

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА**

**М.М. Яковенко, Ю.П. Тітов**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з дисципліни

***"Технічна механіка рідини і газу"***

(для студентів 2, 4 курсу денної і заочної форм навчання  
напрямів підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»  
0926 «Водні ресурси» спеціальності "Водопостачання та водовідведення")

**ХАРКІВ  
ХНАМГ  
2009**

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Технічна механіка рідин і газу" (для студентів 2, 4 курсів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» 0926 «Водні ресурси» спеціальності "Водопостачання та водовідведення") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Яковенко М.М., Тітов Ю.П., - Х.: ХНАМГ, 2009. - 55 с.

Укладачі: М.М. Яковенко, Ю.П. Тітов

Рецензент: доц. А.М. Колотіло

У методичних вказівках наведено відомості з питань розрахунку задач з гідростатики яка вивчає рівновагу рідин і тиск рідини на поверхні які їх обмежують, а також довідкові матеріали.

Рекомендовано кафедрою ВВ і ОВ, протокол № 1 від 2.09 2009р.

## Зміст

1. Загальні методичні вказівки.....	4
2. Вказівки до окремих тем курсу.....	5
2.1. Вступ.....	5
3. Література .....	5
ЗМ 1.1. СТАТИКА РІДИНИ І ГАЗУ.....	6
ТЕМА №1 Предмет статички рідин і газів.....	6
ТЕМА №2 Гідростатичний тиск та його властивості.....	6
ТЕМА №3 Геометрична й фізична його інтерпретація.....	6
ТЕМА №4 Сила тиску на криволінійні поверхні.....	6
ТЕМА №5. Плавання тіл в рідині.....	7
ЗМ 1.2. ГІДРОДИНАМІКА РІДИНИ І ГАЗУ.....	8
ТЕМА №1 Предмет гідродинаміки.....	8
ТЕМА №2 Моделі руху частинок рідини.....	8
ТЕМА №3 Рівняння Бернуллі для нев'язкої і в'язкої елементарної струминки.....	8
ТЕМА №4 Геометрична й фізична інтерпретація рівняння.....	8
ЗМ 1.3. ВИДИ РУХУ РІДИН І ГАЗІВ В НАПІРНИХ ТА БЕЗНАПІРНИХ СИСТЕМАХ.....	10
ТЕМА №1 Гідравлічні опори, їх фізична природа і класифікація...	10
ТЕМА №2 Гідравлічно гладкі й гідравлічно шорсткі поверхні.....	10
ТЕМА №3 Основні залежності для розрахунку коротких і довгих трубопроводів.....	11
ТЕМА №4 Класифікація насадків при витіканні рідини в газове середовище або рідину.....	11
4. Приклади розв'язання задач.....	13
5. Задачі з курсу ТМРГ.....	25
6. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з курсу «Технічна механіка рідини і газу».....	42
Додатки.....	48

## **1. Загальні методичні вказівки**

Вивчення курсу «Технічна механіка рідини і газу (ТМРГ)» дозволяє студентам оволодіти теоретичними і практичними знаннями, методами розрахунків.

Вивчення ТМРГ починають з вивчення історії розвитку механіки рідини взагалі. Далі необхідно ознайомитися з фізичними властивостями рідини. Наступний крок - це вивчення основ гідростатики і гідродинаміки та їх застосування при розрахунку практичних задач.

Знання гідравліки необхідне для засвоєння наступних курсів:

- гідравлічні й аеродинамічні машини;
- насосні й повітродувні станції;
- водопостачання;
- водовідведення.

Вивчення курсу складається із самостійної роботи студента над книгою, проходження практичних занять, виконання лабораторних робіт та відвідування лекцій. При вивченні курсу студенти повинні виконати розрахунково-графічну роботу.

Знання теоретичних основ з ТМРГ недостатнє для засвоєння курсу. Для повноцінного засвоєння курсу необхідно оволодіти розрахунками, вміти застосовувати розрахункові формули, за допомогою яких розв'язують практичні задачі.

Весь курс вивчають за окремими темами. Змістовними модулями. Вивчення теми відбувається за схемою:

- спочатку вивчають теоретичну частину;
- на практичних заняттях розбирають приклади задач з їх розв'язанням;
- опрацьовують питання для самоперевірки.

Самостійне вирішення задач треба розпочинати з побудови плану розв'язання, встановити, якими теоретичними положеннями й емпіричними формулами належить скористатися і тільки після цього приступити до числового вирішення задач. Недостатня увага до розмірності окремих величин призводить до отримання невірних результатів у гідравлічних розрахунках, тому протягом розв'язання необхідно перевіряти розмірності окремих величин.

Важливим елементом вивчення курсу є виконання розрахунково-графічних завдань (РГЗ) і лабораторних робіт. Студент повинен виконати РГЗ пройти лабораторний практикум, написати тести за двома змістовними модулями і скласти іспит.

## **2. Вказівки до окремих тем курсу**

### **2.1. Вступ**

Починаючи вивчення курсу ТМРГ, студент повинен зрозуміти, яке місце займає ця дисципліна у загальнотехнічній підготовці спеціалістів за вибраним фахом. Треба знати який зв'язок між вивченням цього курсу та інших спеціальних дисциплін.

Вивчаючи основні етапи розвитку гідравліки як наукової дисципліни, студент повинен засвоїти, який внесок зробили вітчизняні й зарубіжні вчені.

Необхідно вивчити основні фізичні властивості рідини. Студент повинен вміти дати визначення фізичних властивостей рідин: об'ємна і питома вага, густина, стислість, температурне розширення, в'язкість. Необхідно знати, які параметри характеризують наведені властивості рідини і які розмірності цих параметрів.

Окремо треба зупинитись на причинах виникнення сил внутрішнього і зовнішнього тертя в рідинах, що рухаються.

Важливе значення має засвоєння студентами поняття ідеальної рідини.

## **3. ЛІТЕРАТУРА**

Богомолів А.И., Михайлов К.А. Гидравлика. Учебник для вузов. Изд. 2 е: - М., Стройиздат, 1972. - 618 с.

Большаков В.А., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. – К.: Вища шк. 1989.-215с.

Гідравліка і нагнітачі: Навч. посібник /О.М. Грабовський, О.М. Цабієв. - К.: НМК ВО, 1992.-316с.

Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник для вузов. В 2-х кн.-М.: Энергоатомиздат. 1991. 315с.

## **ЗМ 1.1. СТАТИКА РІДИНИ І ГАЗУ**

### **ТЕМА №1. Предмет статички рідин та газів**

### **ТЕМА №2. Гідростатичний тиск та його властивості**

При вивченні теми студент повинен засвоїти, які сили діють в рідині в спокої. Треба знати, які сили відносяться до внутрішніх і зовнішніх, які – до вагових і які до поверхневих. Треба чітко уявляти різницю між поняттями середній гідростатичний тиск, гідростатичний тиск у точці і сумарний гідростатичний тиск на поверхню. Студент повинен уміти сформулювати й довести дві властивості гідростатичного тиску, зв'язок між гідростатичними тисками в різних точках рідини, що визначається диференціальними рівняннями Л. Ейлера. Студент повинен мати уявлення про різницю між абсолютним і манометричним тиском. Треба знати, якщо абсолютний тиск менше атмосферного, то різницею між атмосферним і абсолютним тиском вакуум.

Важливим поняттям є п'єзометрична висота, п'єзометричний і гідростатичний напір. Необхідно зрозуміти, що п'єзометрична висота являє собою манометричний тиск у точці рідини, а п'єзометричний напір - питому потенційну енергію непорушної рідини. Студент повинен засвоїти методику побудови епюр гідростатичного тиску.

### **ТЕМА №3. Геометрична та фізична його інтерпретація**

### **ТЕМА №4. Сила тиску на криволінійні поверхні**

Вивчення цієї теми необхідно починати з виведення аналітичної залежності сили сумарного гідростатичного тиску рідини на плоску фігуру (стінку) й глибину занурення її центра тиску. Отримані залежності треба закріпити шляхом розгляду декількох випадків тиску рідини на прямокутні стіни й зробити виведення для цих випадків окремих формул.

Тиск рідини на криволінійну поверхню визначається виведенням формули для горизонтальної і вертикальної складової сили повного сумарного

тиску у випадку плоскої та просторової задачі і навчитись визначати силу повного тиску, його напрям та точку прикладення.

У цій темі необхідно розглянути тиск рідини на стінки труб і резервуарів і вивести формулу для визначення товщини їх стінок.

### **Тема №5. Плавання тіл в рідині**

Теорія плавання тіл у рідині основана на законі Архімеда. Необхідно сформулювати і доказати цей закон, отриманою раніше залежністю для сили сумарного гідростатичного тиску рідини на плоскі поверхні і формулою для ваги тіла. Слід проаналізувати рівняння рівноваги тіла, зануреного в рідину, та визначити можливий стан тіла в залежності від співвідношення між його вагою та виштовхувальною силою.

Вивчення остійності плаваючих тіл треба починати з засвоєння основних понять. Необхідно знати місця розташування центра ваги, центра тиску і метацентру тіла; дати визначення поняттям метацентричного радіусу та метацентричної висоти. Студент повинен давати схеми остійності, неостійного і байдужої рівноваги положення плаваючого тіла.

## **ЗМ 1.2. ГІДРОДИНАМІКА РІДИНИ І ГАЗУ**

### **ТЕМА №1. Предмет гідродинаміки**

### **ТЕМА №2. Моделі руху частинок рідини**

### **ТЕМА №3. Рівняння Бернуллі для нев'язкої та в'язкої елементарної струминки**

### **ТЕМА №4. Геометрична та фізична інтерпретація рівняння**

До вивчення цієї теми треба поставитись уважніше, тому що цей матеріал є теоретичною базою для засвоєння наступних тем.

Головною задачею гідродинаміки є розрахунки основних компонентів руху – гідростатичного тиску, швидкості руху у різних точках рідини. Студент повинен знати яка роль при розв'язанні питань гідродинаміки відводиться теоретичним дослідженням, а яка експериментальному вивченню закономірностей руху рідини.

Вивчення теми необхідно починати з засвоєння видів руху рідини. Треба знати визначення та приклади видів руху рідини: сталий та несталий, рівномірний і нерівномірний, напірного та безнапірного.

Студент повинен знати струминну модель руху рідини, а також засвоїти поняття про елементарну струминку та її властивості.

Потік рідини характеризують основними гідравлічними елементами до яких відносяться: живий переріз, змочений периметр, гідравлічний радіус, витрата, середня швидкість.

Важливе значення у гідродинаміці має рівняння витрати, а також рівняння нерозривності, яке установлює зв'язок між середніми швидкостями і площами живих перерізів у різних місцях за довжиною потоку рідини.

Рівняння руху рідини, встановлює зв'язок між швидкістю, гідродинамічним тиском та ординатою для будь-якої точки рідини яка рухається, несе назву рівняння Д. Бернуллі. Це рівняння лежить у основі всієї гідродинаміки і дозволяє вирішувати різноманітні практичні задачі. Вивчення



рівняння Д. Бернуллі треба починати з руху елементарної струмени ідеальної рідини. Вивід рівняння Д. Бернуллі для елементарної струмени ідеальної рідини треба вести з закону кінетичної енергії. Треба засвоїти геометричний і фізичний смисл рівняння Д. Бернуллі у цілому та його окремих членів. При цьому необхідно засвоїти такі поняття як, п'єзометрична і напірна лінія, гідродинамічний напір, п'єзометричний ухил, питома потенціальна, кінетична і повна питома енергія та інші.

При вивченні рівняння Д. Бернуллі для цілого потоку реальної рідини важливо звернути увагу на умови застосування цього рівняння і на фізичний сенс коефіцієнта нерівномірності розподілу швидкостей за живим перерізом. Треба знати, які види втрат напору мають місце при русі рідини та чим воно визвано.

Студент повинен засвоїти вивід основного рівняння рівномірного руху рідини, формулу для середньої швидкості потоку рідини (формула Шезі), а також залежність втрат напору за довжиною і на місцеві опори. Треба знати зв'язок між швидкісним множником  $C$  і коефіцієнтом гідравлічного тертя  $\lambda$ , а також знати розмірності цих параметрів.

## **ЗМ 1.3. ВИДИ РУХУ РІДИН ТА ГАЗІВ В НАПІРНИХ ТА БЕЗНАПІРНИХ СИСТЕМАХ**

### **ТЕМА №1. Гідравлічні опори, їх фізична природа і класифікація**

### **ТЕМА №2. Гідравлічно гладкі та гідравлічно шорсткі поверхні**

Вивчення цієї теми починають з з'ясування зовнішніх розпізнань між ламінарним і турбулентним режимами руху рідини. Треба знати формулу критерію Рейнольдса та його критичного значення, а також формулу критичних швидкостей, при яких один режим руху рідини переходить у другий.

Вивчення ламінарного руху рідини вимагають засвоєння наступних питань:

- закону розподілу дотичних напружень та місцевих швидкостей за живим перерізом потоку рідини;
- формул максимальної і середньої швидкості потоку рідини у будь-якому перерізі труби, а також залежність втрат напору і коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$

Вивчаючи турбулентний рух студент повинен мати уяву про структуру турбулентного потоку рідини, про причини які визивають збільшення дотичних опорів при турбулентному русі, про характер розподілу швидкостей за живим перерізом потоку рідини, про вплив числа Рейнольдса та шорсткості стінок труби на величину коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  і вміти пояснити універсальні графіки опорів, складених за опитами І.І. Нікурадзе, Г.А. Муріна.

З багатьох залежностей швидкісного множника  $C$  і коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  студентам рекомендовано запам'ятати формулу академіка Н.Н. Павловського для коефіцієнта  $C$ , а також формули Блазіуса, П.К. Коновалова Г.А. Муріна для коефіцієнта  $\lambda$ .

Далі треба перейти до вивчення втрат напору при проходженні місцевих опорів. Необхідно знати причини які визивають місцеві втрати напору, а також загальну залежність для визначення всіх втрат. Окремо необхідно зупинитись на виводі формули для втрат напору при миттєвому розширенні потоку рідини. Треба також засвоїти методику визначення сумарного коефіцієнта опору системи трубопроводу.

**ТЕМА №3. Основні залежності для розрахунків коротких та довгих  
трубопроводів**

**ТЕМА №4. Класифікація насадків при витіканні рідини в газове  
середовище або рідину**

При вивченні цієї теми студент повинен з'ясувати різницю між типами трубопроводів: короткими і довгими, простими і складними, розгалуженими і замкнутими, з транзитними і путьовими втратами рідини.

Для гідравлічного розрахунку трубопроводів використовують: рівняння Д. Бернуллі, формули для визначення втрат напору за довжиною потоку рідини і на подолання місцевих опорів, а також залежності або таблиці для знаходження різних гідравлічних характеристик трубопроводів. До числа гідравлічних характеристик трубопроводів відноситься витратна характеристика. Необхідно знати формули витрати і втрат напору за довжиною яку виражають через витратну характеристику трубопроводу.

Важливе значення при гідравлічних розрахунках має поняття оптимальних швидкостей руху рідини у трубах.

При вирішенні практичних задач частіше усього зустрічається з гідравлічним розрахунком трубопроводів при турбулентному русі рідини. Тому при вивченні цієї теми основну увагу треба приділити засвоєнню методики гідравлічного розрахунку трубопроводів при турбулентному режимі руху рідини.

**А. Розрахунки простих трубопроводів:**

1. визначення витрати рідини  $Q$  при наступних заданих параметрах: довжина трубопроводу  $l$ , його діаметрі  $d$ , напору на початку трубопроводу  $H$  і вільному напорі на кінці трубопроводу  $h_{св}$ ;
2. визначити необхідний напір на початку трубопроводу  $H$  при заданих  $Q, l, d, h_{св}$ ;
3. визначення діаметру трубопроводу  $d$  при заданих  $Q, l, h_{св}, H$ ;

4. визначити необхідний напір на початку трубопроводу  $H$  і його діаметр при заданих  $Q$ ,  $l$ ,  $h_{\text{св}}$ ;

5. визначити пропускну здатність простого трубопроводу, який складається з декількох ділянок з трубами різного діаметру.

### **В. Розрахунки складних трубопроводів:**

1 визначення витрати рідини у паралельних гілках замкнутого трубопроводу при заданих: довжині, діаметрі, загальній витраті;

2 визначення необхідного напору на початку розгалуженого трубопроводу і діаметрів труб на всіх його ділянках при відомій схемі мережі у плані, заданих витратах і вільних напорах на кінці всіх ділянок.

Окремо треба зупинитись на вивченні методики розрахунку коротких трубопроводів які мають велику кількість місцевих опорів. У якості приклада гідравлічного розрахунку коротких трубопроводів рекомендуємо розглянути розрахунки усмоктуючих труб насосів і сифона. У першому випадку визначають висоту установки насосу над рівнем води у водозабірному колодязі, а у другому випадку витрата і допустима висота сифону.

Необхідно вивчити теорію гідравлічного удару у трубах, розібратися у його фізичній сутності і методах запобігання.

#### 4. Приклади розв'язання завдань

**Завдання 1.** Визначити ціну ділення шкали мікроманометра, трубка якого заповнена бензином і нахилена під кутом  $\alpha=15^\circ$  до горизонту (мал. 1). Питома вага бензину  $\gamma=0,75 \text{ Г/см}^3$ .

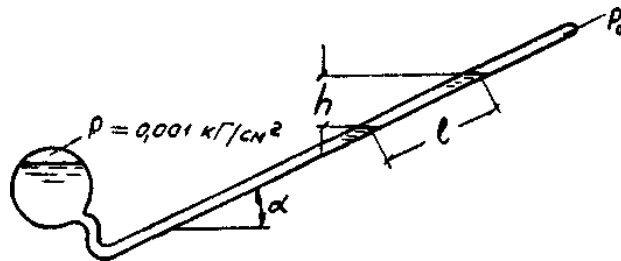


Рис. 1.

**Рішення.** Скористаємося основним рівнянням гідростатики:

$$p = p_0 + \gamma h = p_0 + \gamma l \sin \alpha; \sin 15^\circ = 0.258.$$

З цього рівняння ціна поділу шкали мікроманометра

$$l = \frac{p - p_0}{\gamma \sin \alpha} = \frac{0.001}{0.00075 \times 0.258} = 5.2 \text{ см}$$

**Завдання 2.** Потрібно визначити питому вагу рідини, що не змішується з водою і налитий в ліве коліно U-образної скляної трубки на висоту  $h = 1,0 \text{ м}$ , якщо в праве коліно трубки налита вода і її рівень знаходиться нижчим за рівень рідини в лівому коліні на величину  $\Delta h = 0,2 \text{ м}$  (мал. 2). Питома вага води  $\gamma=1 \text{ Г/см}^3$ .

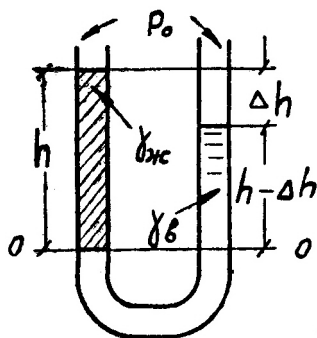


Рис. 2.

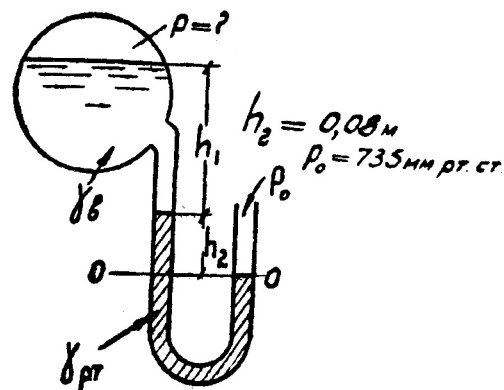


Рис. 3

*Рішення.* Складаємо рівняння рівноваги рідини щодо горизонтальної площині Про — Про:

$$p = p_o + \gamma_{\text{ж}} h = p_o + \gamma_{\text{в}} \cdot (h + \Delta h),$$

звідки питома вага рідини

$$\gamma_{\text{ж}} = \gamma_{\text{в}} = \frac{h - \Delta h}{h} = \frac{1.0 - 2.0}{1.0} \times 1.0 = 0.8 \Gamma / \text{см}^2 = 800 \text{кГ} / \text{м}^3 = 7850 \text{н} / \text{м}^3.$$

**Завдання 3.** Визначити абсолютний тиск  $p$  на поверхні водмы в судині (рис 3) і вакуум при різниці рівнів води і ртуті  $h_1 = 0,50 \text{ м}$  і  $h_2 = 0,08 \text{ м}$  если  $\gamma_{\text{рт}} = 13,6 \text{ г/см}^3$  і  $\gamma_{\text{в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$ .

*Рішення.* Складаємо рівняння рівноваги рідини правої і лівої частини коліна для горизонтальної площині О-О:

$$h + \gamma_{\text{в}} h_1 + \gamma_{\text{рт}} h_2 = p_o$$

де

$$p = p_o - \gamma_{\text{в}} h_1 - \gamma_{\text{рт}} h_2 = 1.00 - 0.001 \cdot 50 - 0.0136 \cdot 8 = 1.00 - 0.05 - 0.11 = 0.84 \text{кГ} / \text{см}^2$$

Вакуум буде рівний  $p_o - p = 1.00 - 0.84 = 0.16 \text{кГ} / \text{см}^2$  або 16%.

**Завдання 4.** Бензину в гаражі зберігається в спеціальному резервуарі (рис. 4). Визначити висоту стовпа  $H$  бензину в зервуаре, якщо манометр, приєднаний до нього, показує тиск  $p_m = 0,25 \text{ кГ/см}^2$  Тиск на вільній поверхні бензину атмосферний. Питома вага бензину  $\gamma = 755 \text{ кг/см}^3$ . Манометр приєднаний на відстані  $a = 0,2 \text{ м}$  від дна резервуару.

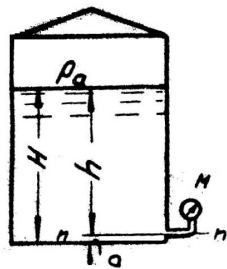


Рис. 4

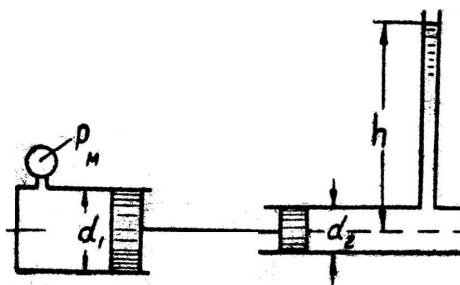


Рис. 5.

*Рішення.* Запишемо умову рівноваги щодо перетину  $n-n$ :

$$p_a + \gamma h = p_m + p_a,$$

звідки

$$h = \frac{p_m}{\gamma} = \frac{0.25}{0.000755} = 331 \text{ см} = 3.31 \text{ м}$$

Висота стовпа бензину в резервуарі

$$H = h + 3.31 + 0.2 = 3.51 \text{ м}$$

**Завдання 5.** Визначити, на яку висоту  $h$  може підняти воду прямодіючий паровий насос при наступних даних: діаметр парового циліндра  $d_1 = 0,3 \text{ м}$  і манометричний тиск в ній  $p_m = 0.8 \text{ кг/см}^2$ ; діаметр водяного циліндра  $d_2 = 0,05 \text{ м}$  (рис. 5). Вважати, що система знаходиться в рівновазі. Тертям поршнів в циліндрах нехтувати.

Рішення. По умові рівноваги сили, що діють зліва і справа, мають бути рівні:  $P_1 = P_2$ .

$$P_1 = p_m \frac{\pi d_1^2}{4} = \gamma h \frac{\pi d_2^2}{4}$$

звідки отримуємо

$$h = \frac{p_m d_1^2}{\gamma d_2^2} = \frac{0.8 * 30^2}{0.001 * 5^2} = 28800 \text{ см} = 288 \text{ м},$$

**Завдання 6.** На поршень одного із сполучених посудів, заповнених водою, діє сила  $P_1 = 80 \text{ кг}$ . Яку силу  $P_2$  треба прикласти до другого поршня, якщо рівень води під ним на  $h = 0,5 \text{ м}$  вище за рівень води під першим поршнем і система знаходиться у рівновазі (рис. 6)? Діаметр першого поршня  $d_1 = 0,2 \text{ м}$ , другого поршня  $d_2 = 0,3 \text{ м}$ .

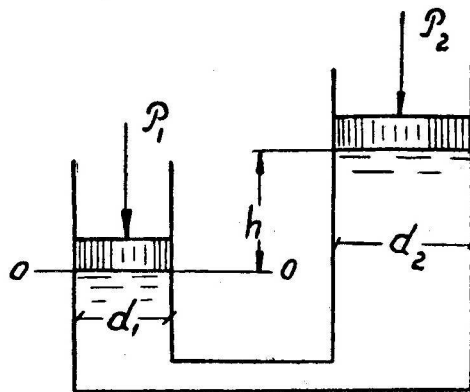


Рис. 6.

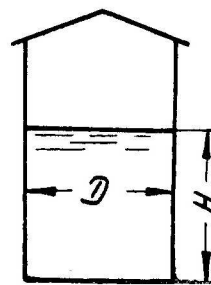


Рис. 7

Рішення. Складаємо рівняння рівноваги щодо плоскості О-О:

$$\frac{P_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{P_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}} + \gamma h$$

З цього рівняння сила

$$P_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \left( \frac{P_1 * 4}{\pi d_1^2} - \gamma h \right) = \frac{3.14 * 0.3^2}{4} \left( \frac{80 * 4}{3.14 * 0.2^2} - 1000 * 0.5 \right) = 145 \text{ кГ} = 1422 \text{ Н}$$

**Завдання 7.** Визначити силу гідростатичного тиску бензину на дно резервуару (рис. 7). Діаметр резервуару  $D = 3 \text{ м}$ , висота стовпа рідини в резервуарі  $H = 2 \text{ м}$ . Питома вага бензину  $\gamma = 0.736 \text{ т/м}^3$ . Тиск на поверхні рідини дорівнює атмосферному.

Рішення. Сила гідростатичного тиску бензину на дно резервуару

$$P = \gamma H \omega$$

Площа дна

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 * 3^2}{4} = 7.07 \text{ м}^2$$

$$\text{Сила } P = 0.736 * 2 * 7.07 = 10.4 \text{ т} = 10200 \text{ Н}.$$

**Завдання 8.** Визначити силу гідростатичного тиску на квадратний щит, що закриває отвір в похилій стінці, а також глибину занурення центру тиску при наступних даних:  $d=0.3 \text{ м}$ ;  $a=1.0 \text{ м}$ ;  $\alpha=45^\circ$ ; питома вага води  $\gamma=1 \text{ т/м}^3$ .

Рішення. Сила гідростатичного тиску води на щит

$$P = \gamma h_o \omega$$

Глибина занурення центру тяжіння щита

$$h_o - \left( a + \frac{d}{2} \right) \sin \alpha \quad \sin 45^\circ = 0.707$$

$$h_o = \left( 1 + \frac{0.3}{2} \right) * 0.707 = 0.814 \text{ м}$$

Площа щита

$$\omega = d^2 = 0.3^2 = 0.09 \text{ м}^2$$

$$\text{Сила } P = 1 * 0.814 * 0.09 = 0.0733 \text{ т} = 73.3 \text{ кГ} = 719 \text{ Н}.$$



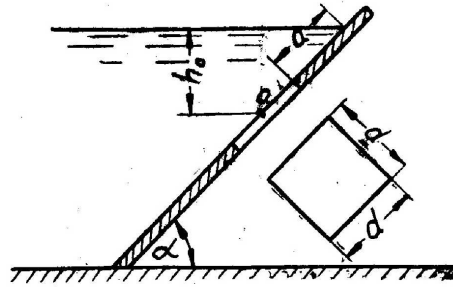


Рис. 8

Глибина занурення центру тиску

$$h = h_o + \frac{I_o}{\omega h_o} \sin^2 \alpha.$$

Момент інерції

$$I_o = \frac{d^4}{12} = \frac{0.3^4}{12} = 0.000675 \text{ м}^4$$

$$h_c = 0.814 + \frac{0.000675}{0.09 * 0.814} 0.707^2 = 0.814 + 0.005 = 0.819 \text{ м}$$

**Завдання 9.** У бічній стінці резервуару є прямокутний отвір шириною  $b=1,2 \text{ м}$  і висотою  $h=1,0 \text{ м}$  (мал. 9), яке закрито щитом, що обертається навколо осі  $O$  і притискуваним вантажем вагою  $G$ .

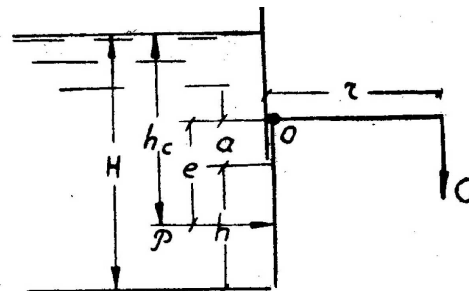


Рис. 9.

Довжина важеля  $r=1,5 \text{ м}$ . Глибина води в резервуарі  $H = 3,2 \text{ м}$  і піднесення осі обертання щита над верхньою кромкою отвору  $a = 0,2 \text{ м}$ .

Визначити силу  $G$  і повне зусилля  $R$ , на яке повинні розраховуватися шпильки осі  $O-O$ .

**Рішення.** Сила гідростатичного тиску води на щит

$$P = \gamma \omega = \gamma \left( H - \frac{h}{2} \right) h * b = 1.0 \left( 3.2 - \frac{1.0}{2} \right) 1.0 * 1.2 = 3.24 \text{ т} = 31800 \text{ Н}$$

Глибина занурення центру тиску

$$h_c = h_o + \frac{I_o}{\omega h_o} = \left( H - \frac{h}{2} \right) + \frac{\frac{bh^3}{12}}{bh \left( H - \frac{h}{2} \right)} = \left( 3.2 - \frac{1.0}{2} \right) + \frac{\frac{1.2 * 1.0^3}{12}}{1.2 * 1.0 \left( 3.2 - \frac{1.0}{2} \right)} = 2.73 \text{ м}$$

Для визначення сили  $O$  складемо рівняння моментів щодо осі, що проходить через точку  $O$ :

$$Gr - Pl = 0$$

звідки сила

$$G = P \frac{l}{r}$$

Відстань

$$l = (h + a) - (H - h_c) = (1.0 + 0.2) - (3.2 - 2.73) = 0.73 \text{ м}$$

Тоді

$$G = P \frac{l}{r} = 3.24 * \frac{0.73}{1.50} = 1.58 \text{ м} = 15500 \text{ Н}$$

Зусилля

$$R = \sqrt{G^2 + P^2} = \sqrt{1.58^2 + 3.24^2} = 3.60 \text{ т} = 35300 \text{ Н}$$

**Завдання 10.** Трикутний отвір, утворений зрізом кута резервуару, закритий трикутним щитом, нахиленим під кутом  $\alpha = 30^\circ$  до вертикалі (рис. 10). Основа  $a$  і висота  $b$  трикутного отвору рівні 2,0 м. Щит, що закриває трикутний отвір, обертається щодо осі  $O - O$  і утримується ланцюгом, прикріпленим до нього на відстані  $p = 2,0$  м від основи і натягнутою під кутом  $\beta = 120^\circ$  до щита. Знайти натягнення ланцюга  $T$  і реакцію опор  $R$  осі  $O-O$  при напорі води  $H = 3,2$  м.

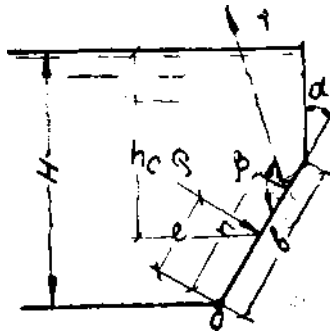


Рис. 10.

*Рішення.* Сила гідростатичного тиску води на трикутний щит

$$P = \gamma h_o \omega = \gamma \left( H + \frac{b}{3} \cos \alpha \right) \frac{ab}{2} = 1.0 \left( 3.2 - \frac{2}{3} 0.866 \right) * \frac{2 * 2}{2} = 5.24 m$$

Глибина занурення центру тиску

$$h_c = h_o + \frac{I_o}{\omega h_o} \sin^2 (90 - \alpha) = \left( 3.2 - \frac{2}{3} 0.866 \right) + \frac{\frac{2 * 2^3}{36}}{\frac{2 * 2}{2} \left( 3.2 - \frac{2}{3} 0.866 \right)} 0.866^2 = 2.70 m$$

Плече

$$l = \frac{H - h_c}{\cos \alpha} = \frac{3.2 - 2.70}{0.866} = 0.58 m$$

Для визначення сили  $T$  складемо рівняння моментів щодо осі, що проходить через точку  $O$ :

$$Pl - T \cos(\beta - 90)n = 0$$

звідки

$$T = \frac{Pl}{\cos(\beta - 90)n} = \frac{5.24 * 0.58}{0.866 * 2.0} = 1.75 m$$

Складемо рівняння проекцій всіх сил на вісь, нормальну до площини щита:

$$R + T \cos(\beta - 90) - P = 0$$

Звідки сила

$$R = P - T \cos(\beta - 90) = 5.24 - 1.75 * 0.866 = 3.72 m$$

**Завдання 11.** Визначити силу гідростатичного тиску бензину на торцеву плоску стінку горизонтальної циліндрової автоцистерни діаметром  $D = 2$  м, якщо рівень бензину в цистерні знаходиться на відстані  $H = 2,2$  м від дна (рис. 11). Цистерна герметично закрита, і надмірний тиск пари бензину на вільну поверхню складає  $300$  мм рт. ст. Питома вага бензину  $\gamma = 735$  кГ/м<sup>3</sup>. Знайти також положення центру тиску.

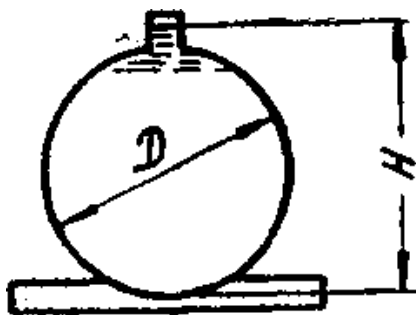


Рис. 11.

Рішення. Сила гідростатичного тиску бензину на торцеву стінку автоцистерни

$$P = (p_o + \gamma h_o) \omega$$

Глибина занурення центру тяжіння торцевої стінки

$$h_o = H - \frac{D}{2} = 2.2 - \frac{2}{2} = 1.2 \text{ м}$$

Площа торцевої стінки

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 * 2^2}{4} = 3.14 \text{ м}^2$$

Виразимо надмірний тиск пари бензину на вільну поверхню в  $\text{кг/см}^2$ . Для цього скористаємося наступною пропорцією:

$$735,6 \text{ мм. рт. ст} - 1 \text{ кг/см}^2$$

$$300,0 \text{ мм. рт. ст} - p_o$$

$$\text{Звідси } p_o = 0,408 \text{ кг/см}^2 = 4,08 \text{ т/м}^2$$

$$\text{Сила } P = (4,08 + 0,735 * 1,2) * 3,14 = 15,6 \text{ т}$$

$$\text{Глибина занурення центру тиску } h_c = h_o + \frac{I_o}{\omega h_o} \sin^2 \alpha$$

Момент інерції

$$I_o = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{3.14 * 2^4}{64} = 0.785 \text{ м}^4$$

$$\text{Кут } \alpha = 90^\circ \sin 90^\circ = 1$$

$$h_c = 1.2 + \frac{0.785}{3.14 * 1.2} * 1 = 1.2 + 0.208 = 1.408 \text{ м}$$

**Завдання 14.** Для зберігання бензину в гаражі використовується резервуар, який має фасонну частину у вигляді чверті поверхні циліндра

(рис. 14). Радіус циліндра  $r = 0,5$  м, довжина Створюючої  $b = 0,9$  м, висота стовпа бензину в резервуарі  $H=1,4$  м. Питома вага бензину  $\gamma=0,75$  т/м<sup>3</sup>. Определить силу гідростатичного тиску бензину на фасонну частину резервуару і глибину занурення центру тиску.

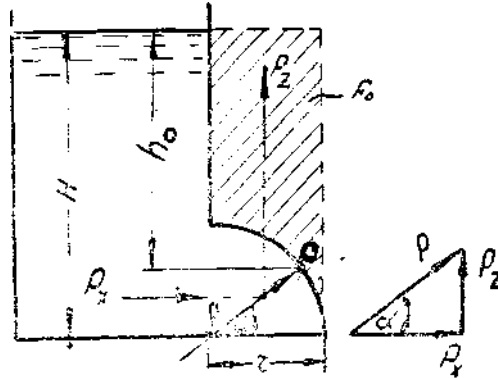


Рис. 14

*Рішення.* Сила гідростатичного тиску бензину на фасонну частину резервуару  $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$ .

Горизонтальна складова сили  $P$   $P_x = \gamma h_o \omega$

Глибина

$$h_o = H - \frac{r}{2} = 1,4 - \frac{0,5}{2} = 1,15 \text{ м}.$$

$$\text{Площа } \omega = rb = 0,5 * 0,9 = 0,45 \text{ м}^2$$

Сила

$$P_x = 0,75 * 1,15 * 0,45 = 0,388 \text{ т} = 3810 \text{ н}.$$

Вертикальна складова сили  $P$

$$P_z = \gamma F_o b$$

В даному випадку має місце фіктивне тіло тиску (воно не заповнене рідиною).

Площа поперечного перетину тіла тиску

$$F_o = Hr - \frac{1}{4} \pi r^2 = 1,4 * 0,5 - \frac{1}{4} 3,14 * 0,5^2 = 0,70 - 0,2 = 0,50 \text{ м}^2$$

Сила

$$P_z = 0,75 * 0,50 * 0,9 = 0,337 \text{ т} = 3300 \text{ н}.$$

Сила

$$P = \sqrt{0.388^2 + 0.337^2} = 0.515m = 5050n$$

Глибина занурення центру тиску

$$h_c = H - r \sin \alpha = H - r \frac{P_z}{P} = 1.4 - 0.5 \frac{0.337}{0.515} = 1.07m$$

**Завдання 15.** Визначити силу гідростатичного тиску води на квадрантний затвор (рис. 15) і глибину занурення центру тиску.

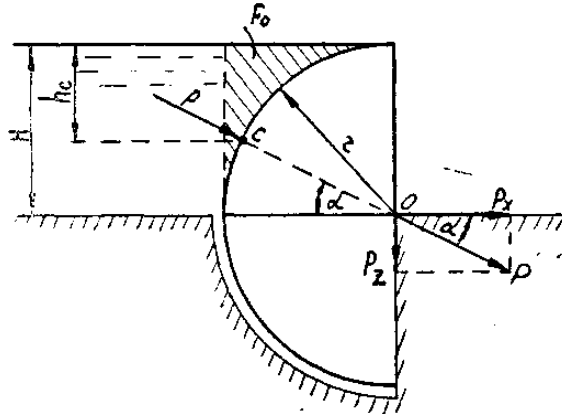


Рис. 15.

Радіус затвору  $r = 2,5$  м. Довжина затвору  $b = 4$  м. Глибина води  $H = r$ .  
Питома вага води  $\gamma = 1$  т/м<sup>3</sup>.

*Рішення.* Сила гідростатичного тиску води на квадрантний затвор

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

Горизонтальна складова сили  $P$

$$P_x = \gamma h_o \omega = \gamma \frac{H}{2} b H = \frac{1}{2} \gamma b H^2 = \frac{1}{2} * 1 * 4 * 2.5^2 = 12.5m$$

Вертикальна складова сили  $P$

$$P_z = \gamma F_o b$$

В даному випадку має місце дійсне тіло тиск (воно заповнене рідиною).

Площа поперечного перетину тіла тиску

$$F_o = r^2 - \frac{\pi r^2}{4} = 2.5^2 - \frac{3.14 * 2.5^2}{4} = 1.33m^2$$

Сила  $P_z = 1 * 1.33 * 4 = 5.32m = 52200n$

Сила  $P = \sqrt{12.5^2 + 5.32^2} = 13.55m = 132900n.$

Глибина занурення центру тиску

$$h_c = r - r \sin \alpha = r - r \frac{P_z}{P} = 2.5 - 2.5 \frac{5.32}{13.55} = 1.52 \text{ м}$$

**Завдання 16.** Сегментний щит  $AB$  радіусу  $r=7,5$  м підтримує воду при глибині її  $h = 4,8$  м (рис. 16). Центральний кут сектора  $\varphi=43^\circ$ . Горизонтальна проекція щита  $CB = a = 2,7$  м. Ширіна щита  $b = 6,4$  м. Визначити силу гідростатичного тиску води на щит і знайти місцеположення центру тиску.

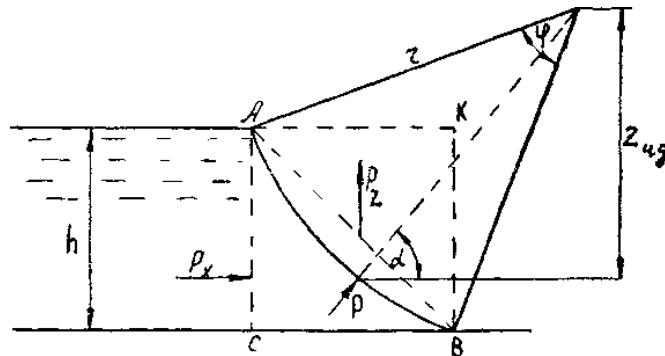


Рис. 16.

**Рішення.** Горизонтальна складова сили тиску

$$P_x = \frac{\gamma b h}{2} = \frac{1 \cdot 6.4 \cdot 4.8^2}{2} = 73.6 \text{ м} = 72500 \text{ і}$$

Вертикальна складова сили тиску

$$P_z = \gamma F_o b = \gamma b \left( \frac{1}{2} \Delta A \hat{A} \hat{E} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi r^2 \varphi}{180} - \sin \varphi \right) = \gamma b \left[ \frac{ah}{2} + \frac{r^2}{2} \left( \frac{\pi \varphi}{180} - \sin \varphi \right) \right] =$$

$$16.4 \left[ \frac{2.7 \cdot 4.8}{2} + \frac{7.5^2}{2} \left( \frac{3.14 \cdot 43}{180} - 0.682 \right) \right] = 53.8 \text{ м} = 527500 \text{ і}$$

Сила гідростатичного тиску води на щит

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \sqrt{73.6^2 + 53.8^2} = 91.3 \text{ м} = 895000 \text{ і}.$$

Відстань від осі обертання щита до центру тиску

$$z_{\text{оо}} = r \sin \alpha = r \frac{P_z}{P} = 7.5 \cdot \frac{53.8}{91.3} = 4.42 \text{ і}$$

**Завдання 17.** Вода підводиться до споруди сталевую клепаною трубою діаметром  $d = 0,90$  м, яка повинна витримувати манометричний тиск  $p_m = 10$  ат. Розрахувати товщину стінки трубопроводу, приймаючи напругу, що допускається, рівним  $\sigma = 800$  кг/см<sup>2</sup>.

*Рішення.* Товщину стінки труби визначаємо по формулі:

$$\delta = 1,25 \frac{p_m d}{2\sigma} + \beta,$$

де  $\beta = 0,1$  см (величина  $\beta$  є припуск). Отже

$$\delta = \frac{1,25 * 10 * 90}{2 * 800} + 0,1 = 0,81 \text{ см} = 8,1 \text{ мм}$$

**Завдання 18.** Бак для води склепаний з чотирьох лав листової сталі при висоті кожного ряду  $a = 1,5$  м. Визначити товщину стінки нижнього ряду, припускаючи, що бак наповнений водою доверху. Діаметр бака  $d = 8$  м. Напруга, що допускається, на розрив  $\sigma = 800$  кг/см<sup>2</sup>.

*Рішення.* Товщину стінки нижнього ряду обчислимо по надмірному гідростатичному тиску, що доводиться на нижню кромку нижнього ряду, тобто на глибину

$$h = 4 * a = 4 * 1,5 = 6 \text{ м.}$$

$$p_m = \gamma h = 1.0 * 6.0 = 6.0 \text{ т / м}^2 = 0,6 \text{ кг / см}^2 = 58800 \text{ н / м}^2$$

Товщина стінки має бути рівна:

$$\delta = \frac{1,25 p_m d}{2\sigma} + \beta = \frac{1,25 * 0,6 * 1 * 800}{2 * 800} + 0,1 = 0,5 \text{ см} = 5 \text{ мм}$$



## **5. Задачі з курсу ТМРГ**

### **Задача №1**

При гідравлічних випробуваннях ділянки водоводу діаметром  $d=400\text{мм}$  і довжиною  $l=200\text{м}$  тиск води було піднято до  $P_1=55\text{ати (кг/см}^2\text{)}$ . Через годину тиск знизився до  $P_2=50\text{ати (кг/см}^2\text{)}$ . Визначити не враховуючи деформацію водоводу скільки води витекло через нещільності якщо коефіцієнт об'ємного стиску  $\beta_w = 1/20000 \text{ см}^2/\text{кг}$ .

Відповідь  $\Delta W=6,28\text{л}$ .

### **Задача №2**

До опалювального котла подається  $50\text{м}^3/\text{год}$  води при температурі  $70^\circ\text{C}$ . Скільки кубометрів води буде виходити з котла, якщо її нагрів відбувається до температури  $90^\circ\text{C}$ , а коефіцієнт температурного розширення води  $\beta_t = 1/0,00064 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .

Відповідь  $\Delta Q=50,64\text{м}^3/\text{год}$ .

### **Задача №3**

Резервуар наповнений нафтою, знаходиться під тиском  $P_1=5 \text{ кг/см}^2$ . Після випуску  $40 \text{ л}$  нафти тиск у резервуарі знизився до  $P_2=1 \text{ кг/см}^2$ . Визначити ємність резервуару якщо коефіцієнт об'ємного стиску нафти  $\beta_w = 1/13500 \text{ см}^2/\text{кг}$ .

Відповідь  $W=135 \text{ м}^3$ .

### **Задача №4**

У вертикальній циліндричній ємності діаметром  $D=4\text{м}$ , знаходиться  $100\text{т}$  нафти при температурі  $t=0^\circ\text{C}$ . Питома вага нафти  $\gamma=850 \text{ кг/м}^3$ . Визначити коливання нафти у резервуарі, якщо її температура змінюється від  $0^\circ\text{C}$  до  $30^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт температурного розширення нафти  $\beta_t = 1/0,00072 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .

Відповідь  $\Delta h=0,202\text{м}$ .

### Задача №5

Визначити об'єм води який необхідно подати до водоводу діаметром  $d=500\text{мм}$  і довжиною  $l=1\text{км}$  для підвищення тиску до  $\Delta p=5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Водовод підготовлений до іспиту і заповнений водою при атмосферному тиску. Деформацію водоводу не враховувати.

Відповідь  $\Delta W=0,493\text{м}^3$ .

### Задача №6

При гідравлічних випробуваннях системи водопостачання дозволяється зниження випробувального тиску за 10 хвилин на  $\Delta p=0,5 \text{ ат} = 4,9 \cdot 10^4$ . Визначити допустиму величину втрат  $\Delta W$  за 10 хвилин гідравлічних випробувань системи ємкістю  $W=80 \text{ м}^3$   $\beta_w= 1/20000 \text{ Па}^{-1}$ .

Відповідь  $\Delta W=1,92 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .

### Задача №7

У опалювальній системі (котел, радіатори, трубопроводи) невеликого будинку ємкістю  $0,40 \text{ м}^3$  води. Скільки води зайде до розширювального бака при нагріванні води від  $20$  до  $90^\circ\text{C}$ . Щільність води  $\rho_{20}^0=998 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{90}^0=965 \text{ кг/м}^3$ .

Відповідь  $\Delta W=0,014 \text{ м}^3$ .

### Задача №8

Визначити середню товщину  $\delta_{\text{від}}$  солевих відкладень у герметичному водоводі внутрішнім діаметром  $d=300\text{мм}$  і довжиною  $l=2\text{км}$ . При витіканні води у кількості  $\Delta W=0,05 \text{ м}^3$  тиск у водоводі падає на величину  $\Delta p=1 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Відкладення за діаметром і довжиною розподілені рівномірно  $\beta_w= 1/20000 \text{ Па}^{-1}$ .

Відповідь  $\delta_{\text{від}}=24\text{мм}$ .

### Задача №9

Абсолютний тиск, який діє на поверхню води і посуді  $P_0 = 1,5 \text{ кг/см}^2$  (рис.1).

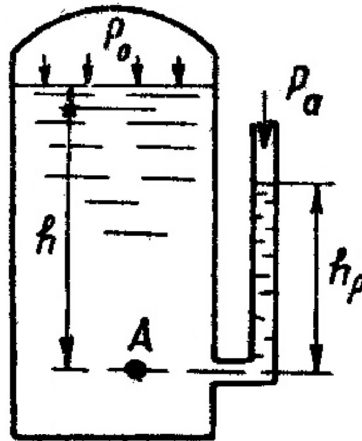


Рис.1 (до задачі №9)

Визначити абсолютний і надлишковий (манометричний) тиск у точці А, яка розташована на глибині  $h=1,8\text{м}$ ; знайти також п'єзометричну висоту  $h_p$  у цій точці.

### Задача №10

Точка А розташована на глибині  $h=2,5\text{м}$  у закритому посуді; п'єзометрична висота у цій точці дорівнює  $h_p=1,4\text{м}$ . (рис.2).

Визначити абсолютний тиск у точці А, а також величину ( $P_0$ ) і висоту вакууму ( $h_{\text{вак}}$ ) для точки на поверхні води у посуді.

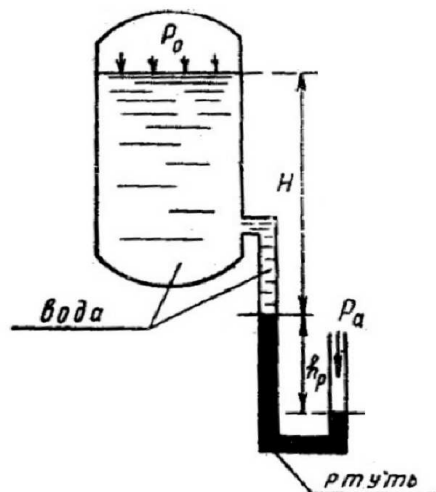


Рис.2. (до задачі 10)

### Задача №11

На поверхні ртуті налитій у посуд (рис.3), діє абсолютний тиск  $P_0 = 2,8 \text{ кг/см}^2$ .

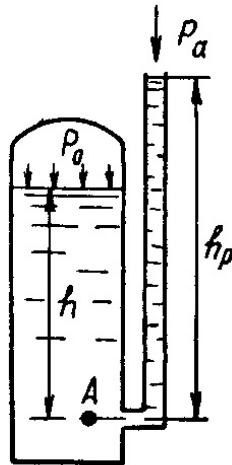


Рис.3. (до задачі №11)

Визначити:

- а. абсолютний і надлишковий (манометричний) тиск у точці А, на глибині  $h=0,8\text{м}$ ;
- б. висоту  $h_p$  ртуті у відкритому п'єзометрі який приєднаний у точці А. Питома вага ртуті  $\gamma_p=13600\text{кг/м}^3$ .

### Задача №12

Абсолютний тиск на поверхні води у посуді  $P_0=3,2 \text{ кг/см}^2$  (рис. 4)

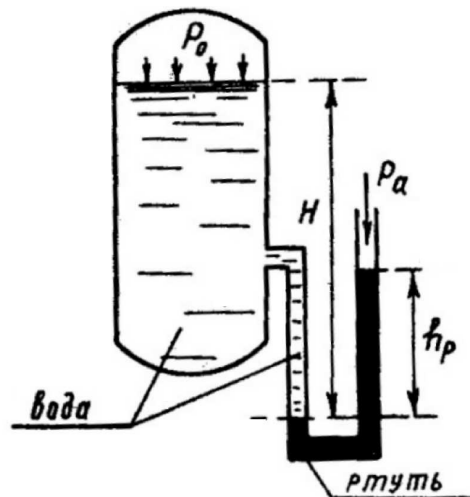


Рис.4. (до задачі №12)

Визначити висоту  $h_p$ , вказану на рисунку. Перевищення рівня води у посуді над поверхнею ртуті у лівому коліні п'єзометра  $H=1,3\text{м}$ . Питома вага ртуті  $\gamma_p 13600\text{кг/м}^3$ .

### Задача №13

Визначити величину абсолютного тиску  $P_0$  і висоту вакууму  $h_{\text{вак}}$  для точки, на поверхні води у сосуді (рис.5).

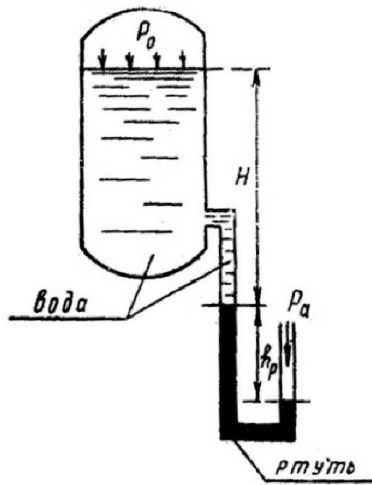


Рис. 5. (до задачі №13)

Якщо висота стовпа ртуті, вказана на рисунку  $h_p = 0,3$ . Перевищення рівня води над поверхнею ртуті у лівому коліні п'єзометра  $H = 1\text{ м}$ .

### Задача №14

Круглий отвір у плоскій вертикальній стіні у сосуді наповненого водою, закривають плоским диском (рис.6)

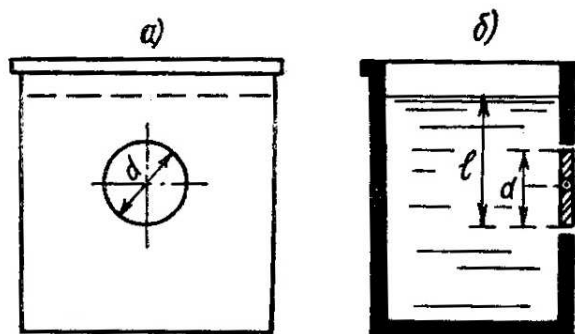


Рис.6. (до задачі №14)

Діаметр диска  $d = 1,2\text{ м}$ . Відстань від поверхні води до нижньої точки диску  $l = 1,8\text{ м}$ .

Визначити:

- силу надлишкового гідростатичного тиску на диск;
- центр тиску цієї сили.

### Задача №15

Трикутний отвір у вертикальній плоскій стіні резервуара, залитого водою, закривають щитом який має форму рівностороннього трикутника (рис.7).

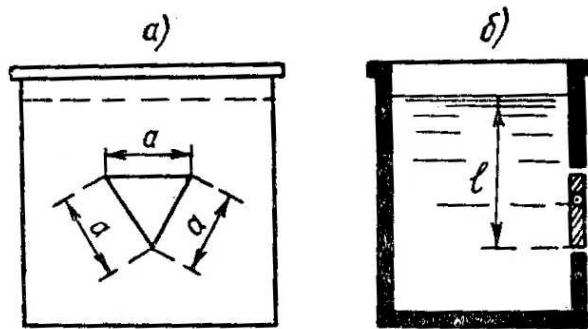


Рис.7. (до задачі №15)

Довжина сторони щита  $a=1\text{ м}$  Відстань від поверхні води до нижньої точки щита  $l=1,6\text{ м}$ .

Треба:

- визначити надлишковий гідростатичний тиск, який діє на щит;
- визначити розташування центра тиску цієї сили.

### Задача №16

Квадратний отвір для випуску води з басейна закривається квадратним щитом нахиленим під кутом  $45^\circ$  (рис.8)

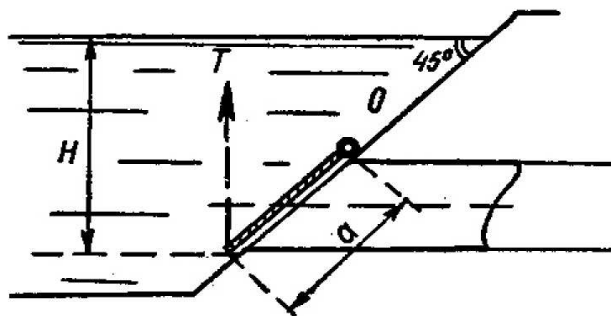


Рис. 8. (до задачі №16)

Визначити силу гідростатичного тиску на щит коли отвір закритий, а також зусилля  $T$ , яке треба прикласти до щита, щоб відкрити отвір (тобто повернути щит довкола осі  $O$ ). Сторона щита  $a=2\text{ м}$ . Занурення нижньої кромки щита  $H=3\text{ м}$ .

Тертям у шарнірі і вагу щита не враховувати. Вважати що вода за щитом відсутня.

### Задача №17

Кругла труба, має діаметр  $D=1\text{м}$ , перекрита плоским дисковим затвором нахиленим під кутом  $\alpha=60^\circ$  до осі труби (рис. 9). Надлишковий тиск на осі труби зліва від затвору  $P=1,2\text{кг/см}^2$ .

Треба визначити силу гідростатичного тиску на затвор і центр тиску цієї сили.

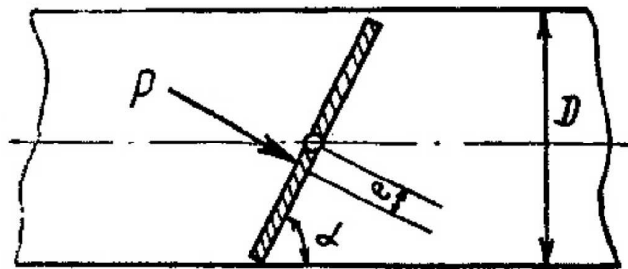


Рис. 9. (до задачі №17)

### Задача №18

Отвір у круглій вертикальній стіні бака закривається плоским прямокутним щитом (рис.10).

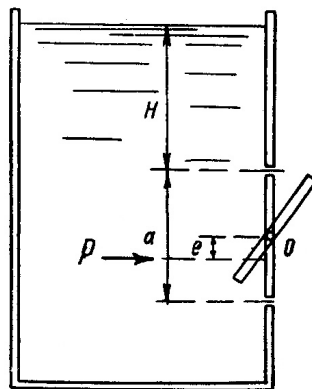


Рис. 10. (до задачі №18)

Щит обертається довкіл горизонтальної осі  $O$  і відкриває отвір.

Дано: висота щита  $a=1,5\text{м}$ ; ширина щита  $b=1,0\text{м}$ ; заглиблення нижньої точки щита під рівнем води  $H=2,0\text{м}$ .

Треба визначити силу гідростатичного тиску на щит і центр тиску цієї сили.

### Задача №19

Прямокутний отвір водоскидної споруди перекривається сегментним затвором (рис. 11).

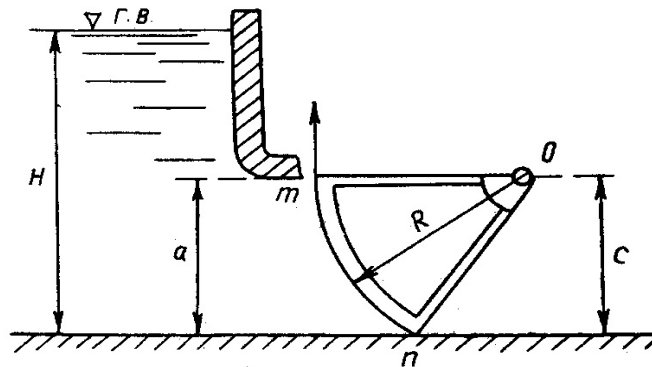


Рис. №11. (до задачі № 19)

Затвор може обертатися навколо горизонтальної осі O.

Водонепроникна обшивка mn затвору окреслена дугою кола радіусом R. Вода з низької сторони затвору відсутня.

Дано: глибина води перед затвором  $H=6\text{м}$ ; висота отвору  $a=3\text{м}$ ; ширина отвору  $b=4\text{м}$ ; радіус обшивки затвору  $R=4\text{м}$ ; висота розташування осі затвору над дном  $C=a$ .

Треба:

- побудувати епюру, яка виражає горизонтальну складову сили надлишкового гідростатичного тиску на обшивку затвору mn;
- побудувати поперечний переріз тіла тиску, який виражає вертикальну складову сили гідростатичного тиску на обшивку mn затвору;
- не шукаючи центра ваги побудованих фігур, визначити величину і лінію дії сили надлишкового гідростатичного тиску, діючого на обшивку mn затвору.

### Задача №20

На гребні бетонної плотини встановлено пальцевий зтвор (рис.12), радіус якого  $R=2\text{м}$ .



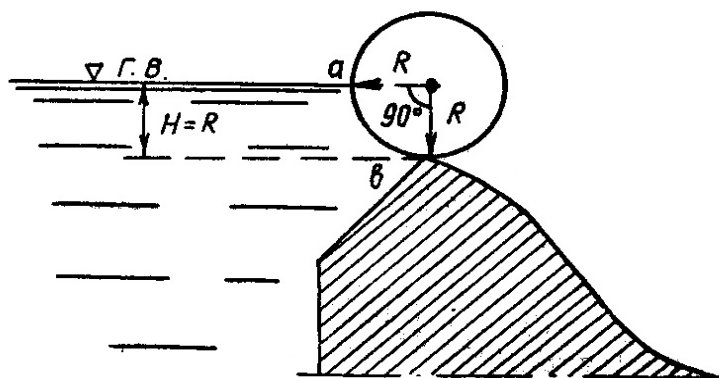


Рис. 12. (до задачі № 20)

Довжина затвору  $b=10\text{м}$ .

Треба:

- побудувати епюру, яка виражає горизонтальну складову сили надлишкового гідростатичного тиску на обшивку затвору  $ab$ ;
- побудувати поперечний переріз тіла тиску, який виражає вертикальну складову сили гідростатичного тиску на обшивку  $ab$  затвору;
- не шукаючи центра ваги побудованих фігур, визначити величину і лінію дії сили надлишкового гідростатичного тиску, діючого на обшивку  $ab$  затвору.

### Задача №21

На рис.13 зображений секторний затвор з оссю обертання  $O$ , який закріплений на гребені бетонної плотини.

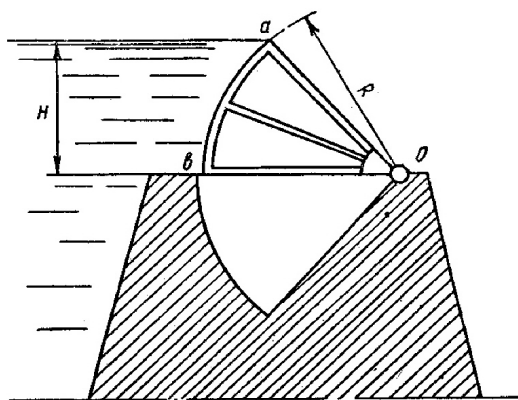


Рис. 13. (до задачі №21)

Водонепроникна обшивка  $ab$  затвору окреслена за дугою кола радіусом  $R=6\text{м}$ . Глибина води перед затвором  $H=4\text{м}$ .

Треба:

- побудувати епюру, яка виражає горизонтальну складову сили надлишкового гідростатичного тиску на обшивку затвору  $ab$ ;
- побудувати поперечний переріз тіла тиску, який виражає вертикальну складову сили гідростатичного тиску на обшивку  $ab$  затвору;
- не шукаючи центра ваги побудованих фігур, визначити величину і лінію дії сили надлишкового гідростатичного тиску, діючого на обшивку  $ab$  затвору.

### Задача №22

Нижня частина бокової поверхні резервуара, наповненого водою, має форму циліндричної поверхні  $AB$ , яка окреслена радіусом  $R=2\text{м}$  (рис.14)

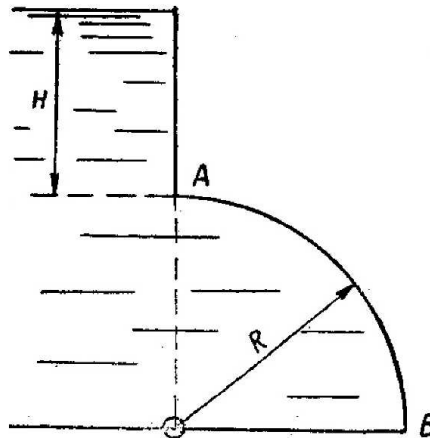


Рис. 14. (до задачі №22)

Верхня точка цієї циліндричної поверхні занурена під рівень води на глибину  $H=1\text{м}$ . Довжина резервуара  $b=4\text{м}$ .

Треба:

- побудувати епюру, яка виражає горизонтальну складову сили надлишкового гідростатичного тиску на обшивку затвору  $AB$ ;
- побудувати поперечний переріз тіла тиску, який виражає вертикальну складову сили гідростатичного тиску на обшивку  $AB$  затвору;
- не шукаючи центра ваги побудованих фігур, визначити величину і лінію дії сили надлишкового гідростатичного тиску, діючого на обшивку  $AB$  затвору.

### Задача №23

У плоскій вертикальній стіні резервуару, наповненого водою, є прямокутний отвір висотою  $a=1.0\text{ м}$  і шириною  $b=2.0\text{ м}$ . Верхня кромка цього отвору занурена під рівень води на глибину  $H=3.0\text{ м}$ . Отвір закрито кришкою АВС, яка має циліндричну форму (рис. 15).

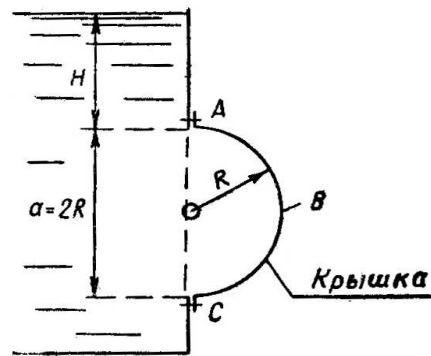


Рис. 15. (до задачі №22)

Треба:

- побудувати епюру, яка виражає горизонтальну складову сили надлишкового гідростатичного тиску на обшивку затвору АВС;
- побудувати поперечний переріз тіла тиску, який виражає вертикальну складову сили гідростатичного тиску на обшивку АВС затвору;
- не шукаючи центра ваги побудованих фігур, визначити величину і лінію дії сили надлишкового гідростатичного тиску, діючого на обшивку АВС затвору.

### Задача №23, 24 і 25

У відкритому резервуарі, заповненому водою, приєднаний чавунний горизонтальний трубопровід, утворений трубами різного діаметра і різної довжини.

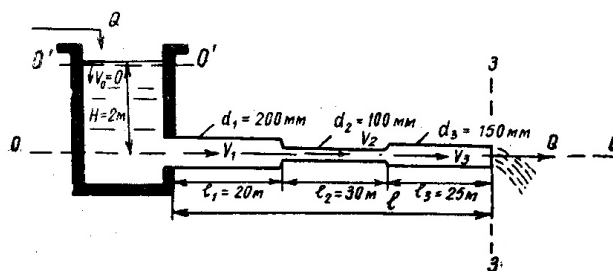


Рис. 16. (до задачі №23)

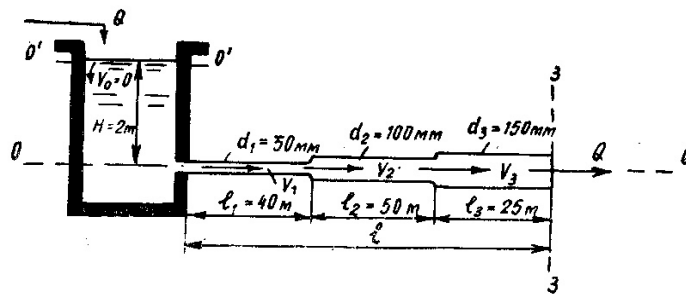


Рис. 17. (до задачі №24)

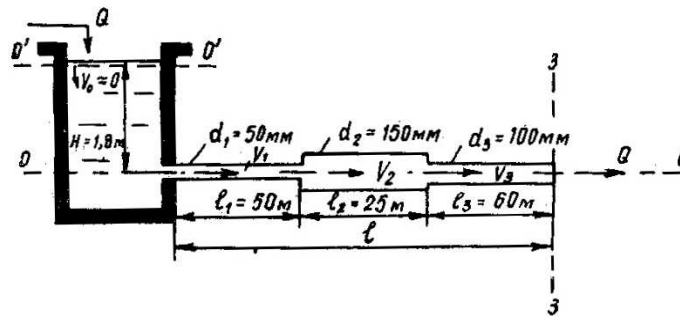


Рис. 18. (до задачі №25)

Вода з трубопроводу витікає у атмосферу. Горизонт води у резервуарі підтримують на постійному рівні ( $H=\text{const}$ ). Швидкість руху води  $V_0$  у резервуарі приймаємо ( $V_0=0$ ). Розміри труб і напір  $H$  вказані на рисунках.

Треба:

- визначити витрату і швидкість руху води у окремих трубах;
- побудувати напірну і п'єзометричну лінії для всього трубопроводу.

Примітка. Режим руху рідини у трубі треба вважати турбулентним, причому коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  можна визначати, користуючись залежностями які відносяться до квадратичної області опорів, приймаючи  $\Delta=0,5\text{мм}$ .

### Задача №26, 27

Два відкритих резервуари, наповнені водою, з'єднані чавунними горизонтальними трубами, складені з труб різного діаметра і різної довжини. Горизонти води у резервуарах підтримуються на постійному рівні ( $H_1=\text{const}$  і  $H_2=\text{const}$ ). Швидкість руху води  $V_0$  у резервуарах приймаємо ( $V_0=0$ ).

Розміри труб і величини  $H_1$  і  $H_2$  вказані на рисунках.

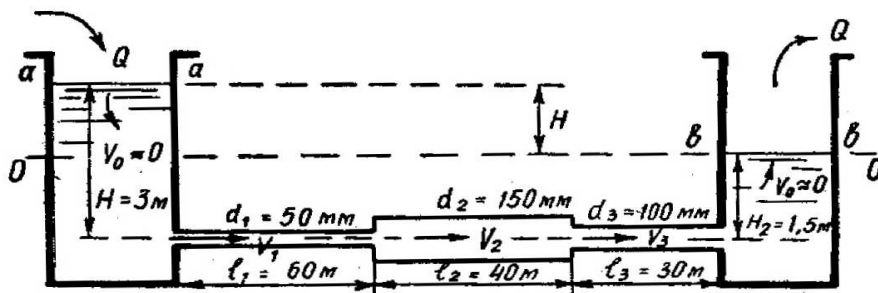


Рис. 19. (до задачі №26)

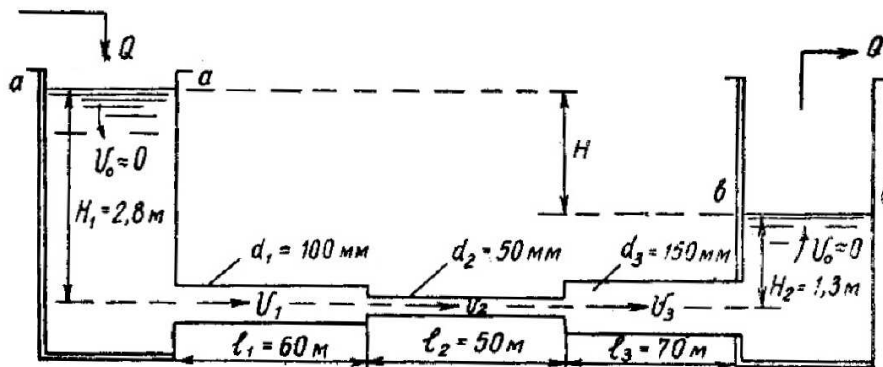


Рис. 20. (до задачі №27)

Треба:

- визначити витрату і швидкість руху води у окремих трубах;
- побудувати напірну і п'єзометричну лінії для всього трубопроводу.

Примітка. Режим руху рідини у трубі треба вважати турбулентним, причому коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  можна визначати, користуючись залежностями які відносяться до квадратичної області опорів.

### Задача №28, 29, 30

Визначити внутрішній діаметр залізобетонної напірної труби, яка закладена у тілі дорожнього насипу (рис. 21) для пропуску витрати води  $Q$ .

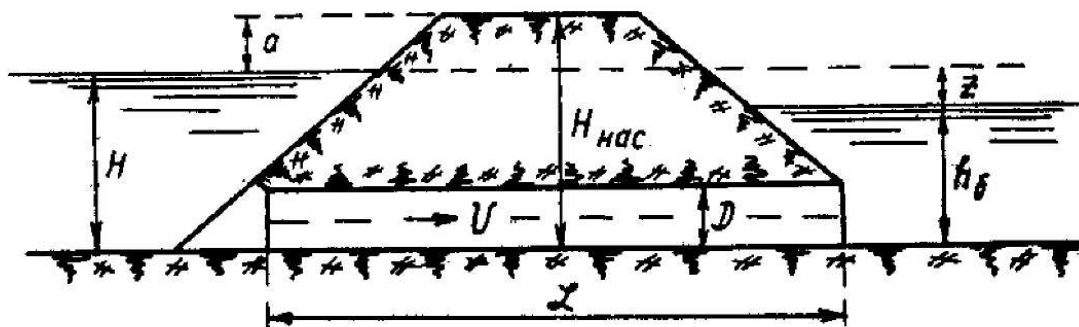


Рис. 21. (до задачі 28, 29, 30)

Висота насипу  $H_{\text{нас}}=6\text{м}$ . Мінімально допустима відстань («запас») від бровки насипу до підпорного рівня води  $a_{\text{мін}}=0.5\text{м}$ . Довжина труби  $L=40\text{м}$ . Глибина води у нижньому б'єфі (побутова глибина)  $h_6$ . Максимально допустима середня швидкість у трубі  $v_{\text{доп}}$ . Значення величин  $Q$ ,  $h_6$ ,  $v_{\text{доп}}$ , подані у табл. 1.

Таблиця 1. - Розрахункові данні до задач №28, 29, 30

	$Q$ , м <sup>3</sup> /сек	$v_{\text{доп}}$ , м/сек	$h_6$ , м
До задачі №28	4,5	5,0	2,0
До задачі №29	3,0	4,5	2,2
До задачі №30	5,5	6,0	1,8

Розраховані діаметри труб треба округлити до типового (1,0м; 1,25м; 1,5м). Після округлення діаметра належить: а) визначити фактичну середню швидкість у трубі; б) глибину  $H$  води перед трубою (глибина верхнього б'єфа).

Примітка. 1) Величина коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  для залізобетонної труби приймають  $\lambda=0,025$ . 2) Конструкція вхідного оголовку труби характеризується коефіцієнтом опору на вході  $\xi=0,5$ .

### Задача №31; 32

Визначити внутрішній діаметр залізобетонного дюкера, прокладеного під дорожнім насипом (рис. 22), для пропуску витрати води  $Q$  (див. табл.2), яка протікає по каналу.

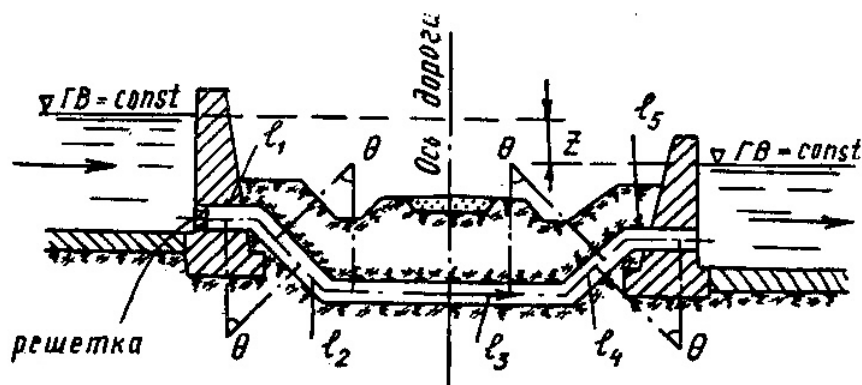


Рис. 22. (до задачі 31, 32)

Труба дюкеру довжиною  $L=l_1+l_2+l_3+l_4+l_5 = 60\text{м}$  має чотири повороти під кутом  $\theta=45^\circ$ . Різниця рівней води у каналі який підводе і відводе воду не повинна перевищувати значення  $Z$  (табл. 2).

Отримані розрахунками діаметр труби треба округляти до типового (1,0м; 1,25м; 1,5м). Після округлення діаметра необхідно визначити:

- а) середню швидкість руху води у дюкері;
- б) нове фактичне значення величини  $Z$ .

Таблиця 2. - Розрахункові данні до задач 31 і 32

	$Q, \text{м}^3/\text{сек}$	$Z, \text{м}$
До задачі №31	3,0	1,8
До задачі №32	2,4	1,1

Примітка. 1) Величину коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  для залізобетонних труб приймаємо  $\lambda=0,02$ .

2) Коефіцієнт опору на вході, обладнаний ґратами приймаємо  $\xi_{\text{вхд}}=1,5$ .

3) Коефіцієнт опору на виході приймаємо  $\xi_{\text{вих}}=1$ .

### Задача №33, 34, 35

На рис. 23 вказаний чавунний трубопровід, який складається з труб різного діаметра  $d$  і різної довжини  $L$ .

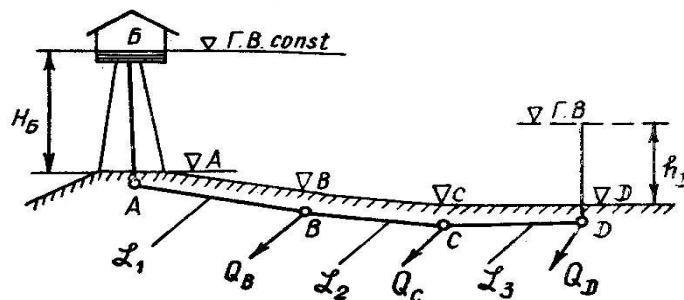


Рис. 23. (до задачі №33, 34, 35)

Вільний напір у кінці трубопроводу (у точці Д) повинен дорівнювати  $H_D=10\text{м}$ . Відносні позначки землі у точках А, В, С і Д рівні:  $\nabla_A=6\text{м}$ ;

$\nabla_B=2\text{ м}$ ;  $\nabla_C - \nabla_D = 0$ . Витрати, які забирають споживачи з

трубопроводу у точках В, С, Д, позначаємо відповідно  $Q_B$ ,  $Q_C$ ,  $Q_D$ . Значення цих величин наводяться у табл.3.

Таблиця 3. - Розрахункові данні до задач №33, 34, 35

	$Q_B$ , л/сек	$Q_C$ , л/сек	$Q_D$ , л/сек	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$L_3$ , м
До задачі №33	8	10	15	500	1000	600
До задачі №34	10	12	24	400	800	750
До задачі №35	4	10	18	450	600	800

Треба:

- 1) визначити діаметри окремих труб виходячи з, економічних швидкостей  $V_{ек}$  (вона може бути прийнята  $V_{ек}$  м/сек.);
- 2) визначити втрати напору на окремих ділянках трубопроводів і побудувати п'єзометричну лінію для трубопроводу;
- 3) визначити позначку рівня води у напірному баці і висоту водонапірної башти  $H_6$ .

Примітка.

1 Режим руху води у трубі треба вважати турбулентним, причому величину витратної характеристики (модуля витрати)  $K$  визначають користуючись залежностями які відносяться до квадратичної області опорів, приймаємо  $\Delta=0,5$ мм.

2 Втрати напору у вертикальній трубі АБ, яка з'єднує напірний бак з трубопроводом, не враховувати.

### Задача №36, 37

Насос подає воду у чавунний трубопровід АВС (рис. 24).

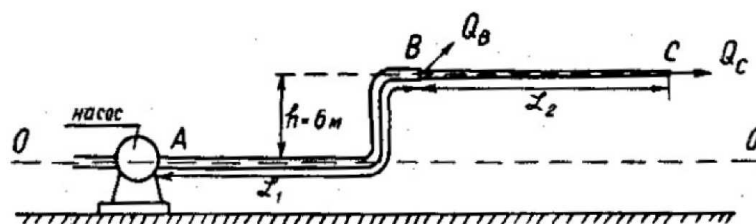


Рис. 24. (до задачі №36, 37)



На кінці трубопроводу (точка С) вода витікає у атмосферу. Високе положення ділянки ВС трубопроводу показано на рисунку. Величину витрат, у точках ( $Q_B$ , і  $Q_C$ ) і довжину ділянок трубопроводів, наведені у табл.. 4.

Таблиця 4 Розрахункові данні до задач №36, 37

	$Q_B$ , л/сек	$Q_C$ , л/сек	$L_1$ , м	$L_2$ , м
До задачі №36	15	12	300	400
До задачі №37	12	10	500	250

Треба.

1 визначити діаметри окремих труб виходячи з, економічних швидкостей  $V_{ек}$  (вона може бути прийнята  $V_{ек}$  м/сек.);

2 визначити повний гідродинамічний напір  $H_A$  початку трубопроводу (біля насосу), при площині порівняння О – О, показані на рисунку.

3 Побудувати п'єзометричну лінію для трубопроводу.

Примітка.

1 Режим руху води у трубі треба вважати турбулентним, причому величину витратної характеристики (модуля витрати)  $K$  визначають користуючись залежностями які відносяться до квадратичної області опорів, приймаємо  $\Delta=0,5\text{мм}$ .

## **6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ** **КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ З КУРСУ** **«ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИН ТА ГАЗІВ»**

Контрольні роботи переслідують мету глибшого вивчення основних положень гідравліки і кращого засвоєння прийомів використання цих положень для вирішення чисто практичних завдань.

Перш ніж звернутися до виконання контрольної роботи, необхідно досить добре вивчити відповідні розділи теоретичного курсу гідравліки. Список літератури, що рекомендується, якою при цьому слід користуватися, приводиться у кінці даного завдання.

Стикаючись з тією або іншою розрахунковою формулою, студент винен не тільки навчитися застосовувати цю формулу безпосередньо для розрахунку, але і зрозуміти її сутність, а також ті закономірності, які вона відображає.

### **Вказівки до завдання**

#### **До задач 1 - 5**

При вирішенні одного з цих завдань використовується основне рівняння гідростатики. Слід звернути увагу на розмірність величин, що входять в це рівняння.

#### **До задач 6-10**

При вирішенні цих завдань; атмосферний тиск, що діє на поверхні рідини, враховувати не слід.

Необхідно звернути увагу на наступне: а) на питання про те, яка відмінність є між величиною  $h_c$  (що входить у формулу для величини сили надмірного гідростатичного тиску) і величиною  $y_c$  (що входить у формулу для визначення центру тиску); у якому окремому випадку плоских поверхонь величини  $h_c$  і  $y_c$  збігаються ( $h_c = y_c$ );

б) чому центр тиску лежить нижче (а не вище) за центр тяжіння даної плоскої фігури і в якому окремому випадку центр тиску збігається з центром тяжіння цієї фігури.

## До задач 11-15

1. При побудові поперечного перетину тіла тиску, тобто епюри, що виражає вертикальну складову  $P_y$ , в загальному випадку можна поступати таким чином.

Маємо циліндрову поверхню  $ABC$ , для якої слід побудувати тіло тиску (рис. 32). З цією метою перш за все фіксуємо *крайні* точки  $A$  і  $C$  цієї поверхні; далі через ці крапки проводимо вертикалі  $AA'$  і  $CC'$  до горизонту рідини (або його продовження). Поперечним перетином тіла тиску є площа (на кресленні заштриховану), увязнену між вказаними вертикалями самою циліндровою поверхнею  $ABC$  і горизонтом рідини (або його продовженням). Сила  $P_y$ , що виражається цією епюрою, направлена, вгору, якщо циліндрова поверхня  $ABC$  з боку тіла тиску не омочується рідиною (рис. 32); інакше (рис. 33) сила  $P_y$  направлена у низ.

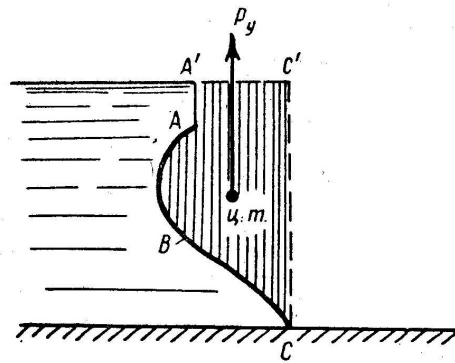


Рис. 32.

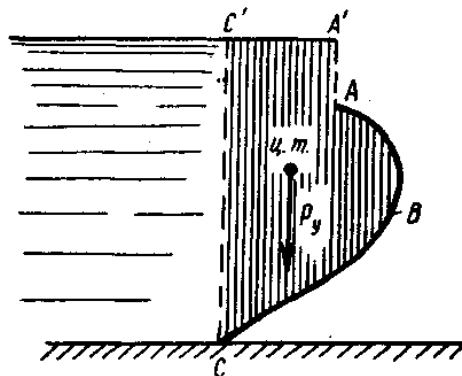


Рис. 33.

2. При визначенні лінії дії сили гідростатичного тиску,  $P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$  що діє на круглоциліндричну поверхню, обкреслену з центру  $O$  радіусом  $R$ , треба мати на увазі, що ця лінія дії повинна проходити через центр  $O$ .

## По задачах 16-20

1. Для вирішення цих завдань використовується рівняння Бернуллі, яке зручно застосовувати, слідуючи такій схемі:

а) Вибираємо два перетини: у якості перетинів слід узяти ті, для яких відоме можливо більше число гідродинамічних елементів. Наприклад, для завдань 16, 17. і 18 як перший перетин маємо узяти перетин  $O'-O'$  по горизонту води в резервуарі, у якості другого перетину - вихідний перетин  $3-3$ ; як видно, в цих перетинах відомий тиск (він дорівнює атмосферному), крім того в перетині  $O'-O'$  відома швидкість ( $V \sim 0$ ); для завдань 19 і 20 слід взяти за перший і другий перетини перетини  $a-a$  і  $b-b$  (намічені по горизонтах води в резервуарах), оскільки в цих перетинах відомі тиск і швидкості.

б) Намічаємо горизонтальну площину порівняння. Цю площину бажано проводити так, щоб величина  $z_2$  (або  $z_1$ ), що входить в рівняння Бернуллі, звернулася в нуль.

в) Випишуємо рівняння Бернуллі в загальному виді.

г) Встановлюємо величини окремих доданків, що входять в це рівняння, стосовно даного конкретного завдання.

д) Підставляємо знайдені величини в рівняння Бернуллі і проводимо відповідні обчислення.

2. При визначенні величини втрати тиску  $h_f$ , що входить в рівняння Бернуллі, треба мати на увазі, що в даних завданнях розглядаються «короткі трубопроводи», при розрахунку яких слід враховувати як втрати тиску по довжині, так і місцеві втрати (на вхід в трубопровід, різке звуження, різке розширення, вихід з трубопроводу в резервуар).

3. Для визначення витрати води  $Q$  окремі втрати натиску, що входять в рівняння Бернуллі, необхідно виразити через яку-небудь одну швидкість (наприклад, через швидкість  $V_3$ ) або через витрату  $Q$ .

4. Після визначення витрати і середніх швидкостей слід обчислити:

а) величину кожної місцевої втрати тиску і б) втрату напору за довжині для кожної ділянки трубопроводу.

5. При побудові напірної лінії перш за все необхідно намітити допоміжні вертикалі, що виділяють окремі ділянки трубопроводу. Точка перетину першої такої вертикалі (що відповідає вхідному перетину трубопроводу)

з горизонтом рідини в першому резервуарі даватиме нам «початкову» точку напірної лінії; від цієї точки і слід вести напірну лінію, враховуючи, що обчислені вище втрати тиску дають відповідні падіння цієї лінії.

6. П'єзометричну лінію належить будувати, відкладаючи вниз від напірної лінії відповідні величини швидкісного напору  $\frac{\alpha V^2}{2g}$

До задач 21, 22 і 23

Напірну трубу під залізничним насипом слід розраховувати, як «короткий трубопровід», тобто трубопровід, для якого враховуються втрати напору по довжині і місцеві (на вхід і на вихід). При рішенні вказаної задачі необхідно дотримуватися наступного порядку розрахунку:

1. Задаємося середньою швидкістю руху води в трубі  $V = V_{дон}$  де  $V_{дон}$  максимальна допустима середня швидкість.

2. Знаючи витрату і середню швидкість, знаходимо площу поперечного перетину труби

$$\omega = \frac{Q}{V_{ср}}$$

а потім і діаметр труби

$$D = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}}$$

3. Знайдену вказаним чином величину  $D$  округляємо до найближчого більшого типового розміру, причому визначаємо фактичну середню швидкість в трубі виходячи з прийнятого типового діаметру труби.

4. Знаючи глибину води  $h_6$  в нижньому б'єфі, визначаємо глибину води  $H$  у верхньому б'єфі за формулою

$$H = h_d + h_f,$$

де  $h_f$  втрата тиску (на вхід, вихід і за довжиною труби).

5. Отримавши глибину  $H$ , перевіряємо, чи задовольняє вона умові

$$H \leq (H - a_{\min})$$

Якщо ця умова виявляється не витриманою, то збільшуємо діаметр труби (до наступного більшого типового значення) і знову повторюємо розрахунок.

До задач 24 і 25

Трубу дюкера слід розглядати як «короткий трубопровід» (тобто трубопровід, при розрахунку якого необхідно враховувати як втрати напору по довжині, так і місцеві втрати) .

В даному випадку завдання за визначенням діаметру труби повинне вирішуватися підбором. При цьому слід задаватися декількома різними (типовими) діаметрами труби і для кожного наміченого діаметру .находить витрата води по загальній формулі

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz},$$

де

$$\mu = \frac{1}{\xi_{ex} + \frac{\lambda l}{D} + \xi_{вых}},$$

За шуканим діаметром слід вважати той, при якому витрата виявляється декілька великим заданого (або рівним йому) .

Встановивши діаметр труби дюкера, слід визначити фактичну різницю рівнів води верхнього і нижнього б'єфів, при якій труба дюкера прийнятого діаметру пропускає задану витрату води.

До задач 26, 27, 28, 29 і 30

У цих завданнях розглядається «довгий трубопровід» (т. е, трубопровід, при розрахунку якого місцеві втрати можна не враховувати). У разі «довгих трубопроводів» при побудові напірної і п'єзометричної ліній нехтують також швидкісним напором. При цьому вважають, що в цьому випадку напірна і

п'єзометрична лінії збігаються (зливаються в одну лінію, яку зазвичай називають п'єзометричною).

Якщо у разі «короткого трубопроводу» (див. вище) втрати напору виражаються як функцію швидкісного напору, то у разі «довгого трубопроводу» втрати напору зручніше виражати напоручез модуль витрати (витратну характеристику);

$$h_f = \frac{Q^2}{K^2} L.$$

При вирішенні завдань чисельні значення  $K$  слід брати із спеціальних таблиць, що приводяться в літературі (див., наприклад, Л-1 ст. 481 таблиця. 1V9), залежно від діаметру труби.

## Додатки

### Додаток 1

*Щільність  $\rho$  капельних рідин (при температурі 20°C)*

№	Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	№	Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	Анілін	945	9	Масло мінеральне	877-892
2	Бензол	876-880	10	Нафта	760-900
3	Бензин авіаційний	739-780	11	Ртуть	13550
4	Бітум рідкий	1050	12	Спирт етиловий	790
5	Вода прісна	998,2	13	Хлористий натрій (26% розчин)	1100
6	Вода морська	1002-1030	14	Штукатурні розчини	2000-2500
7	Масло касторове	970	15	Ефір етиловий	715-719
8	Масло льняне	930			

### Додаток 2

*Кінематична в'язкість деяких рідин (при температурі 20 °C)*

Рідина	$\nu \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /с	Рідина	$\nu \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /с
Бензин	0,83-0,93	Масло льняне	55
Вода прісна	1,01	Масло мінеральне	313-1450
Гліцерин безводний	4,1	Ртуть	0,11
Дизельне пальне	5,0	Нафта	8,1-9,3
Гас	2-3	Ртуть	0,11
Фарбові розчини (готові до використання)	90-120	Спирт етиловий безводний	1,51
Масло касторове	1002	Хлористий натрій (26% - ний розчин)	1,53

### Додаток 3

*Щільність і кінематична в'язкість сухого повітря ( $p=98$  кПа)*

Температура $t$ , °C	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кінематична в'язкість $\nu \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /с	Температура $t$ , °C	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура $t$ , °C
-50	1,26	9,54	70	1,02	20,45
-20	1,29	11,93	80	0,99	21,7
0	1,28	13,7	90	0,96	22,9
10	1,23	14,7	100	0,935	23,8
20	1,185	15,7	200	0,74	32,82
30	1,15	16,6	300	0,61	49,9
40	1,11	17,6	400	0,52	64,9
50	1,08	18,6	500	0,46	80,4
60	1,045	19,6	1000	0,274	185



#### Додаток 4

Щільність і кінематична в'язкість деяких газів ( $p=100$  кПа)

Газ	Температура $t^{\circ}\text{C}$	Щільність $\rho, \text{кг/м}^3$	Кінематична в'язкість $\nu \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$
Повітря	15	1,21	14,5
Водень	15	0,085	94,5
Кисень	15	1,34	1,4
Вуглекислий газ	15	1,84	7,2
Саратовський газ	0	0,78	14
Газ коксохімзаводу	0	0,54	24

#### Додаток 5

Поверхнєве на тяжіння рідин (при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ )

Рідина	$\sigma, \text{Н/м}$	Рідина	$\sigma, \text{Н/м}$
Бензол	0,029	Нафта	0,025
Вода	0,073	Ртуть	0,49
Гліцерин	0,065	Спирт	0,0225
Мильна вода	0,04		

#### Додаток 6

Основні співвідношення одиниць виміру тиску

Найменування	$\text{Кг/см}^2$	$\text{н/м}^2$
Фізична атмосфера	1,033	101324
Технічна атмосфера	1,0	98066,5
Міліметр ртутного стопчика	0,00136	133,32
Міліметр водяного стовпа	0,0001	9,80665

При практичних розрахунках приймають: 1 технічна атмосфера  
 $= 1 \text{ кг/см}^2 = 9,81 \text{ н/см}^2$

### Додаток 7

*Питома вага деяких рідин  $\gamma$  при 293°K (20°С)*

<i>Назва</i>	<i>Кг/м<sup>3</sup></i>	<i>н/м<sup>3</sup></i>
<i>Вода прісна</i>	<i>998,2</i>	<i>9789</i>
<i>Вода морська</i>	<i>1020</i>	<i>10020</i>
<i>Ртуть</i>	<i>13547</i>	<i>132850</i>
<i>Спирт етиловий безводний</i>	<i>789,3</i>	<i>7740</i>
<i>Нафта важка</i>	<i>928,0</i>	<i>9100</i>
<i>Бензин автомобільний</i>	<i>736</i>	<i>7218</i>
<i>Солярка</i>	<i>846</i>	<i>8287</i>
<i>Гліцерин</i>	<i>1250</i>	<i>12260</i>

### Додаток 8

*Тиск насичених парів води в залежності від температури*

<i>Температура води, °С</i>	<i>-30</i>	<i>-20</i>	<i>-10</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
<i>Тиск парів, Па</i>	<i>50,5</i>	<i>125,6</i>	<i>279,6</i>	<i>612</i>	<i>1179</i>	<i>2335</i>	<i>4240</i>	<i>7360</i>	<i>12320</i>

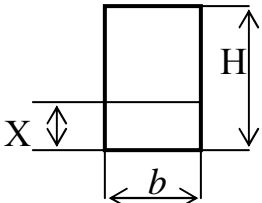
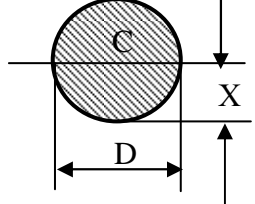
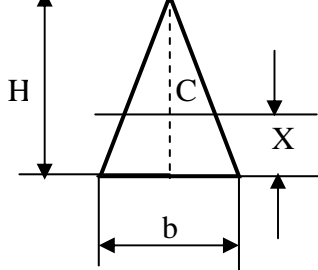
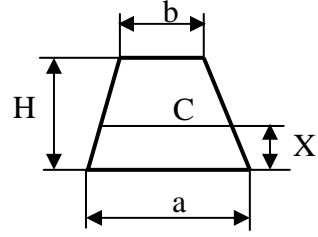
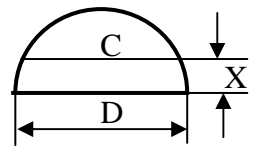
### Додаток 9

*Залежність атмосферного тиску від висоти розташування місцевості*

<i>Висота над рівнем моря, м</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>300</i>	<i>400</i>	<i>500</i>	<i>600</i>	<i>800</i>	<i>1000</i>	<i>1500</i>	<i>2000</i>
<i>Атмосферний тиск кПа</i>	<i>101</i>	<i>100</i>	<i>99</i>	<i>97,5</i>	<i>96,5</i>	<i>95</i>	<i>94</i>	<i>92</i>	<i>90</i>	<i>84,5</i>	<i>80</i>

# Додаток 10

Розташування центра ваги плоских фігур і формули моментів інерції  
відносно осі, яка проходить через центр ваги

	$x = \frac{H}{2} \quad J_o = \frac{bH^3}{12}$
	$x = \frac{D}{2} \quad J_o = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{D^4}{20,4}$
	$x = \frac{H}{3}; \quad J_o = \frac{bH^3}{36}$
	$x = \frac{H}{3}; \quad \frac{2b+a}{a+b}$ $J_o = \frac{H^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$
	$x = 0,424; \quad r = \frac{D}{4,71};$ $J_o = \frac{D^4 145,4}{4,71}$

### Додаток 11

Коефіцієнт об'ємного розширення деяких рідин

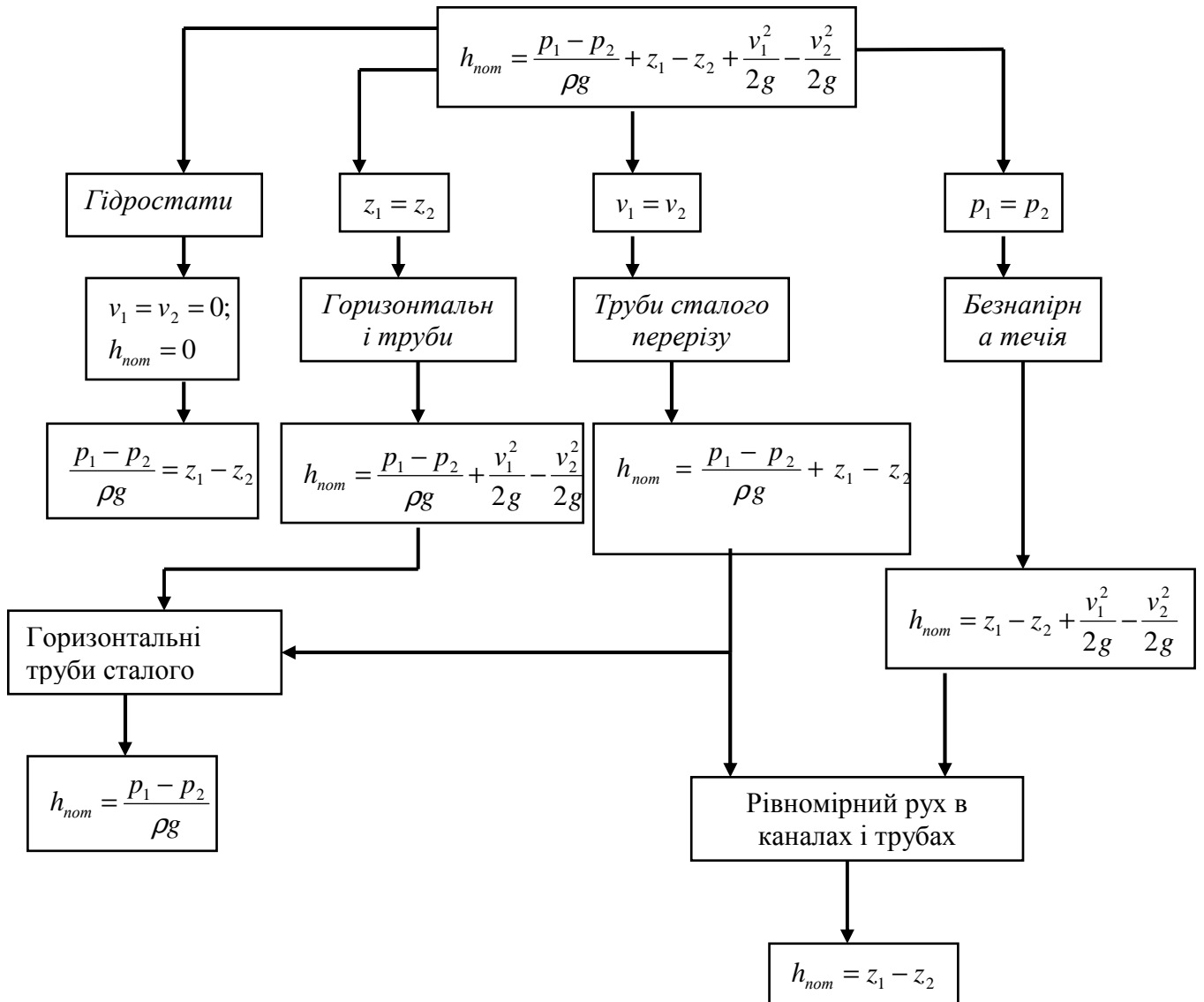
Рідина	$\beta_t$ $1/^\circ\text{C}$	Рідина	$\beta_t$ $1/^\circ\text{C}$
Вода	0,00015	Нафта	0,0006
Гліцерин	0,0005	Ртуть	0,00018
Спирт	0,0011	Масло АМГ-10	0,0008

### Додаток 12

Коефіцієнт об'ємного стиснення деяких рідин

Рідина	$\beta_w$ $\text{см}^2/\text{н}$	Рідина	$\beta_w$ $\text{см}^2/\text{н}$
Вода	0,0000051	Дизельне паливо	0,0000064
Гас	0,0000059	Ртуть	0,000000313
Нафта	0,0000074		

Додаток 13



### Додаток 14

Залежність коефіцієнта витрати водоміра Вентурі від числа Рейнольдса

$Re$	200	400	600	800	1000	4000	10000	20000	300000
$\mu$	0,70	0,80	0,84	0,86	0,88	0,93	0,95	0,96	0,98

### Додаток 15

Зв'язок між коефіцієнтом гідравлічного тертя  $\lambda$  і коефіцієнтом Шезі  $C$

$C, \text{м}^{1/2}/\text{с}$	$\lambda$	$C, \text{м}^{1/2}/\text{с}$	$\lambda$	$C, \text{м}^{1/2}/\text{с}$	$\lambda$
10	0,785	35	0,064	60	0,022
15	0,345	40	0,049	70	0,016
20	0,196	45	0,039	80	0,012
25	0,125	50	0,031	90	0,010
30	0,087	55	0,026	100	0,008

### Додаток 15

Значення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  при русі повітря в нових трубах з покрівельної сталі (за Е. К.Громцевим)

Діаметр труб $d, \text{мм}$	Коефіцієнт $\lambda$ при швидкості потоку повітря $v, \text{м/с}$						
	10	15	20	25	30	35	40
100	0,0204	0,0187	0,0177	0,0170	0,0164	0,0159	0,0156
110	0,0200	0,0183	0,0173	0,0165	0,0160	0,0155	0,0152
120	0,0195	0,0179	0,0179	0,0162	0,0157	0,0153	0,0149
130	0,0192	0,0176	0,0165	0,0159	0,0154	0,0149	0,0146
140	0,0188	0,0172	0,0163	0,0155	0,0150	0,0146	0,0143
150	0,0185	0,0170	0,0160	0,0153	0,0148	0,0144	0,0140
160	0,0182	0,0166	0,0157	0,0150	0,0145	0,0142	0,0138
170	0,0180	0,0165	0,0155	0,0148	0,0143	0,0140	0,0137
180	0,0177	0,0162	0,0153	0,0146	0,0141	0,0138	0,0135
190	0,0175	0,0161	0,0151	0,0145	0,0140	0,0136	0,0133
200	0,0172	0,0162	0,0149	0,0143	0,0138	0,0134	0,0131
210	0,0170	0,0157	0,0148	0,0141	0,0137	0,0133	0,0130
220	0,0168	0,0154	0,0145	0,0139	0,0135	0,0131	0,0128
230	0,0166	0,0152	0,0144	0,0138	0,0133	0,0130	0,0127
240	0,0164	0,0151	0,0142	0,0136	0,0132	0,0128	0,0125
250	0,0163	0,0149	0,0141	0,0135	0,0131	0,0127	0,0124
260	0,0162	0,0148	0,0140	0,0134	0,0130	0,0126	0,0123

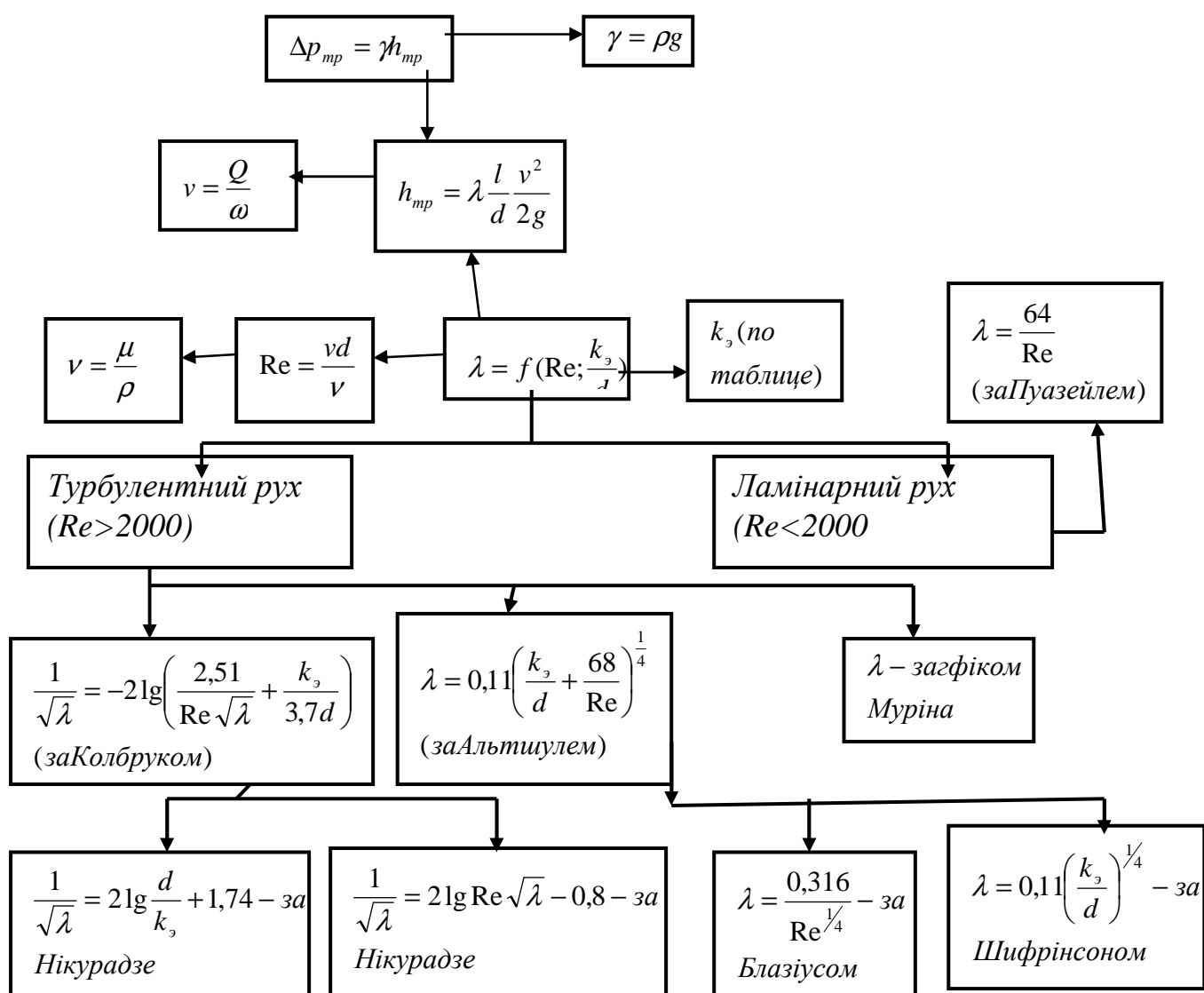
### Додаток 16

Значення  $\lambda$  розраховані за формулою  $\lambda = 0,021/d^{0,3}$

$d, м$	$\lambda$	$d, м$	$\lambda$	$d, м$	$\lambda$
1	0,0210	1,75	0,0178	3	0,0151
1,25	0,0196	2	0,0171	4	0,0139
1,5	0,0186	2,5	0,0161	5	0,0116

### Додаток 17

Схема до визначення втрат тиску за довжиною



Навчальне видання

**Яковенко** Микола Михайлович  
**Тітов** Юрій Петрович

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Технічна механіка рідин і газу" (для студентів 2, 4 курсів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» 0926 «Водні ресурси» спеціальності "Водопостачання та водовідведення")

Редактор: *М.З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання: *Ю. П. Степась*

План 2009, поз.161М

---

Підп. до друку 1.12.2009  
Друк на різнографі.  
Зам. №

Формат 60 x 84 1/16  
Ум. друк. арк.  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК №731 від 19.12.2001