

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
І КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ
З ДИСЦИПЛІНИ "ГІДРАВЛІКА І ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ"
для студентів спеціальності 17.06
заочної форми навчання

Затверджено
на засіданні РВР
факультету ТБУ
Протокол № 8 від 17.12.92

Київ КТІХП 1993

Програма, методичні вказівки і контрольні завдання з дисципліни
"Гідравліка і гідравлічні машини" для студентів спеціальності 17.06
заочної форми навчання / Укл. І.К.Мотуз, В.Р.Кулінченко, О.В.Савова.
К.: КТІХП, 1993. - 40 с.

Укладачі: І.К.Мотуз,
В.Р.Кулінченко, канд. техн. наук,
О.В.Савова

Відповідальний за випуск І.Ф.Малежик, д-р техн. наук, проф.

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Курс лекцій з дисципліни "Гідравліка і гідравлічні машини" ставить за мету вивчення та засвоєння студентами основ знань в області гідравліки і гідромашин, необхідних для подальшого вивчення спеціальних дисциплін і набуття досвіду в практичній діяльності по спеціальності. Завдання курсу передбачають засвоєння основ гідравліки, потрібних для вивчення гідромашин і гідроавтоматики, які застосовуються в харчовій і переробних галузях агропромислового комплексу України.

Курс складається з трьох основних взаємопов'язаних частин:

гідростатики - де вивчається закономірність рівноваги рідин, які перебувають у стані абсолютного чи відносного спокою;

гідродинаміки - де вивчаються основні закони руху рідин, на підставі яких виконуються розрахунки трубопроводів, гідротехнічних споруд, витікання рідин із отворів, насадок і через водозливи;

гідравлічних машин - де вивчаються найпоширеніші в харчовій і переробних галузях промисловості відцентрові, поршневі й ротаційні насоси.

Теоретичний курс доцільно вивчати послідовно за окремими темами. Уважно вивчати вивід основних формул, звертаючи при цьому увагу на допущення, зроблені під час виведення, тому що вони обмежують застосування здобутих закономірностей. Робота над підручником супроводжується розв'язанням задач з вивченого розділу. Це дає змогу краще засвоїти теоретичний матеріал, зрозуміти суть гідравлічних явищ і закріпити знання з усього курсу.

З курсу "Гідравліка і гідравлічні машини" студент повинен виконати три контрольні роботи, які у разі їх правильного виконання зараховуються. Якщо хоча б одна задача розв'язана неправильно і в ній при-

пущені грубі й суттєві помилки, то контрольна робота до її виправлення не зараховується.

Виконуючи конкретні завдання, треба:

написати умову задачі;

накреслити потрібну схему або рисунок, якщо це передбачено умовою задачі;

написати умову тільки того варіанта, який стосується виконавця;

вказувати розмірності величин;

подати спочатку розв'язання задачі у загальному вигляді з відповідними поясненнями, після чого підставити значення величин у рівняння відповідно до варіанта задачі;

відповіді на теоретичні питання проілюструвати рисунками і поясненнями.

Варіанти задач вибираються за останньою цифрою шифру. Теоретичні питання відповідають запитанням для самоперевірки знань і вибираються за двома останніми цифрами шифру.

Студент, який виконав контрольні роботи і лабораторний практикум і захистив їх, допускається до заліку. Екзамен з курсу дозволяється складати при наявності заліку. Послідовність задач, заліків і екзаменів визначає кафедра, а час їх проведення – деканат.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Маковозов М.И. Гидравлика и гидравлические машины. – М.: Машгиз, 1962. – 427 с.

2. Мотуз І.К., Герашенко В.М., Кулінченко В.Р. Методичні вказівки до вивчення курсу "Гідравліка та гідравлічні машини". – К.: РАІО "Укрвузполіграф", 1991. – 116 с.

3. Угінтус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. – Харьков: Изд-во Харьков. ун-та, 1970. – 345 с.

4. Шляпченко З.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. – К.: Техника, 1976. – 365 с.

Додаткова

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

6. Кулінченко В.Р., Мотуз І.К., Савова О.В. Методичні вказівки до самостійної роботи "Гідравлічний розрахунок установки відцентрового насоса" з дисципліни "Гідравліка та гідравлічні машини". – К.: РАІО "Укрвузполіграф", 1991. – 86 с.

7. Мотуз И.К. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по гидравлике. - К.: Мажузов. полиграф. предприятие, 1983. - 96 с.

8. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗИВКИ ДО ТЕМ І РОЗДІЛІВ КУРСУ

Розділ І. ГІДРАВЛІКА

1.1. Основні властивості рідини

Визначення поняття рідини. Ідеальні й реальні рідини. Рідини крапельні і газоподібні. Щільність і залежність між ними. Залежність цих величин від температури і тиску. Відносна щільність і густота. Стисливість. Закон Ньютона для рідинного тертя. В'язкість. Коефіцієнти й одиниці в'язкості, вплив температури і тиску на в'язкість. Поверхневий натяг. Моделі ідеальної рідини. Неньютонівські рідини.

Методичні вказівки

За своїми властивостями рідини займають проміжне місце між твердими тілами і газами. Рідини майже не змінюють свій об'єм при зміні тиску і температури, в цьому відношенні вони подібні до твердих тіл. Рідина володіє текучістю, завдяки чому вона не має своєї форми і набуває форму тієї посудини, в якій міститься, в цьому відношенні вона подібна до газів. Усі рідини при зміні тиску й температури змінюють свій об'єм.

У гідравліці при вивченні законів рівноваги й руху широко використовуються різні фізичні величини, які характеризують рідини. Студентам потрібно вміти визначати основні фізичні характеристики рідин, знати їх одиниці.

Слід розглянути основні фізичні властивості крапельних рідин: густину, питому вагу, поверхневий натяг, в'язкість та ін.

В'язкість називається властивістю рідини чинити опір відносному переміщенню шарів, викликаному деформацією зсуву. Ця властивість проявляється в тому, що в рідині під час руху виникають сили опору зсуву, які називають силами внутрішнього тертя. Для прямолінійного шаруватого руху рідини сила внутрішнього тертя T між шарами, які переміщуються один по одному, з площею дотyku F визначається за законом Ньютона

$$T = \eta F \frac{du}{dz} \quad \text{або} \quad \tau = \frac{T}{F} = \eta \frac{du}{dz} \quad (1)$$

Динамічна в'язкість μ не залежить від тиску і від характеру руху, а визначається тільки фізичними властивостями рідини і її температурою. Як видно з /1/, сила T і дотична напруга τ пропорційні градієнту швидкості U по нормалі Z до поверхні тертя du/dz , який є зміною швидкості рідини у напрямі нормалі на одиницю її довжини. Рідини, для яких залежність зміни дотичних напруг від швидкості деформації відрізняються від закону Ньютона /1/, називаються неньютонівськими, або аномальними рідинами.

Урахування сил в'язкості значно ускладнює вивчення законів руху рідини. З іншого боку, крапельні рідини майже не змінюють свій об'єм при зміні тиску і температури. З метою спрощення постановки задач і їх аналітичного розв'язання створюють модель ідеальної рідини. Ідеальною рідиною називається уявна рідина, яка характеризується повною відсутністю в'язкості і абсолютною сталістю об'єму при зміні тиску і температури. Перехід від ідеальної рідини до реальної здійснюється введенням в кінцеві розрахункові формули поправок, які враховують вплив сил в'язкості і отримані дослідним шляхом.

у гідравліці рідина розглядається як суцільне середовище, тобто середовище, маса якого розподіляється по об'єму неперервно. Це дозволяє розглядати всі характеристики рідини /густину, в'язкість, швидкість та ін./ як функції координат точки і часу, при цьому здебільшого ці функції неперервні.

Запитання для самоперевірки

1. Різниця між густиною і питомою вагою. Відносна густина і питома вага. Одиниці величин у системах СГС, МКГСС і СІ.
2. Стислість і поверхневий натяг рідин. Залежність цих величин від інших фізичних властивостей рідин.
3. В'язкість рідини. Суть закону Ньютона в'язкісного тертя.
4. Залежність в'язкості рідини від тиску і температури.
5. Взаємозв'язок динамічного і кінематичного коефіцієнтів в'язкості. Одиниці виміру в СІ та в інших системах.
6. Різниця між ідеальною і реальною рідиною. Випадки, коли при практичних розрахунках рідину можна вважати ідеальною.
7. Вимірювання в'язкості рідин - віскозиметрія. Типи віскозиметрів.
8. Основні характеристики неньютонівських і неньютонівських рідин.

1.2. Гідростатика

Тиск у рідині, що перебуває у стані спокою. Сили, які діють на

рідину. Гідростатичний тиск і його властивості. Тиск абсолютний і надлишковий. Вакуум. Диференціальне рівняння рівноваги рідини Ейлера. Інтегрування рівняння Ейлера. Поверхні рівного тиску. Вільна поверхня рідини. Закон Паскаля та його застосування в техніці. Умови рівноваги в сполучених посудинах. Рідинні прилади для вимірювання тиску, розрідження, різниці тисків. Відносний спокій рідини. Сила тиску рідини на плоскі й криволінійні поверхні. Центр тиску. Гідростатичний парадокс. Висоти гідростатичного тиску. Плавання тіл. Закон Архімеда.

Методичні вказівки

Рідини, які перебувають у стані спокою, піддаються дії двох категорій сил: масових і поверхневих. Масові сили пропорційні масі рідини, а для однорідної рідини — її об'єму. Зовнішні поверхневі сили неперервно розподілені по граничній поверхні рідини.

У рідині, що перебуває у стані спокою, може існувати тільки напруга стискання, тобто тиск. Слід чітко уявляти різницю між поняттями середнього гідростатичного тиску, гідростатичного тиску в точці, виражених в одиницях напруги, і поняттям сумарного гідростатичного тиску на поверхні, вираженого в одиницях сили.

У гідростатиці вивчаються закони рівноваги рідин, розглядаються питання розподілу гідростатичного тиску рідини, визначаються значення, напрям і точка прикладання сили тиску на плоскі й криволінійні поверхні.

Найзагальнішим рівнянням гідростатики є диференціальне рівняння Ейлера

$$dp = \rho (X dx + Y dy + Z dz), \quad /2/$$

в якому dp — диференціал тиску; X, Y, Z — проекції питомих масових сил прискорення на відповідні осі координат x, y, z . Рівняння /2/ встановлює зв'язок між масовими і поверхневими силами, які діють у рідині, і дозволяє здобути:

рівняння поверхні рівного тиску

$$X dx + Y dy + Z dz = 0;$$

основне рівняння гідростатики /гідростатичний напір/

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const} = H_g, \quad /3/$$

де z - геометричний напір, питома потенціальна енергія положення;
 $p/\rho g$ - п'єзометричний напір, питома потенціальна енергія тиску.
 Сума цих величин для замкненої системи є величиною сталою для різних точок. Якщо розглянути /3/ для двох точок рідини, які перебувають тільки під дією сили тяжіння, дістанемо основне рівняння гідростатики:

$$p = p_0 + \rho g h.$$

де p і p_0 - тиск на глибині h і зовнішній тиск на вільну поверхню; ρ - густина рідини; $\rho g h$ - тиск, спричинений вагою рідини висотою стовпа h .

Залежно від способу відрахунку розрізняють абсолютний надлишковий /манометричний/ і вакуумметричний тиск:

$$p_{абс} = p_{ат} - p_{над},$$

$$p_{над} = p_{абс} - p_{ат},$$

$$p_{вак} = p_{ат} - p_{абс}.$$

Дію рідини на плоскі й криволінійні поверхні наочно відображають епюри тиску. Площа епюри дає значення сили тиску, а центр тяжіння цієї площі - точку прикладання сили тиску. Для плоскої поверхні довільної форми сила тиску

$$P = \rho g h_{ч.т} F,$$

де $h_{ч.т}$ - глибина занурення центра тяжіння стінки під рівень рідини; F - змочена площа поверхні стінки.

Точка прикладання сили гідростатичного тиску /центр тиску $h_{ч.р}$ / лежить завжди нижче від центра тяжіння і становить

$$h_{ч.р} = h_{ч.т} + \frac{I_0}{h_{ч.т} F}, \quad /4/$$

де I_0 - момент інерції відносно осі, яка проходить крізь центр тяжіння змоченої поверхні стінки.

формула /4/ визначає точку прикладання сили тільки гідростатичного тиску без урахування тиску на вільну поверхню рідини.

Для криволінійних поверхонь визначають горизонтальну і вертикальну складові повної сили гідростатичного тиску P_x, P_y, P_z , а рівнодіїсну їх знаходять як геометричну суму:

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

Визначення вертикальної складової пов'язане з поняттям "тіла тиску", яке є дійсним чи умовним об'ємом рідини, розташованим над криволінійною поверхнею. Горизонтальні складові P_x і P_y визначають як сили тиску на плоскі поверхні /проекції криволінійної поверхні на вертикальні площини/.

Лінія дії горизонтальної складової проходить крізь центр тиску вертикальної проекції криволінійної поверхні, а лінія дії вертикальної складової – крізь центр тяжіння тіла тиску.

Спокій рідини відносно стінок посудини, яка рухається разом з рідиною, називається відносним її спокоєм або рівновагою. При цьому окремі частки рідини не зміщуються одна відносно іншої і вся маса рідини рухається як одне суцільне тіло. У цьому випадку до сили тяжіння додається ще одна – сила інерції, і поверхня рідини перетворюється в горизонтальну. У відносному спокої можна розглядати, наприклад, рідину в рухомій цистерні, паливе у баці автомобіля, рідину в посудині, яка обертається навколо вертикальної осі, та ін. При обертанні посудини навколо осі вільна поверхня рідини в ній набуває форму параболоїда обертання, висота якого

$$h = \frac{\omega^2 R^2}{2g}$$

де ω – кутова швидкість; R – радіус посудини.

Об'єм параболоїда обертання

$$V = \frac{\pi R^2 h}{2}$$

Запитання для самоперевірки

9. Гідростатичний тиск та його одиниці. Основні властивості.
10. Основне рівняння гідростатики та його виведення.
11. Абсолютний і манометричний тиск, вакуум.
12. Чому, визначаючи сили тиску рідини на поверхні, найчастіше користуються не абсолютним, а манометричним /надлишковим/ тиском чи вакуумом?

13. Центр тиску та його збіг з центром тяжіння - обґрунтувати випадки.

14. П'єзометр, вакуумметр, дифманометр. Які величини вони вимірюють?

15. Принцип дії яких приладів ґрунтується на законі Паскаля?

16. Сили, які діють на рідину в стані абсолютного або відносного спокою.

17. форма поверхні рівного тиску при абсолютному і відносному спокої. Навести приклади.

Розділ 2. ГІДРОДИНАМІКА І ТЕХНІЧНА ГІДРАВЛІКА

2.1. Кінематика і динаміка рідини

Види руху рідини. Основні поняття кінематики рідини: лінія течії, трубка течії, елементарна струманка, живий переріз. Потік рідини, середня швидкість і витрати. Рівняння нерозривності потоку. Диференціальне рівняння руху ідеальної рідини. Рівняння Бернуллі для усталеного руху ідеальної рідини. Геометричне й енергетичне тлумачення рівняння Бернуллі. Рівняння Бернуллі для потоку в'язкої рідини. Коефіцієнт Коріоліса. Загальні уявлення про гідравлічні втрати напору. Види гідравлічних втрат. Трубка Піто, витратомір Бентурі.

Методичні вказівки

Основним рівнянням гідродинаміки, яке застосовується при гідравлічних розрахунках потоку реальної рідини при усталеному русі, є рівняння Бернуллі:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w, \quad /5/$$

де z - геометричний напір /питома потенціальна енергія положення/ - перевищення центра тяжіння живого перетину потоку рідини над довільно вибраною горизонтальною порівняльною площиною; $p/\rho g$ - п'єзометричний напір /питома потенціальна енергія тиску/, тобто перевищення рівня рідини у п'єзометрі над точкою, де вимірюється z ; $(z + p/\rho g)$ - загальне перевищення рівня рідини у п'єзометрі над порівняльною площиною; $\alpha v^2/2g$ - швидкісний напір /питома кінетична енергія/; α - коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкості у перерізі потоку /коефіцієнт Коріоліса/, який є відношенням дійсної кінетичної енергії

потoku до кінетичної енергії, розрахованої за середньою швидкістю;

h_w - кількість питомої енергії, яку рідина втрачає при подоланні гідравлічних опорів на шляху між розрахунковими перерізами 1 і 2. Ця кількість енергії дисипації /розсіювання/ складається із гідравлічних втрат на подолання тertia по довжині потоку і місцевих опорів:

$$h_w = h_p + h_z = \frac{v^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right).$$

У цьому рівнянні λ - коефіцієнт опору тertia по довжині потоку; $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

При розв'язанні практичних задач для усталеного руху нестисливої рідини разом з рівнянням Бернуллі застосовується і рівняння постійності витрат

$$Q = v_1 F_1 = v_2 F_2 = \dots = v_n F_n = \text{const},$$

з якого можна дістати закон нерозривності потоку:

$$v_1 / v_2 = F_2 / F_1. \quad /6/$$

де v - середня швидкість руху потоку в живих перерізах 1 і 2 площею F .

Розв'язуючи задачі, рівняння Бернуллі /5/ і нерозривності потоку /6/ використовуються сумісно як система з двох рівнянь для усталеного руху в'язкої нестисливої рідини. Рух рідини між розрахунковими перерізами повинен бути паралельно струминним чи плавно-змінним.

При виведенні рівняння Бернуллі слід керуватися наступним:

- рівняння Бернуллі складається для двох живих перерізів, нормальних до напрямку швидкості. Ці перерізи повинні розташовуватися на прямолінійних ділянках потоку;

- один із розрахункових перерізів треба брати там, де потрібно визначити тиск p , геометричний напір Z або швидкість v , другий - де Z , p , v відомі;

- нумерувати розрахункові перерізи слід так, щоб рідина рухалася від 1-го до 2-го перерізу. У протилежному разі змінюється знак біля втрат напору h_w ;

- порівняльна площина має бути горизонтальною. Висота положення центра тяжіння живого перерізу Z над порівняльною площиною вважається додатною, а нижче - від'ємною;

- останній член рівняння враховує всі втрати напору між розрахунковими перерізами як місцевими, так і по довжині потоку;

- якщо рівняння Бернуллі включає в себе ряд невідомих швидкостей, то до нього треба дописати стільки рівнянь нерозривності потоку, скільки для цієї системи існує невідомих швидкостей. Після цього всі швидкості виражають через одну швидкість, яку розраховують за написаним рівнянням Бернуллі.

Запитання для самоперевірки

18. Дайте означення і наведіть приклади основних видів руху рідини: усталеного і неусталеного, напірного і безнапірного, рівномірного і нерівномірного.

19. Лінія і трубка течії, елементарна струминка.

20. Умови зберігання постійності витрат уздовж потоку.

21. Гідрравлічний радіус і його визначення.

22. фізичний і геометричний зміст гідрравлічного і п'єзометричного ухилів. Чи можуть вони бути від'ємними?

23. Коефіцієнт Коріоліса. Від чого залежить його числове значення?

24. Обмеження у застосуванні рівняння Бернуллі.

25. До яких виразів зводиться рівняння Бернуллі у разі:

25.1. нерухомої рідини;

25.2. рівномірного руху в горизонтальній трубі;

25.3. витікання рідини із малого круглого отвору в тонкій стінці.

26. Причини виникнення втрат напору під час руху в'язкої рідини. Дайте означення поняттю "гідрравлічні втрати напору".

2.2. Режими руху рідини й основи гідродинамічної подібності

Ламінарний і турбулентний режими руху рідини. Досліди Рейнольдса. Число Рейнольдса. Основи теорії гідродинамічної подібності. Основні числа подібності. Моделювання гідродинамічних явищ.

Методичні вказівки

Для практичного застосування рівняння Бернуллі потрібно знати гідрравлічні втрати напору, які виникають під час руху рідини. Ці втрати залежать від режиму руху потоку - ламінарного або турбулентного. Наявність того чи іншого режиму руху рідини в трубопроводі зумовлена

співвідношенням трьох факторів: швидкості v , лінійного розміру /для напірних трубопроводів геометричного діаметра d / і кінематичної в'язкості ν , які входять у безрозмірне число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad /7/$$

У гідравліці широко застосовується метод моделювання, коли досліджується не саме явище чи установка, а їх модель, як правило менших розмірів. Основою моделювання є теорія гідродинамічної подібності.

Для усталеного руху однорідних нестисливих рідин необхідною і достатньою умовою гідродинамічної подібності є геометрична, кінематична і матеріальна подібність потоків.

Ньютон запропонував розглядати динамічну подібність як відношення сил, які діють у схожих точках подібних систем у схожі моменти часу, тобто

$$Ne = \frac{Pl}{mU^2} \quad /8/$$

де P - сила тиску; l - характерний лінійний розмір; m - маса; U - місцева швидкість.

У кожному окремому випадку в динамічно подібних системах діє одна із трьох сил: тяжіння G , тиску $P = pF$ і тертя T . Якщо ці сили підставляти по черзі у рівняння /8/ замість P , то одержимо у першому випадку число Фруда

$$Fr = g l / U^2$$

у другому - число Ейлера

$$Eu = p / \rho U^2$$

у третьому - число Рейнольдса /7/.

Особливу увагу слід звернути на число Рейнольдса. Воно є відношенням сил інерції до сил тертя. Багато величин, які характеризують рух рідини, можна подати залежно від числа Re .

Занятання для самоперевірки

27. Від яких характеристик потоку залежить режим руху рідини?

28. Відміна структури потоку при ламінарній і турбулентній течії.
29. Фізичний зміст числа Рейнольдса та його дослідне визначення.
30. Критична швидкість потоку та її фізичний зміст.
31. Вплив температури рідини на критичну швидкість.
32. Принципи геометричної, кінематичної і матеріальної подібності потоків.
33. Які сили переважають у потоці рідини, якщо моделювання виконується за рівністю чисел Рейнольдса, Ейлера і Фруда?

2.3. Ламінарний рух рідини

Розподіл швидкості по живому перерізу круглої труби /закон Стокса/. Початкова ділянка потоку. Визначення витрат і середньої швидкості в круглій трубі /формула Пуазейля/. Втрати напору по довжині труби. Коефіцієнт опору тертя.

Методичні вказівки

У ламінарному потоці частки рідини рухаються шарами з різними швидкостями паралельно осі труби без перемішування. У такому потоці дотичні напруження підкоряються закону Ньютона. При цьому сили тертя переважають сили інерції.

Втрати напору на тертя по довжині труби визначаються для всіх режимів руху за формулою Дарсі:

$$h_e = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad /9/$$

При ламінарному русі рідини $\lambda = 64 / Re$ і формула /9/ набуває вигляду

$$h_e = \frac{64}{Re} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g},$$

де h_e - втрати напору; λ - коефіцієнт опору тертя по довжині труби; l - довжина розрахункової ділянки труби /вимірюється по осі течії/; d - діаметр трубопроводу.

Розподіл швидкості по живому перетину підкоряється параболічному закону, і середня швидкість становить половину максимальної.

Запитання для самоперевірки

34. Закон розподілу дотичних напружень у круглому трубопроводі.
35. Впора швидкостей в круглому трубопроводі, співвідношення між середньою і максимальною швидкостями.
36. Визначення витрат рідини крізь трубопровід.
37. Параметри потоку, які впливають на втрати напору по довжині труби.
38. Як пояснити той факт, що при ламінарному русі втрати напору по довжині пропорційні першому степеню швидкості?

2.4. Турбулентний режим руху рідини

Структура турбулентного потоку. Пульсації швидкостей і тисків. Розподіл осереднених швидкостей по перерізу. Дотичні напруження в турбулентному потоці. В'язкий підшар. Втрати напору в трубах. формула Дарсі і коефіцієнт тертя на тертя по довжині. Шорсткість стінок абсолютна й відносна. Графік Нікурадзе і Муріна. Гідравлічно гладкі й шорсткі труби. формули для визначення коефіцієнта Дарсі та область їх застосування.

Методичні вказівки

Турбулентний потік характеризується хаотичним переміщенням частинок рідини. Структура потоку в поперечному перерізі неоднорідна. Біля стінок труби існує в'язкий підшар, в якому діють сили в'язкісного тертя, що підпорядковані закону Ньютона. В ядрі турбулентного потоку, в основному, проявляються сили інерції, а сили в'язкісного тертя прямують до нуля ($du/dz = 0$).

Втрати напору на тертя по довжині труби визначаються за формулою Дарсі /9/, але коефіцієнт тертя λ у цьому разі визначається за іншими формулами, ніж при ламінарній течії. При турбулентній течії коефіцієнт опору тертя залежить як від режиму руху Re , так і від відносно шорсткості $\Delta/d = \bar{\Delta}$ (Δ - абсолютна шорсткість), тобто $\lambda = f(Re, \bar{\Delta})$.

Існує багато формул для визначення λ при турбулентному режимі руху. Так, якщо рух відбувається у гідравлічно гладких трубах, для яких $Re \leq 20 / \bar{\Delta}$, можна застосовувати такі формули:

Блазіуса

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}, Re < 10^5; \quad /10/$$

Конакова $\lambda = (1,8 \lg Re - 1,5)^{-2}$

При русі рідин у гідравлічно шорстких трубах, коли $20 / \bar{\Delta} < Re \leq 500 / \bar{\Delta}$, використовуються формули

Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad /11/$$

Френкеля

$$\lambda^{-0,5} = -2 \lg \left[\frac{\bar{\Delta}}{3,7} + \left(\frac{6,82}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

Ця зона опору труб вважається доквадратичною, тому що в ній втрати напору залежать від швидкості в степені менше двох.

У квадратичній зоні опорів $h_f = f(v^2)$, для якої $Re > 500 / \bar{\Delta}$, використовується формула Шайфрінсона

$$\lambda = 0,11 (\bar{\Delta})^{0,25} \quad /12/$$

формула /11/ є універсальною, тому що, коли $Re \leq 20 / \bar{\Delta}$, вона перетворюється в /10/, а коли $Re > 500 / \bar{\Delta}$, - у /12/. Для визначення λ за формулами /11/ і /12/ слід знати значення шорсткості $\bar{\Delta}$, яка залежить від матеріалу і стану труб.

Запитання для самоперевірки

39. Характерні особливості турбулентного руху рідин у трубах.
40. Поясніть поняття "гідравлічно гладкі" і "шорсткі" труби.
41. Чи може одна й та сама труба бути гідравлічно шорсткою?
42. Поясніть той факт, що при турбулентному русі у квадратичній зоні втрати напору по довжині пропорційні квадрату швидкості.
43. Зона гідравлічних опорів. Графік Нікурадзе.
44. Розподіл швидкостей при турбулентному режимі руху, співвідношення між середньою і максимальною швидкостями.
45. Абсолютна й відносна шорсткість труб. фактори, якими характеризуються зони гідравлічних опорів.
46. Розрахункові рівняння для різних зон гідравлічних опорів.

2.5. Місцеві гідравлічні опори

Основні види місцевих опорів. Коефіцієнт місцевих опорів. Раптове розширення труби /теорема Борда/. Місцеві втрати напору при великих і малих числах Рейнольдса. Взаємний вплив місцевих опорів. Еквівалентні довжини труб.

Методичні вказівки

Місцеві опори - це короткі ланки трубопроводів, на яких відбувається зміна значення і напрямку швидкостей потоку. Ці зміни викликані зміною розмірів і форми перерізу трубопроводу, а також напрямом його подовжньої осі. Втрата енергії в місцевих опорах, віднесені до одиниці ваги рідини, що протікає, називаються місцевими втратами напору. Втрати в місцевих опорах поділяються на втрати тертя і на вихрування.

У загальному випадку коефіцієнт місцевого опору ζ залежить від форми місцевого опору, відносної шорсткості стінок, розподілу швидкостей в граничних перерізах потоку перед місцевим опором і після нього і від числа Рейнольдса. Здебільшого в місцевому опорі спостерігається турбулентний режим руху, який відповідає зоні квадратичних опорів. При цьому місцеві гідравлічні втрати визначаються за формулою Вейсбаха:

$$h_z = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

де ζ - коефіцієнт місцевого опору; v - середня швидкість руху рідини у перерізі, як правило, за місцевим опором.

Коефіцієнти місцевих опорів визначаються дослідним шляхом. Різниця між раптовим розширенням, втрати напору в якому визначаються аналітично з певними допущеннями за теоремою Борда:

$$h_{\text{рап.роз}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g},$$

де v_1 і v_2 - швидкості до й після раптового розширення.

Користуватися довідковими значеннями коефіцієнтів місцевих опорів можна тільки тоді, коли відстань між окремими опорами не менша від 20-40 діаметрів трубопроводу. У протилежному разі опори працюють як одна спільна система, для якої треба визначати своє значення ζ дослідним шляхом.

Запитання для самоперевірки

47. Випадки, в яких виникають місцеві втрати напору.
48. Залежність коефіцієнта місцевих втрат від режиму руху рідини.
49. Формула для визначення місцевих втрат напору.
50. Раптове розширення потоку. Теорема Борда.
51. Принцип визначення коефіцієнтів місцевих втрат.
52. Принцип накладання місцевих втрат.

2.6. Гідравлічний розрахунок технологічних трубопроводів

Основне розрахункове рівняння простого трубопроводу. Визначення економічно найвигіднішого діаметра трубопроводу. Сифонний трубопровід. Послідовне й паралельне сполучення трубопроводів. Складні трубопроводи.

Методичні вказівки

Під час розрахунку напірних трубопроводів використовуються рівняння Бернуллі /5/ і рівняння нерозривності потоку /6/. Якщо швидкості в трубопроводі незначні, то величина швидкісного напору порівняно з іншими членами рівняння Бернуллі дуже мала і нею можна знехтувати. Тоді гідравлічні втрати дорівнюють різниці показників п'єзометрів у різних перерізах потоку, і весь напір витрачається на подолання гідравлічних втрат, тобто $H = \sum h_w$ /напірний напір і напір витрачений однакові/.

Залежно від гідравлічної схема роботи і методів гідравлічного розрахунку розрізняють трубопроводи короткі й довгі, прості й складні, розгалужені та замкнені, з транзитними і шляховими витратами рідини. Слід уявляти відміну між переліченими типами трубопроводів і особливостями їх розрахунків. Усі розрахунки простих трубопроводів зводяться до трьох типових випадків з визначення витрат, напіру і діаметра трубопроводу.

При розрахунку трубопроводу місцеві втрати напору можна оцінювати у два способи. Якщо місцеві втрати суттєві порівняно з втратами по довжині, то кожен місцевий опір враховується окремо. Це відбувається при розрахунку коротких трубопроводів. Якщо основними є втрати напору по довжині, а місцеві втрати становлять тільки 5...10%, тоді місцеві втрати беруть рівними деякій частині втрат по довжині /звичайно 10...15%/.

Розраховуючи послідовно сполучені труби, слід пам'ятати, що по всіх ділянках такого трубопроводу тече однакова кількість рідини. Втрати напору в такому трубопроводі дорівнюють сумі всіх місцевих втрат по довжині.

Паралельно сполучені трубопроводи мають загальну точку розгалуження і опільну - з'єднання. У таких місцях витрати рідини розподіляються так, що гідравлічні втрати всіх окремих ліній рівні між собою. Під час розрахунку таких трубопроводів доцільно застосовувати графоаналітичний спосіб.

Для розрахунку складних трубопроводів складається система рівнянь, які визначають зв'язок між розмірами труб, витратами рідини і напорами. Ця система складається з рівнянь балансу витрат для кожного вузла і рівнянь балансу напорів /рівнянь Бернуллі/ для кожного відгалуження трубопроводу.

Запитання для самоперевірки

53. Короткі та довгі, прості й складні трубопроводи та особливості їх розрахунку.
54. Методика трьох типових задач розрахунку простого трубопроводу.
55. Особливості розрахунку трубопроводів з паралельним з'єднанням труб.
56. Сифонний трубопровід. Особливості його розрахунку.
57. Особливості розрахунку трубопроводів з насосною подачею рідини.
58. Розрахунок трубопроводів при напірному русі методом Шезі - Павловського.
59. Табличний метод розрахунку трубопроводів.
60. Розрахунок трубопроводів із шляховими і змішаними витратами.

2.7. Неусталений рух рідини

Неусталений рух нестисливої рідини у жорстких трубах, враховуючи інерційний напір. Явище гідравлічного удару. Формула Куковського для прямого удару. Способи боротьби з гідравлічним ударом. Практичне застосування гідравлічного удару.

Методичні вказівки

Для неусталеного руху рідини розрахунок трубопроводів виконується за рівнянням Бернуллі для усталеного руху з доповненням його інерційним членом, який містить у собі втрату напора на подолання місцевої /локальної/ сили інерції. Такі випадки зустрічаються при розрахунку ліній всмоктування поршневих насосів, а також при випорожненні посудини при раптовому відкритті запірного органу.

При раптовій зміні швидкості потоку в напірному трубопроводі різко змінюється тиск – виникає гідравлічний удар. Підвищення тиску може досягти таких величин, що трубопровід зруйнується. Зміна тиску залежить від співвідношення t/T , де t – час зміни швидкості /відкриття чи закриття запірного органу/; T – фаза гідравлічного удару – час, за який ударна хвиля досягне посудини і відбита хвиля повернеться до запірного органу,

$$T = \frac{2L}{c},$$

L – довжина трубопроводу; c – швидкість поширення ударної хвилі.

Якщо $t < T$, то виникає прямий гідравлічний удар. Ударний тиск і ударна зміна тиску визначаються за формулою Жуковського:

$$p_{yg} = p + \rho c v_0 \quad \text{або} \quad \Delta p = \rho c v_0,$$

де p – початковий тиск; ρ – густина рідини; v_0 – зміна швидкості /додатна чи від'ємна/; $c = \sqrt{E_p / \rho [1 + (E_p d / E \delta)]}$ – швидкість поширення ударної хвилі; E_p – об'ємний модуль пружності рідини; E – модуль пружності матеріалу труби; d – діаметр труби; δ – товщина стінки труби.

Якщо $t > T$, то виникає непрямої гідравлічний удар, ударний тиск якого менший за прямий тиск гідравлічного удару. Тиск непрямого удару визначається за спеціальними формулами.

При гідравлічному ударі тиск підвищується у кілька разів і вся гідравлічна система може вийти з ладу. Гідравлічний удар можна зменшити, обмежуючи швидкість течії рідини в трубопроводі, збільшуючи час відкриття або закриття запірного органу установкою на трубопроводі спеціальних пристроїв для зменшення ударного підвищення тиску. Гідравлічний удар можна використати в гідравлічних таранах для перекачування води.

Запитання для самоперевірки

61. Відміна між усталеним і неусталеним рухом.
62. Гідравлічний удар у трубопроводах.
63. фаза гідравлічного удару та її значення для розрахунку ударного тиску.
64. швидкість поширення ударної хвилі.
65. Гідравлічний таран і принцип його дії.
66. Способи запобігання і зменшення ударного тиску.

2.8. Взаємодія потоку рідини із стінками

Для струменя на тверді перешкоди. Сила дії потоку рідини на стінки.

Методичні вказівки

У трубопроводах, технологічних апаратах і гідравлічних машинах спостерігається силова взаємодія потоків рідини з твердими тілами і стінками, які обмежують потік.

Силу тиску струменя на перешкоду можна визначити з допомогою теорії про зміну імпульса руху. Мірою дії сили є кінетична енергія маси рідини $m v^2/2$ і імпульс руху цієї маси $m v$.

Запитання для самоперевірки

67. Активна й реактивна дія струменя.
68. Реактивна сила взаємодії між стінкою і твердим тілом.
69. Активна дія струменя на плоску і криволінійну поверхню.

2.9. Витікання рідини крізь отвори, насадки і водозливи

Витікання рідини крізь отвори в тонкій стінці при постійному напорі. Коефіцієнти стиснення, швидкості, витрат і опору. Витікання рідини крізь циліндричний насадок. Насадки різних типів. Водозливи. Витрати рідини. Коефіцієнти витрат.

Методичні вказівки

Тонкою вважається стінка, яка має біля отвору гостру кромку. До тонких відносяться стінки товщиною $\delta < 0,2 d$ /для круглих отворів/.

Насадок – короткий патрубок, довжина якого для круглого отвору становить $3,0 d < l < 7,0 d$.

Витрати рідини крізь отвори і насадки визначаються за формулою

$$Q = \mu F_{\text{отв}} \sqrt{2gh},$$

де μ – коефіцієнт витрат; $F_{\text{отв}}$ – площа отвору; h – напір над центром тяжіння отвору.

Швидкість витікання

$$v = \varphi \sqrt{2gh},$$

де φ – коефіцієнт швидкості, взаємопов'язаний з опором отвору рівнянням

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\xi}}.$$

в якому ξ – коефіцієнт опору отвору.

При втіканні рідини із змінним напором визначаємо час випорожнення посудини.

Водозливом називається гідротехнічна споруда, яка розташована впоперек руху потоку. Водозливи використовують у промисловості як регулятори рівня і для визначення витрат рідини у водоводах.

Запитання для самоперевірки

70. Малі й великі отвори, їх характеристики.
71. Чому поперечний переріз струменя в стислій його частині менший за поперечний переріз отвору?
72. Які спостерігаються випадки стискання струменя?
73. Фізичний зміст коефіцієнтів стискання, швидкості і витрат.
74. Насадки та їх відмінність від коротких трубопроводів.
75. Чому коефіцієнти швидкості і витрат насадка не дорівнюють одиниці?
76. Довести наявність вакууму в насадку.
77. Визначити витрати рідини через водозливи.

2.10. Рух рідини у відкритих каналах і руслах

Рівномірний рух рідини у відкритому каналі або руслі. Швидкість руху. Рівняння Шезі. Витрати рідини. Поняття про гідравлічно найвигідніші перерізи каналів.

Методичні вказівки

Основною розрахунку вважається визначення витрат Q при відомому ухилі i або навпаки - визначення ухилу, який повинен забезпечити відомі витрати. Витрати рідини визначаються за законом нерозривності потоку /6/, для якого середня швидкість руху розраховується за формулою Шезі:

$$v = C \sqrt{Ri},$$

де C - швидкісний коефіцієнт; R - гідравлічний радіус; i - гідравлічний ухил.

Визначальною величиною при розрахунку є гідравлічний радіус, який має бути максимальним для перерізу каналу довільної форми.

Запитання для самоперевірки

78. Визначення швидкості й витрат рідини у відкритих каналах і руслах.

79. Як визначається гідравлічний ухил каналу?

80. Співвідношення глибини і ширини каналу прямокутної форми.

Розділ 3. ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ

3.1. Загальні дані про гідравлічні машини

Насоси і гідравлічні двигуни – турбіни. Класифікація насосів. Принцип дії відцентрових і об'ємних насосів. Основні параметри насосів: подача, напір, потужність і коефіцієнт корисної дії /ККД/.

Методичні вказівки

Гідравлічні машини – це пристрої для перетворення механічної енергії в енергію переміщення рідини /насоси/ чи для перетворення гідравлічної енергії потоку рідини в механічну енергію /гідравлічні двигуни/.

Усі типи насосів за принципом дії поділяються на дві групи: відцентрові /динамічні/ та об'ємні /поршневі й ротаційні/. Розподіл насосів виконано по таких головних ознаках: герметичності – перші проточні, другі герметичні; за виглядом характеристики – перші мають похилу, другі жорстку характеристику; за характером подачі – перші мають рівномірну, другі порційну подачу. Напір, створюваний об'ємними насосами, не залежить від подачі, а у лопатевих – напір і подача взаємопов'язані. Цим зумовлюється відміна величин можливих напорів, створюваних обома групами насосів, відміна способів регулювання їх подачі та ін.

Головні параметри насосів: подача, напір, потужність, ККД, частота обертання.

Подача насоса – це об'ємна кількість рідини, яка подається ним в одиницю часу в нагнітальний трубопровід.

Напір – це механічна енергія, яка надається насосом одиниці ваги /Т Н/ рідини. Напір виражається в метрах стовпа рідини і становить різницю напорів між нагнітальним і всмоктувальним патрубками, тобто

$$H = z_1 + z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + h_w' + h_w''.$$

де z_1, z_2 – висота всмоктування і нагнітання; P_1, P_2 – тиск на початку всмоктувального і в кінці нагнітального трубопроводів; h_w' – h_w'' – втрати напору у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах.

Насос передає рідині не всю механічну енергію, яка підводиться до нього. Відношення корисно використаної потужності насоса до спо-

живаної потужності називається ККД насоса. Він дорівнює добутку трьох ККД: об'ємного, гідравлічного і механічного. Об'ємним ККД враховуються втрати об'єму рідини /витікання рідини крізь ущільнення, зменшення подачі при виникненні кавітації і потрапляння повітря в насос/. Гідравлічним ККД враховуються опори у самому насосі /при вході рідини в насосне колесо і виході з нього, опір рідини в міжлопатевих каналах насосного колеса та ін./. Механічним ККД враховуються втрати від тертя спряжених елементів машини.

Запитання для самоперевірки

81. Споживана насосом потужність.
82. Фізичний зміст об'ємного, гідравлічного і механічного ККД насоса.
83. Визначення загального ККД насоса.
84. Визначення загального напору насоса за показами приладів.

3.2. Відцентрові насоси

Одноступінчасті відцентрові насоси, їх схема і принцип дії. Рівняння Ейлера. Теоретичний напір насоса. Кривий напір. Втрати енергії в насосі. Залежність теоретичного напору від форми лопатей. Дійсні й теоретичні характеристики. Коефіцієнт явдихідності. Застосування формул подібності для перерахунку характеристик насоса. Робота насоса на трубопроводі. Робоча точка. Сумісна робота насосів на трубопроводі. Осьовий тиск. Кавітація. Висота помптування насоса.

Методичні вказівки

Робота відцентрового насоса ґрунтується на силі дії лопатей на рідину. Рух часток рідини у робочому колесі дуже складний, тому що одночасно рухається робоче колесо і рідина в його міжлопатемих каналах. Сума цих двох рухів дає абсолютну швидкість частки рідини відносно до нерухомого корпусу насоса.

Створена Ейлером наближена струминна теорія лопатевих машин і є основою їх розрахунку. На підставі теоретичних викладок отримано теоретичний напір насоса. Щоб визначити дійсний напір, вводяться поправки на число лопатей k і гідравлічні втрати z_r :

$$H = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} k z_r$$

де u_2, c_2 — колова й абсолютна швидкості рідини при виході з робочого колеса; α_2 — кут між абсолютною і коловою швидкостями на виході.

Розрізняють характеристики теоретичні і дійсні: теоретичні діють внаслідок аналізу основного рівняння доплативих насосів; а їх дійсні характеристики – тільки під час випробувань насосів, у яких вивчають залежності напору, потужності і ККД від подачі при постійній частоті обертання.

При змінній частоті обертання відповідно до теорії подібності змінюються характеристики насосів за законом пропорційності:

$$Q = k_1 n; H = k_2 n^2; N = k_3 n^3,$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти пропорційності; n – частота обертання.

При роботі на трубопроводі насоси мають максимальну подачу при повністю відкритій засувці на нагнітальному патрубку і визначаються робочою точкою, яку знаходять графічно при перетині характеристик $Q-H$ насоса і трубопроводу.

Потрібно знати способи регулювання подачі насоса, за яких випадків два однакових насоси включаються паралельно і послідовно при їх роботі на один трубопровід.

На роботу відцентрових насосів негативно впливає кавітація, яка виникає внаслідок зменшення тиску при вході рідини в насос нижче за тиск насиченої пари при даній температурі. Зменшення тиску є наслідком неправильного розрахунку і вибору висоти установки насоса порівняно з рівнем рідини.

Запитання для самоперевірки

85. Нарисувати схему і пояснити принцип дії відцентрового насоса.
86. Накреслити та пояснити трикутники швидкостей на вході та виході з робочого колеса.
87. Скласти і пояснити рівняння теоретичного напору.
88. Фізичний зміст і застосування законів подібності насосів.
89. Робоча точка при роботі насоса на трубопроводі.
90. Робоча точка при роботі двох насосів на спільний трубопровід, додати графіки.
91. Основний тиск у насосі і чим він спричинений?
92. Фізичний зміст явища кавітації.
93. Способи регулювання подачі насосів.
94. Відміна між дійсними і теоретичними характеристиками насосів.

3.3. Поршневі насоси

Поршневі й плунжерні насоси. Класифікація. Принцип дії. Область

застосування. Індикаторна діаграма. Формули подачі. Діаграми подачі. Ступінь нерівномірності подачі. Закон руху поршня. Повітряні ковпаки.

Методичні вказівки

Поршневий насос - це машина, в якій відбувається перетворення механічної енергії в енергію переміщення рідини за рахунок руху поршня в циліндрі. Насоси класифікують в основному за кратність дії, конструкцією поршня, розміщенням циліндрів, способом з'єднання поршня з шатуном.

Зворотно-поступальний рух поршня здійснюється з допомогою кривошипно-шатунного механізму. Швидкість поршня і подача насоса при цьому нерівномірні: хід нагнітання змінюється ходом всмоктування, при цьому швидкість поршня по довжині його шляху неперервно змінюється.

Робота поршневого насоса характеризується індикаторною діаграмою, по якій судять про справність роботи всмоктувального і нагнітального клапанів, а також виявляють різні несправності в роботі самого насоса.

Подача поршневих насосів пропорційна їх розмірам і швидкості руху поршня. Нашір не пов'язаний з подачею і залежить тільки від опорів системи.

Особливості роботи поршневих насосів є нерівномірність подачі рідини у часі, що викликано змінною швидкістю поршня в циліндрі. Для створення рівномірної подачі на всмоктуванні і нагнітанні застосовують повітряні ковпаки, які ставляться біля самого насоса. Ці ковпаки вирівнюють швидкість у трубопроводі до всмоктувального і після нагнітального клапанів і забезпечують сталість руху рідини.

Запитання для самоперевірки

95. Схеми і принцип дії поршневих насосів різної кратності.
96. формули подачі насосів різної кратності. Що впливає на подачу насоса?
97. Діаграми подачі насосів одинарної і подвійної дії. Ступінь нерівномірності подачі.
98. Індикаторна діаграма насоса.
99. Подачі насосів потрійної і четверної дії, ступінь нерівномірності подачі.
100. Будова і принцип дії повітряного ковпака.

3.4. Ротаційні насоси

Будова, принцип дії і область застосування. Класифікація. Особливості ротаційно-поршневих, пластинчастих, зубчастих і гвинтових насосів. Подача та її рівномірність. Характеристики насосів.

Методичні вказівки

У ротаційних насосах обертається одне або кілька тіл спеціальної форми, при цьому рідина перетікає із всмоктувальної в нагнітальну область. Усі ротаційні насоси реверсивні, тобто при зміні напрямку обертання вони змінюють напрям руху потоку в трубопроводі. Усі ротаційні насоси /за винятком гвинтових/ характеризуються нерівномірністю подачі.

Щоб збільшити рівномірність подачі, насоси випускають із збільшеною кількістю зубців, пластин чи поршнів. Конструктивно ліквідують зашматкування об'ємів рідини у западинах між зубцями.

У ротаційних насосах переважають об'єми втрати і втрата, викликані механічним тертям. Граничний тиск обмежується границею працездатності насоса.

Ротаційні насоси застосовують для малих подач при порівняно високих напорах. Перекачувана рідина має бути без механічних домішок і з підвищеною в'язкістю, що сприяє довшому часу експлуатації і малим перетіканням рідини крізь внутрішні зазори насоса.

Запитання для самоперевірки

101. Переваги й недоліки ротаційних насосів.
102. Робочі об'єми ротаційних насосів.
103. Способи регулювання подачі.
104. Розподіл рідини в корпусі ротаційного насоса та в його робочих органах.
105. Відміна робочих характеристик об'ємних і доплатевих насосів.
106. Ротаційно-мокрі компресори і причини їх охолодження водою.
107. Причини реверсивної роботи ротаційних насосів.

3.5. Вентилятори

Будова, принцип дії і застосування. Класифікація. Параметри і характеристики.

Методичні вказівки

Вентилятори - це гідравлічні машини, які застосовуються для ви-
тягу й нагнітання повітря, газів або їх суміші з твердими частками.
Принцип їх дії ґрунтується на роботі відцентрових сил, що виникають
під час обертання робочого колеса у спіральному кожусі.

Вентилятори поділяють на відцентрові й осеві. Відцентрові вен-
тилятори застосовуються для подачі повітря або газу при відносно ве-
ликому тиску, а осеві - для переміщення великої кількості газу при
малому тиску.

Якщо тиск газу підвищується незначно, зміненням його термодина-
мічного стану нехтують. Тому для відцентрових вентиляторів застосо-
вується теорія машин для нестисливого середовища. Напір, який він
створює, визначається за формулою для відцентрових насосів

$$H = \frac{U_2^2 C_{2T}}{g} k_{\rho r}$$

Характеристики вентилятора - це графічна залежність напору, по-
тужності й коефіцієнта корисної дії від подачі Q . При цьому слід
пам'ятати, що загальний напір складається із статичного і динамічно-
го напорів, а тому й ККД визначається відповідно до цих напорів.

Запитання для самоперевірки

108. Схема і принцип дії відцентрового вентилятора.
109. Напір вентилятора, який працює тільки на всмоктуванні.
110. Напір вентилятора, який працює тільки на нагнітаннях.
111. Який вигляд матиме напір вентилятора, що тільки переми-
щує газ?
112. Характеристики вентилятора.
113. Способи регулювання подачі.

3.6. Компресори

Класифікація, конструкції та межі застосування. Дійсний і теоре-
тичний цикли. Індикаторні діаграми. Потужність. Шкідливий простір.
Подача. Багатоступінчасте стиснення. Ступінь стиснення.

Методичні вказівки

Компресорами називають машини, які застосовуються для подачі стис-
лого повітря або газу під надлишковим тиском більш ніж 0,2...0,3 МПа.

Підвищений ступінь стискання в компресорах зумовлює зміну термодинамічних умов стану повітря або газу.

Принцип роботи поршневих компресорів відповідає принципу роботи поршневих насосів, а відцентрових /турбокомпресорів/ - принципу роботи відцентрових насосів.

Робота, яку витрачає компресор за один цикл, залежить від термодинамічного процесу, при якому йде стискання газу - адіабатичному, політропічному або ізотермічному. Від цього залежить і його потужність.

Дійсний робочий процес у компресорі відрізняється від теоретичного тим, що в кінці процесу стискання не весь газ виходить з циліндра. Частина його залишається між поршнем і циліндром, у каналах до площини клапанів. Цей об'єм, де перебуває газ, звється шкідливим простором, який становить 2...7% робочого об'єму циліндра.

Подача поршневих компресорів завжди належить до умов вомоктування. Для компресорів одноразової дії

$$Q = \frac{F \cdot S \cdot n}{60} \lambda,$$

де λ - ступінь наповнення, $\lambda = (0,92 \dots 0,98) \lambda_0$.

Для компресорів дворазової дії

$$Q = \frac{(2F - f) \cdot S \cdot n}{60} \lambda.$$

Запитання для самоперевірки

- 114. Принцип роботи поршневого компресора. Теоретичний цикл.
- 115. Як проходить процес стискання газу в компресорі залежно від умов термодинаміка?
- 116. Робота, яку виконує компресор.
- 117. Потужність компресора за різних термодинамічних умов стискання.
- 118. Що таке ступінь стискання?
- 119. Що таке шкідливий простір?
- 120. Принцип дії турбокомпресора.
- 121. Принцип дії ротаційно-пластинчастого компресора.

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ № 1

1. Абсолютна в'язкість продукту μ , а відносна густина його δ . Визначити кінематичну в'язкість ν , густину ρ і питому вагу γ у системі МКГСС і одиницях СІ.

Величина	Варіант				
	0	1	2	3	4
Продукт	Цукровий розчин	Пиво	Спирт етиловий	Харчово-яблучний	Олія
δ	1,23	1,017	0,971	0,886	0,925
μ , Па·с	$1,12 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$1,96 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$

Продовження таблиці

Величина	Варіант				
	5	6	7	8	9
Продукт	Молоко незбиране	Вода при 80 °С	М'ясна барда	Вода при 20 °С	Масло-какао
δ	1,033	0,996	1,216	0,999	0,880
μ , Па·с	$1,79 \cdot 10^{-3}$	$3,57 \cdot 10^{-4}$	$1,63 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-2}$

2. Визначити показник Δh дворідного диференціального манометра, при якому система з двох поршнів, які мають загальний шток, перебуватиме у рівновазі. Показник пружинного манометра P . Діаметри поршнів D і d /рис. 1/.

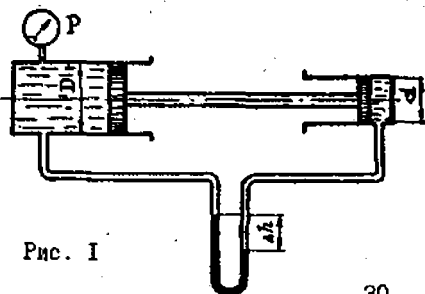


Рис. 1

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	0,20	0,25	0,15	0,30	0,40	0,35	0,28	0,20	0,15	0,25
d , м	0,10	0,12	0,10	0,18	0,30	0,25	0,15	0,15	0,12	0,15
P , кПа	110	120	100	150	200	180	120	90	100	130

3. Канал прямокутної форми шириною B /рис.2/ перегороджений щитом, який пересувається у пазах. Рівень води ліворуч щита h_1 , праворуч h_2 . Визначити результуючу силу тиску P води на щит і силу R для піднімання щита. Коефіцієнт тертя щита в пазах f , вага щита G .

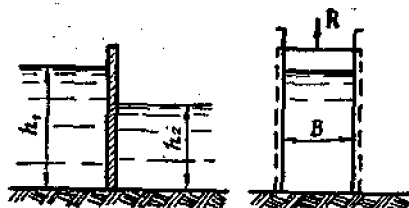


Рис. 2

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B , м	4,5	3,9	4,7	4,6	3,3	3,5	3,8	4,5	4,2	4,0
h_1 , м	2,9	2,7	3,0	3,2	2,6	2,8	3,2	3,3	3,1	3,0
h_2 , м	1,0	0,9	1,5	1,4	0,9	1,1	1,3	1,2	1,1	1,0
f	0,50	0,48	0,49	0,46	0,47	0,46	0,46	0,47	0,48	0,50
G , кН	5,3	5,0	4,9	4,7	3,5	3,4	3,8	5,0	3,7	4,5

4. Рідина густиною ρ налита в цистерну діаметром D . Визначити силу тиску на бічну стінку цистерни і точку прикладання рівнодіяної сили, якщо цистерна наповнена до горловини. Довжина циліндричної частини цистерни L /рис. 3/.

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\rho, \text{кг/м}^3$	1024	1377	926	1017	1012	920	877	1260	800	890
$D, \text{м}$	2,5	3,0	2,7	2,0	3,0	2,8	3,0	3,0	2,8	2,5
$P, \text{м}$	10	12	20	16	14	18	13	19	10	16

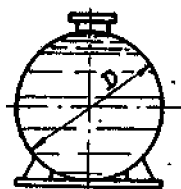


Рис. 3

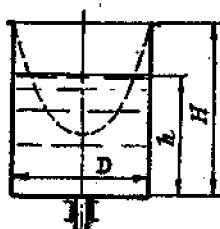


Рис. 4

5. Циліндрична посудина діаметром D і висотою H , наповнена на $2/3$ висоти водою, обертається навколо вертикальної осі /рис.4/. Визначити максимальну частоту обертання посудини, при якій вода не виливається з неї. Скласти рівняння вільної поверхні рідини.

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{м}$	1,2	1,3	1,1	1,5	1,8	2,0	2,1	1,9	1,7	1,0
$D, \text{м}$	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	0,4

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

1. Визначити режим руху води в міжтрубному просторі теплообмінника типу "труба в трубі" /рис. 5/ за таких умов: зовнішній діаметр внутрішньої труби теплообмінника d , а внутрішній діаметр зовнішньої труби D ; витрати води Q , температура води t .

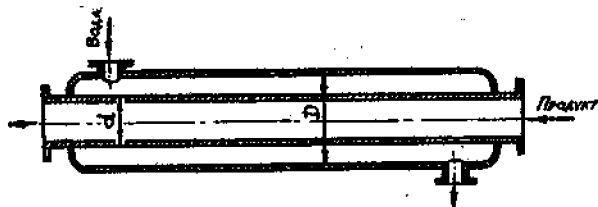


Рис. 5

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q, \text{ м}^3/\text{х}$	3,5	4,0	2,8	2,0	3,5	2,8	3,2	1,5	2,0	3,0
$d, \text{ мм}$	25	20	35	30	38	16	25	28	50	40
$D, \text{ мм}$	46	51	70	58	74	26	44	36	74	55
$t, ^\circ\text{C}$	12	60	70	40	15	25	20	80	50	18

2. Рідина з відносною густиною ρ потрапляє самоплинно з відкритої напірної посудини в ректифікаційну колонну /рис. 6/. Надлишковий тиск у колоні по манометру $P = 0,05 \text{ кгс/см}^2 / 4,9 \text{ кПа/}$. На якій висоті H має перебувати рівень рідини в напірній посудині над місцем вводу в колонну, щоб швидкість рідини в трубі була ω , м/с. Напір, витрачений на тертя і місцеві опори, h_w .

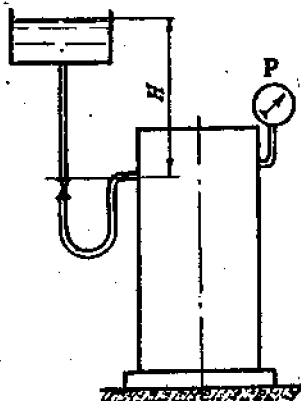


Рис. 6

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ	0,85	0,86	0,87	0,85	0,90	0,89	0,92	0,88	0,91	0,96
ν , м/с	1,0	1,7	1,2	1,6	2,0	1,8	1,4	1,3	1,5	1,9
h_w , м	1,5	2,0	1,4	1,7	2,5	2,3	2,0	3,0	2,7	2,9

3. З великого відкритого резервуара A /рис. 7/, в якому підтримується сталий рівень рідини, по трубопроводу, який складається з двох послідовно з'єднаних труб, вода при температурі t тече в резервуар B . Різниця рівней рідини в резервуарах A і B дорівнює H . Довжина труб l_1 і l_2 , а їх діаметри d_1 і d_2 . Визначити витрати рідини Q у трубопроводі.

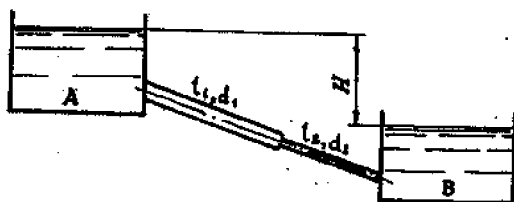


Рис. 7

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	6,8	7,2	8,0	6,8	9,2	7,6	9,8	8,2	6,3	7,8
l_1 , м	6,8	9,0	10,0	12,0	9,0	8,0	7,0	7,8	13,0	11,0
l_2 , м	8,2	11,0	9,8	13,0	7,8	9,0	7,4	8,2	10,0	10,5
d_1 , мм	70	50	60	40	50	60	70	50	40	60
d_2 , мм	50	40	40	32	40	50	50	40	32	50
Матеріал труб	Чавун /нові/	Сталь /нові/	Сталь б/в	Сталь /зварні/	Сталь /брутні/	Чавун б/в	Сталь б/в	Сталь /нові/	Сталь /брутні/	Чавун б/в

4. Визначити розрідження, яке створюється в насадку при швидкості витікання води через нього v , м/с. Довести вакуум у насадку.

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип насадки	З.Ц.	В.Ц.	З.К. $\alpha = 13^{\circ}21'$	Р.К. $\alpha = 8^{\circ}$	К	З.Ц.	В.Ц.	З.К. $\alpha = 13^{\circ}21'$	Р.К. $\alpha = 8^{\circ}$	К
v , м/с	8,5	7,5	8,0	5,0	13,0	9,0	9,5	12,0	3,0	9,0

Примітка. Тип насадки позначено З.Ц. - зовнішній циліндричний; В.Ц. - внутрішній циліндричний; З.К. - збіжний конічний; Р.К. - розбіжний конічний; К - коніdaleльний.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 3

1. Насосна установка /рис. 8/ складається з насоса і трубопроводу діаметром d і довжиною l . Вода подається на висоту Z . Потрібно: 1/ за даними таблиці "б" згідно з варіантом розрахувати

гідрравлічну характеристику трубопроводу; коефіцієнт тертя

$\lambda = 0,02$, місцеві опори врахувати еквівалентною довжиною

$l_{\text{екв}} = 30$ м; 2/ за даними таблиці "а" на міліметровій

побудувати характеристики насоса $H-Q$ і $p-Q$.

у такому самому масштабі на цьому рисунку побудувати характеристику трубопроводу

$H_{\text{тр}}-Q$; 3/ визначити потужність на валу насоса при його роботі на даний трубопровід.

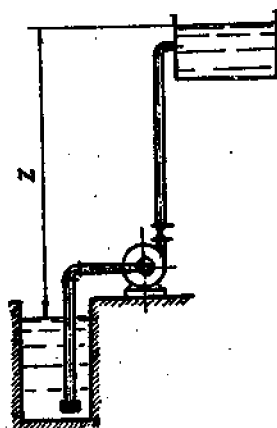


Рис. 8

Параметри насоса

Таблиця "а"

$Q, \text{ м}^3/\text{г}$	0	40	80	120	160	200	240	280
$H, \text{ м}$	35	40	39	37,5	34	30	25,5	20
$\eta, \%$	0	39	57	68	73	73	69	62

Таблиця "б"

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d, \text{ м}$	0,20	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,15
$\rho, \text{ м}$	180	50	60	70	80	90	100	110	120	150
$z, \text{ м}$	15	20	25	20	22	21	19	15	18	19

2. Горизонтальний поршневий насос водокачки характеризується розмірами й даними, наведеними у таблиці. Визначити: 1/ дійсну подачу насоса; 2/ витрати потужності на насос; 3/ об'єм нагнітального повітряного ковпака. Навести схему установки насоса з повітряними ковпаками і контрольно-вимірювальними приладами.

Ступінь нерівномірності роботи повітряного ковпака $\delta = 0,025$.

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр поршня D , мм	200	250	240	250	210	200	185	190	195	220
Діаметр штанси d , мм	38	40	45	45	44	36	38	40	42	40
Хід поршня S , мм	380	400	420	440	400	390	360	370	380	400
Частота обертання вала n , хв ⁻¹	48	40	45	38	40	42	40	42	44	45
Тиск пари P , ат	8,0	6,0	7,0	9,0	7,5	8,5	8,0	8,5	7,5	5,5
Об'ємний ККД η_o	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,89	0,90	0,88	0,87	0,85
Загальний ККД η	0,90	0,89	0,88	0,88	0,86	0,90	0,92	0,90	0,89	0,88

3. Визначити тиск, який створює вентилятор /рис. 9/, що подає азот / $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ / із газосховища в установку. Надлишковий тиск у газосховищі P_1 , а в установці P_2 . Витрати тиску при всмоктуванні $\Delta P'$, при нагнітанні $\Delta P''$. Швидкість руху азоту в нагнітальному трубопроводі u .

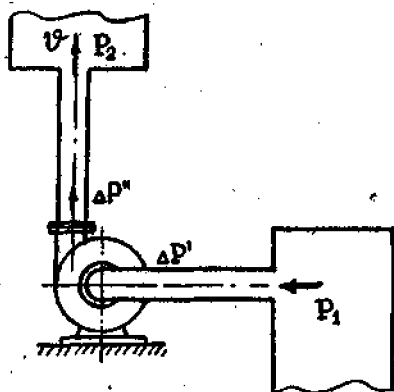


Рис. 9

Величина	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1 , Па	400	450	600	550	500	480	350	430	540	500
P_2 , Па	600	650	740	750	700	680	560	610	730	700
$\Delta P'$, мм вод.ст.	10	12	19	18	20	23	21	17	15	16
$\Delta P''$, мм вод.ст.	30	40	35	38	49	50	70	60	55	65
u , м/с	9,0	10,5	11,2	9,8	12,0	11,7	10,8	11,4	12,2	11,9

Навчальне видання

Програма, методичні вказівки
і контрольні завдання
з дисципліни "Гідравліка і гідравлічні машини"
для студентів спеціальності 17.06
заочної форми навчання

Укладачі: Мотуз Ігор Костянтинович
Кулінченко Віталій Романович
Савова Ольга Володимирівна

Редактор Н.І.Ефремова

Коректор Г.В.Маслявець

Відд. до друку 28.06.93. . Формат 64×84/16. Папір
друку № 9 , Друк офсетний. Ум. др. арк. 1,53. Ум. фарбо-літ. арк. 1,44
Обліг.-опл. арк. 2,15. Тираж 150 .
Зам. № 247 . Інформація

Київський технологічний інститут харчової
промисловості

252017, м. Київ-17, вул. Володимирська, 68

Фірма "ВІПОЛ"

252151, м. Київ, вул. Волинська, 60

СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Програма, методичні вказівки і контрольні завдання по дисципліні «Гідравліка і гідравлічні машини» для студентів спеціальності 17.06 заочної форм навчання

Укладачі: І.К. Мотуз, В.Р. Кулінченко, О.В. Саввова К.:
КТІХП, 1993– 40 с.

Приводиться програма курсу з коротким викладом всіх розділів курсу з питаннями для самостійної перевірки знань; контрольні завдання з таблицею вибору варіанту

Ключові слова: курс, програма, контроль

Программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине «Гидравлика и гидравлические машины» для студентов технологических специальностей всех форм обучения

Составители: И.К. Мотуз, В.Р. Кулынченко О.В. Саввова К.:
КТІПП, 1993,– 40 с.

Приводится программа курса с кратким изложением всех разделов курса с вопросами для самостоятельной проверки знаний; контрольные задачи с таблицей выбора варианта

Ключевые слова: курс, программа, контроль

Program, methodical pointing and control tasks on discipline of «Gidravlyka and hydraulicmachines» for the students of technological specialities of all of forms of teaching

Compilers: I.K. Motuz, V.R. Kulynchenko o.V. Savvova K.:
KTIFI, 1993, - 40 p.

The program over of course is brought with short exposition of all of sections of course with questions for independent verification of knowledges; check problems with the table of choice of variant

Keywords: course, program, control