрат та швидкостей перевіримо та, якщо треба, зробимо уточнення. Підставимо знайдені значення  $A_{\text{дл}}$  в останнє рівняння та розрахуємо витрату

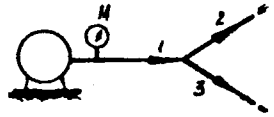
$$Q = \sqrt{\frac{32 \cdot 9,81 \cdot 10^4}{4010 \cdot 270 + 991 \cdot 430} - 270} = 5,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 20,8 \text{ м}^3/\text{г}.$$

Перевірка. Визначимо швидкості води в трубах по формулі (3.11):

$$g_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 5,77 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,063^2} = 1,85 \text{ м/с}, \quad g_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 5,77 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,082^2} = 1,093 \text{ м/с}.$$

Тому що  $g_2 = 1,093 \text{ м/с} < g = 1,2 \text{ м/с}$ , то знайдемо методом інтерполяції поправочний коефіцієнт  $k_1 = 1,015$  (див. примітки до додатку 2) та уточнюємо значення  $A_{\text{дл}2} = 1,015 \cdot 991 = 1006 \text{ с}^2/\text{м}^6$ , а потім й  $Q = 5,756 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 20,7 \text{ м}^3/\text{г}$ .

Приклад 7.2. Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата води по трубопроводу  $Q = 180 \text{ м}^3/\text{г}$ , довжини ділянок  $l_1 = 600 \text{ м}$ ,  $l_2 = 400 \text{ м}$ ,  $l_3 = 300 \text{ м}$ , зовнішні діаметри труб  $d_{31} = 219 \text{ мм}$ ,  $d_{32} = 140 \text{ мм}$ ,  $d_{33} = 121 \text{ мм}$ , товщина стінок труб  $\delta = 5 \text{ мм}$ . Місцевими опорами знехтувати.



З рівняння напірної характеристики трубопроводу (6.10)  $H = H_{\text{вт}}$ , але  $H = p_m / \rho g$ , а  $H_m = aQ^2$ , де  $a$  – опір трубопроводу, що в даному випадку дорівнює

$$a = a_1 + \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{a_2}} + \frac{1}{\sqrt{a_3}} \right)^2}. \text{ Таким чином}$$

$$p_m = \rho g \left[ a_1 + \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{a_2}} + \frac{1}{\sqrt{a_3}} \right)^2} \right].$$

З додатку 2 знайдемо одиничні опори окремих ділянок цього трубопроводу:  $A_{\text{дл}1} = 7,14 \text{ с}^2/\text{м}^6$ ,  $A_{\text{дл}2} = 89,7 \text{ с}^2/\text{м}^6$ ,  $A_{\text{дл}3} = 209 \text{ с}^2/\text{м}^6$ , а потім по формулі  $a = A_{\text{дл}} \cdot l$  розрахуємо опори кожної ділянки:  $a_1 = 4284 \text{ с}^2/\text{м}^5$ ,  $a_2 = 35880 \text{ с}^2/\text{м}^5$ ,  $a_3 = 62700 \text{ с}^2/\text{м}^5$ .

Тоді

$$p_m = 1000 \cdot 9,81 \cdot \left[ 4284 + \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{35880}} + \frac{1}{\sqrt{62700}} \right)^2} \right] \cdot 0,05^2 = 390200 \text{ Па} \quad \text{або}$$

$$p_m = 3,98 \text{ кгс/см}^2.$$

Перевіримо вірність узятих нами з додатку 2 значень одиничних опорів по довжині, задля чого розрахуємо витрати та швидкості води в усіх трьох ділянках трубопроводу.

З рівнянь (6.18) – (6.21) знайдемо, що  $Q_3 : Q_2 = \sqrt{a_2} : a_3$ , або, враховуючи, що  $Q_3 = Q - Q_2$ , знайдемо

$$Q_2 = Q : (1 + \sqrt{a_2 : a_1}) = 0,05 : (1 + \sqrt{35880 : 62700}) = 0,0285 \text{ м}^3 / \text{с} \quad \text{та}$$

$$Q_3 = 0,05 - 0,0285 = 0,0215 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Тоді з рівняння (3.11)  $g_1 = \frac{4Q}{\pi d_{p1}^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi \cdot 0,208^2} = 1,47 \text{ м/с}$

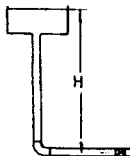
$$g_2 = \frac{4Q}{\pi d_{p2}^2} = \frac{4 \cdot 0,0285}{\pi \cdot 0,129^2} = 2,18 \text{ м/с}, \quad g_3 = \frac{4Q}{\pi d_{p3}^2} = \frac{4 \cdot 0,0215}{\pi \cdot 0,11^2} = 2,26 \text{ м/с}.$$

Тому що швидкості в усіх трьох ділянках трубопроводу перевищують 1,2 м/с, то ніяких поправок до  $A_{дл}$  вносити не треба то, як слідство,  $p_m$  знайдено вірно.

#### Задачі для самоперевірки.

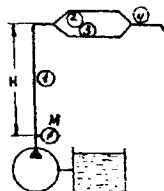
7.3. Визначити довжину трубопроводу  $l$  (м), якщо зовнішній діаметр труб  $d_3=219$  мм, а товщина стінок  $\delta=5$  мм. Височінь рівня води в резервуарі  $H=30$  м, а витрата води  $Q=360 \text{ м}^3/\text{г}$ . Сума коефіцієнтів місцевих опорів  $\sum \zeta = 8,5$ .

Відповідь:  $l=368$  м.



7.4. Визначити височінь підйому води  $H$  (м) в трубопроводі, що має чотири ділянки, що з'єднані паралельно, та послідовно. Витрата води по трубопроводу  $Q=350 \text{ м}^3/\text{г}$ , а показ манометра  $p_m=4,7 \text{ кгс/см}^2$ . Довжини, зовнішні діаметри та товщини труб на окремих ділянках наведені в таблиці:

ділянка	1	2	3	4
$l, \text{ м}$	100	120	130	80
$d_{н}, \text{ мм}$	219	168	140	273
$\delta$	7	4	3,5	6

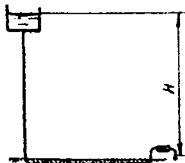


Місцевими опорами знехтувати.

Відповідь:  $H=24,5$  м.

7.5. Визначити витрату води в водопроводі  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), якщо відстань по вертикалі між рівнем її у водонапірній башті та місцем зливу  $H=15$  м, довжина трубопроводу  $l=1,2$  км, зовнішній діаметр труб  $d_3=219$  мм, товщина стінок труб  $\delta=5$  мм, радіус закруглень колін  $R=173$  мм, кут відкриття пробкового крану  $\alpha=25^\circ$ .

Відповідь:  $Q=176 \text{ м}^3/\text{г}$ .



## ЧАСТИНА II

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИПОВНЕННЯ ТА ЗМІСТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ №1 (З ГІДРАВЛІКИ)

При виконанні контрольної роботи необхідно виконувати наступні правила:

1. На обкладинці роботи повинні бути перелічені: назва роботи, фамілія та ініціали студента, його шифр, фах, домашня адреса. На першій сторінці зошита слід навести розрахунок кода для вибору №№ задач (методіку та приклад див. нижче – в пункті 2), а також вибрані у таблиці номери та варіанти задач (у відповідності з пунктом 3). Наприкінці роботи мають бути наведені перелік використаної літератури, дата закінчення роботи та підпис студента.
2. При виконанні контрольної роботи студент повинен розв'язати 5 задач, номери та варіанти котрих вибираються з наведеної нижче таблиці у відповідності з кодом, який знаходиться студентом як залишок від ділення останніх трьох цифр його шифру на число  $m$ , що приймається у залежності від фаху студента таким: РПМ- $m=75$ , ЕМК- $m=74$ , МАШ- $m=73$ , АУП- $m=72$ , ТМ- $m=71$ , ОБ- $m=70$ .

Приклади. Студент фаху РПМ, що має шифр буде мати для вибору №№ задач код 62. Студент фаху АУП, що має шифр буде мати для вибору №№ задач код 15 і т.д.

$$\begin{array}{r|l} 437 & 75 \\ \hline 375 & 5 \\ \hline & 62 \end{array} \quad \begin{array}{r|l} 529 & 72 \\ \hline 504 & 7 \\ \hline & 15 \end{array}$$

3. Кожна задача повинна бути позначена в роботі подвійним номером – порядковим та тим, що вона має в контрольному завданні – так, наприклад: Задача 1 (№ 7в), Задача 2 (№29в) і т.д.
4. Приступати до розв'язання задачі I треба після пропрацювання матеріалу I та 2-ї тем, задачі II – 3-ї теми, задачі III- 4 та 5-ї тем, задачі IV – 6-ї теми, задачі V - 7-ї теми.
5. Контрольна робота повинна бути ретельно оформлена. Умови задач та схеми слід наводити повністю. Робота повинна бути написана чорнилами (пастою ) синього або чорного кольору, схеми можуть бути виконані олівцем, але чітко та ясно; усі додаткові побудови (перетини, площини, тіла тиску та ін.) повинні виконуватись олівцем або чорнилами іншого кольору.
6. На кожній сторінці роботи повинні бути оставлені поля для зауважень рецензента шириною 35-40 мм. В кінці зошита слід залишити декілька чистих сторінок для внесення виправлень, а також для повторного розв'язання неввірно розв'язаних задач.
7. Розв'язання задач повинно супроводжуватись короткими словесними поясненнями та посиланнями на номери використовуваних формул та рівнянь.
8. При одержанні чисельних значень розмірних величин поруч з числом обов'язково повинно вказувати одиниці цих величин.



Точність розрахунків – 3-4 останніх цифри (наприклад, 71800; 7,18; 0,00078 або 3974000; 37,94; 0,03974).

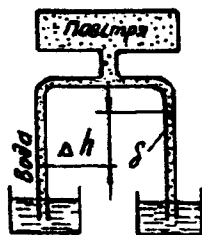
9. При розв'язанні контрольних задач, якщо немає особливих вказівок, слід приймати: значення густини води  $\rho_w=1000 \text{ кг/м}^3$ , ртуті  $\rho_{рт}=13600 \text{ кг/м}^3$ , повітря  $\rho_{пов}=1,2 \text{ кг/м}^3$ ; значення кінематичної в'язкості води  $\nu_w=0,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ , повітря  $\nu_{пов}=0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . для інших рідин значення  $\rho$  (або  $\delta$ ) та  $\nu$  надаються в умовах задач.
10. Контрольна робота повинна бути здана в деканат у термін, що вказано в учбовому графіку. При повторному виправленні роботи остання повинна бути здана в деканат разом з першопочатковим варіантом не пізніше, ніж за 10 днів до початку екзаменаційної сесії. Роботи, які будуть здані у більш пізні строки, рецензуються після сесії (на початку наступного семестру).
11. При отриманні з інституту залікованої контрольної роботи студент повинен розібрати та виправити усі помічені рецензентом помилки та виконати зроблені йому зауваження. Усі помилкові записи студента, а також зауваження рецензента повинні бути збережені.
12. Заліковані контрольні роботи з усіма необхідними виправленнями та поповненнями здаються студентом на кафедру під час екзамену.

### Контрольні задачі

#### Задача №1

Визначити різницю рівней рідин в трубках  $\Delta h$  (мм), якщо абсолютний тиск повітря в резервуарі  $p$ , а відносна густина рідини в правій трубці  $\delta$ . Показ барометра  $B$ .

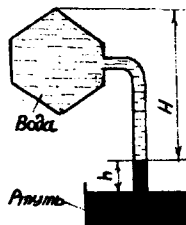
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p$ , кПа	90	92	94	96	98
$\delta$	0,72	0,74	0,76	0,8	0,82
$B$ , мм.рт.ст	742	744	746	748	750



#### Задача №2

Визначити абсолютний тиск у верхній резервуарі  $p$  (кПа), якщо висоти рівнів рідин дорівнюють  $h$  та  $H$ , а атмосферний тиск (показ барометра)  $B$ .

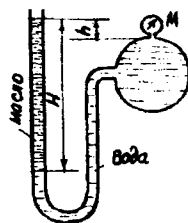
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h$ , мм	140	130	120	150	160
$H$ , м	1,2	1,1	1,15	1,25	1,05
$B$ , мбар	950	940	960	945	955



## Задача №3

Визначити манометричний тиск у верхній точці закритого резервуару  $p_m$  (Па), якщо височінь олії в трубці  $H$ , відносна густина олії  $\delta_o$ , а відстань між верхньою точкою резервуару та рівнем олії в трубці  $h$ .

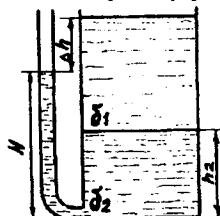
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , м	1,3	1,25	1,2	1,35	1,4
$h$ , мм	320	340	400	360	380
$\delta_m$	0,89	0,9	0,92	0,91	0,88



## Задача №4

Визначити перевищення вільної поверхні рідини в резервуарі над рівнем рідини в трубці  $\Delta h$  (мм), якщо відомі висоти  $h_2$  та  $H$  та відносні густини рідин  $\delta_1$  та  $\delta_2$ .

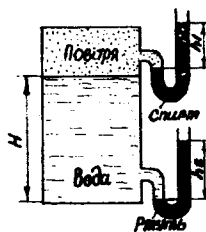
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , м	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
$h_2$ , мм	320	375	340	430	390
$\delta_1$	0,89	0,79	0,8	0,9	0,8
$\delta_2$	1	0,91	0,89	1,26	1



## Задача №5

Визначити височінь шару води в резервуарі  $H$  (м), якщо різниця рівнів рідин в U-образних трубках  $h_1$  та  $h_2$ , відносна густина спирту  $\delta_{сп}$ .

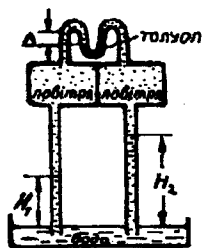
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h_1$ , мм	247	256	265	274	282
$h_2$ , мм	100	108	111	125	136
$\delta_{сп}$	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85



## Задача №6

Визначити різницю рівнів толуолу  $h$  (мм) в U-образній трубці, яку її підключено до двох, ізольованих одна від одної частин резервуару, якщо височини стовпів води в трубках дорівнюють  $H_1$  та  $H_2$ , а відносна густина толуолу  $\delta_1=0,87$ .

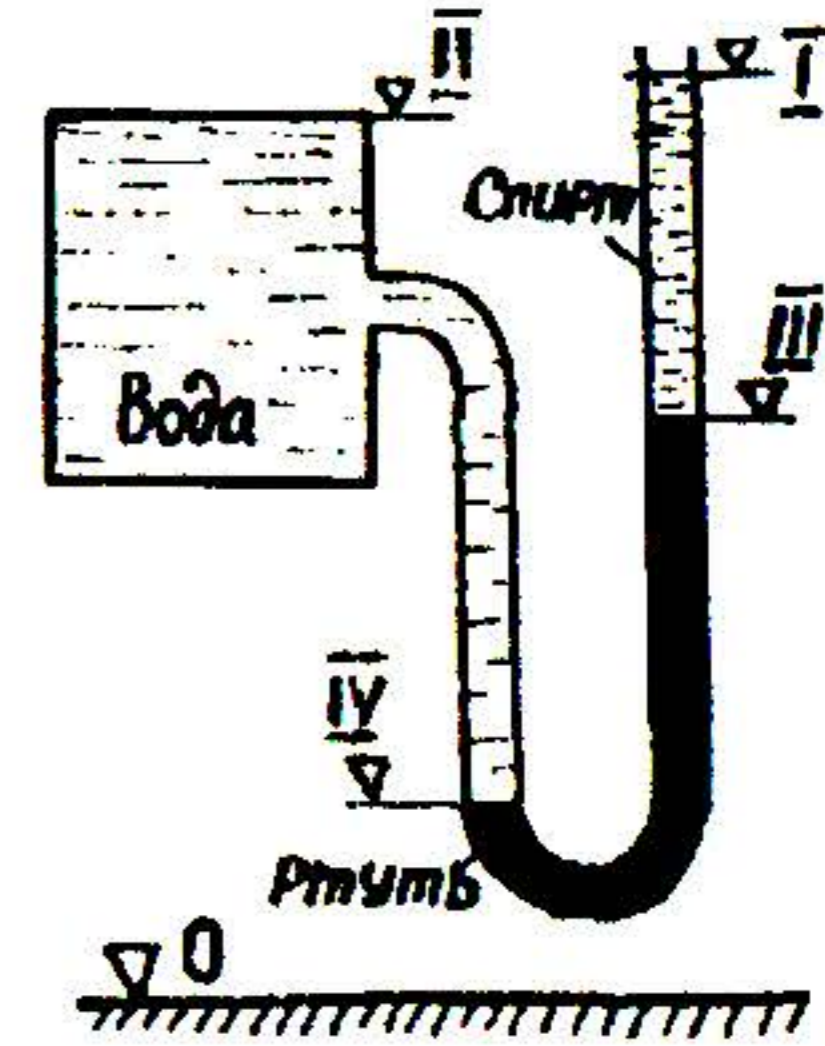
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H_1$ , см	69	63	74	47	66
$H_2$ , см	83	79	92	67	88



## Задача № 7

Визначити збитковий тиск у верхній точці зачиненого резервуару, якщо відомі позначки від полу рівнів рідини та відносна густина спирту  $\delta_{сп}=0,81$ .

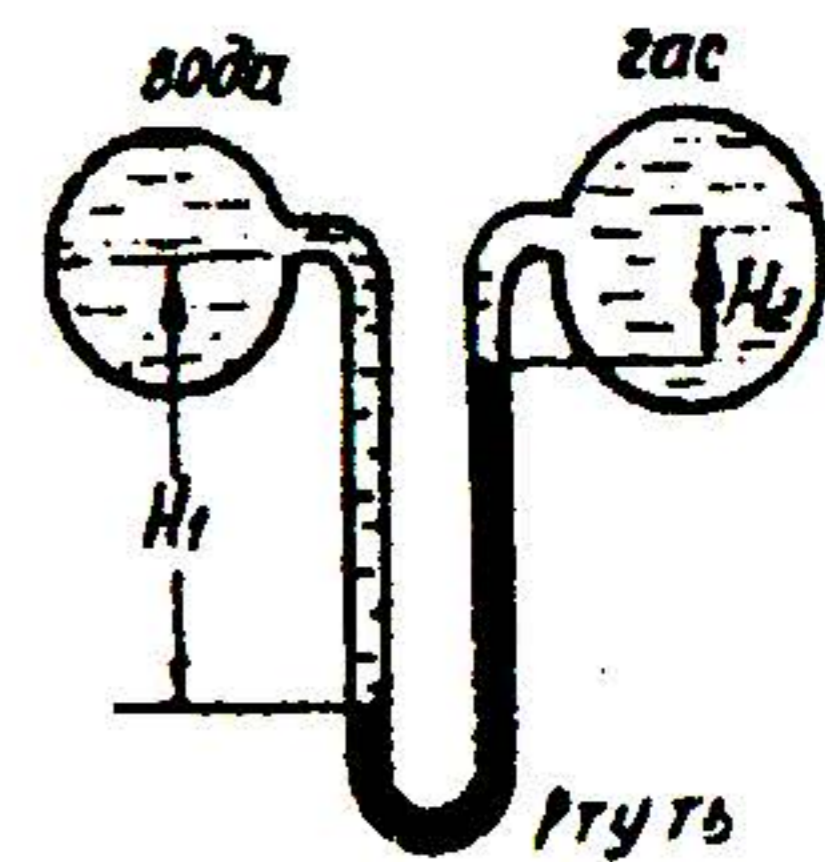
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$\nabla I$ , мм	950	910	800	840	870
$\nabla II$ , мм	800	790	620	710	730
$\nabla III$ , мм	735	645	575	625	675
$\nabla IV$ , мм	600	540	480	590	610



## Задача №8

Визначити різницю тисків в центрах герметично зачинених посудин, якщо відомі височини  $H_1$  та  $H_2$ . Густину гасу прийняти  $\rho_г=800 \text{ кг/м}^3$ .

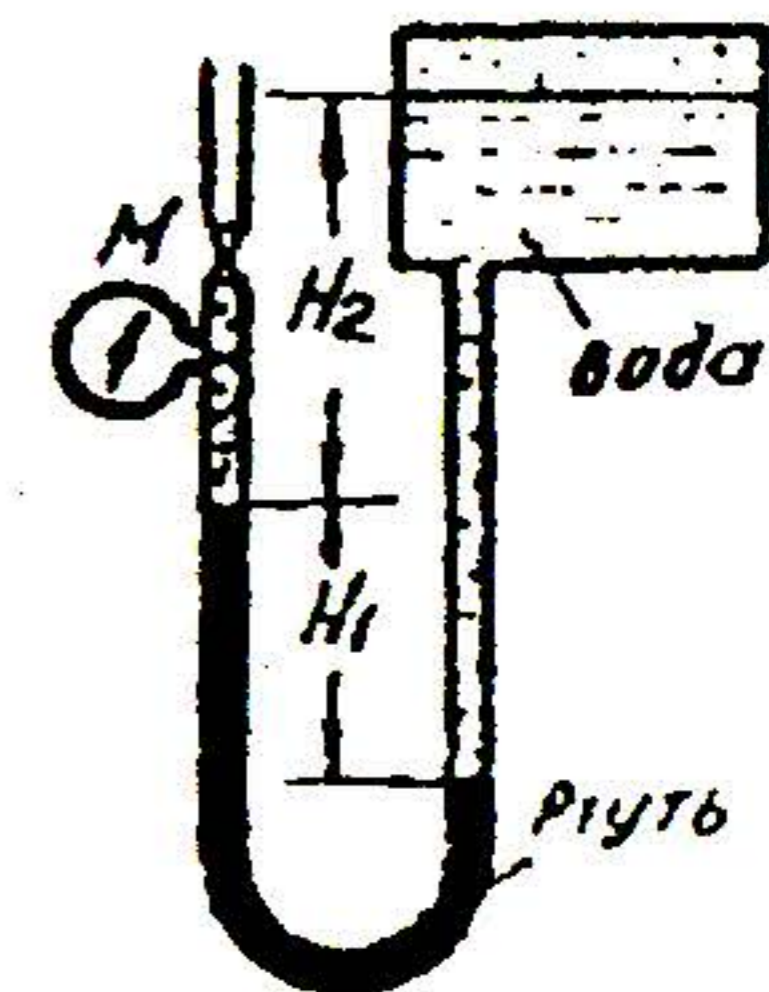
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H_1$ , м	0,8	0,75	0,85	0,9	0,95
$H_2$ , мм	500	450	550	600	650



## Задача № 9

Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>) якщо різниці рівнів рідин дорівнюють  $H_1=174$  мм та  $H_2$ , абсолютний тиск повітря в резервуарі  $p$ , а показ барометра  $B$ .

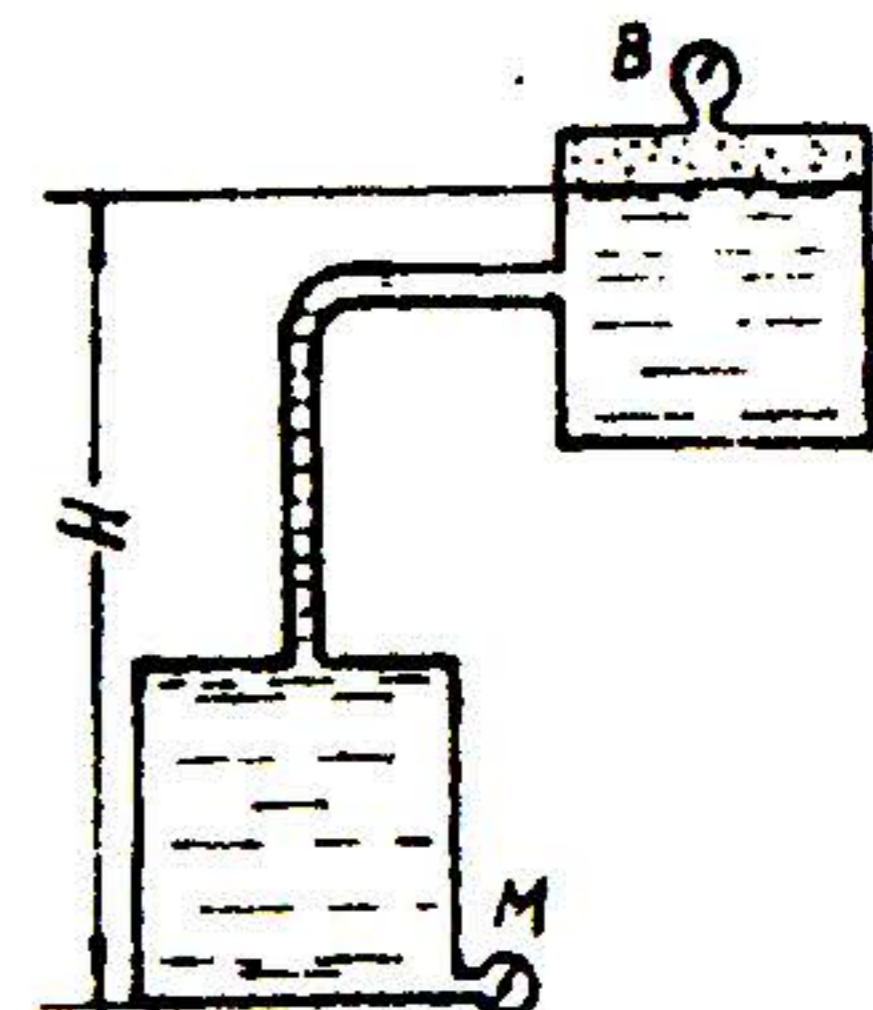
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H_2$ , мм	153	173	183	203	223
$p$ , кПа	200	190	180	170	160
$B$ , мбар	1000	990	980	970	960



## Задача №10

Визначити височину стовпу рідини  $H$  (м), якщо показ манометра  $p_m$ , а показ вакуумметра  $p_v$ . Відносна густина рідини  $\delta$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1
$p_v$ , мм.рт.ст	100	110	120	130	140
$\delta$	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91

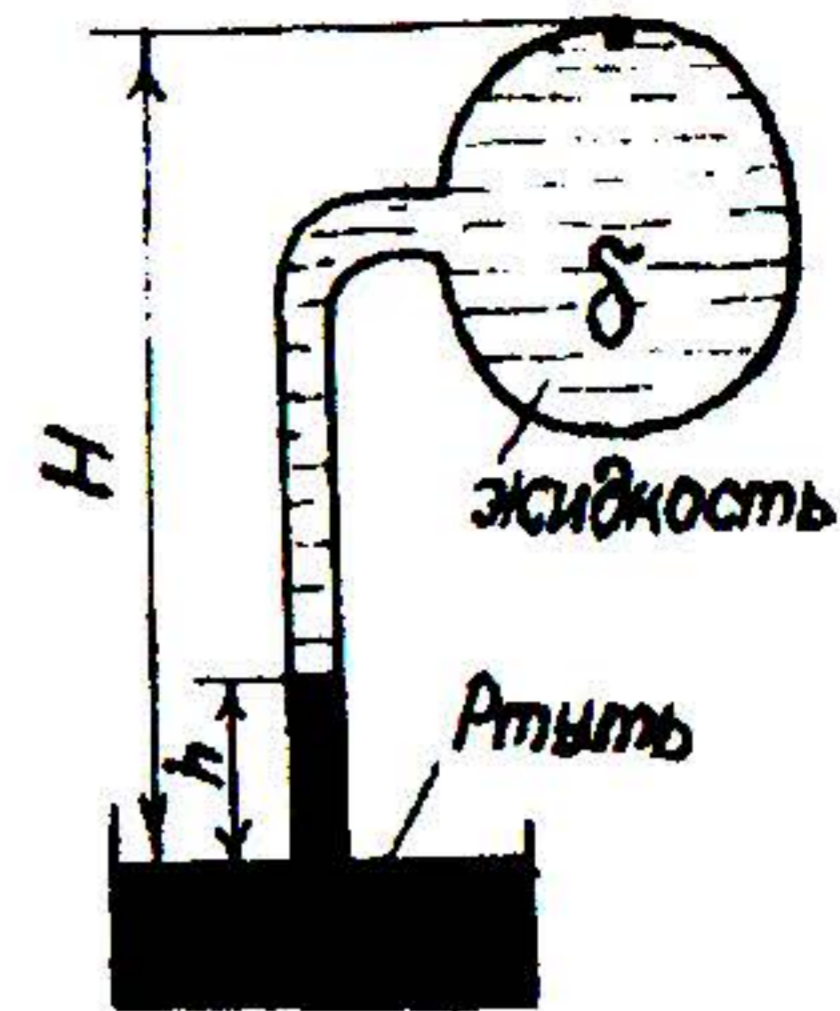


## Задача № 11

Визначити абсолютний тиск  $p$  (кПа) у верхній точці зачиненого

резервуару, який заповнено рідиною з відносною густиною  $\delta$ , якщо показання барометра (атмосферний тиск)  $B$ , а височини  $H$  та  $h$ .

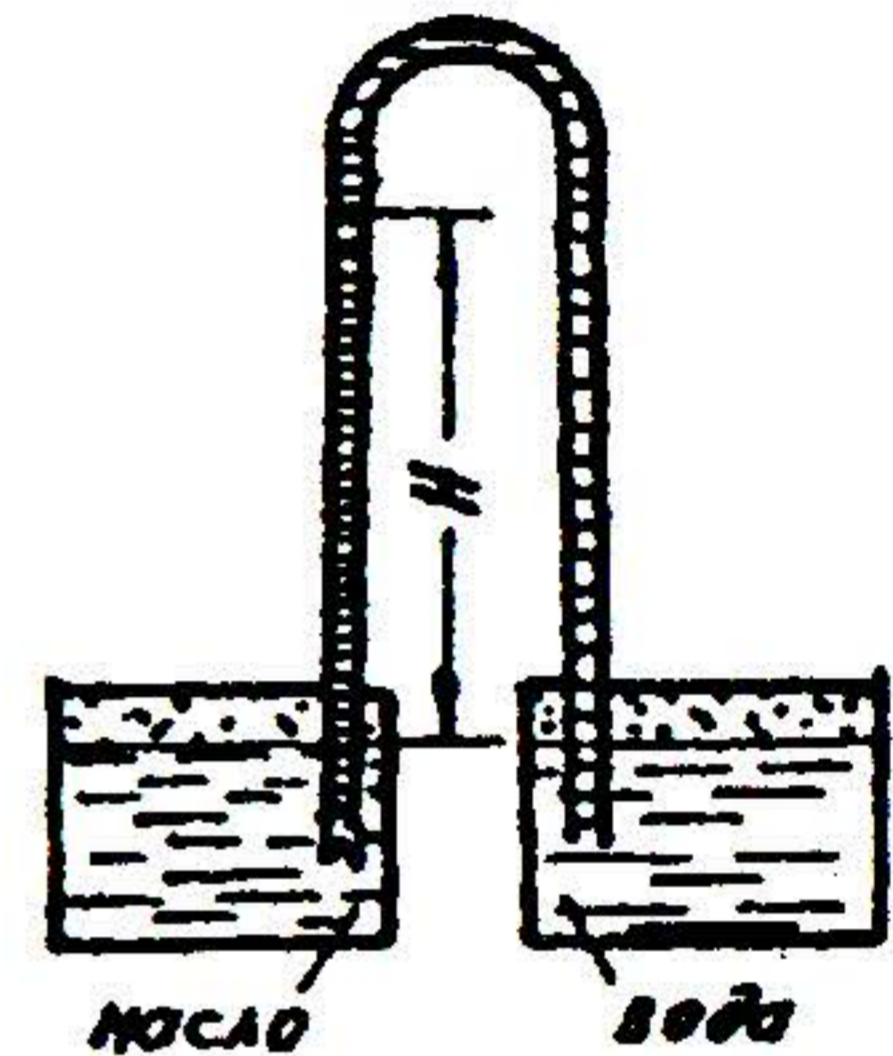
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , м	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$h$ , мм	20	25	30	35	40
$\delta$	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95
$B$ , мм.рт.ст	730	735	740	745	750



## Задача № 12

Визначити різницю тисків повітря у герметично зачинених резервуарах  $\Delta p$  (Па), якщо височінь олії у лівому коліні U-образної трубки  $H$ , а відносна густина олії  $\delta_m$ .

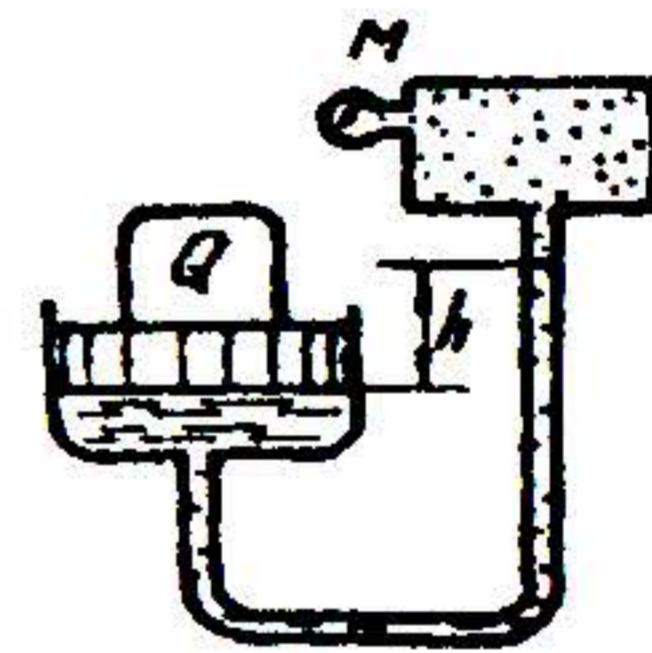
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , мм	400	450	500	475	425
$\delta_m$	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89



## Задача №13

Визначити масу  $m_Q$  (кг) вагою, що знаходиться на поршні діаметром  $D$ , якщо олія з відносною щільністю  $\delta_m$  піднялась у трубці на височінь  $h$ . Показ манометра, який встановлено на повітряному резервуарі  $p_m$ .

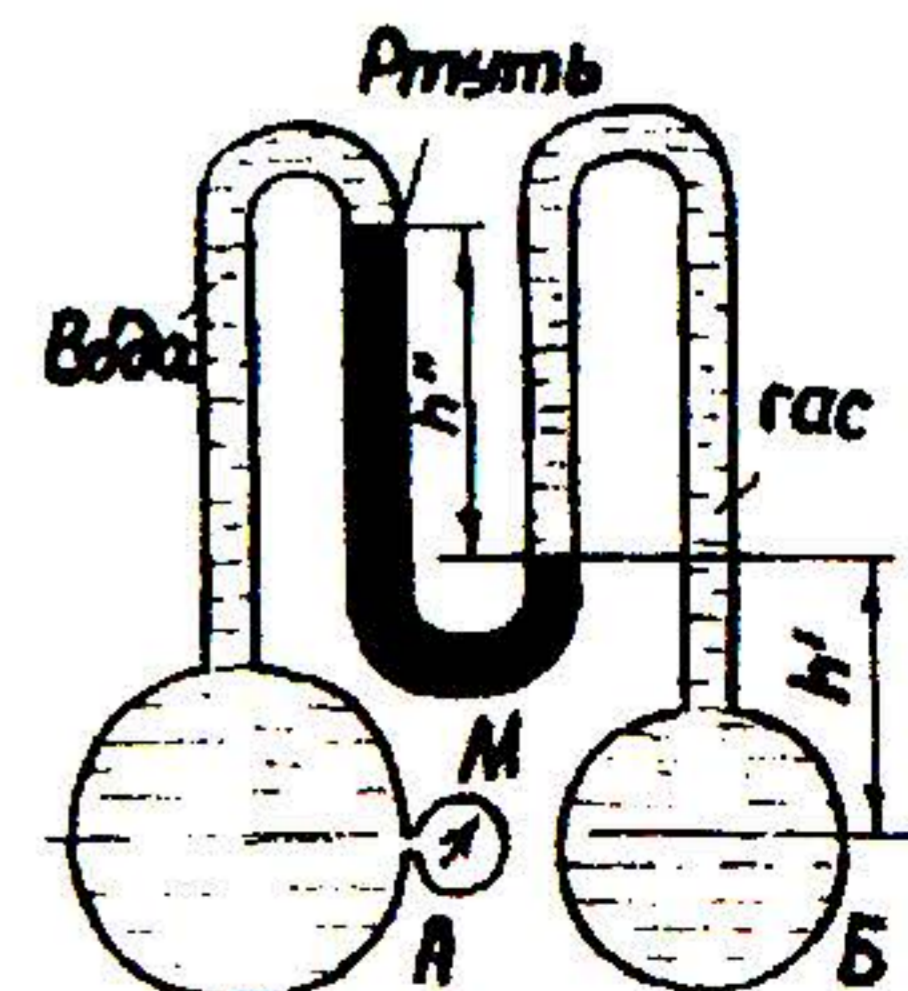
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$D$ , мм	200	220	240	260	280
$\delta_m$	0,9	0,88	0,86	0,84	0,82
$h$ , м	0,7	0,67	0,64	0,595	0,548
$p_m$ , кгс/м <sup>2</sup>	470	410	350	300	250



## Задача № 14

Визначити збитковий тиск  $p_x$  (кПа) у центрі посудини Б, якщо показ манометра, який підключено до посудини А,  $p_m$ , відносна густина гасу  $\delta_g$ , височини рівнів ртуті  $h'$  та  $h''$ .

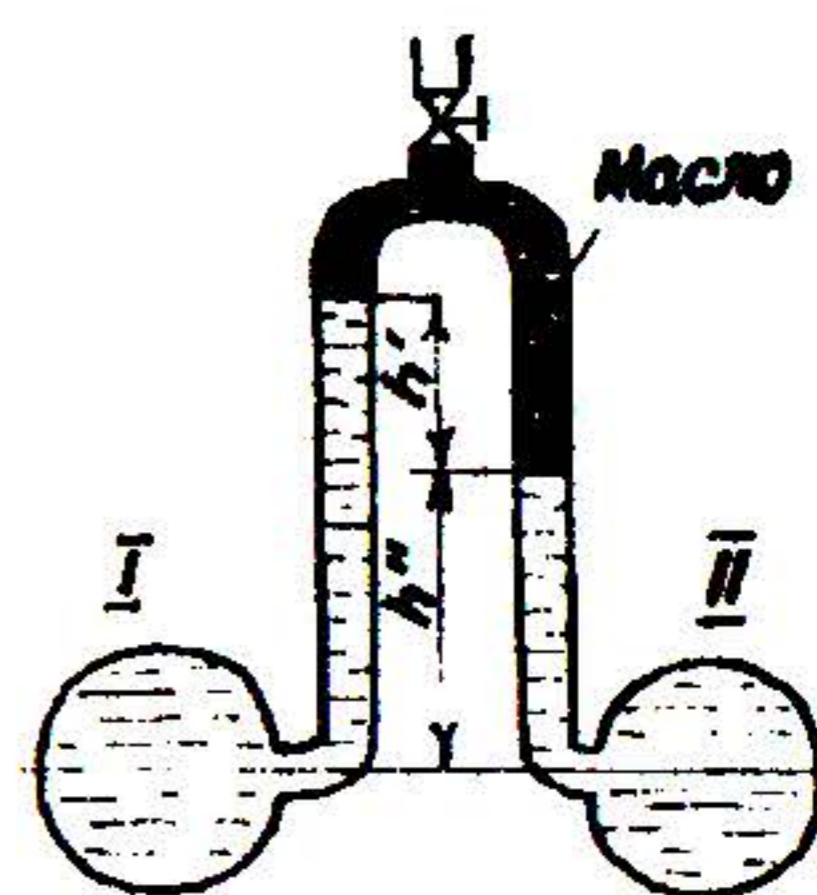
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m$ , кгс/м <sup>2</sup>	0,756	0,72	0,69	0,658	0,432
$h'$ , мм	400	250	400	500	500
$h''$ , мм	200	250	300	200	300
$\delta_g$	0,8	0,79	0,78	0,81	0,82



## Задача №15

Визначити різницю тисків  $\Delta p$  (Па) у центрі зачинених посудин I та II, що заповнені водою, якщо відмітки рівнів олії від осі посудин  $h' = 0,5$  м та  $h''$ , а відносна густина олії  $\delta_m$ . Кран пристрою зачинений.

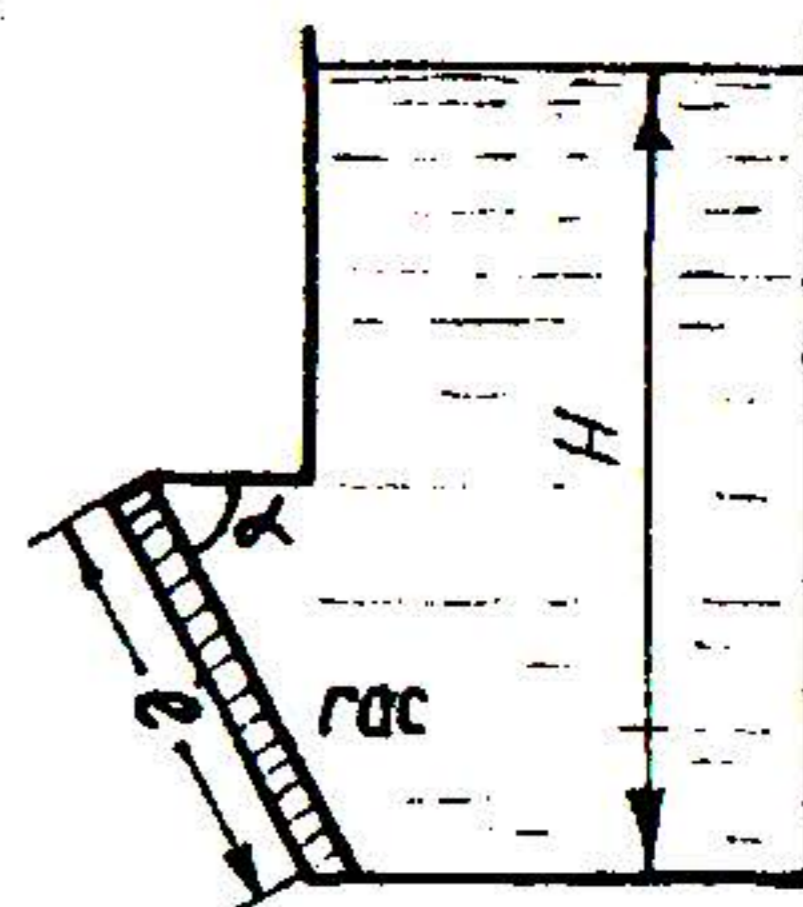
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h''$ , мм	350	300	250	200	150
$\delta_m$	0,86	0,88	0,9	0,92	0,94



## Задача №16

Визначити силу тиску керосину на нахилену прямокутну кришку, якщо розміри кришки  $l$  та  $b$ , а височина керосину в резервуарі  $H$ , кут нахилу кришки до горизонту  $\alpha$ , відносна густина гасу  $\delta_r = 0,816$ .

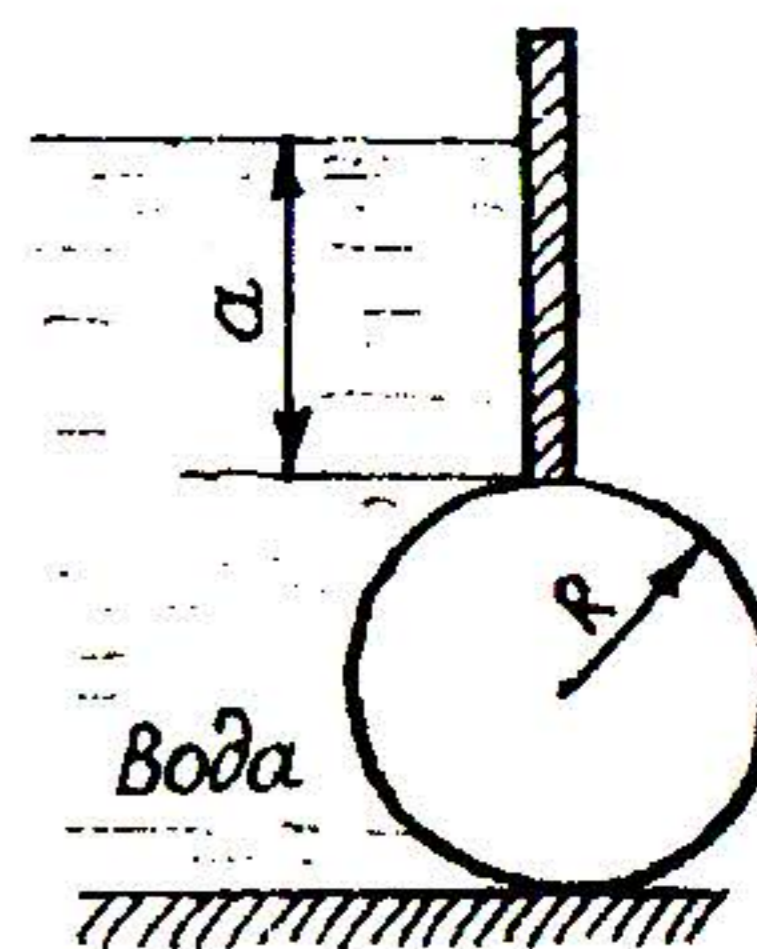
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$l$ , мм	800	750	700	725	775
$b$ , мм	400	410	420	430	440
$H$ , м	1,2	1,1	1,0	1,05	1,15
$\alpha$	$60^\circ$	$55^\circ$	$50^\circ$	$45^\circ$	$40^\circ$



## Задача № 17

Визначити силу тиску води на циліндричний затвор греблі, що перегороджує прямокутний канал, якщо височина шару води над затвором  $a$ , радіус затвора  $R$ , а його ширина  $B$ .

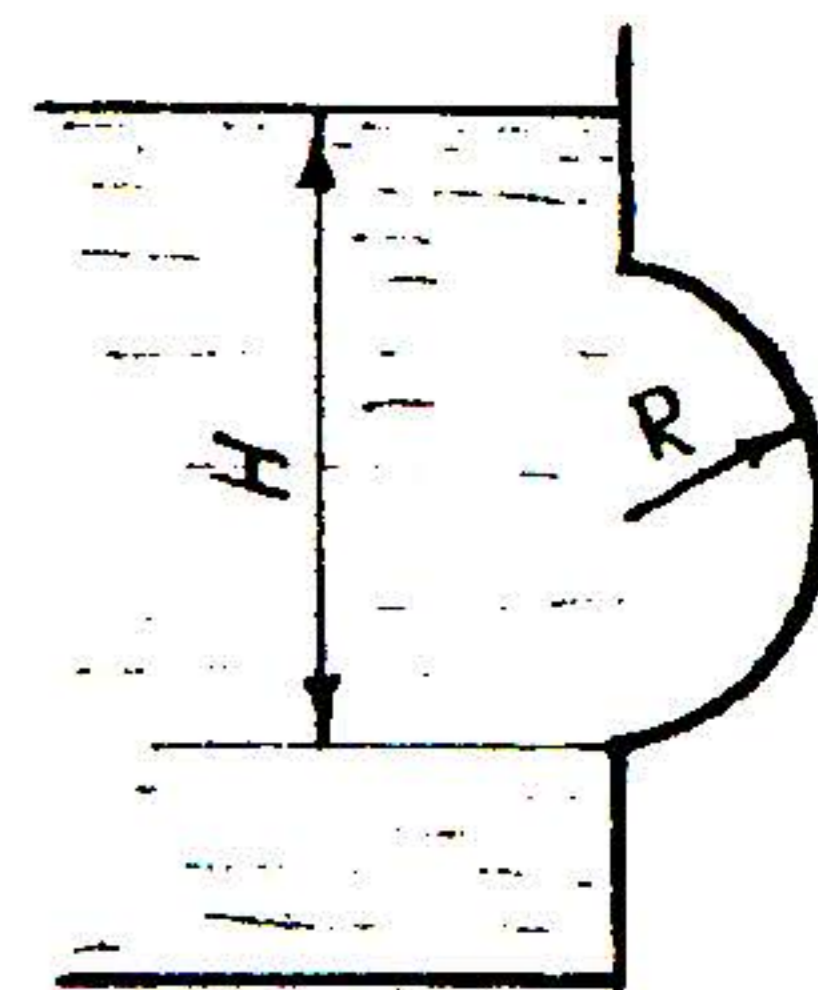
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$a$ , м	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$R$ , мм	800	850	900	880	830
$b$ , м	10	9	8	7	6



## Задача №18

Визначити під яким кутом  $\alpha$  до горизонту направлено рівнодійну сил тиску води на циліндричну кришку резервуару, якщо радіус кришки  $R$ , ширина кришки  $B$ , відстань від вільної поверхні до краю кришки  $H$ .

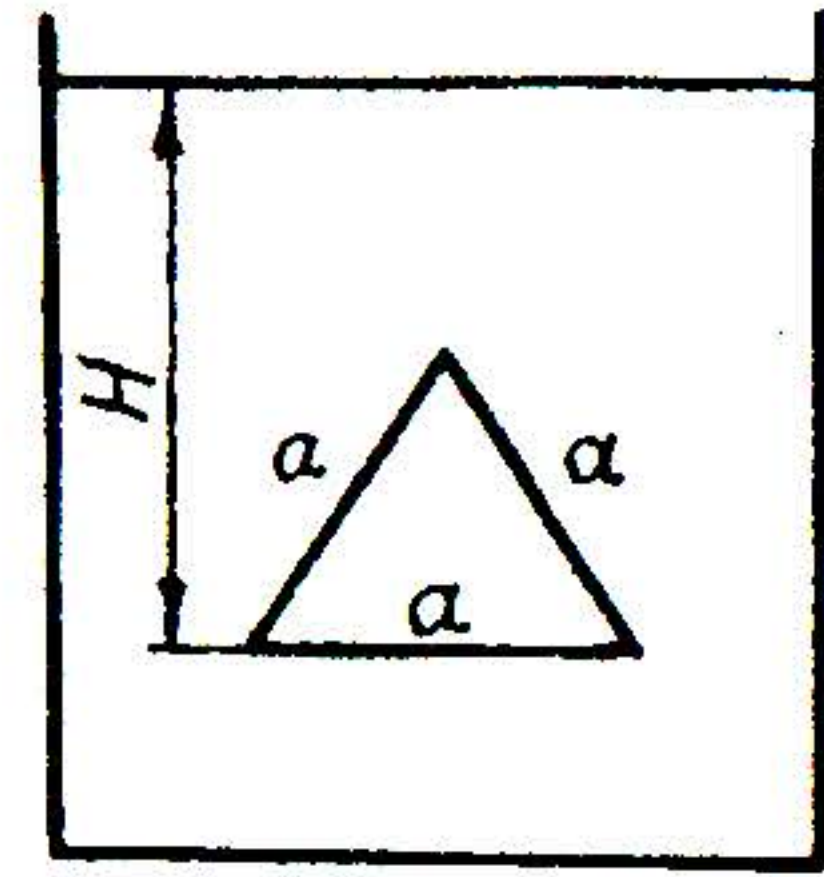
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$R$ , мм	400	500	600	700	800
$b$ , м	5	4,5	4,0	3,5	3,0
$H$ , м	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7



## Задача № 19

Визначити силу тиску гасу на кришку, що закриває трикутний отвір у боковій стінці резервуару, якщо бік рівнобокого трикутника дорівнює  $a$ , а височина гасу в резервуарі до нижнього краю отвору –  $H$ .  $\delta_r=0,82$ .

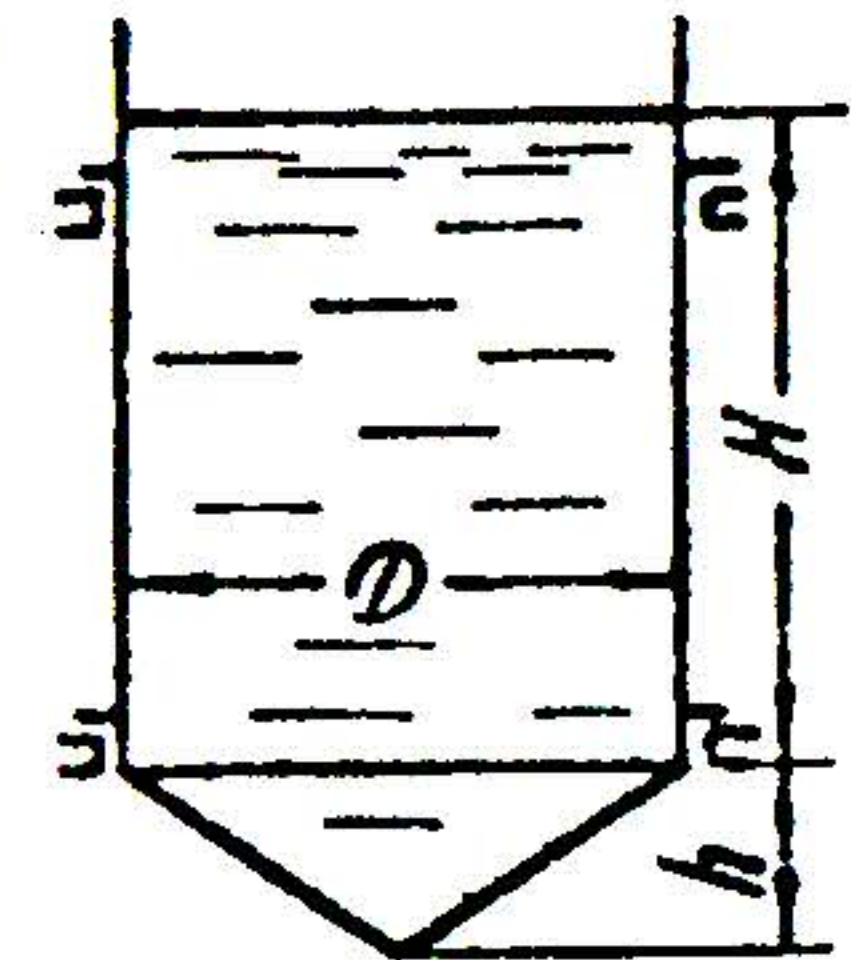
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$a$ , мм	600	650	700	675	625
$H$ , м	1,2	1,1	1,0	1,05	1,15



## Задача №20

Визначити силу, що відкриває конічне днище резервуара чистої води збагачувальної фабрики, якщо розміри резервуара:  $D$ ,  $H$ ,  $h$ .

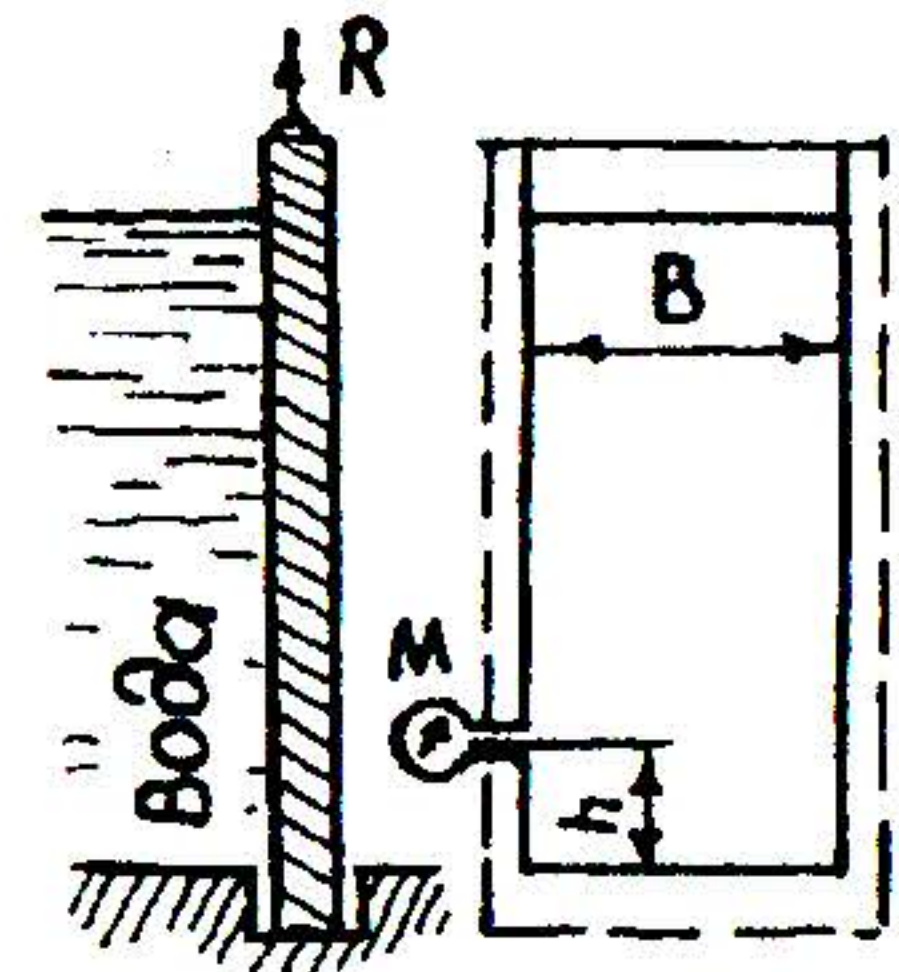
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$D$ , м	3,8	3,9	4,0	3,7	3,6
$H$ , м	5,6	5,8	6,0	5,9	5,7
$h$ , м	1,8	1,92	2,1	1,95	1,85



## Задача № 21

Визначити силу  $R$  (кН), необхідну для підйому щита масою  $m$ . Щит переміщується у направляючих, що виповнені з швелерів, коефіцієнт тертя щита по направляючим  $f=0,5$ . Ширина каналу  $B$ , показ манометра, що встановлений на височині  $h$  від дна каналу,  $p_m$ .

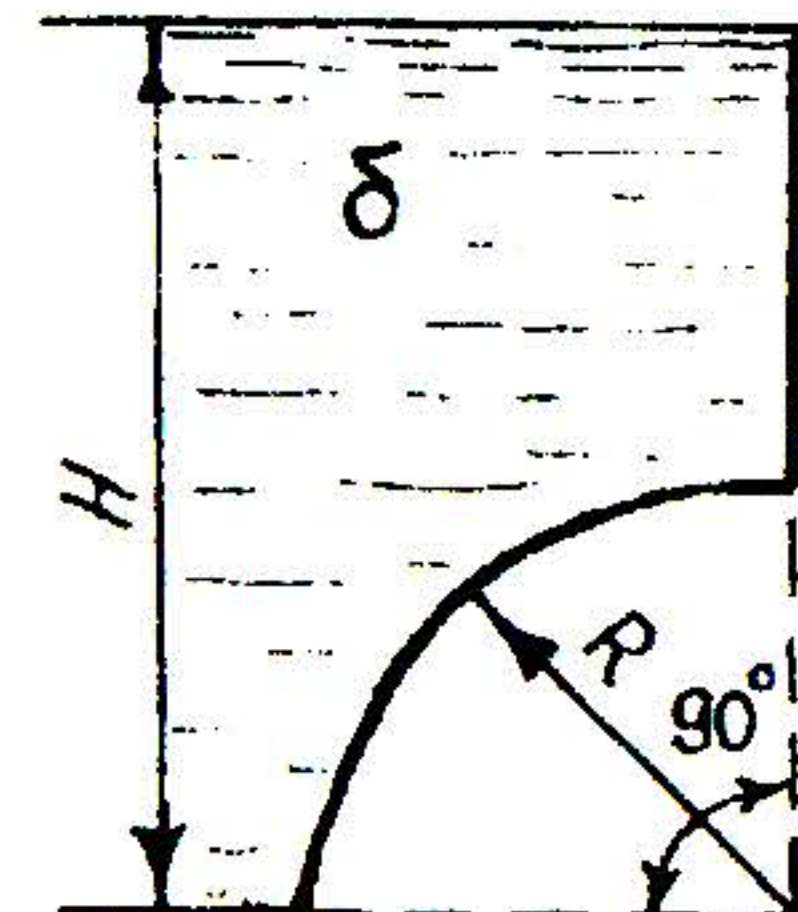
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$B$ , м	2	1,5	4	3	4
$h$ , м	0,5	1,0	0,7	1,0	1,3
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,25	0,3	0,18	0,2	0,22
$m$ , кг	500	800	750	650	1250



## Задача № 22

Визначити, під яким кутом  $\alpha$  до горизонту направлено рівнодійну силу тиску води на циліндричну кришку резервуару, якщо радіус кришки  $R$ , ширина кришки  $B$ , височинь шару води у резервуарі  $H$ .

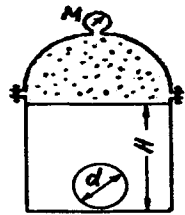
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$R$ , мм	400	500	600	700	800
$B$ , м	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
$H$ , м	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4



## Задача № 23

Визначити силу тиску на круглу кришку діаметром  $d$ , височінь води у резервуарі  $H$ , показ манометра  $p_m$ .

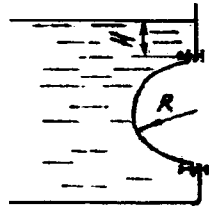
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$d$ , мм	400	380	500	460	440
$H$ , м	0,8	0,7	0,9	0,75	0,85
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,13	0,14	0,1	0,11	0,12



## Задача № 24

Визначити силу тиску води на напівсферичну кришку посудини, радіус котрої  $R$ , а відстань від вільної поверхні до верхнього краю отвору  $H=2R$ . Визначити також кут  $\alpha$  нахилу сили  $P$  до горизонту.

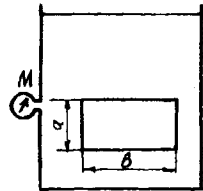
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$R$ , мм	300	280	250	220	200



## Задача № 25

Визначити вертикальну координату центру тиску прямокутної кришки, якщо розміри отвору  $a$  та  $b$ , резервуар заповнено водою, показ манометра  $p_m$ .

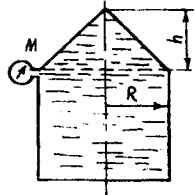
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$a$ , мм	440	420	400	460	480
$b$ , мм	600	660	680	640	620
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14



## Задача № 26

Визначити силу тиску води  $P$  (кН) на конічну кришку резервуару, що має височінь  $h$  та радіус дна  $R=h$ . Показ манометра  $p_m$ .

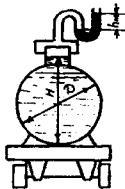
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h$ , мм	4	3,5	3,0	2,5	2,0
$p_m$ , кгс/м <sup>2</sup>	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5



## Задача № 27

Визначити силу тиску бензину  $P$  (кН) на плоску торцеву стінку герметично зачиненої цистерни діаметром  $D$  якщо височінь бензину у цистерні  $H$ , а показ манометра, який встановлено у кришці верхнього люку  $h_m$ . Відносна густина бензину  $\delta_6=0,72$ .

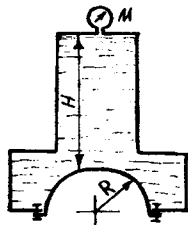
	Варіант				
	а	б	в	г	д
D, м	2,4	2,3	2,2	2,0	2,1
H, м	2,6	2,5	2,4	2,2	2,3
h <sub>м</sub> , мм.рт.ст	200	184	162	125	140



#### Задача № 28

Визначити силу  $\mathcal{P}$  (Н), що діє на болти, які утримують сферичну кришку радіуса  $R$ , якщо відстань між верхньою та нижньою кришками  $H=2R$ , показ манометра  $h_m$ , відносна густина рідини в резервуарі  $\delta=0,9$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
R, м	0,24	0,23	0,20	0,21	0,22
h <sub>м</sub> , мм.вод.ст	144	135	108	117	126



#### Задача № 29

Визначити силу тиску води  $\mathcal{P}$  (кН) на напівсферичну кришку радіуса  $R$ , що зачиняє круглий отвір герметично зачиненого, заповненого водою резервуару, якщо височінь резервуара  $H=2R$ , а показ манометра  $p_m$ .

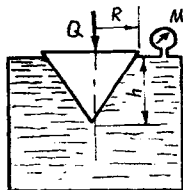
	Варіант				
	а	б	в	г	д
R, м	1,4	1,3	1,0	1,1	1,2
p <sub>м</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	0,19	0,18	0,15	0,16	0,17



#### Задача №30

Визначити силу  $Q$  (кН), що може утримати конічний клапан у зачиненому положенні, якщо розміри клапану: радіус основи  $R$ , височінь  $h=2R$ , тиск води у верхній точці посудини  $p_m$ , маса клапану  $m$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
R, м	250	280	300	220	200
m, кг	11	14,5	21	8,5	5
h <sub>м</sub> , мм.вод.ст	0,05	0,04	0,03	0,06	0,07

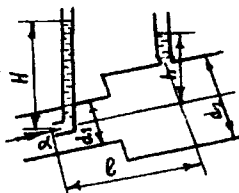


#### Задача № 31

Визначити манометричний тиск  $p_x$  (Па) у вузькій перетині трубопроводу, якщо рівні рідини у трубці Піто та п'езометрі  $H$  та  $h$ , співвідношення діаметрів труб  $D:d$ . Відстань між перетинами, в котрих встановлено трубки  $l$ , кут нахилу осі трубопроводу  $\alpha$ . Відносна густина рідини  $\delta$ . Втратами знехтувати.



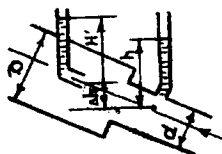
	Варіант				
	а	б	в	г	д
H, м	540	620	680	750	800
h, мм	330	350	370	510	600
D:d	1,2	1,15	1,1	1,12	1,17
l, мм	210	230	250	270	290
$\alpha$ , град	28	26	24	22	20
$\delta$	0,82	0,84	0,86	0,88	0,91



#### Задача № 32

Визначити витрату рідини  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ) в трубопроводі, якщо височини рівнів рідини в п'єзометрі та трубці Піто  $h$  та  $H'$ , а відстань по вертикалі між центрами перетинів, в яких встановлені трубки,  $\Delta h$ . Діаметр вузького перетину трубопроводу  $d$ . Втратами напору знехтувати.

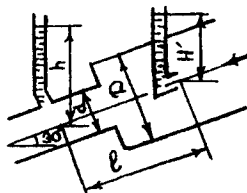
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	600	580	560	540	520
$h$ , мм	320	330	340	350	360
$\Delta h$ , мм	240	230	220	210	200
$d$ , мм	50	75	100	125	150



#### Задача № 33

Визначити відстань  $l$  (м) між перетинами, в яких встановлені трубка Піто та п'єзометр, якщо височини рівнів рідини в останніх  $H'$  та  $h$ , а витрата рідини в трубопроводі  $Q$ . Діаметр вузького перетину трубопроводу  $d$ , а кут нахилу його до горизонту  $30^\circ$ . Втратами напору знехтувати.

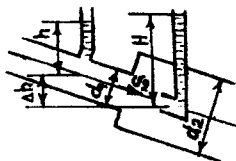
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	300	290	280	270	260
$h$ , мм	500	480	460	440	420
$Q$ , $\text{м}^3/\text{г}$	226	120	88,3	56,5	31,8
$d$ , мм	200	150	125	100	75



#### Задача № 34

Визначити височинь рівня рідини в трубці Піто  $H$  (м), якщо в п'єзометрі вона піднялась на височинь  $h$ . Швидкість рідини в широкому перетині трубопроводу  $v_D$ , співвідношення діаметрів труб  $d:D$ , відстань по вертикалі між центрами розтинів, у котрих встановлені трубки,  $\Delta h$ . Втратами напору знехтувати.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h$ , мм	300	310	320	330	340
$\Delta h$ , мм	250	260	270	265	255

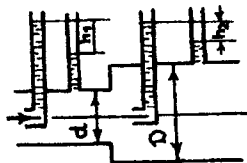


D:d	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
$v_D$ , м/с	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5

## Задача № 35

Визначити співвідношення діаметрів труб d:D, якщо різниця рівнів рідини в трубці Піто та п'езометрі у вузькому перетині трубопроводу  $h_1$ , а в широкому –  $h_2$ . Втратами напору знехтувати.

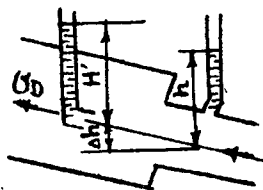
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h_1$ , мм	400	380	360	340	320
$h_2$ , мм	100	90	80	70	60



## Задача № 36

Визначити відстань по вертикалі  $\Delta h$  (мм) між центрами ваги перетинів трубопроводу, у котрих встановлені трубка Піто та п'езометр, якщо показ останніх  $H'$  та  $h$ . Співвідношення діаметрів труб d:D, швидкість рідини в широкому перетині трубопроводу  $v_D$ . Втратами напору знехтувати.

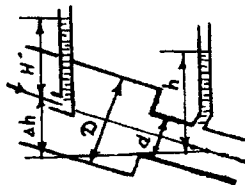
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	374	380	390	399	406
$h$ , мм	420	450	480	510	540
$v_D$ , м/с	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
d:D	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78



## Задача № 37

Визначити діаметр труби у вузькому розтині трубопроводу  $d$  (мм), якщо витрата рідини  $Q$ , рівні рідини в трубці Піто та п'езометрі відповідно  $H'$  та  $h$ , відстань по вертикалі між центрами ваги розтинів, у котрих встановлені трубки,  $\Delta h$ . Втратами напору знехтувати.

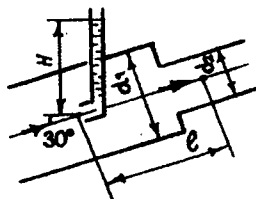
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	510	490	470	450	430
$h$ , мм	330	340	350	360	370
$\Delta h$ , мм	340	330	320	310	300
$Q$ , м <sup>3</sup> /г	22,6	48,8	83,1	124	169



## Задача № 38

Визначити витрату рідини  $Q$  (м<sup>3</sup>/г) в трубопроводі, ось якого нахилена до горизонту під кутом  $30^\circ$ . Височінь рівня рідини в трубці Піто  $H$ , а манометричний тиск у вузькому перетині трубопроводу діаметром  $d_2$ , що відстоїть на відстані  $l$  від носика трубки Піто,  $p_m$ . Відносна густина рідини  $\delta=0,8$ . Втратами напору знехтувати.

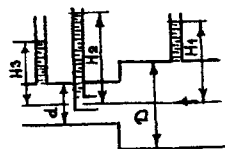
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , мм	800	750	700	650	600
$P_m$ , Па	1570	1500	1450	1400	1350
$l$ , мм	160	158	150	144	136
$d_2$ , мм	50	75	100	125	150



## Задача № 39

Визначити співвідношення діаметрів труб трубопроводу  $D:d$ , якщо височини рівнів рідини в трубці Піто та п'езометрах  $H_2$ ,  $H_1$  та  $H_3$ . Втратами напору знехтувати.

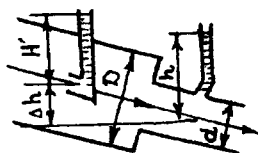
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H_1$ , мм	650	610	570	530	490
$H_2$ , мм	750	700	650	600	550
$H_3$ , мм	350	320	290	260	230



## Задача № 40

Визначити на яку височину підніметься рідина в п'езометрі  $h$  (мм), якщо височину рівня рідини в трубці Піто  $H'$ , відстань по вертикалі між центрами перетинів, у яких встановлені трубки,  $\Delta h$ , швидкість рідини в широкому перетині трубопроводу  $v_D$ , співвідношення діаметрів  $d:D$ . Втратами напору знехтувати.

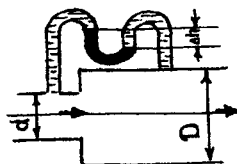
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	580	560	540	550	600
$\Delta h$ , мм	169	174	171	167	156
$d:D$	0,81	0,85	0,9	0,86	0,82
$v_D$ , м/с	1,45	1,55	1,65	1,6	1,5



## Задача № 41

Визначити швидкість рідини  $v_D$  (м/с) в широкому розтині трубопроводу, якщо різниця рівнів ртуті в U-образній трубці  $\Delta h$ , а співвідношення діаметрів труб  $d:D$ . Відносна щільність рідини  $\delta$ . Втратами напору знехтувати.

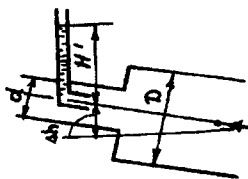
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$\Delta h$ , мм	30	50	70	45	15
$d:D$	0,87	0,83	0,8	0,84	0,88
$\delta$	0,75	0,77	0,78	0,76	0,74



## Задача № 42

Визначити манометричний тиск  $p_m$  (Па) в широкому перетині трубопроводу, якщо швидкість рідини в ньому  $v_D$ . Діаметри труб  $D$  та  $d$ , височінь рівня рідини в трубці Піто  $H'$ , а відстань по вертикалі між центрами ваги перетинів  $\Delta h$ . Відносна густина рідини  $\delta$ . Втратами напору знехтувати.

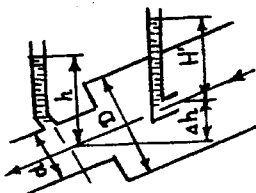
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	400	450	500	550	600
$\Delta h$ , мм	300	350	330	310	250
$d$ , мм	150	125	100	75	50
$D$ , мм	200	150	125	100	75
$v_D$ , м/с	3,52	3,19	3,32	3,61	3,86
$\delta$	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80



## Задача № 43

Визначити діаметр широкої частини трубопроводу  $D$  (мм), якщо діаметр вузької його частини  $d$ . Височини рівнів рідини в трубці Піто  $H'$ , у п'єзометрі  $h$ . Швидкість рідини у широкому перетині  $v_D$ . Відстань між перетинами, у яких встановлені трубки,  $l=1,2$  м, а кут нахилу осі трубопроводу  $\alpha$ . Втратами напору знехтувати.

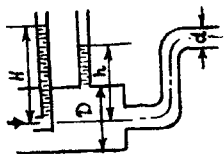
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H'$ , мм	250	270	300	240	280
$\Delta h$ , мм	233	194	163	262	243
$v_D$ , м/с	1,5	2,2	2,0	2,3	1,9
$d$ , мм	50	100	150	125	75
$\alpha$ , град	28	26	25	29	27



## Задача № 44

Визначити на яку височінь підніметься рідина в п'єзометрі  $h$  (мм), якщо височінь її рівня в трубці Піто  $H$ , діаметр труб  $d$  та  $D$ . Швидкість рідини в трубці меншого діаметру  $v_d$ . Втратами напору знехтувати.

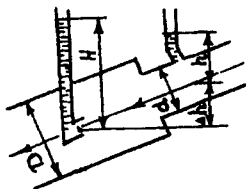
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , мм	764	698	604	588	526
$d$ , мм	100	150	125	200	75
$D$ , мм	125	200	150	250	100
$v_d$ , м/с	3,2	3,5	2,5	3,0	3,3



## Задача № 45

Визначити швидкість рідини в широкому перетині трубопроводу  $v_D$  (м/с), якщо рівні рідини в трубці Піто  $H$ , в п'єзометрі  $h$ , а відстань по вертикалі між центрами перетинів  $\Delta h$ . Співвідношення діаметрів  $D:d$ . Втратами напору знехтувати.

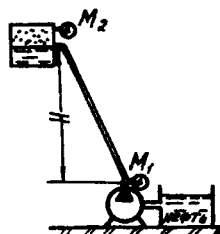
	Варіант				
	а	б	в	г	д
H, мм	700	720	740	760	780
$\Delta h$ , мм	200	210	220	245	275
h, мм	172	239	304	272	306
D:d	1,3	1,2	1,1	1,15	1,25



## Задача № 46

Визначити височінь підйому нафти H (м), якщо її витрата в трубопроводі  $Q_m$ , діаметр труб d, довжина трубопроводу l, показ манометрів  $p_{m1}$  та  $p_{m2}$ , відносна густина нафти  $\delta_n=0,89$ , а умовна в'язкість  $^{\circ}\text{ВУ}$ . Місцевими опорами знехтувати.

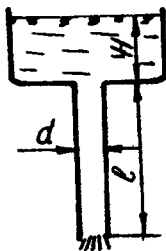
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_m$ , т/г	30	50	90	140	200
d, мм	125	150	200	250	300
l, м	150	140	130	120	110
$p_{m1}$ , кгс/см <sup>2</sup>	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0
$p_{m2}$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
$^{\circ}\text{ВУ}$	90	95	100	105	110



## Задача № 47

Визначити витрати води Q (м<sup>3</sup>/г) у трубі діаметром d та довжиною l, якщо височінь води в резервуарі H=1,2 м. Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість труби  $\Delta=0,2$  м.

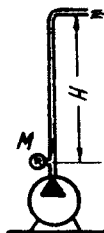
	Варіант				
	а	б	в	г	д
d, мм	38	32	25	19	13
l, м	2,1	2,2	2,8	2,4	2,5



## Задача № 48

Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата мазуту в трубопроводі  $Q_m$ , діаметр труб d, довжина трубопроводу l, височінь підйому H, відносна густина мазуту  $\delta_m=0,97$ , а умовна в'язкість  $^{\circ}\text{ВУ}$ . Місцевими опорами знехтувати.

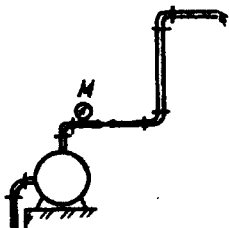
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_m$ , т/г	150	100	60	40	25
d, мм	250	200	150	125	100
l, м	400	380	360	340	320
H, м	21	20	19	18	17
$^{\circ}\text{ВУ}$	160	150	140	130	120



## Задача № 49

Визначити витрати води  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ) в трубопроводі діаметром  $d$  та довжиною  $l$ , якщо показ манометру  $p_m$ , височінь підйому  $H$ , кут відкриття пробкового крану  $\alpha$ , радіус закруглення колін  $R$ . Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість труб  $\Delta=0,2$  мм.

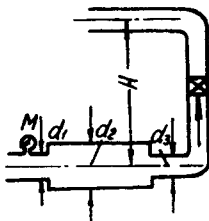
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$d$ , мм	125	200	250	100	150
$l$ , м	400	380	350	320	300
$H$ , м	19	37	26	22	30
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	3,4	5,2	4,1	3,7	4,5
$\alpha$ , град	40	35	30	25	20
$R$ , мм	125	284	357	111	167



## Задача № 50

Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата води в трубопроводі  $Q$ , височінь підйому  $H$ , діаметри труб  $d_1, d_2, d_3$ , ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d=0,5$ , радіуси закруглень колін  $R=1,25d$ . Втратами напору на прямих ділянках знехтувати, бо вони малі.

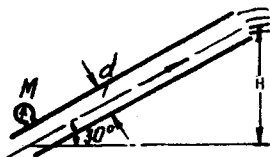
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q$ , м <sup>3</sup> /г	250	180	115	60	30
$H$ , мм	8	7	6	5	4
$d_1$ , мм	200	150	125	100	75
$d_2$ , мм	250	200	150	125	100
$d_3$ , мм	150	125	100	75	50



## Задача № 51.

Визначити височінь підйому нафти  $H$  (м), якщо витрата нафти в трубопроводі  $Q_m$ , діаметр труб  $d$ , показ манометра  $p_m$ , відносна густина нафти  $\delta_n=0,93$ , умовна в'язкість  $^{\circ}\text{ВУ}$ .

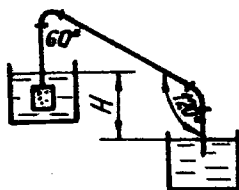
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q$ , т/г	100	150	450	250	350
$d$ , мм	200	250	400	300	350
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	5,2	4,16	3,24	2,91	2,25
$^{\circ}\text{ВУ}$	35	40	55	45	50



## Задача № 52

Визначити різницю рівнів води в резервуарах  $H$  (м), якщо через сифонний трубопровід діаметром  $d$  та довжиною  $l$  проходить витрата води  $Q$ . На всмоктуючому боці встановлено приймальний пристрій (сітка зі зворотним клапаном), радіус закруглення колін  $R=d$ . Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість труб  $\Delta=1,0$  мм.

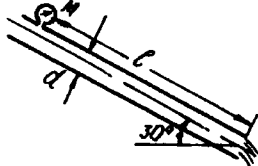
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	70	130	200	270	480
$d, \text{ мм}$	100	200	250	300	400
$l, \text{ м}$	28	26	24	22	20



## Задача № 53

Визначити витрати води  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), якщо діаметр труби  $d$ , довжина трубопроводу  $l$ , показ манометру  $p_m$ . Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість труб  $\Delta=0,5$  мм.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	0,5	0,45	0,40	0,35	0,30
$d, \text{ мм}$	25	32	38	50	65
$l, \text{ м}$	40	38	35	32	30

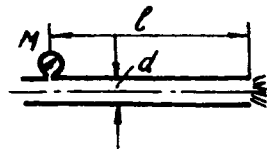


## Задача № 54

Визначити динамічну в'язкість  $\mu$  (Па·с) олії, що перекачується по трубопроводу діаметром  $d$  та довжиною  $l$ , якщо показ манометра  $p_m$ , витрата олії  $Q_m$ , а густина його  $\rho_m=870$   $\text{кг/м}^3$ .

При розв'язанні прийняти умовно, що режим руху олії ламінарний, а після визначення в'язкості олії перевірити.

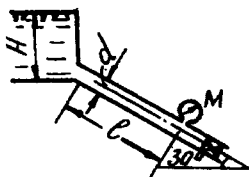
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_m, \text{ кг/с}$	28	16	11	7	4
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	0,8	1,1	1,2	1,5	2,0
$l, \text{ м}$	175	165	155	145	135
$d, \text{ мм}$	200	150	125	100	75



## Задача № 55

Визначити витрату води  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ) в трубопроводі діаметром  $d$  та довжиною  $l$ , якщо височінь води в резервуарі  $H=3$  м, показ манометра  $p_m$ . Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість труб  $\Delta=0,5$  мм. Опором вхідної ділянки знехтувати.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	1,33	1,0	1,3	1,2	1,0
$l, \text{ м}$	30	27	24	21	18
$d, \text{ мм}$	75	50	125	150	100

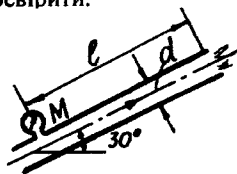


## Задача № 56

Визначити витрату нафти  $Q_m$  (кг/с) в трубопроводі діаметром  $d$  та довжиною  $l$ , якщо показ манометра  $p_m$ , відносна густина нафти  $\delta_n=0,9$ , умовна в'язкість  $^\circ\text{ВУ}$ .

Примітка. При розв'язанні задачі прийняти умовно, що режим руху нафти ламінарний, а після визначення швидкості олії перевірити.

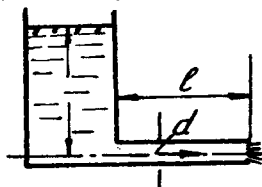
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m$ , кгс/см <sup>2</sup>	7,75	8,13	5,71	13,3	7,05
$l$ , м	120	110	100	90	80
$d$ , мм	125	100	150	50	75
$^\circ\text{ВУ}$	95	90	85	80	75



## Задача № 57

Визначити довжину трубопроводу  $l$  (м), по якому з резервуара тече нафта з відносною густиною  $\delta_n=0,9$  та умовною в'язкістю  $^\circ\text{ВУ}$ . Витрата нафти  $Q_m$ , діаметр труб  $d$ , височінь нафти в резервуарі  $H$ . Місцевими опорами знехтувати.

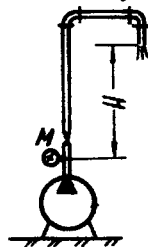
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , м	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7
$d$ , мм	150	125	100	75	50
$Q_m$ , т/г	75	55	32	19	8,5
$^\circ\text{ВУ}$	110	105	100	95	90



## Задача № 58

Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата води в трубопроводі  $Q$ , діаметр труб  $d$ , довжина трубопроводу  $l$ , височінь нагнітання  $H$ , ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d$ , радіус закруглення колін  $R$ . Коефіцієнт  $\lambda$  вирахувати за формулою Нікурадзе, прийнявши абсолютну шорсткість  $\Delta=0,5\text{мм}$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , мм	300	250	200	150	120
$l$ , м	390	320	300	270	150
$d$ , мм	100	125	150	200	250
$R$ , мм	167	157	150	250	417
$x:d$	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
$Q$ , м <sup>3</sup> /г	80	100	150	250	350

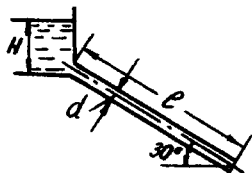




## Задача № 59

Визначити височінь рівня мазуту в резервуарі Н (м), якщо витрата мазуту  $Q$ , діаметр труби  $d$ , довжина труби  $l$ , густина мазуту  $\rho_m=950 \text{ кг/м}^3$ , умовна в'язкість мазуту  $^\circ\text{ВУ}$ .

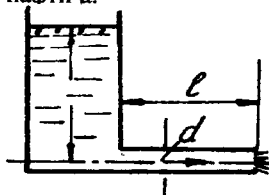
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	100	20	40	150	70
$l, \text{ м}$	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2
$d, \text{ мм}$	125	50	75	150	100
$^\circ\text{ВУ}$	140	130	120	110	100



## Задача № 60

Визначити режим руху нафти в трубопроводі та височінь нафти в резервуарі Н (м), якщо витрата нафти  $Q_m$ , довжина трубопроводу  $l$ , діаметр труб  $d$ , відносна густина нафти  $\delta_n=0,9$ , динамічна в'язкість нафти  $\mu$ .

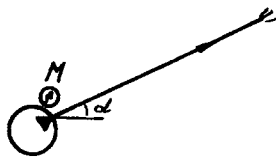
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_m, \text{ м}^3/\text{г}$	13	8,5	20	3	5
$d, \text{ мм}$	125	100	150	50	75
$l, \text{ м}$	85	80	75	70	65
$\mu, \text{ Пз}$	2,34	2,25	2,16	1,98	1,80



## Задача № 61

Визначити кут нахилу до горизонту  $\alpha$  прямолінійного трубопроводу довжиною  $l$ , зібраного з труб з зовнішнім діаметром  $d_2$  та товщиною стінок  $\delta$ , якщо показ манометра, який встановлено біля насоса,  $p_m$ , витрата води в трубопроводі  $Q$ , а еквівалентна довжина  $l_e=xl$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	450	350	250	100	80
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	6,3	6,0	5,1	4,2	3,2
$l, \text{ м}$	120	110	100	80	60
$x$	0,15	0,16	0,18	0,19	0,2
$d_{н2}, \text{ мм}$	325	273	219	168	140
$\delta, \text{ мм}$	7	6	5	4	2,5

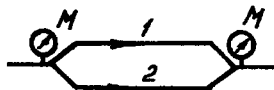


## Задача № 62

Визначити показ манометра  $M_1$   $p_{m1}$  (кгс/см<sup>2</sup>), який встановлено до розгалуження горизонтального трубопроводу, якщо характерні параметри паралельно з'єднаних ділянок 1 та 2: довжини  $l_1$  та  $l_2$ , зовнішні діаметри труб  $d_{s1}$  та  $d_{s2}$ , товщини стінок труб  $\delta_1$  та  $\delta_2$ , суми коефіцієнтів місцевих опорів у гідках

$\sum \zeta_1$  та  $\sum \zeta_2$ . Витрата води в трубопроводі  $Q$ , показ манометра  $M_2$ , встановленого після розгалуження,  $p_{M2}$ .

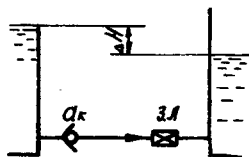
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{Г}$	55	180	800	360	270
$p_{M2}, \text{ кгс/см}^2$	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4
$l_1, \text{ км}$	1,1	1,2	1,3	1,25	1,15
$l_2, \text{ км}$	1,35	1,05	1,5	1,4	1,0
$d_{31}, \text{ мм}$	70	140	273	219	168
$d_{32}, \text{ мм}$	89	121	325	168	140
$\delta_1, \text{ мм}$	3	5	8	7	6
$\delta_2, \text{ мм}$	3,5	4,5	10	4	5
$\sum \zeta_1$	12	14	15	13	11
$\sum \zeta_2$	11	13	16	14	12



#### Задача № 63

Визначити довжину трубопроводу  $l$  (м), якщо різниця рівнів води у резервуарах  $\Delta H$ , умовний діаметр труб  $d_y$ , а товщина їх стінок  $\delta$ . Кут повороту пластини зворотнього клапану  $\alpha_{зк}$ , ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d$ . Витрата води в трубопроводі  $Q$ .

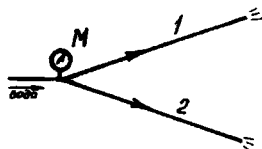
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{Г}$	250	180	95	65	40
$\Delta H, \text{ м}$	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$d_y, \text{ мм}$	250	200	150	125	100
$\delta, \text{ мм}$	11	10	8	7	5,5
$\alpha_{з.к.}, \text{ град}$	40	50	60	70	65
$x:d$	1/4	3/8	1/2	3/4	7/8



#### Задача № 64

Визначити витрати на 1-й та 2-й ділянках горизонтального трубопроводу  $Q_1$  та  $Q_2$ , якщо довжини цих ділянок  $l_1$  та  $l_2$ , зовнішні діаметри труб  $d_{31}$  та  $d_{32}$ , товщини стінок  $\delta_1$  та  $\delta_2$ , а показання манометру  $p_m$ . Місцевими опорами знехтувати.

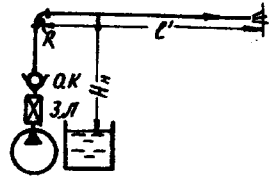
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	3,0	2,5	2,8	4,5	3,2
$l_1, \text{ км}$	1,75	1,65	1,55	1,45	1,35
$l_2, \text{ км}$	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
$d_{31}, \text{ мм}$	273	219	168	140	121
$d_{32}, \text{ мм}$	325	273	219	168	140
$\delta_1, \text{ мм}$	6	5	4	3,5	3,5
$\delta_2, \text{ мм}$	7	6	5	4	3,5



## Задача № 65

Визначити напір насоса  $H$  (м), необхідний для переміщення витрати води  $Q$  по трубопроводу, схему якого наведено на малюнку, якщо височінь нагнітання  $H_n$ , довжина горизонтальної ділянки трубопроводу  $l'$ , зовнішній діаметр труб  $d_3$ , товщина їх стінок  $\delta$ . Ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d$ , кут повороту пластини зворотного клапану  $\alpha_{з.к.}$ , радіус закруглення коліна  $R$ .

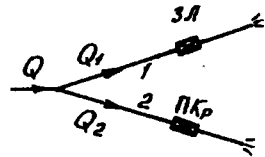
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q$ , м <sup>3</sup> /г	55	240	45	160	85
$H_n$ , м	200	250	300	270	220
$l'$ , м	720	700	680	620	650
$d_n$ , мм	140	273	121	219	168
$\delta$ , мм	7	8	4,5	7	8
$x:d$	5/8	1/4	7/8	3/8	1/2
$\alpha_{з.к.}$ , град	65	60	70	50	55
$R$ , мм	160	300	120	200	



## Задача № 66

Визначити довжину 1-ої ділянки трубопроводу  $l_1$  (м), якщо довжина другої ділянки  $l_2$ , внутрішні діаметри труб на ділянках  $d_{вн1}$  та  $d_{вн2}$ , ступінь відкриття засувки Лудло (з.л.)  $x:d$ , кут відкриття замкнутого органа пробкового крану (п.к.)  $\alpha$ . Витрати води на ділянках трубопроводу  $Q_1$  та  $Q_2$ .

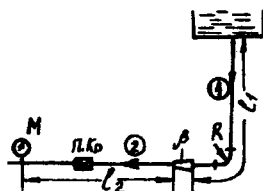
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_1$ , м <sup>3</sup> /г	310	90	250	150	140
$Q_2$ , м <sup>3</sup> /г	250	150	320	100	280
$l_2$ , м	500	700	900	400	600
$d_{вн1}$ , мм	297	160	257	199	209
$d_{вн2}$ , мм	251	205	305	156	261
$x:d$	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8
$\alpha$ , град	15	20	25	30	35



## Задача № 67

Визначити височінь рівня води в резервуарі  $H$  (м), якщо показ манометра, який встановлено в кінці другої ділянки трубопроводу,  $p_m$ . Довжини ділянок  $l_1$  та  $l_2$ , зовнішні діаметри труб ділянок  $d_{з1}$  та  $d_{з2}$ , товщини стінок труб  $\delta_1$  та  $\delta_2$ . Радіус закруглення відведення  $R$ , кут конфузора (плавного звуження)  $\nu$ , кут повороту замкнутого органа пробкового крану  $\beta$ . Витрата рідини в трубопроводі  $Q$ .

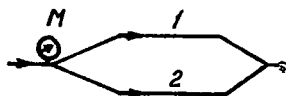
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{Г}$	90	40	25	60	150
$\rho_m, \text{ кгс/см}^2$	1,4	1,6	1,7	1,5	1,3
$l_1, \text{ м}$	200	250	300	230	210
$l_2, \text{ м}$	100	125	150	111	105
$d_{\text{вн}1}, \text{ мм}$	168	121	89	140	219
$d_{\text{вн}2}, \text{ мм}$	140	89	70	121	168
$\delta_1, \text{ мм}$	4	3,5	3	5	7
$\delta_2, \text{ мм}$	3,5	3,5	2,5	4,5	6
$R, \text{ мм}$	223	136	65,5	206	367
$\beta, \text{ град}$	30	15	10	20	40
$\alpha, \text{ град}$	20	30	35	25	15



## Задача № 68

Визначити середню швидкість води в трубах першої ділянки трубопроводу  $v_1$  (м/с), якщо показ манометра, який встановлено перед розгалуженням,  $\rho_m$ . Довжини ділянок  $l_1$  та  $l_2$ , внутрішні діаметри труб  $d_{\text{вн}1}$  та  $d_{\text{вн}2}$ , еквівалентні довжини ділянок  $l_{e1}$  та  $l_{e2}$ .

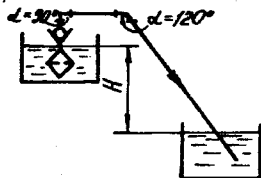
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$\rho_m, \text{ кгс/см}^2$	1,1	2,7	2,1	2,3	1,6
$l_1, \text{ м}$	700	500	550	450	370
$l_2, \text{ м}$	600	580	500	520	430
$d_{\text{вн}1}, \text{ мм}$	311	205	199	130	114
$d_{\text{вн}2}, \text{ мм}$	261	251	160	152	126
$l_{e1}, \text{ м}$	80	45	50	30	20
$l_{e2}, \text{ м}$	65	60	40	35	25



## Задача № 69

Визначити різницю рівнів води в резервуарах  $H$  (м), якщо витрата води у сифонному трубопроводі  $Q$ , довжина трубопроводу  $l$ , зовнішній діаметр труб  $d_0$ , товщина стінок труб  $\delta$ , в трубопроводі встановлені приймальний пристрій (сітка зі зворотнім клапаном) та два коліна без закруглень.

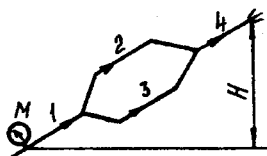
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{Г}$	180	120	90	45	25
$l, \text{ м}$	30	28	26	24	22
$d_0, \text{ мм}$	168	140	121	89	70
$\delta, \text{ мм}$	4	3,5	3,5	3	2,5



## Задача № 70

Визначити довжину 4-ої ділянки трубопроводу  $l_4$  (м), якщо довжини інших ділянок  $l_1$ ,  $l_2$  та  $l_3$ , внутрішні діаметри труб на ділянках  $d_{вн1}$ ,  $d_{вн2}$ ,  $d_{вн3}$  та  $d_{вн4}$ , показ манометра  $p_m$ , височінь підйому  $H$ , витрата води на 1-й ділянці  $Q_1$ . Місцевими опорами знехтувати.

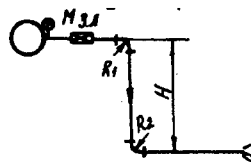
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q_1, \text{м}^3/\text{г}$	160	180	90	200	190
$H, \text{м}$	7,7	7,9	6,2	6,9	7,0
$p_m, \text{кгс}/\text{см}^2$	2,5	2,9	2,4	3,9	4,0
$l_1, \text{м}$	240	180	70	250	190
$l_2, \text{м}$	50	90	20	85	45
$l_3, \text{м}$	40	60	35	70	95
$d_{вн1}, \text{мм}$	209	160	114	205	156
$d_{вн2}, \text{мм}$	110	126	65	112	81
$d_{вн3}, \text{мм}$	83	112	82	130	126
$d_{вн4}, \text{мм}$	152	199	133	152	209



## Задача № 71

Визначити показ манометра  $p_m$  (кгс/см<sup>2</sup>), якщо витрата води в трубопроводі  $Q$ , перевищення осі насоса над місцем зливу рідини  $H$ , довжина трубопроводу  $l$ , зовнішній діаметр труб  $d_s$ , товщина стінок труб  $\delta$ , радіуси закруглень відхилень  $R_1$  та  $R_2$ , ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d$ .

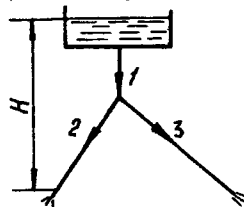
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{м}^3/\text{г}$	15	25	40	60	85
$H, \text{м}$	40	30	15	12	50
$l, \text{км}$	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
$d_s, \text{мм}$	70	89	121	140	168
$\delta, \text{мм}$	2,5	3	3,5	3,5	4
$R_1, \text{мм}$	46	51,3	94,2	73,3	99,4
$R_2, \text{мм}$	35,5	41	80,7	66	132,5
$x:d$	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4



## Задача № 72

Визначити відстань від рівня води в резервуарі до місця зливу її з нахилоного трубопроводу, якщо витрата води на ділянці 1  $Q$ , довжини ділянок  $l_1$ ,  $l_2, l_3$ , внутрішні діаметри труб  $d_{вн1}$ ,  $d_{вн2}$ ,  $d_{вн3}$ . Місцевими опорами знехтувати.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{м}^3/\text{г}$	350	270	190	100	70
$l_1, \text{м}$	70	60	50	40	30
$l_2, \text{м}$	30	35	25	35	20
$l_3, \text{м}$	40	45	30	40	25

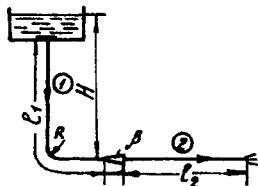


$d_{вн1}, \text{ мм}$	311	261	209	160	133
$d_{вн2}, \text{ мм}$	160	133	114	83	63
$d_{вн3}, \text{ мм}$	209	156	130	112	81

## Задача № 73

Визначити витрату води в трубопроводі  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), якщо височінь рівня води в резервуарі  $H$ , довжини ділянок  $l_1$  та  $l_2$ , зовнішні діаметри труб на ділянках  $d_{31}$  та  $d_{32}$ , товщини стінок труб  $\delta_1$  та  $\delta_2$ , радіус закруглення відводу  $R$ , кут розкриття дифузора (повільного розширення)  $\beta$ .

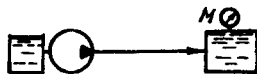
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H, \text{ м}$	5	4,5	10,5	18	3,5
$l_1, \text{ м}$	25	80	135	240	45
$l_2, \text{ м}$	40	95	150	255	60
$d_{31}, \text{ мм}$	70	89	121	14	168
$d_{32}, \text{ мм}$	89	121	140	168	219
$\delta_1, \text{ мм}$	2,5	3,5	4,5	5	6
$\delta_2, \text{ мм}$	3	3,5	3,5	4	5
$R, \text{ мм}$	54	59	70	72	78
$\beta, \text{ град}$	15	20	30	40	45



## Задача № 74

Визначити напір насоса  $H$  (м), що подає воду у паровий казан, якщо показ встановленого на казані манометра  $p_m$ , довжини трубопроводу  $l$ , зовнішній діаметр  $d_3$ , товщина стінок труб  $\delta$ , сума коефіцієнтів місцевих опорів  $\Sigma \xi$ . Витрата води в трубопроводі  $Q$ .

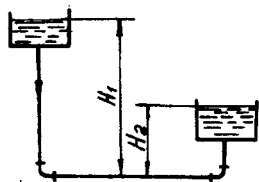
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	15	25	40	65	85
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	2,5	3,5	4	4,5	5,5
$l, \text{ м}$	50	60	70	80	90
$d_3, \text{ мм}$	70	89	121	140	168
$\delta, \text{ мм}$	3	3,5	4,5	5	6
$\Sigma \xi$	7,4	8,3	9,2	9,8	11



## Задача № 75

Визначити височінь рівня води в першому резервуарі  $H_1$  (м), якщо височінь рівня у другому резервуарі  $H_2$ , витрата води в трубопроводі  $Q$ , довжина трубопроводу  $l$ , умовний діаметр труб  $d_3$ , товщина стінок труб  $\delta$ , еквівалентна довжина  $l_3 = \chi l$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	85	65	45	25	15
$H_2, \text{ м}$	6	5,5	5	4,5	4
$l, \text{ м}$	25	30	35	40	45
$d_v, \text{ мм}$	150	125	100	75	50
$\delta, \text{ мм}$	4	3,5	3,5	3	2,5
$\chi$	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15

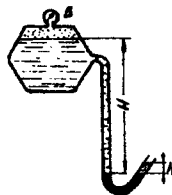


## Задача № 76

Визначити різницю рівнів ртуті  $h$  (мм), якщо височінь стовпу води  $H$ , а показ вакуумметра  $p_v$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H, \text{ м}$	2,12	2,6	2,5	2,4	2,36
$p_v, \text{ кгс/см}^2$	0,15	0,12	0,13	0,14	0,1

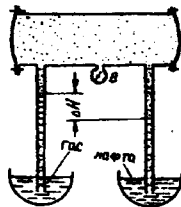
якщо



## Задача № 77

Визначити різницю рівнів рідин в трубках  $\Delta H$  (мм), якщо вакуум у повітряному резервуарі дорівнює  $h_v$ . Відносні густини рідин: нафти  $\delta_n=0,923$ , гасу  $\delta_k=0,8$ .

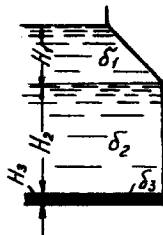
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$h_v, \text{ мм.рт.ст.}$	400	350	300	325	375



## Задача № 78

Побудувати епіюру збиткового тиску для контуру бокової стінки резервуару, якщо височини рівнів рідин у резервуарі  $H_1, H_2, H_3$ , а їх відносні густини  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ .

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H_1, \text{ мм}$	400	350	300	320	370
$H_2, \text{ мм}$	300	250	200	230	270
$H_3, \text{ мм}$	10	15	20	17	13
$\delta_1$	0,8	0,75	0,7	0,73	0,78
$\delta_2$	1	0,95	0,9	0,92	0,97
$\delta_3$	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6

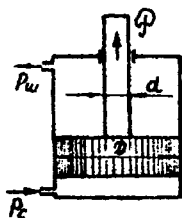


## Задача № 79

Визначити зусилля  $\mathcal{P}$  на штоці гідравлічної стійки, якщо діаметр толока  $D$ , діаметр штока  $d$ , тиск, що підводиться до толок стійки  $p_c$ , а тиск на толок з боку

штокової порожнини  $p_{ш}$ . Тертям толока у циліндрі, а також штока у сальнику знехтувати.

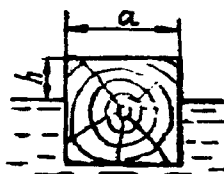
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$D$ , мм	220	280	300	340	200
$d$ , мм	100	120	140	160	100
$\rho_{сг}$ , кгс/см <sup>2</sup>	110	120	130	140	100
$p_{ш}$ , МПа	0,21	0,25	0,27	0,3	0,2



#### Задача № 80

Визначити височину виступаючої над водою частини дерев'яного бруса  $h$  (мм), якщо довжина його  $l$ , поперечний перетин має форму квадрата з боком  $a$ , відносна густина деревини  $\delta_d$ .

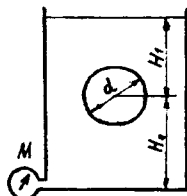
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$l$ , м	4	3,5	3	2,5	2
$a$ , мм	280	260	240	220	200
$\delta_d$	0,8	0,74	0,72	0,7	0,68



#### Задача № 81

Визначити силу тиску води на кришку, що закриває круглий отвір діаметром  $d$  у боковій стінці резервуару, якщо показ манометра  $p_m$ . Побудувати епюру тиску.

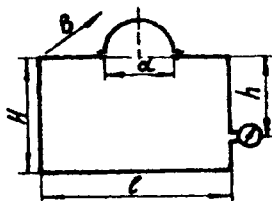
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m$ , МПа	0,042	0,041	0,04	0,039	0,038
$d$ , мм	460	480	500	490	470



#### Задача № 82

Визначити зусилля  $P$  (кН) що передається болтам напівсферичної кришки, що закриває круглий отвір діаметром  $d$  у верхній стінці резервуару, що має форму паралелепіпеда довжиною  $l$ , височиною  $H$ , шириною  $B$ , заповненим рідиною з відносною густиною  $\delta$ . Показ манометра  $p_m$ . Визначити також сили тиску рідини на бокові стінки та дно резервуару.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$p_m$ , МПа	0,014	0,02	0,03	0,015	0,1
$l$ , м	2	3	2,5	3,5	4,5
$H$ , м	1,0	1,2	1,5	1,0	1,6
$B$ , м	1,0	0,8	1,5	2,0	4,0
$d$ , м	0,5	0,6	1,0	0,8	1,2
$h$ , м	0,8	1,0	0,5	0,3	1,2
$\delta$	1,0	0,9	0,8	0,75	0,95

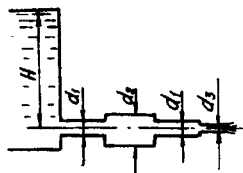




## Задача № 83

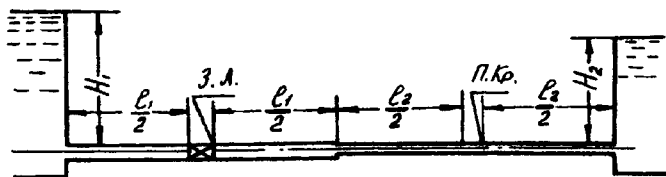
Визначити витрату води  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ) у горизонтальному трубопроводі змінного перетину, швидкості  $v$  на кожній з ділянок та побудувати п'єзометричну лінію, якщо відомі:  $H$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ . Втратами напору знехтувати.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H$ , м	5	4	3	4,5	6
$d_1$ , мм	15	20	25	30	35
$d_2$ , мм	20	25	30	35	40
$d_3$ , мм	10	15	20	25	30



## Задача № 84

Визначити височінь рівня води у лівому резервуарі  $H_1$  (м), якщо височінь рівня води у правому резервуарі  $H_2$ , а витрата води в трубопроводі  $Q$ . Довжини ділянок трубопроводу  $l_1$  та  $l_2$ , діаметри труб  $d_1$  та  $d_2$ , ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d$ , а кут повороту замкнутого органа пробкового крану  $\alpha$ . Після вирахування  $H_1$  побудувати п'єзометричну лінію.

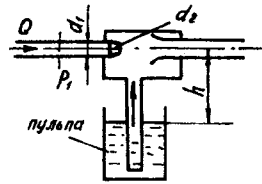


	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	290	185	100	60	45
$H_2$ , м	2	2,5	3	3,5	4
$l_1$ , м	40	45	50	30	25
$l_2$ , м	30	35	40	25	20
$d_1$ , мм	250	200	150	125	100
$d_2$ , мм	200	150	125	100	75
$x:d$	1/4	3/8	1/2	3/4	7/8
$\alpha$ , град	45	40	35	30	25

## Задача № 85

Визначити височінь всмоктування  $h$  (м) гідролеватора та абсолютний тиск  $p_2$  у камері перемішування, якщо витрата робочої рідини через насадок  $Q$ , тиск робочої рідини  $p_1$ , діаметр насадка  $d$ . Втратами напору у насадку та всмоктуючій трубі знехтувати. Густина пульпи  $\rho_n = 1100 \text{ кг/м}^3$ . Атмосферний тиск  $p_a = 101 \text{ кПа}$ .

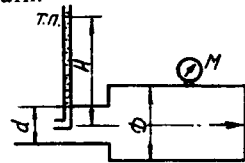
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	7,2	16,2	28,8	45	64,8
$p_1, \text{ МПа}$	0,25	0,19	0,27	0,18	0,173
$d_1, \text{ мм}$	50	80	100	125	150
$d_2, \text{ мм}$	11,8	20	23	33	40



## Задача № 86

Визначити витрату газу в трубопроводі  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), якщо в трубці Піто газу піднявся на височінь  $H$ , показ манометра  $h_m$ , діаметри труб  $d$  та  $D=2d$ , відносна густина газу  $\delta_k=0,8$ . Опором прямих ділянок знехтувати.

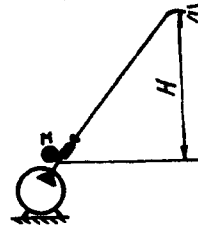
	Варіант				
	а	б	в	г	д
$H, \text{ мм}$	800	715	630	545	460
$H_m, \text{ мм.рт.ст}$	40	35	30	25	20
$d, \text{ мм}$	150	125	100	75	50



## Задача № 87

Визначити максимальну височінь  $H$  (м), на яку може бути піднята насосом вода, якщо подача насоса  $Q$ , показ манометра  $p_m$ , довжина трубопроводу  $l$ , діаметр труб  $d$ , абсолютна шорсткість труб  $\Delta=1$  мм, ступінь відкриття засувки Лудло  $x:d=3/8$ , кут відкриття зворотнього клапана  $\alpha=50^\circ$ , радіус закруглення коліна  $R=0,715d$ . Коефіцієнт  $\lambda$  визначити за формулою Нікурадзе.

	Варіант				
	а	б	в	г	д
$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	70	30	20	120	50
$p_m, \text{ кгс/см}^2$	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2
$l, \text{ м}$	180	160	140	120	100
$d, \text{ мм}$	150	100	75	200	125



## СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ОДИНИЦЯМИ

Одиниці	Па	кгс/см <sup>2</sup> (ат)	кгс/м <sup>2</sup>	мм.вод. ст.	м.вод. ст	мм.рт. ст	бар
1 Па=1 Н/м <sup>2</sup>	1	10,2·10 <sup>-6</sup>	0,102	0,102	102·10 <sup>-6</sup>	750·10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>
1 кгс/см <sup>2</sup>	98,1·10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10	735,6	0,981
1 кгс/м <sup>2</sup>	9,81	10 <sup>-4</sup>	1	1	10 <sup>-3</sup>	73,56·10 <sup>-3</sup>	98,1·10 <sup>-6</sup>
1 мм вод.ст.	9,81	10 <sup>-4</sup>	1	1	10 <sup>-3</sup>	73,56·10 <sup>-3</sup>	98,1·10 <sup>-6</sup>
1 м вод.ст.	9,81·10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	1	73,56	98,1·10 <sup>-3</sup>
1 мм рт.ст	133,3	1,36·10 <sup>-3</sup>	13,6	13,6	13,6·10 <sup>-3</sup>	1	1,333·10 <sup>-3</sup>
1 бар	10 <sup>5</sup>	1,02	10,2·10 <sup>3</sup>	10,2·10 <sup>3</sup>	10,2	750	1

б) кінематичної в'язкості:  $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$  (Ст) =  $10^6 \text{ мм}^2/\text{с}$  (сСт)

в) динамічної в'язкості:  $1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 10 \text{ дин} \cdot \text{с}/\text{см}^2$  (Пз)

г) найменування одиниць: ат – технічна атмосфера, Ст – стокс, сСт – сантистокс, дін – діна, Пз – пуаз.

## Додаток 2

УЗАГАЛЬНЕНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕ НОВИХ ВОДОПРОВІДНИХ ТРУБ ( ПРИ КВАДРАТИЧНОМУ ЗАКОНІ ОПОРУ  $v \geq 1,2 \text{ м/с}$  )

$\alpha_{вн}$ , ММ	$\alpha_{нн}$ , ММ	$\delta$ , ММ	$d_{вн}$ , ММ	$d_p$ , ММ	$k^2$ , М <sup>6</sup> /С <sup>2</sup>	$A_{дн}$ , С <sup>2</sup> /М <sup>6</sup>	$A_{м}$ , С <sup>2</sup> /М <sup>5</sup>
50	70	2,5	65	64	0,000272	3690	4925
		3,0	64	63	0,000249	4010	5245
		3,5	63	62	0,000229	4360	5590
75	89	3,0	62	82	0,00101	991	1830
		3,5	82	81	0,000945	1060	1920
		4,0	81	80	0,000885	1130	2020
100	121	3,5	114	113	0,00552	181	507
		4,5	112	111	0,00502	199	544
		5,5	110	109	0,00456	219	585
125	140	3,5	133	132	0,0126	79,5	272
		5,0	130	129	0,0111	89,7	298
		7,0	126	125	0,0094	106,0	338
150	168	4,0	160	159	0,0337	29,6	129
		6,0	156	155	0,0293	33,9	143
		8,0	152	151	0,0257	39,0	159
200	219	5,0	209	208	0,140	7,14	44,1
		7,0	205	204	0,126	7,91	47,7
		10,0	199	198	0,108	9,27	53,8
250	273	6,0	261	260	0,457	2,19	18,1
		8,0	257	256	0,421	2,37	19,2
		11,0	251	250	0,371	2,69	21,2
300	325	7,0	311	310	1,16	0,861	8,95
		10,0	305	304	1,05	0,955	9,67
		14,0	297	296	0,909	1,100	10,76

Примітка: узагальнені параметри розраховані для розрахункових діаметрів  $d_p = d_n - 2\delta - 1 \text{ мм} = d_{вн} - 1 \text{ мм}$  за формулами Ф.А. Шевелева при  $v \geq 1,2 \text{ м/с}$ . при швидкостях води  $v < 1,2 \text{ м/с}$  наведені у таблиці значення  $A_{дн}$  потрібно помножити, а  $k^2$  – поділити на поправочний коефіцієнт  $K_1$ , значення якого наведено нижче:

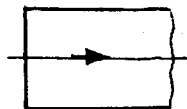
$v$ , м/с	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
$K_1$	1,014	1,027	1,043	1,062	1,085
$v$ , м/с	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
$K_1$	1,114	1,152	1,204	1,281	1,408

## КОЕФІЦІЄНТИ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ

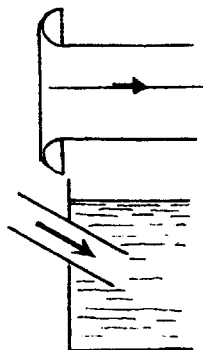
(наведені нижче значення  $\zeta$  відносяться до швидкісних напорів у розринах, що позначені на малюнках стрілками)

## 1. Вхід до труби:

а) з гострими краями, або урівень із стінкою резервуару  $\zeta=0,5$ ;

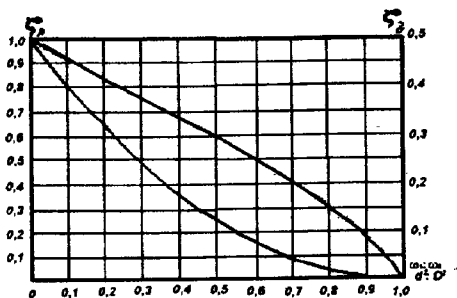


б) з плавними, закругленими краями (колектор)  $\zeta=0,02-0,05$ .



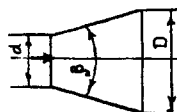
2. Вихід з труби ( в резервуар великих розмірів або у атмосферу)  $\zeta=1$

## 3. Раптове розширення або раптове звуження.



## 4. Плавне розширення (дифузор).

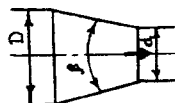
Значення  $\zeta$  залежить від співвідношення живих перетинів  $\omega_1:\omega_2$  та кута конусності  $\beta$  і може бути знайдено за формулою  $\zeta = \kappa_d \cdot \zeta_p$ , де  $\zeta_p$  – коефіцієнт місцевого опору раптового розширення,  $\kappa_d$  – коефіцієнт пом'якшення удару в дифузори:



$\beta$ , град	5	10	15	20	30	40	45	50	60
$\kappa_d$	0,13	0,17	0,26	0,41	0,71	0,90	0,98	1,03	1,12

## 5. Плавне звуження (конфузор):

$\beta$ , град	10	15	20	30	40	45	50	60
$\xi$	0,16	0,18	0,20	0,24	0,28	0,30	0,31	0,32



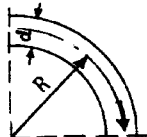
## 6. Коліно без закруглення:

$\alpha$ , град	15	30	45	60	75	90
$\xi$	0,06	0,17	0,32	0,58	0,79	1,26



## 7. Коліно з закругленням (відгилення) під кутом 90°:

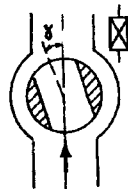
При кутах закруглення  $\alpha \neq 90^\circ$   $\xi$  можна знайти як твір табличного значення на відношення  $\alpha:90^\circ$ , де  $\alpha$  – додатковий кут до кута закруглення.



d:R	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\xi$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	1,097	1,408	1,978

## 8. Пробковий кран:

$\alpha$ , град	5	10	15	20	25
$\xi$	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10

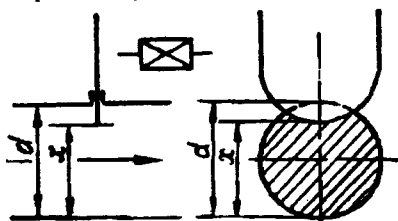


$\alpha$ , град	30	35	40	45	50
$\xi$	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6

## 9. Засувка Лудло:

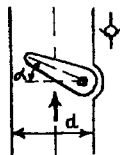
x:d	8/8	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8	1/8
$\zeta$	0	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	98,0

де x:d – ступінь відкриття засувки



## 10. Зворотній клапан:

$\alpha$ , град	20	30	40	50	60	70
$\zeta$	62	30	14	6,6	3,2	1,7



## 11. Приймальний пристрій (сітка зі зворотнім клапаном):

$d_v$ , мм	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500
$\zeta$	10,7	8,3	7,0	6,4	6,0	5,2	4,4	3,7	2,9	2,5

