

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра «Енергетика та електротехнічні системи»**

ГІДРАВЛІКА

**Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних
робіт**

Суми 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА „ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ”

ГІДРАВЛІКА

Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт
для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» за
спеціальністю 208 «Агроінженерія» *3 та 1с.т. курсу денної та заочної
форми навчання* за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

м. Суми 2022

УДК 532(075.8)

Укладач:, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сіренко В.Ф.

Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт
для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» за
спеціальністю 208 «Агроінженерія» 3 та 1с.т. курсу денної та заочної
форми навчання) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти/ Суми,
2022 рік, 36с.

В методичних вказівках представлені вказівки до підготовки і виконання
лабораторних робіт а також розв'язку задач із гідростатики. Для студентів
інженерно-технологічного факультету Особливо корисним буде для
самостійної підготовки студентів заочної форми навчання.

Рецензенти:

Саржанов О.А.— кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
експлуатації техніки Сумського НАУ.

Кравченко В.О.— кандидат фізико-математичних наук, ст. викладач кафедри
енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ.

Відповідальний за випуск: Чепіжний А.В., к.т.н., завідувач кафедри
«Енергетика та електротехнічні системи».

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно -
технологічного факультету СНАУ. (Протокол № 6 від „ 25 ” травня 2022 р.).

Сумський національний аграрний університет, 2022

ЗМІСТ

1.ЛБ1	Перевірка пружинних манометрів.....	4
2.ЛБ2	Вимірювання гідростатичного тиску.....	8
3.ЛБ3	Вивчення стану відносного спокою рідини.....	12
4. ПЗ 1	Дослідження пристроїв, заснованих на законах гідростатики.....	17
5. ПЗ 2	Дослідження застосування основного закону гідростатики.....	21
6. ПЗ 3	Визначення сили тиску рідини на плоскі поверхні.....	28

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема : **Перевірка пружинних манометрів**

Мета роботи:

Закріплення знань за розділом "Гідростатика" та «Прилади для вимірювання тиску». Оволодіти методикою експериментальних вимірювань гідростатичного тиску пружинними манометрами і перевірки робочих манометрів.

Завдання:

1. Визначити зміну показань перевіряемого манометра при збільшенні і зменшенні тиску по всій шкалі приладу.
2. Визначити зміну показань зразкового манометра при збільшенні і зменшенні тиску по всій шкалі приладу.
3. Визначити величину похибок в контрольних точках і порівняти отримані результати з максимально допустимими значеннями.
4. Зробити висновок щодо відповідності приладу своєму класу точності.

План

1. Вивчення будови пружинних манометрів і типів похибок при вимірюванні.
2. Ознайомлення з правилами експлуатації пружинних манометрів.
3. Вивчити будову стенду МП-600 для перевірки манометрів.
4. Аналіз порядку перевірки пружинного манометра.
5. Перевірка технічного манометра і запис показань приладів, обробка результатів вимірювань.

1. Вивчення будови пружинних манометрів і типів похибок при вимірюванні.

У техніці для вимірювання великого діапазону тиску 0,5-1000 ат і вакууму широко використовуються манометри з одновитковою трубчастою пружиною. Будова приладу показана на стенді.

Основною деталлю є зігнута по дузі кола порожниста трубка 1, запаяна з одного кінця, а іншим вона приєднана до штуцера 7. Поперечний перетин трубки 1 має овальну форму. Велика вісь паралельна осі одновиткової трубчастої пружини. Під дією перепаду тиску відбувається деформація перетину трубки: велика вісь овалу меншає, а менша збільшується.

Внаслідок цього трубка під дією надмірного тиску розгинається, а при тискові менше за атмосферний (тобто під дією вакууму) зменшити радіус кривизни. Переміщення запаяного кінця трубки за допомогою передаточного механізму, що складається з поводка 5, зубчатого сектора 2, перетворюється в переміщення стрілки 8. На осі стрілки насаджена трибка (шестерня з малим числом зубів), яка знаходиться в зачепленні із зубчатим сектором. Для підвищення точності показань приладу люфт між зубцями усувається спіральною пружиною 11. Весь механізм закривається корпусом 3, на передній панелі знаходиться циферблатна шкала 9.

Технічні манометри мають клас точності від 0,5 до 6, зразкові - 0,2, 0,4.

Клас точності приладу - величина максимально допустимої абсолютної похибки, виражена у відсотках від найбільшого значення на шкалі приладу.

2. Ознайомлення з правилами експлуатації пружинних манометрів.

1. У місці установки приладу повинні бути відсутні вібрації і струси.
2. Робоче положення манометра - вертикальне і в основному штуцером вниз.
3. Прилади включаються і вимикаються повільним поворотом рукоятки вентилля.
4. Перед початком і в кінці вимірювань перевіряється установка стрілки на нуль.

3. Вивчення будови стенду МП-600 для перевірки манометрів.

Технічні манометри перевіряють на відповідність приладу до його класу точності. Для лабораторних приладів метою перевірки є побудова тарировочної залежності $\Delta p = f(p)$, необхідної для компенсації систематичної погрішності. Як зразковий прилад застосовують манометри з максимальною абсолютною похибкою в чотири рази меншої і з більшим діапазоном вимірювань, щоб шкала зразкового манометра перекривала шкалу що, перевіряється.

На рис. 1. зображена схема установки для перевірки пружинних манометрів. Конструкція установки забезпечує проведення перевірки по показанням зразкових манометрів двох типів: 1) вантажопоршневого; 2) пружинного.

В установці всі складові вузли приєднуються за допомогою вентильних кранів 10, 14 до трубки 1, яка заповнюється маслом з ємності 5.

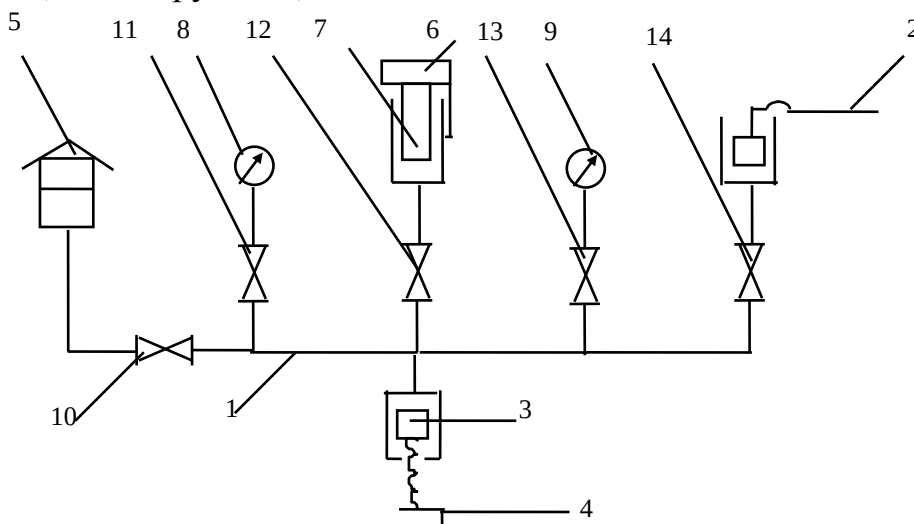


Рис. 1.1. Установка для перевірки пружинних манометрів

Спочатку тиск в гідросистемі створюється плунжерним насосом 2. Точна установка необхідного тиску проводиться пресовим пристроєм, що складається з плунжера 3 і гвинтового механізму з штурвалом 4. Тиск, що створюється в рідині, одночасно вимірюється випробуваним манометром 9, зразковим випробуваним пружинним 8, або зразковим вантажним манометром 7, в якому

тиск рідини встановлюється кількістю змінних вантажів. Всі вузли розміщені на плиті, горизонтальне положення якої виставляється мікрометричними гвинтами.

4. Аналіз порядку перевірки пружинного манометра.

1. Манометр 9 приєднують до установки.
2. Закривши вентилі 11, 12, і 13 від'єднують манометри від системи.
3. Циліндр пресового пристрою і трубопровід заповнюють плунжерним насосом 2 при відкритому вентилі 14 і максимально виведеному поршні 3. Після заповнення установки маслом кран 14 закривають.
4. Корпус приладу встановлюють в горизонтальному положенні за допомогою мікрометричних гвинтів, і перевіряють по рівню.
5. Рівномірно розподіляють по шкалі манометра контрольні точки. Для класів 4-6 намічають три точки, для класів 1-2,5 в п'ять точок.
6. У більш точних приладах призначають десять точок.
7. У протоколі відмічають початкове положення стрілки.
8. Вантаж, відповідний заданому тиску в першій точці, встановлюється на тарілку 6, відкривають вентиль 12 і приводять у рух плунжер 7 спільно з вантажем. Обертаючи штурвал 4 за годинниковою стрілкою підвищуємо тиск масла доти, поки плунжер спливе до рівня покажчика на тарілці.
9. Відкривають вентиль 13, тим самим включають випробуваний манометр 9. Повертаючи штурвал 4 підтримують заданий тиск на вантажному поршневому манометрі 7. Записують в протокол показання випробуваного манометра (після легкого постукування по корпусу манометра).
10. Операції викладені в пп. 7 і 8, послідовно виконують для всіх намічених точок. Потім витримують систему при найбільшому тиску протягом 5 хвилин.
11. Проводять повторні вимірювання з самого початку, тим самим для кожної точки отримують 4 значення тиску, що цілком досить для виключення випадкових похибок при обчисленні середнього арифметичного тиску.

$$P_{срi} = \frac{(P_i \uparrow + P_i \downarrow)_1 + (P_i \uparrow + P_i \downarrow)_2}{4}, \text{ де} \quad (1.1)$$

$P_{срi}$ - середнє арифметичне значення показань випробуваного манометра, Па;

$P_i \uparrow$ - показання манометра при збільшенні тиску, Па;

$P_i \downarrow$ - показання манометра при зменшенні тиску, Па.

У кожній наміченій точці обчислюємо абсолютну систематичну похибку

$$P_i = P_{срi} - P_{разк.}, \text{ де} \quad (1.2)$$

ΔP_i - абсолютна похибка, Па;

$\Delta P_{срi}$ - середнє арифметичне значення тиску, Па;

$P_{разк.}$ - показання зразкового манометра, Па.

Максимальне розходження показань приладів при прямому і зворотному ході

$$\eta = | P_i \uparrow - P_i \downarrow | \quad (1.3)$$

При використанні як еталонних приладів зразкових манометрів перевірка пружинних манометрів проводиться в тому ж порядку, за винятком пунктів 7 і 8, які формулюються таким чином:

7. За допомогою плунжерного насоса 2 створюємо тиск в мережі не набагато менше необхідного. Закриваємо вентиль 14.
8. Відкриваємо вентилі 11 і 13, тим самим приєднуємо зразковий і випробуваний манометри. Повільно повертаючи за годинниковою стрілкою штурвал 4 поршнем 3 поступово доводимо тиск до необхідного. Величину тиску в системі встановлюємо по показанням зразкового манометра.

5. Перевірка технічного манометра і запис показань приладів, обробка результатів вимірювань.

Запис показань приладів і обробка результатів виконується в протоколі.

Рз разк.	Р _{ср}	Р _і ↑	Р _і ↓	$\Delta\uparrow = P_{i\uparrow} - P_{ср}$	$\Delta\downarrow = P_{i\downarrow} - P_{ср}$	Результати перевірки
						1. Положення стрілки при нульовому тиску. 2. Найбільша абсолютна систематична похибка. 3. Найбільша варіація показань.

Р_{ср} вираховується. За формулою (1.1)

Прилад вважаємо, таким що задовольняє класу точності, якщо дані із останньої колонки протоколу знаходяться в межах найбільшої похибки приладу, яка співпадає з половиною ціни поділки шкали манометра.

Якщо прилад використовується як лабораторний, то обчислюємо поправки до показань випробуваного приладу

$$\Delta P = P_{\text{зразк.}} - P_{\text{ср}} \quad (1.4)$$

і будуємо графік залежності $\Delta P = f(P_{\text{ср}})$.

Зміст звіту.

Мета роботи. Схема установки і розрахункові формули. Протокол випробувань. Поправочний графік.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Будова пружинних манометрів.
2. Призначення таріровки пружинних манометрів.
3. Клас точності приладів.
4. Типи похибок показань приладів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.

Тема : **Вимірювання гідростатичного тиску.**

Мета роботи:

Закріплення знань за розділом "Гідростатика", набуття навичок вимірювання гідростатичного тиску рідинними приладами.

Завдання:

1. Визначити абсолютний тиск над рідиною в резервуарі при надлишковому тиску, а потім при розрідженні.
2. Визначити абсолютний тиск на дні резервуара з допомогою пьезометра і за показаннями U-образного мановакуумметра.
3. Порівняти отримані результати.

План

1. Засвоєння основних вимог техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.
2. Ознайомлення з будовою лабораторної установки ГД-1.
3. Вимірювання надмірного тиску.
4. Вимірювання вакууму.
5. Заповнити протокол вимірювань і зробити висновки.

1. Засвоєння основних вимог техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.

- а) Включати установки слід тільки з дозволу викладача;
- б) Не торкатися струмопровідних частин і частин, що обертаються;
- в) При виявленні несправності установки, наявності води і масла на підлозі негайно інформувати викладача;
- г) Студенти не знайомі з конструкцією установки, до виконання лабораторної роботи не допускаються.

2. Ознайомлення з будовою лабораторної установки ГД-1.

Лабораторна робота виконується на установці ГД-1, схема якої представлена на мал.1. У процесі досліджень вимірюється тиск і вакуум над поверхнею води в основному резервуарі А, розташованому в центрі установки. Під ним розміщений резервуар В (основна частина вакуумметра). Основні органи керування винесені на панель в нижній частині установки.

До складу установки входять такі прилади для вимірювання тиску: диференціальні манометри 2 і 1, заповнені водою і спиртом і що постійно з'єднуються з ємністю А, п'єзометр 3 через кран 5 (5') приєднаний до резервуара А; вакуумметр 4 спільно з ємністю Б.

Надмірний тиск над поверхнею рідини в резервуарі А створюється ручним насосом 6; до вимірювальної мережі він підключається за допомогою крана 7 (7'). У тому ж повітряному просторі вакуум створюється водоструминним насосом 8. Величина вакууму регулюється подачею води - вентиль 9 (9'). Підключається вакуум - насос до мережі вентилем 8, розташованим на верхній панелі приладу. Для приведення мережі, що досліджується в початковий стан повітряна камера А з'єднується із атмосферою краном 11 (11'). Вентиль 9(9') і двохпозиційні крани 11(11'), 5(5') і 7 (7') розташовані на нижній панелі установки. Положення крана відкрито «1», закрито «0».

Для заповнення і зливу води з ємностей встановлені два вентиля (на схемі не показані).

2.1. Вимірювання надмірного тиску.

Відкрити крани 5(5'), 7(7'), закрити крани 10, 11 (11'). За допомогою ручного насоса 6 створити надмірний тиск над поверхнею рідини в резервуарі А (до 400 мм вод. ст.), закрити кран 7(7'). Після встановлення рівнів рідини в трубках необхідно виміряти різниці рівнів в дифманометрах 1 і 2 і порівняти їх показання з величиною підйому води в п'єзометрі 3. Потім змінити тиск повітря над поверхнею рідини. Досліди повторити три рази.

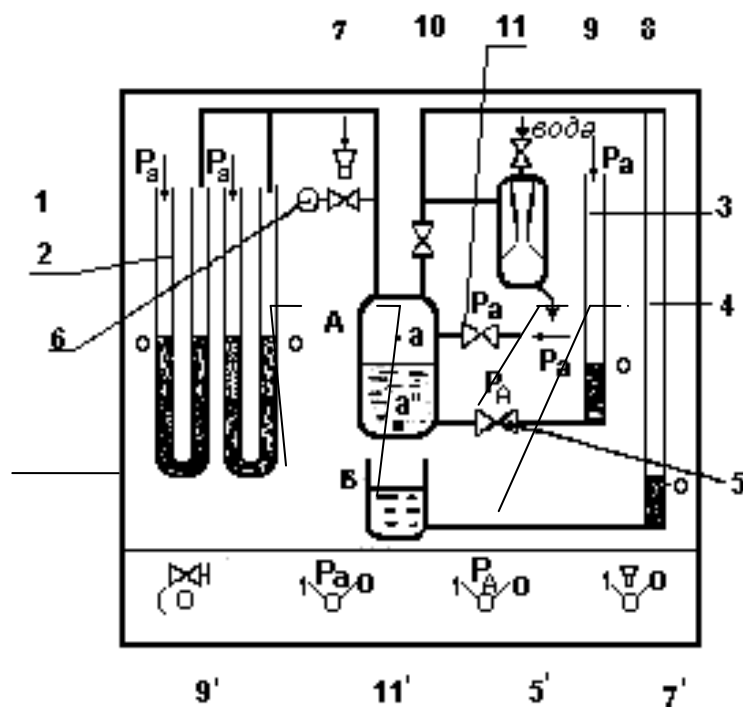


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки

2.2. Вимірювання вакууму.

Відкривши кран 11(11') привести установку до початкового стану. Закрити крани 11(11'), 5 (5'), 7(7'). Відкрити кран 10. Поступово, відкриваючи вентиль 9(9'), запустити водоструминний насос 8. Після встановлення вакууму в ємності А закрити кран 10, вимкнути насос 8 і заміряти різниці рівнів рідини в диференціальних манометрах 1 і 2. По величині підйому води в трубці

вакуумметра 4 виміряти величину вакууму і порівняти із показниками приладів 1 і 2. Дослід повторити три рази. В кінці роботи відкрити кран 11(11').

5. Заповнити протокол вимірювань і зробити висновки.

При виконанні лабораторної роботи на рідину, що знаходиться в стані спокою, діє тільки одна масова сила - сила ваги. Відповідно до основного закону гідростатики абсолютний тиск в точці рідини а дорівнює :

$$P_a = P_0 + \gamma h, \text{ де} \quad (2.1)$$

P_a - абсолютний тиск, Па;

P_0 - тиск над вільною поверхнею рідини Па;

γ - питома вага рідини, $\frac{H}{M^3}$;

h - відстань від вибраної точки до вільної поверхні рідини, м.

Величина абсолютного гідростатичного тиску вимірюється тільки барометром-анероїдом, де величина тиску повітря порівнюється з тиском всередині вакуумованої ємності. У всіх інших відомих приладах: рідинних (п'єзометр, вакуумметр, диференціальний манометр, мікроманометр і інш.), механічних манометрах (мембранних, пружинних, сильфонних) тиск, що вимірюється, порівнюється з атмосферним.

Якщо абсолютний тиск в точці А (мал. 2) більший за атмосферний, тоді величина його перевищення над атмосферним називається надмірним тиском.

$$P_{\text{надм}} = P_a - P_{\text{ат}}, \text{ де} \quad (2.2)$$

$P_{\text{надм}}$ - надмірний тиск, Па;

P_a - абсолютний тиск, Па;

$P_{\text{ат}} = 98100$ Па- атмосферний тиск.

А якщо абсолютний тиск в точці А менший від атмосферного, тоді величина тиску, що не вистачає до атмосферного, називається розрідженням або вакуумом.

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{ат}} - P_{a'}, \text{ де} \quad (2.3)$$

$P_{\text{вак}}$ - величина розрідження або вакуум, Па;

$P_{\text{ат}} = 98100$ Па, атмосферний тиск;

$P_{a'}$ - абсолютний тиск, Па.

Після проведення вимірювань у відповідності з параграфом 2 проводять такі обчислення.

1. Надмірний тиск повітря в замкненому об'ємі А над поверхнею води

$$P_{\text{надм}} = \gamma_v \times h_v, \quad (2.4)$$

$$P_{\text{надм}} = \gamma_c \times h_c, \text{ де} \quad (2.5)$$

$P_{\text{надм}}$ - надмірний тиск, Па;

h_v - висота підйому води в п'єзометрі 3, або різниця рівнів води в колінах U-подібного диференціального манометра 1, м;

h_c - різниця рівнів спирту в диференціальному манометрі 2, м;

$\gamma_v = 9810 \text{ н/м}^3$ питома вага води;

γ_c - питома вага спирту (визначають безпосередньо перед заливом манометра 2), н/м³.

2. Обчислюємо абсолютний тиск в замкненому повітряному просторі

$$P_a = P_{at} + P_{надм}, \text{ де} \quad (2.6)$$

P_a - абсолютний тиск, Па;

P_{at} - атмосферний тиск, Па;

$P_{надм}$ - надмірний тиск, Па.

3. Величина абсолютного гідростатичного тиску в нижній точці ємності. При цьому заглиблення точки a'' дорівнює $\Delta h = 0,09 \text{ м}$.

$$P_a'' = P_a + \gamma_v \times \Delta h, \text{ де} \quad (2.7)$$

P_a - абсолютний тиск у воді на глибині h ; Па;

$\gamma_v = 9810 \text{ н/м}^3$ - питома вага води.

4. Результати обчислень заносимо в таблицю 1.

Протокол випробувань при надмірному тиску

Таблиця 1

№ дос-лідів	Показання приладів, м			Надмірний тиск, Па.			Абсолютний тиск, Па					
							В повітрі			В рідині		
	Δh_1	Δh_2	Δh_3	$P_{надм1}$	$P_{надм2}$	$P_{надм3}$	P_{a1}	P_{a2}	P_{a3}	$P_{a''1}$	$P_{a''2}$	$P_{a''3}$
1.												
2.												
3.												

5. Величина вакууму над поверхнею води в ємності А обчислюється за формулами аналогічним (2.4) і (2.5)

$$P_{вак} = \gamma_v \times h_v, \quad (2.8)$$

$$P_{вак} = \gamma_c \times h_c, \text{ де} \quad (2.9)$$

$P_{вак}$ - вакуум, розрідження, Па;

h_v - висота підйому води у вакуумметрі 4, або різниця рівнів води в колінах U-подібного диференціального манометра 4, м;

h_c - різниця рівнів спирту в диференціальному манометрі 2, м.

6. Абсолютний тиск в ємності А над поверхнею води.

$$P_a = P_{at} - P_{вак}, \text{ де} \quad (2.10)$$

P_a - абсолютний тиск, Па;

P_{at} - атмосферний тиск, Па;

$P_{вак}$ - величина вакууму, Па.

7. Абсолютний тиск в нижній частині ємності

$$P_a'' = P_a + \gamma_v \times \Delta h = P_{at} - P_{вак} + \gamma_v \times \Delta h, \text{ де}$$

P_a - абсолютний тиск в точці a'' на глибині $\Delta h = 0,09 \text{ м}$, Па;

$\gamma_v = 9810 \text{ н/м}^3$ - питома вага води;

8. Результат заносимо в таблицю 2.

Протокол випробувань при вимірюванні вакууму.

Таблиця 2.

№ дос- лідів	Показання приладів, м			Розрідження, Па.			Абсолютний тиск, Па.					
							У повітрі			У рідині		
	Δh_1	Δh_2	Δh_4	$P_{\text{вак}1}$	$P_{\text{вак}2}$	$P_{\text{вак}4}$	P_{a1}	P_{a2}	P_{a4}	$P_{a''1}$	$P_{a''2}$	$P_{a''4}$
1.												
2.												
3.												

Зміст звіту: Мета роботи, опис і схема лабораторної установки, основні розрахункові формули, протокол випробувань, висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Визначення тиску, властивості тиску.
2. Одиниці вимірювання тиску.
3. Основне рівняння гідростатики.
4. Поняття абсолютного і надмірного тиску.оняття вакууму.
5. Прилади для вимірювання тиску.

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.

Тема : Вивчення стану відносного спокою рідини.

Мета роботи

Завершити формування знань щодо стану відносного спокою рідини. Експериментально підтвердити відповідність координат точок вільної поверхні рідини у циліндричній ємності, що обертається, теоретично розрахованим значенням .

Завдання:

1. При заданій частоті обертання вертикальної ємності виміряти вертикальну і радіальну координати точок вільної криволінійної поверхні рідини.
2. Для цієї частоти обертання вертикальної ємності вирахувати вертикальну і радіальну координати точок вільної криволінійної поверхні рідини за теоретичними співвідношеннями.
3. Порівняти отримані результати і зробити висновок.

План

- 1.Ознайомлення з будовою лабораторної установки ГД-2.
- 2.Повторення стислих теоретичних відомостей щодо стану відносного спокою в рідині.
- 3.Таріровка фотоелектричного тахометра.

4. Вимірювання координат вільної поверхні.

1. Ознайомлення з будовою лабораторної установки ГД-2.

Схема лабораторної установки ГД-2 представлена на рис. 1. На литому корпусі 1 встановлені: циліндрична посудина, електропривод з органами керування, вимірювальний блок для відліку координат вільної поверхні рідини.

Циліндрична посудина 2 заповнюється до половини об'єму трансформаторним маслом 3 і обертається електродвигуном 4 із черв'ячним редуктором. З теорії відомо, що вільна поверхня рідини в цьому випадку повинна мати форму параболоїда обертання.

В ході експерименту вимірюються координати лінії перетину двох поверхонь:

1) плоскої вертикальної, що проходить через центр обертання; 2) вільної поверхні рідини.

Вимірювальний пристрій складається з: каретки 5 і вимірювальної голки 8. За допомогою рукояток 6 і 7 каретка рухається в горизонтальному і вертикальному напрямках. Величина визначається по шкалам, розміщених горизонтально - на направляючій каретки по обидві сторони штока і вертикально - на поверхні штока з голкою. Точність відліку вертикальних переміщень 0,5 мм. На передню панель установки виведені такі органи керування: регулятор числа обертів 9, стрілочний індикатор тахометра 10, тумблер включення установки в мережу 11, лампочка 12, що сигналізує про включення в мережу.

У ході виконання лабораторних робіт передбачається зміна частоти обертання ємності в межах 60-160 об/хвил.

2. Повторення стислих теоретичних відомостей щодо стану відносного спокою в рідині

В інженерній практиці зустрічаються випадки, коли на рідину, крім сил тяжіння діють сили інерції. У разі обертання вертикальної циліндричної посудини, заповненої рідиною на кожен частку рідини діє сила тяжіння, направлена вертикально вниз, і відцентрова сила, нормальна до осі обертання, і яка дорівнює:

$$F_{в.ц.} = m \omega^2 r, \text{ де} \quad (3.1)$$

m - маса, кг;

ω - кутова швидкість обертання, 1/с;

r - поточний радіус, м.

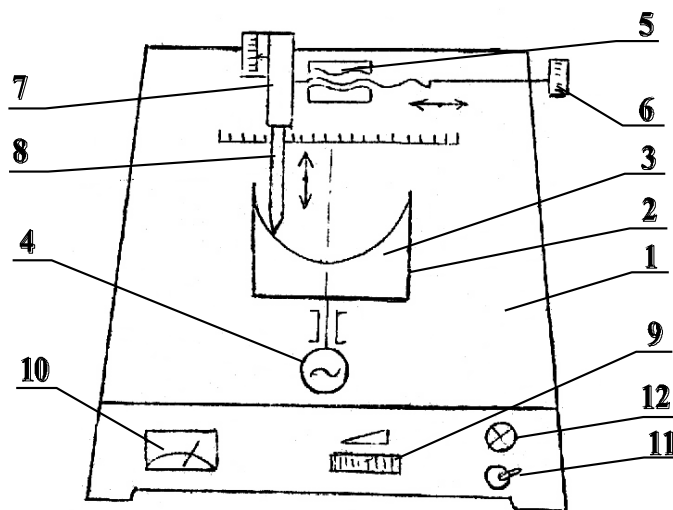


Рис. 3.1. Схема експериментальної установки

$$dp = \rho (\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz), \text{ де} \quad (3.2)$$

dp - диференціал тиску, н/м²;

dx, dy, dz - розміри елементарного об'єму, м;

ω - кутова швидкість обертання, с⁻¹;

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

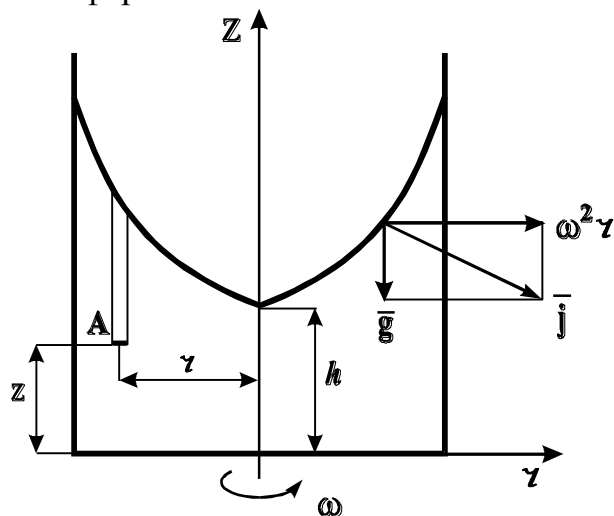
При розміщенні початку координат на вільній поверхні, після інтегрування отримаємо:

$$P_a = P_{a_1} + \rho g z + \frac{\rho \omega^2 r^2}{2}, \text{ де} \quad (3.3)$$

P_a - тиск в точці а, Па;

z, r - поточна вертикальна координата і радіус точки

$P_{ат} = 98100 \text{ Па}$ атмосферний тиск.



Мал. 3.2. Поверхня рідини при обертанні відкритої циліндричної ємності.

Рівняння вільної поверхні рідини можна знайти, якщо прирівняти $P_a = P_{ат}$.

Після перетворення будемо мати:

$$Z_T = \frac{\omega^2 r^2}{2g}, \text{ де} \quad (3.4)$$

ω - кутова швидкість обертання рідини, с^{-1} ;
 Z_T - вертикальна координата, теоретичне значення (величина перевищення над найнижчою точкою поверхні рідини).

Хід виконання роботи.

3. Таріровка фотоелектричного тахометра.

1. Перший етап роботи – таріровка фотоелектричного тахометра. Принцип визначення швидкості обертання ємності заснований на вимірюванні величин середнього струму імпульсів фотоструму, частота проходження яких пропорційна числу обертів ротора.

З цією метою на бокову поверхню циліндра наноситься мітка. За допомогою регулятора 9 по черзі встановлюються показання стрілочного приладу на 40, 80, 120, і 160 поділок і за одну хвилину відлічується число обертів ємності.

Кутова швидкість пов'язана з числом обертів таким співвідношенням:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ де} \quad (3.5)$$

n - число обертів за хвилину, об/хвил.

В ході експерименту потрібно постійно стежити за стабільністю показань приладу. Для підвищення точності вимірювання проводяться до 3-х разів в кожній точці. Результати заносяться в табл. 3.1.

4. Вимірювання координат вільної поверхні.

Включають установку в мережу. Потім регулятором встановлюють бажану частоту обертання (використовуючи дані з табл. 1.) Після того як рідина в ємності прийде в стан відносного спокою по відношенню до стінок посудини, що обертається, проводять вимірювання за допомогою голки. Для цього за допомогою рукоятки 6 голку суміщають з віссю циліндра (відмітка «0» на горизонтальній шкалі).

Потім обертанням рукоятки, розташованої на каретці, вимірювальну голку опускають до контакту її вістря з вільною поверхнею рідини і проводять відлік Z_0 по вертикальній шкалі. Після цього голку підіймають вгору і переміщують в горизонтальному положенні від осі ємності на 1 см і знов опускають до поверхні рідини. Проводять вимірювання $Z_{\text{шк}}$ вдовж радіуса ємності в 7-8 точках. Результати вимірювань заносять в графі табл. 2.

За базу відліку вертикальних відміток приймають горизонтальну площину, що проходить через найнижчу точку вільної поверхні. Координати вільної поверхні $Z_{\text{оп}}$ обчислюємо шляхом віднімання від значення координати найнижчої точки Z_0 значень вертикальних координат $Z_{\text{шк}}$ в інших точках і результат також заносимо до табл. 2.

$$Z_{\text{оп}} = Z_0 - Z_{\text{шк}} \quad (3.6)$$

Теоретичні значення вертикальних координат Z_T твірної лінії вільної поверхні знаходимо по формулі (4) і результат заносимо в табл. 2. В останню

колонку цієї таблиці заносимо величину розбіжності між координатами теоретично розрахованими і отриманими з досліду

$$\Delta Z = \frac{Z_{теор} - Z_{оп}}{Z_{оп}} \times 100 \% \quad (3.7)$$

Наприкінці лабораторної роботи проводять побудову теоретичної і експериментальної ліній в координатах Z-5, мал. 3.

Таблиця 1.

Показання приладу	№ досліду	n, об/хвил	ω , с ⁻¹	ср
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			

Таблиця 2.

Відстань від точки до осі обертання r, мм	Відмітки вільної поверхні, мм			Розходження ΔZ , %
	Z _{шк}	Z _{оп}	Z _{теор.} мм	

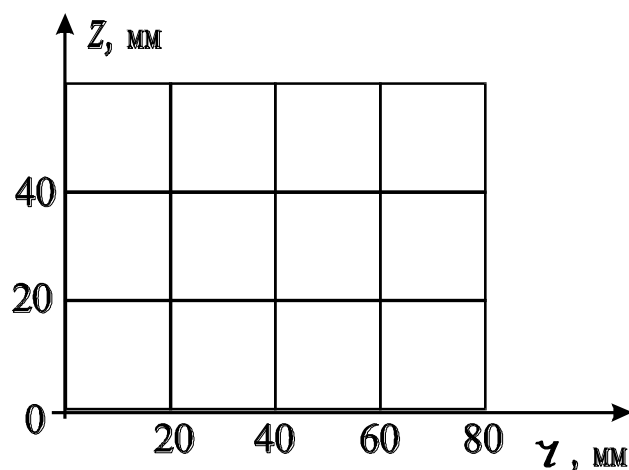


Рис. 3.3 Графік теоретичної (0) і дослідної (x) твірної ліній вільної поверхні.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Поясніть, що таке відносний спокій рідини, і приведіть приклади використання цього явища в техніці.
2. Поясніть, що являє собою вільна поверхня жид-кістки в обертовому циліндричному посудині, напишіть рівняння цієї поверхні.

3. Назвіть сили, що діють на кожен частинку рідини в обертовому циліндричному посудині, вкажіть прискорення, що викликаються цими силами. Поясніть відповідь схемою.

4. Напишіть і поясніть закон розподілу гідростатичного тиску по глибині рідини в обертовому резервуарі.

5. Напишіть і поясніть формулу для визначення висоти пара-болоида обертання.

6. Зобразіть і прокоментуйте епюру гідростатичного тиску по дну обертового циліндра з рідиною.

7. Напишіть і поясніть закон розподілу гідростатичного тиску по дну циліндра в рідині, що обертається разом з посудиною під-коло вертикальної осі.

8. Які сили діють на рідину, що знаходиться під обертаю-щемся посудині, як виражаються ці сили?

9. Поясніть, як буде спрямований вектор рівнодійної сил, діючих на кожен частку обертової рідини, по відношенню до вільної поверхні.

10. Поясніть, чому вільна поверхня рідини в обертаючійся циліндричній ємності є криволінійною.

4. ПЗ 1. Дослідження пристроїв, заснованих на законах гідростатики

Засвоїти уміння самостійно використовувати методи практичного застосування законів гідростатики при розв’язку задач.

Завдання:

Використовуючи основні властивості тиску та закон Паскаля розрахувати найпростіші гідростатичні механізми.

Розрахувати деякі режими розгону центрифуг із вертикальною віссю обертання.

План

1. Застосування властивостей тиску.
2. Аналіз найпростіших гідростатичних механізмів.
3. Визначення силових співвідношень в гідропристроях.
4. Приклади розв’язку задач.

1. Застосування властивостей тиску.

Основні відомості

Рідина, що заповнює даний об’єм, взаємодіє з навколишнім середовищем по обмежуючій його поверхні. Вона може представлять собою реально існуючу межу між рідиною і газом або твердим тілом, а також поверхня, яка в думках відділяє розглядаємий об’єм від інших об’ємів рідини.

Ця взаємодія на межі розділу супроводжується зміною відстані між молекулами і оцінюється як розподілене навантаження, тобто як напруга (сила,

що доводиться на одиницю площі). Напруга може бути направлена під будь-яким кутом до поверхні.

У розрахунках воно розкладається на нормальну про і дотичну т складові. Дотичні напруги з'являються в результаті впливу в'язкості рідини. Тому у випадках, коли сили в'язкості не виявляються (рідина покоїться або розглядається як ідеальна), дотичні напруги відсутні і діють тільки нормальні. У механіці розтягуючі нормальні напруги вважаються позитивними, а стискаючі - негативними.

У рідині нормальні напруження в звичних умовах можуть бути тільки стискаючими, тому що унаслідок рухливості навіть найменші розтягуючі зусилля розривають рідину, і в ній утворюються порожнини, заповнені парою, або рідина розпадається на окремі краплі. Отже, чисельні значення нормальної напруги, що виникає в рідині, завжди будуть із знаком «-», що створює певну незручність при розрахунках. Це послужило однієї з причин того, що знаки нормальної напруги в гідравліці замінені протилежними по відношенню до прийнятих в механіці, і такі напруги для відмінності названі тиском.

Тиск - параметр (аналогічний нарузі), що характеризує взаємодію середовищ в напрямі, перпендикулярному до поверхні їх розділу, при цьому із зростанням тиску збільшується стиснення середовища.

За відсутності сил в'язкості нормальна напруга, а отже, і тиск в даній точці, не залежить від кута нахилу поверхні, тобто

$$P = -y_x = -y_y = -y_z \quad (4.1)$$

де x, y, z - осі декартової системи координат.

При русі реальної рідини, в'язкість створює не тільки дотичні напруги, але і перерозподіляє нормальні, тобто в цьому випадку $y_x \neq y_y \neq y_z$

В цілях уніфікації розрахункових рівнянь і додання ним більшої наочності в гідродинаміці реальної рідини під тиском розуміється середньоарифметична по трьох взаємоперпендикулярних напрямках стискаюча нормальна напруга, взята із зворотним знаком, тобто

$$p = -\frac{y_x + y_y + y_z}{3} \quad (4.2)$$

При такому визначенні тиску його властивості (незалежно від кута нахилу майданчика в даній точці і його стискаючої дії) зберігаються і в рухомій реальній рідині.

Одиниця вимірювання тиску в СІ називається Паскаль: $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Для кількісної оцінки тиску використовуються поняття:

- абсолютний тиск $p_{аб}$ - показує перевищення даного тиску над тиском в повному вакуумі, т. е., якщо $p_{аб} = 0$, то на межі, що розділяє дані об'єми, взаємодія відсутня;
- надмірний тиск p_u (манометричне p_m) - показує перевищення даного тиску над тиском навколишнього середовища (звично атмосфери), тобто $p_u = 0$, якщо даний тиск рівний тиску навколишнього середовища, наприклад, атмосферному.

На відміну від абсолютного надмірний тиск може бути від'ємним, оскільки в даному випадку знак « - » показує, що вимірюваний тиск менший,

ніж тиск в навколишньому середовищі (такий тиск називають вакуумметричним), а прилади для його вимірювання - вакуумметрами.

Вказані величини зв'язані співвідношенням

$$p_{аб} = p_u + p_{атм} \quad (4.3)$$

де $p_{атм}$ - абсолютний тиск атмосфери (навколишнього середовища) в даний момент часу.

2. Аналіз найпростіших гідростатичних механізмів.

За допомогою законів гідростатики розраховуються, наприклад, гідропреси і гідромультіплікатори у випадках, коли їх робочі органи знаходяться в стані граничної рівноваги. Гідропрес (рис.4.1) призначений для збільшення сил, що діють на оброблюваний об'єкт.

Гідропрес складається з двох сполучених циліндрів, поршні яких мають різну площу. При дії сили F_1 на поршень вузького циліндра, що має площу S_1 , під поршнем створюється тиск $p = F_1/S_1$. Цей тиск по закону Паскаля передається рідиною у всі точки однаково. Отже, також діятиме і на поршень широкого циліндра, створюючи робоче зусилля, $F_2 = pS_2$. Таким чином, робоче зусилля, створюване гідропресом, визначається формулою:

$$F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1 \quad (4.4)$$

Звідси витікає, що зусилля за допомогою гідропресу збільшується в стільки разів, у скільки площа поршня широкого циліндра перевищує площу вузького.

Гідромультіплікатор (рис. 4.2) призначений для збільшення тиску. Він складається з двох циліндрів різного розміру, поршні яких, що мають площу S_1 і S_2 сполучені один з одним штоком.

В стані граничної рівноваги поршні нерухомі, тому сили, створювані тиском в обох циліндрах, будуть рівні, тобто $F_1 = F_2$ або $p_1S_1 = p_2S_2$, звідки

$$p_2 = \frac{S_2}{S_1} p_1 \quad (4.5)$$

Таким чином, мультиплікатор збільшує тиск в стільки разів, в скільки площа більшого поршня перевищує площу малого.

При виведенні співвідношень (4) і (5) не враховувалися сили тертя. У разі потреби оцінки їх впливу на умови рівноваги слід мати на увазі, що сили тертя зменшують зусилля даних пристроїв.

3. Визначення силових співвідношень в гідроприсроях.

У гідропресах і гідромультіплікаторах, окрім поршнів, широко застосовуються плунжери. У таких випадках у формули (4) і (5) підставляються замість площ поршнів відповідні площі плунжерів.

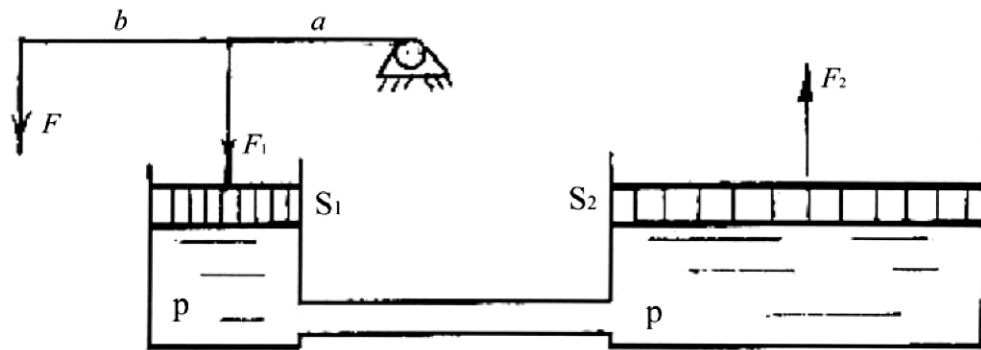


Рис. 4.1. - Принципова схема гідравлічного преса: F_1 - сила, з якою виявляється дія на поршень малого циліндра; F_2 - сила, з якою поршень великого циліндра діє на оброблюваний предмет (робоче зусилля).

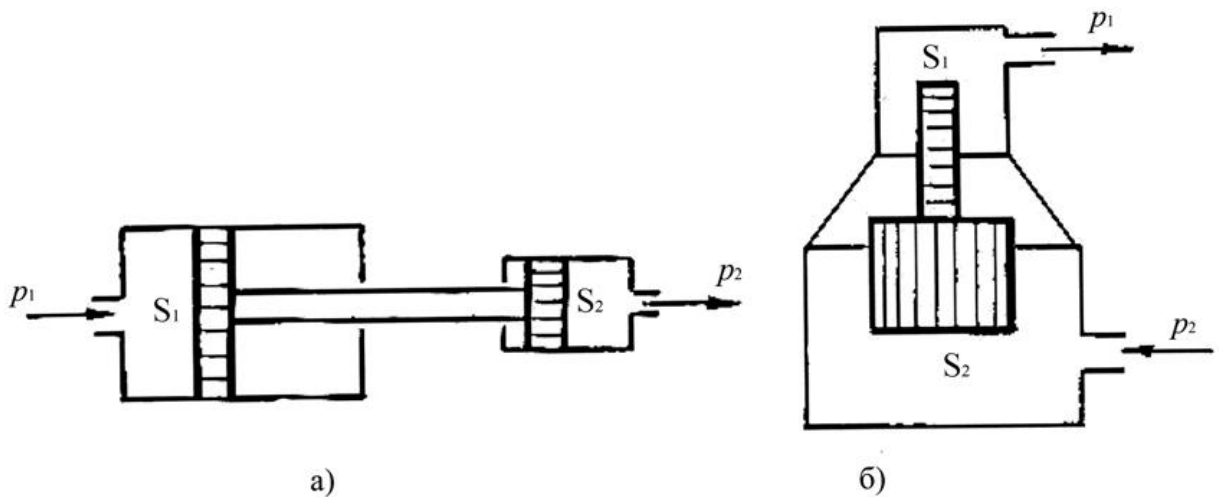


Рис. 4.2. - Принципова схема гідромультіплікатора:

- а) - поршневого типу;
 б) - плунжерного типу; p_1 - тиск, що створюється, наприклад, насосом; p_2 - робочий тиск, що створюється мультіплікатором.

4. Приклади розв'язку задач.

а) Поршень діаметром $D = 400$ мм і інший поршень діаметром $d = 100$ мм (рис. 2, а) зв'язані між собою штоком.

Визначити тиск p_2 , якщо перед поршнем більшого діаметру підтримується тиск $p_1 = 10$ кПа, при цьому сила на подолання тертя в поршнях $F_{тр} = 200$ Н.

Порядок розрахунку.

1. Визначаємо силу, діючу на поршень діаметром Про:

$$F_2 = p_1 S_2 = 10000 \times 0,1256 = 1256 \text{ Н},$$

2. Знаходимо силу, що діє на рідину під малим поршнем:

$$F_2 = F_1 - F_{тр} = 1256 - 200 = 1056 \text{ Н}$$

3. Величина тиску під малим поршнем згідно формули (4):

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2} = \frac{1056}{0,00785} = 135 \text{ кПа}$$

Де S_2 – площа поршня діаметром d .

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.1^2}{4} = 0.00785 \text{ м}^2$$

б) Гідравлічний прес, що складається з двох циліндрів з великим і малим поршнями $D = 200$ мм і $d = 20$ мм служить для створення великих зусиль при пресуванні. Визначити силу P_2 , що розвиває прес (рис. 4.1), щодо важеля розмірами $a = 0,04$ м і $b = 0,3$ м прикласти зусилля $P = 200$ Н. Масою поршнів і тертям в них нехтувати.

Порядок розрахунку.

1. Визначаємо силу p_1 , що передається малому поршню за допомогою важеля, з рівняння моментів сил щодо точки обертання важеля:

$$F(a+b) = F_1 a$$

Звідки

$$F_1 = \frac{F(a+b)}{a} = \frac{200 \cdot (0.3 + 0.04)}{0.04} = 1700 \text{ Н}$$

2. Величина тиску, який виникає під малим поршнем:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{1700 \cdot 4}{3.14 \cdot 0.02^2} = 5.4 \text{ МПа}$$

3. Обчислюємо силу, що розвивається гідравлічним пресом:

$$F_2 = p_2 \frac{\pi D^2}{4} = 5.4 \cdot 10^6 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} = 170 \text{ кН}$$

«Відносний спокій рідини»

Основні відомості

а) Обертання циліндра з рідиною навколо вертикальної осі.

Розглянемо рівномірне обертання циліндрової ємності з рідиною навколо вертикальної осі Z з постійною кутовою швидкістю ω (рис. 3).

В даному випадку на будь-яку одиницю маси m , що знаходиться у рідині, діятимуть дві сили:

- сила тяжіння - $F_T = mg$;
- відцентрова сила інерції - $F_a = m\omega^2 r$.

Тоді тиск в будь-якій точці судини з рідиною можна визначити за допомогою рівняння:

$$p = p_0 \gamma (z_0 + z) + \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} \quad (4.6)$$

Де p_0 – надмірний тиск на вільній поверхні

γ – питома вага рідини;

ρ – густина рідини.

Вільна поверхня рідини є параболою, а в просторі - параболоїд обертання, який визначається рівнянням:

$$H = \frac{\omega^2 R^2}{2g} \quad (4.7)$$

де R – радіус циліндра

ω – кутова швидкість

Кутова швидкість визначається рівнянням:

$$\omega = \frac{pn}{30} \quad (4,8)$$

Де n – частота обертання, об/хв.

б) Прямолінійний рух судини з рідиною.

Розглянемо рівноприскорений прямолінійний рух судини з рідиною щодо горизонтальної осі X (Рис. 4). В цьому випадку посуд з рідиною знаходиться в нерівномірному або непрямолінійному русі, то на будь-яку частинку рідини діють дві сили:

- сила тяжіння – $F_T = mg$;
- сила інерції – $F_a = ma$.

Під дією сил вільна поверхня займе положення згідно з малюнком 4, а її розташування може бути визначене кутом нахилу α , який визначається по формулі:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g} \quad (4.9)$$

Приклади розрахунків

а) Відкрита вертикальна циліндрова судина радіусом $R = 0,4$ м і заввишки $H = 1,2$ м наповнена водою в стані спокою до рівня $H_0 = 0,8$ м, рівномірно обертається щодо вертикальної осі. При якій частоті обертання рідина почне виливатися з судини?

Порядок розрахунку.

1. Використовуючи закон збереження маси, прирівнюємо об'єми рідини до обертання і при обертанні:

$$pR^2H_0 = pR^2H - \frac{1}{2}pR^2h \quad (4,10)$$

Об'єм параболоїда обертання:

$$V_{n.s} = \frac{1}{2} pR^2h$$

1. З рівняння (7) визначаємо кутову швидкість ω :

$$\omega = \sqrt{\frac{2gh}{R^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot 0.8}{0.4^2}} = 9.9 \text{ с}$$

2. Визначаємо висоту параболоїда обертання h з рівняння (4.10)

$$h = 2(H - H_0) = 2(1.2 - 0.8) = 0.8 \text{ м}$$

3. Обчислюємо частоту обертання циліндра по формулі (4.8)

$$n = \frac{30\omega}{p} = \frac{30 \cdot 9.9}{3.14} = 95 \text{ об/хв}$$

б) Резервуар заповнений рідиною на $2/3 H$ в стані спокою рухається в горизонтальній площині.

Визначити прискорення a , при якому рідина почне виливатися з резервуару розмірами $H = 3$ м, $l = 6$ м (Рис. 4).

Порядок розрахунку.

1. Використовуючи геометричні розміри судини, визначаємо $\operatorname{tg} \alpha$, при якому рідина почне виливатися з резервуару:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{1}{2}H}{\frac{l}{2}} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{6}{2}} = \frac{1}{3} = 0.33$$

2. По формулі (9) визначаємо величину прискорення:

$$a = g \cdot \tan \alpha = 9.81 \cdot 0.33 = 3.24 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

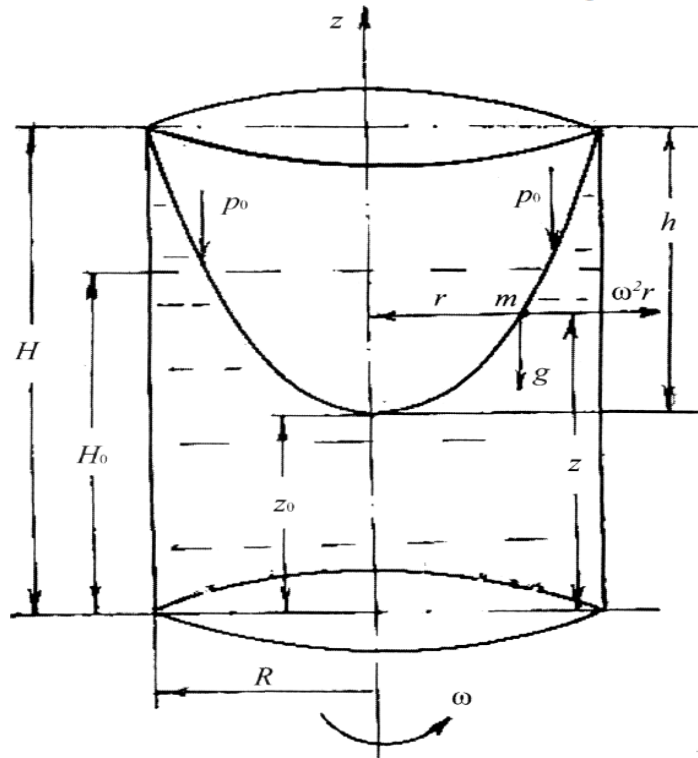


Рис. 4.3– Обертання ємності з рідиною навколо вертикальної осі.

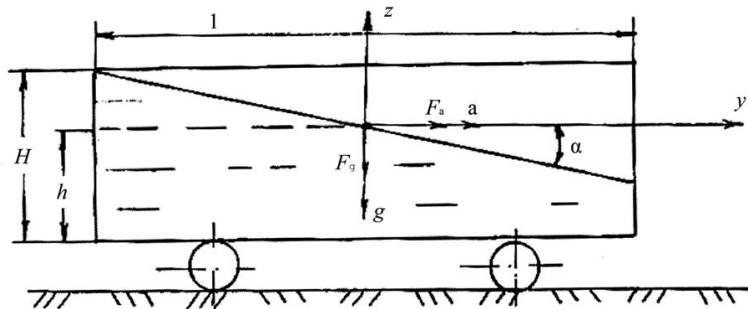


Рис. 4.4 -Нерівномірний рух судини з рідиною.

Контрольні питання

1. Закон Паскаля, його формулювання.
2. Практичне застосування закону Паскаля на прикладі гідравлічного преса.
3. Пристрій і принцип дії гідравлічного преса.
4. На прикладі лабораторних досліджень покажіть, який виграш виходить при використанні гідравлічного преса, важеля?
5. Визначте сили тертя в манжетному і сальниковому ущільненнях.
6. Коефіцієнт корисної дії гідравлічного преса.
7. Поверхня рівного тиску.
8. Відносний спокій рідини.
9. Форма вільної поверхні. Від чого залежить ця форма при відносному спокої в обертівій ємності?

10. Розподіл тиску при відносному спокої в обертовій посудині.

ПЗ 5. Практичне заняття

Дослідження застосування основного закону гідростатики

Мета роботи:

Закріпити відомі способи практичного застосування законів гідростатики при розв'язку задач.

Завдання:

Використовуючи основний закон гідростатики зменшити число невідомих величин на одиницю.

Зважаючи на властивість тиску розповсюджуватися в усіх напрямках однаково, виконати розрахунки пристроїв для перетворення зусиль і тисків.

Використати методику поверхонь однакового тиску для вирішення складніших задач із різними рідинами і різними тисками на поверхні рідин.

План

1. Особливості застосування основного закону гідростатики
2. Врахування властивостей тиску при розв'язку задач.
3. Застосування методики поверхонь однакового тиску.

1. Особливості застосування основного закону гідростатики

Задача 1.

Резервуари A і B частково заповнені водою різної густини і газом, причому до резервуара A підключений балон з газом (мал. 1). Який необхідно створити тиск p_0 у балоні, щоб одержати тиск p_v на вільній поверхні в резервуарі B , якщо висота стовпа ртуті в трубці дифманометра h , а відстані від осі резервуарів до

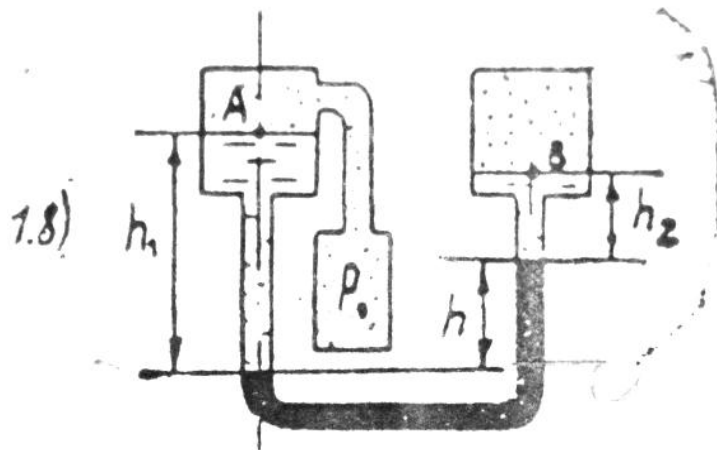


Рис 5.1

ртуті рівні h_1 і h_2 ? Питома вага ртуті $\gamma_p = 133,4 \text{ кН/м}^3$, густина води в резервуарі A — $\rho_A = 998 \text{ кг/м}^3$, у резервуарі B — $\rho_B = 1029 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

$$P_B = 110 \text{ кПа}$$

$$h = 0,28 \text{ м}$$

$$h_1 = 0,6 \text{ м}$$

$$h_2 = 0,22 \text{ м}$$

$$\gamma_{\text{рт}} = 133,4 \text{ кН/м}^3$$

$$\rho_A = 998 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_B = 1029 \text{ кг/м}^3$$

Знайти: P_0 - ?

Розв'язок.

Із основного рівняння гідростатики маємо:

$$P_B + h_2 \cdot \rho_B g + \gamma_{\text{рт}} \cdot h = h_1 \cdot \rho_A g + P_A$$

$$P_A = P_0$$

$$P_0 = P_B + h_2 \cdot \rho_B g + \gamma_{\text{рт}} \cdot h - h_1 \cdot \rho_A g = 110000 + 1029 \cdot 9,81 \cdot 0,22 + 133400 \cdot 0,28 - 998 \cdot 9,81 \cdot 0,6 = 143,7 \text{ кПа}$$

2. Врахування властивостей тиску при розв'язку задач.

Задача 2.

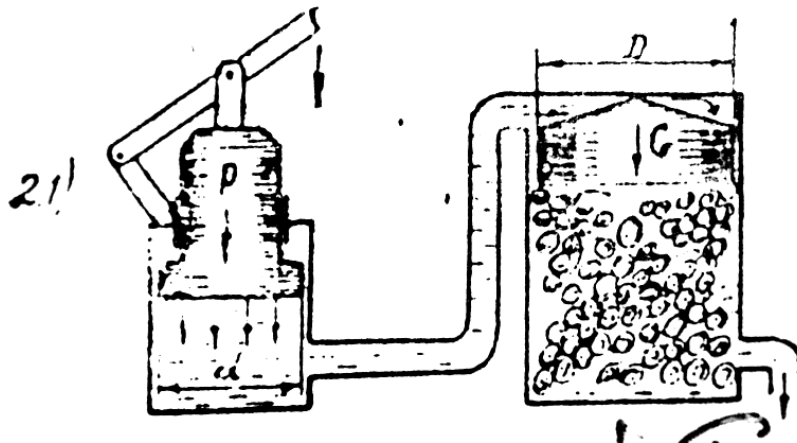


Рис 5.2

Визначити стискальне зусилля P_1 гідравлічного преса з діаметрами поршнів D і d , використовуюваного для одержання виноградного соку, якщо до малого поршня прикладена сила P .

Дано: $D=340 \text{ мм}$; $d=15 \text{ мм}$; $P=0,196 \text{ кН}$.

Розв'язок.

За законом Паскаля тиск в обох гідроциліндрах однаковий, тому

$$P_1 / S_1 = G / S_2$$

Площа круглих циліндрів дорівнює:

$$S = \pi \cdot D^2 / 4$$

Після підстановки:

$$G = P_1(D^2/d^2) = 0,196 \cdot (340/15)^2 = 100,7 \text{ кН}$$

Задача 3.

Визначити манометричний тиск p_2 на виході мультиплікатора (рис. 3), якщо тиск на вході $p_1 \sim 200$ кПа, $D = 100$ мм, $d = 25$ мм. Коефіцієнт корисної дії мультиплікатора $\eta = 0,8$.

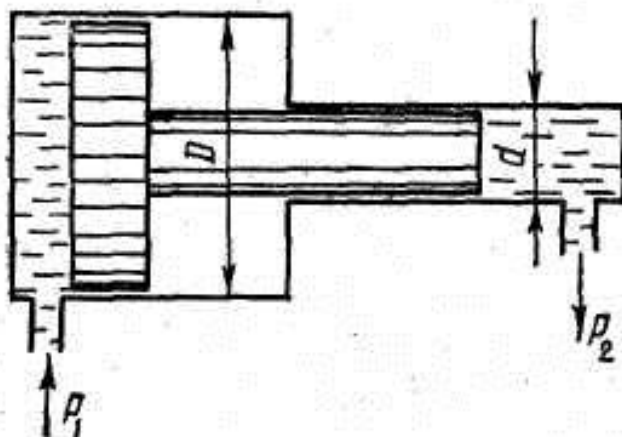


Рис 5.3

Схема гідравлічного мультиплікатора.

Розв'язок.

Із залежності для ккд одержимо:

$$p_2 = \eta P_1 D^2 / d^2 = 0,8 \cdot 200 \cdot 100^2 / 25^2 = 2516 \text{ кПа.}$$

Задача 4.

Визначити, яке зусилля P_x (рис.3) необхідно прикласти до рукоятки важеля гідравлічного домкрата, щоб підняти вантаж $G = 160$ кН. Діаметри $D = 200$ мм, $d = 20$ мм, плечі важеля $a = 1$ м, $b = 0,1$ м, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,8$.

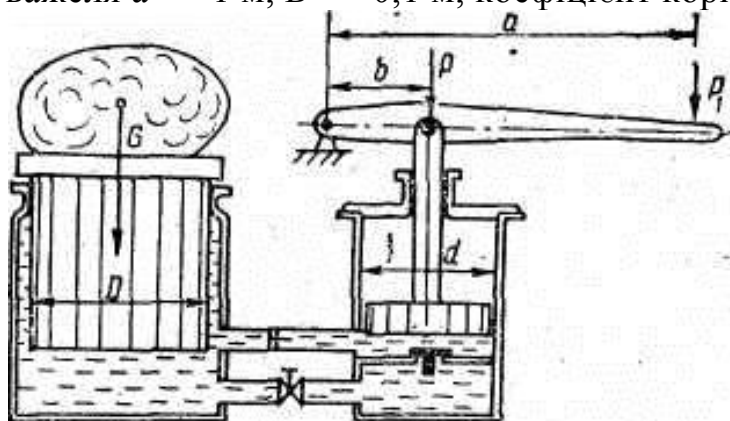


Схема гідравлічного домкрата.

Рис 5.4

Розв'язок.

. 3 формули:

$$P_1 = G \frac{d^2 b}{D^2 a \eta} = 160 \frac{20^2 \cdot 0,1}{200^2 \cdot 1 \cdot 0,8} = 0,2 \text{ кН} = 200 \text{ Н.}$$

3. Застосування методики поверхонь однакового тиску.

Задача 5.

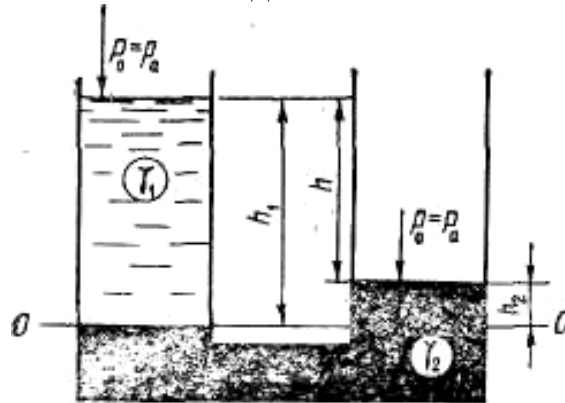


Рис 5.5

Відкриті сполучені посудини заповнені рідинами, що не змішуються між собою. Знайти висоту стовпчика кожної рідини над поверхнею розділу $O—O$ (див. рис.), якщо питома вага рідин відповідно $\gamma_1 = 7,5 \text{ кН/м}^3$, $\gamma_2 = 9,81 \text{ кН/м}^3$, а різниця рівнів в посудинах $h = 15 \text{ см}$.

Розв'язок.

У всіх точках поверхні розділу $O—O$, що проходить через рідину з питомою вагою γ_a тиск однаковий, тому можна записати $p_0 + \gamma_1 h_1 = p_0 + \gamma_2 h_2$ звідки $\gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$. Підставимо замість $h_2 = h_1 - h$, тоді $\gamma_1 h_1 = \gamma_2 (h_1 - h)$, звідки

$$h_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_2 - \gamma_1} h = \frac{9,81}{9,81 - 7,5} 0,15 = 0,637 \text{ м.}$$

Тоді

$$h_2 = h_1 - h = 0,637 - 0,15 = 0,487 \text{ м.}$$

Контрольні питання

1. Що таке гідростатичний тиск? Його властивості.
2. Що виражає основне рівняння гідростатики?
3. Чим відрізняються надлишковий і вакуумметричний тиски?
4. Що таке п'єзометрична і вакуумметрична висота?
5. Які прилади використовуються для вимірювання тиску?

6 . Практичне заняття. Визначення сили тиску рідини на плоскій поверхні.

Мета:

Навчитися розраховувати силові фактори, що діють на плоскі стінки ємностей та бункерів.

Завдання:

Закріплення знань за розділом " Сили тиску рідини на плоскій поверхні."

Набуття навичок визначення гідростатичної сили тиску рідини на плоскій поверхні різної конфігурації.

План

1. Вирішення теоретичної задачі знаходження сили і центра тиску рідини на плоскій поверхні.
2. Порівняння графічного та аналітичного методу вирахування сил тиску на поверхні.
3. Визначення навантажень на вертикальні стінки ємностей, розрахунки водовипусків.

1. Вирішення теоретичної задачі знаходження сили і центра тиску рідини на плоскій поверхні.

Основні відомості

Початкові дані:

- а) геометричні розміри, що характеризують форму і висотне положення даної фігури;
- б) питома вага або густина рідини, що дію на фігуру і тиск в якій-небудь точці даної рідини (буде однакою для горизонтальної площини, що проходить через цю точку).

Аналітичний метод

1. Сила гідростатичного тиску, діючого на плоскій поверхні, визначається по формулі:

$$F = p_c S \quad (6.1)$$

де S - площа даної фігури;

p_c - гідростатичний тиск, діючий в центрі ваги даної плоскої фігури (рис.6.1 точка С).

1. Тиск знаходиться за допомогою основного рівняння гідростатики (2):

$$P_c = p_0 + \gamma h_c \quad (6.2)$$

де h_c — глибина занурення центру ваги даної плоскої фігури від горизонтальної площини, на якій p_0 визначено граничними умовами.

Часто є відомим тиск на вільній поверхні рідини, наприклад, у випадку, представленому на рисунку 6.2 тиск $p_0 = p_m$ і знаходиться за показниками манометра.

При підстановці у формулу (2) чисельного значення тиску p_c необхідно вибрати вид шкали тиску (абсолютного або надмірного), котрий характеризуватиме його величину. У більшості практичних за дач умова рівноваги даної фігури визначається різницею гідростатичного тиску, діючого всередині резервуару, і тиску навколишнього середовища (звично атмосферного), діючого на дану фігуру зовні резервуару. Тому в таких випадках використання в розрахунках надмірного тиску дозволить значно скоротити розрахунки.

2. Коли за умов задачі вимагається визначити момент сили гідростатичного тиску, розрахунки спростяться, якщо обчислювати не силу гідростатичного тиску не по формулі (2), а її складові:

F_p - силу, яка виникає в результаті тиску на граничну поверхню рідини в резервуарі або шарів рідини, розташованих над верхньою точкою даної фігури (точка 1 на рис. 2). Оскільки ця сила створюється тиском, який за законом Паскаля рівномірно розподіляється на даній фігурі, то будемо цю силу називати силою Паскаля $F_{\text{ж}}$ - силу, створювану вагою шару рідини, розташованого в межах даної фігури.

Тиск в точці 1, згідно рівняння (2), прийме вигляд

$$p_1 = p_m \quad (6.3)$$

Обидві складові діють по нормалі до поверхні даної фігури, але прикладені в різних точках.

Сила F_p прикладена в центрі ваги даної фігури (точка С), а сила $F_{\text{ж}}$ – в точці Д, яка зміщена вниз уздовж фігури від точки С на величину e , звану ексцентриситетом сили:

$$e = \frac{I_c}{y_c S} \quad (6.4)$$

де I_c – осьовий момент інерції даної фігури щодо го-різонтальної осі, яка лежить в площині і проходить через її центр тяжкості;

y_c - відстань уздовж фігури між горизонтальною площиною, що проходить через верхню точку фігури і її центром тяжкості.

2. Порівняння графічного та аналітичного методу вирахування сил тиску на поверхні.

Графічний метод

1. Для визначення сили гідростатичного тиску, діючого на плоскі фігури, графічним методом заздалегідь необхідно побудувати епюру тиску, діючого на дану фігуру.

Оскільки тиск із збільшенням глибини росте по лінійному закону, то для побудови епюри достатньо за допомогою основного рівняння гідростатики визначити тиск в самій верхній і нижній точках даної фігури (точки 1 і 2 на рис.2).

Основне рівняння гідростатики для визначення тиску в точці 1 прийме вигляд (6), а для обчислення тиску в точці 2:

$$p_2 = p_m + \gamma h_2 \quad (5)$$

де h_2 — глибина занурення самої нижньої точки фігури від горизонтальної поверхні, на якій тиск рівний p_m .

Ординати тиску p_1 і p_2 в масштабі, вибраному по рекомендації Госту, відкладаються у відповідних точках по нормалі до поверхні з боку навантаження і з'єднуються прямою лінією.

2. Сила гідростатичного тиску, діючого на плоскі фігури, визначається як об'єм епюри тиску.

Точка додатку сили гідростатичного тиску знаходиться на перетині даної фігури з перпендикуляром, опущеним на неї з центру тяжкості епюри тиску.

У випадках, коли епюра гідростатичного тиску представляє собою складну фігуру, то для зручності розрахунків її доцільно розбити на ряд простих. При цьому кожна проста фігура відповідатиме одній з складових сили гідростатичного тиску.

Наприклад, якщо вважати, що показана на рис. 2 похила поверхня, на яку діє шукана сила, є прямокутником, то епюра тиску буде призмою з трапецеїдальними основами. Оскільки центр ваги трапеції знаходиться складніше, ніж трикутника, то в даному випадку при визначенні моменту сили тиску епюру доцільно розбити на паралелепіпед, об'єм якого визначає силу Паскаля з центром ваги C_1 , і трикутну призму, об'єм якої відповідає силі вагового тиску шаруючи рідини $\Gamma ж$ з центром тяжкості C_2 .

Приклад обчислення сили гідростатичного тиску, діючого на плоскі фігури.

1. Вимагається визначити момент, створюваний силою гідростатичного тиску, діючого на похилу прямокутну кришку, щодо осі, що проходить по її нижній підставі (рис. 3).

Дано: ширина кришки (у напрямі, перпендикулярному кресленню) $A = 0,6$ м; висота кришки (відстань 1-2) $B = 1,2$ м; площа кришки $S = 0,72 \text{ м}^2$; $h_c = 0,52$ м; $h_2 = 1,04$ м; рідина - вода (питома вага 9810 Н/м^3).

Порядок розрахунку: намічається спосіб рішення, виписуються основні формули і пояснюються позначення, на розрахунковій схемі указуються всі величини, використовувані при розрахунку.

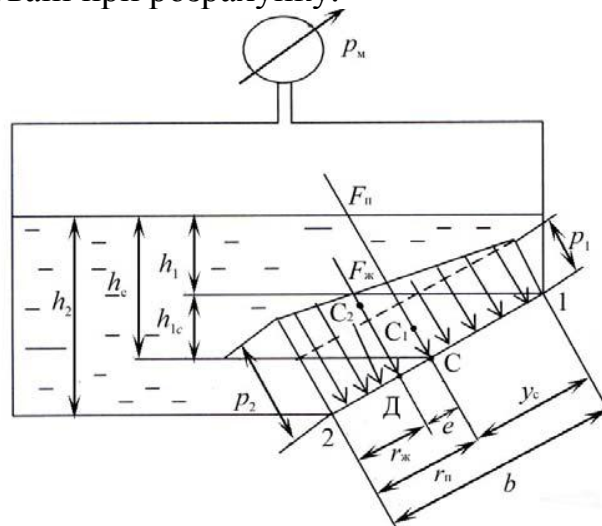


Рис. 6.1 Розрахункова схема для визначення сили гідростатичного тиску.

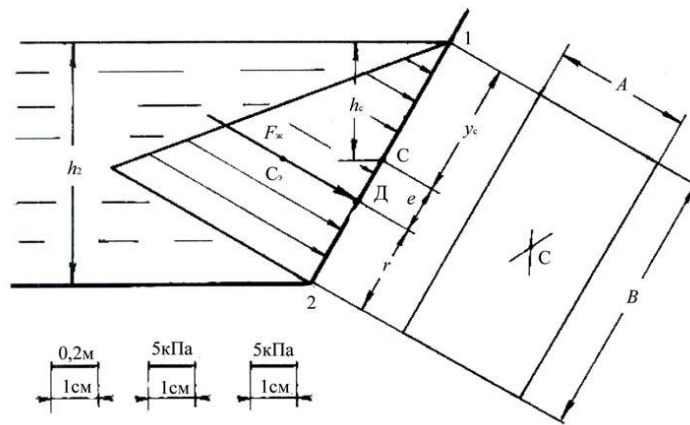


Рис. 6.2 До розрахунку сили тиску на плоску поверхню.

Аналітичний метод

1. У даному прикладі зовнішній тиск, діючий через рідину на кришку, є атмосферним. З протилежної сторони на кришку діє також атмосферний тиск. Тому для розрахунків числові величини, що характеризують тиск, зручно приймати за шкалою надмірного тиску, тобто $P_{атм}(изб)=0$.

Таким чином, в даному випадку з сил, діючих на кришку, не компенсується тільки сила вагового тиску рідини, яка знаходиться по формулі (5):

$$F_{ж} = \gamma_c S = 9,81 * 0,52 * 0,72 = 3,67 \text{ кН}$$

2. Для визначення моменту сили знаходиться точка її додатки «Д», для чого обчислюється по формулі (7) ексцентриситет:

$$e = \frac{I_c}{\gamma_c S} = \frac{\frac{A B^3}{12}}{\frac{B}{2} S} = \frac{B}{6} = \frac{1,2}{6} = 0,2 \text{ м}$$

3. Відповідно плече сили тиску

$$r = \frac{B}{2} - e = \frac{1,2}{2} - 0,2 = 0,4 \text{ м}$$

4. Момент сили тиску визначається по формулі

$$M = 3,67 * 0,4 = 1,47 \text{ кН*м}$$

Графічний метод

1. Обчислюються за допомогою основного рівняння гідростатики тиск в самій верхній і нижній точках кришки (у даному прикладі точки 1 і 2). Як вказувалося вище, $p_1 = 0$. Тиск в точці 2:

$$p_2 = p_1 + \gamma h_2 = 0 + 9,81 * 1,04 = 10,2 \text{ кПа.}$$

2. Обираються масштаби для тиску і геометричний. Відповідно будується епюра тиск. Вона в даному прикладі представляє собою трикутну призму (на рис.3 видно тільки одну основу призми), тобто достатньо просту фігуру, що не вимагає додаткових перетворень.

3. Визначається сила тиску, як об'єм епюри, в даному випадку трикутної призми:

$$F_{ж} = V_3 = \frac{1}{2} p_2 B A = \frac{1}{2} 10,2 * 1,2 * 0,6 =$$

де площа трикутної основи призми.

Знаходиться точка додатку сили тиску «Д», для чого через центр тяжкості епюри S_3 проводиться перпендикуляр до перетину з кришкою. Оскільки в

даному прикладі середній перетин призми, паралельне основі, є трикутником, та відстань від точки 2 до «Д», буде рівне $B/3$, тобто третина плеча сили тиску

$$r = \frac{1}{3}B = \frac{1,2}{3} = 0,4 \text{ м}$$

Цей же результат може бути одержаний шляхом безпосереднього вимірювання вказаної величини на кресленні.

3. Визначається момент сили тиску:

$$M = F_{\text{ж}} r = 3,67 \cdot 0,4 = 1,47 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Як і слідувало очікувати, результат розрахунку виходить таким же, як при використуванні аналітичного методу.

3. Визначення навантажень на вертикальні стінки ємностей, розрахунки водовипусків.

Задача 1

Труба квадратного перетину закрыта затвором АВ, що може обертатися навколо осі в точці В (див. рис.) Визначити мінімальний натяг троса Т, що утримує затвор у закритому положенні. Маса затвора М, рідина — вода.

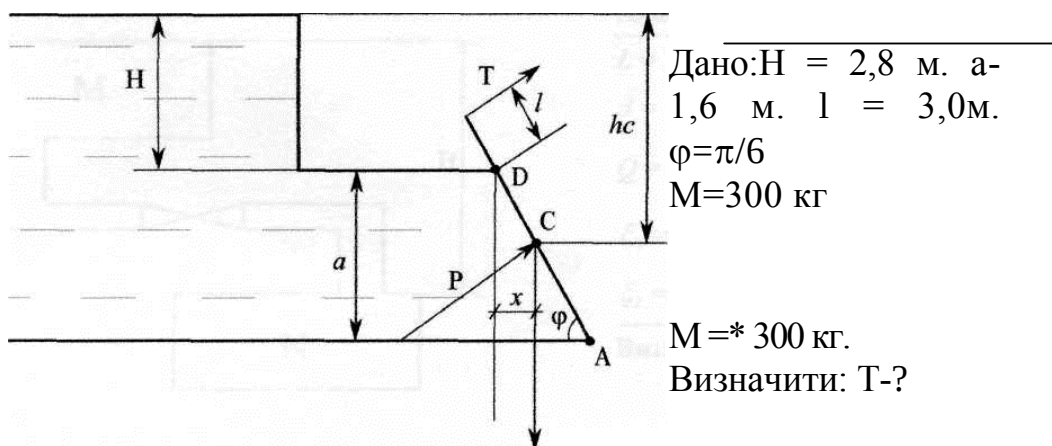


Рис. 6.3

Розв'язок:

$$\cos \varphi = 0,866$$

$$\sin \varphi = 0,866$$

$$\sum M_B = 0$$

Визначити $T - ?$

$$T l - P \cdot DB + G \cdot X = 0$$

$$T = \frac{P \cdot DB - G \cdot X}{l}$$

$$G = M \cdot g = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ Н}$$

$$hc = H + \frac{a}{2} \sin \varphi = 2,8 + \frac{1,6}{2} \cdot 0,5 = 3,2 \text{ м.}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot hc \cdot S_m S_m = a \cdot AB = 1,6 \cdot 3,2 = 5,12 \text{ м}^2.$$

$$AB = \frac{a}{\sin \varphi} = \frac{1,6}{0,5} = 3,2 \text{ м.}$$

$$DB = \frac{a}{2} + \frac{I_{x_0}}{y_c \cdot S_{щ}}$$

Момент інерції щита: $P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,2 \cdot 5,12 = 160121 \text{ Н}$

$$I_{x_0} = \frac{a \cdot AB^2}{12} = \frac{a \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi}\right)^2}{12} = \frac{1,6^4}{12 \cdot 0,5^3} = 4,37 \text{ м.}$$

$$x = \frac{a}{2} \cdot \cos \varphi = \frac{1,6}{2} \cdot 0,866 = 0,69 \text{ м.}$$

$$y_c = \frac{hc}{\sin \varphi} = \frac{3,2}{0,5} = 6,4 \text{ м.}$$

$$DB = \frac{1,6}{2} + \frac{4,37}{6,4 \cdot 5,12} = 0,93 \text{ м.}$$

$$T = \frac{160727 \cdot 0,93 - 2943 \cdot 0,69}{3,0} = \frac{149476,11 - 2030,67}{3,0} = 49148,5 \text{ Н}$$

Відповідь: $T = 49148,5 \text{ Н.}$

Задача 2

Для скидання надлишків води використовується донний водовипуск, прямокутний затвор якого має розміри a і b (мал. 3.3). Глибина води від її вільної поверхні до нижнього краю затвора h_1 , кут нахилу затвора α , щільність

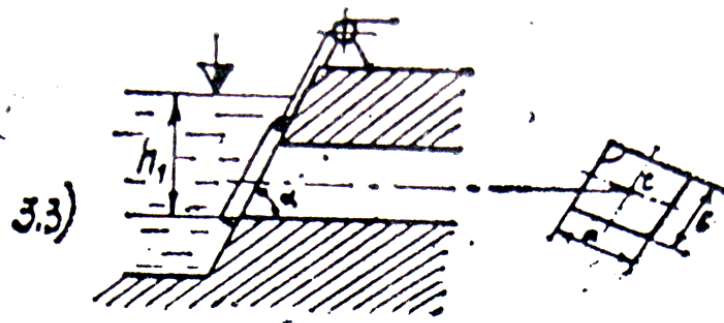


Рис. 6.4

води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Визначити силу абсолютного гідростатичного тиску рідини на затвор водовипуску

Розв'язок:

Сила абсолютного гідростатичного тиску:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{ат}} \cdot \omega + \gamma \cdot h_c \cdot \omega$$

Де $P_{\text{ат}} = 98,1 \text{ кПа}$ - Атмосферний тиск

$\gamma = 9,81 \text{ кН/м}^3$ - питома вага рідини

$$\omega = a \cdot b = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}^2 \text{ — площа затвора}$$

$h_c = h_1 - b/2 \sin \alpha = 10 - 2/2 \cdot \sin 60 = 9,134 \text{ м}$ — глибина занурення центра ваги щита

Сила тиску $P_{\text{абс}} = 2,4 \cdot (98,1 + 9,81 \cdot 9,134) = 450,5 \text{ кПа.}$

Контрольні запитання.

1. Мета лабораторного дослідження.
2. Як можна розрахувати силу гідростатичного тиску рідини на плоску стінку?
3. Де знаходиться умовна точка прикладання сили поверхневого, гідростатичного і повного гідростатичного тисків?
4. Побудова епюр гідростатичного тиску.
5. Чому обсяг просторового епюра гідростатичного тиску дорівнює силі тиску рідини на стінку?

ЛІТЕРАТУРА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ

1. Дідур В.А. та ін. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / Дідур В.А., Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І. - К. : Аграрна освіта, 2008. - 577 с.
2. Дідур В.А. та ін. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І. - Запоріжжя : Прем'єр, 2005. - 464 с.
3. Исаев А.П. и др. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / Исаев А.П., Сергеев Б.И., Дидур В.А. - М. : Агропромиздат, 1990. - 400 с.
4. Костюченко З.В. и др. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Костюченко З.В., Лаптев В.И., Холодок Л.А. - Минск : Ураджай, 1991. - 272 с.
5. Палишкин Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин. - М.: Агропромиздат, 1990. -351 с.
6. Дидур В.А. и др. Гидроаэромеханика и ее использование в энергетике АПК / Дидур В.А., Грачева Л.И., Радул Н.Н., Орел А.Н. - М. : МГАУ, 2008. - 395 с.
7. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід [Текст] : підручник / В. Р. Кулінченко ; Національний університет харчових технологій. - К. : Фірма "ІНКОС"; Центр навчальної літератури, 2006. - 616 с..

Допоміжна

1. Справочник по гидравлике /В.А.Большаков, Ю.М. Константинов, В.Н. Попов и др. - 2-е изд. - К.: Вища школа, 1984.- 343 с
2. Рогалевич Ю.П. Гідравліка: Підручник.-К.: Вища школа, 1993-255 с.
3. Усаковский В,М. Водоснабжение в сельском хозяйстве.-М.: Агропромиздат, 1989.
4. Справочник. Механизация полива .-М.: Агропромиздат, 1990.

ГІДРАВЛІКА

Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт
для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» за
спеціальністю 208 «Агроінженерія» 3 та 1с.т. курсу денної та заочної
форми навчання) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва,
160

Підписано до друку: ____ 2022. Формат: А5 Гарнітура: Times New Roman.
Тираж: ____ примірників Замовлення Ум. друк. Арк.