

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

ОСНОВИ ГІДРАВЛІКИ

**Методичні вказівки
до вивчення дисципліни
та виконання контрольних робіт
для студентів технологічних спеціальностей
заочної форми навчання**

**СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
процесів і апаратів
харчових виробництв
Протокол № 5
від 16.12.98 р.**

КИЇВ УДУХТ 2000

Процеси і апарати харчових виробництв. Основи гідрравліки. Метод вказівки до вивчення дисципліни та виконання контр. робіт для студ. технолог. спец. заоч. форми навч. / Уклад.: І.К. Мотуз. – К.: УДУХТ, 2000. 28 с.

Укладач І.К. Мотуз

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

Навчальне видання

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ.
ОСНОВИ ГІДРАВЛІКИ**

**Методичні вказівки
до вивчення дисципліни
та виконання контрольних робіт
для студентів технологічних спеціальностей
заочної форми навчання**

Укладач Мотуз Ігор Костянтинович

Редактор В.П. Орошецька
Комп'ютерна верстка І.С. Падалки

Підп. до друку 11.02.2000 р. Наклад 300 прим. Вид. № 61/000. Нам. № 168
РВЦ УДУХТ. 01033 Київ-33, вул. Володимирська, 68

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Метою вивчення розділу “Основи гідравліки” дисципліни “Процеси і апарати харчових виробництв” є засвоєння студентами понять і законів гідравліки та гідравлічних машин і застосування цих законів під час вивчення спеціальних дисциплін та у інженерних розрахунках.

У результаті вивчення розділу студент повинен:

знати: основні закони гідростатики і гідродинаміки, теорію і принцип дії основних гідравлічних машин, що обслуговують той чи інший технологічний процес;

вміти: використовувати закони гідростатики і гідродинаміки в інженерних розрахунках посудин, які працюють під тиском рідини, в розрахунках простих і складних трубопроводів; підбирати гідравлічні машини для обслуговування технологічних процесів.

Розділ “Основи гідравліки” базується на дисциплінах: “Фізика”, “Вища математика”, “Теоретична механіка” і “Прикладна механіка”, а знання розділу використовуються у процесі вивчення спеціальних дисциплін: “Технологічне обладнання галузі”, “Технологія елеваторної промисловості”, “Вентиляційне обладнання”, “Устаткування хімічних виробництв” тощо.

Розділ “Основи гідравліки” дисципліни “Процеси і апарати харчових виробництв” поділяється на три частини:

гідростатика - вивчає закони рівноваги рідини, що перебуває у стані абсолютного чи відносного спокою. Розглядається ідеальна рідина (в якій відсутнє тертя);

гідродинаміка і технічна гідравліка - вивчає закони руху рідкого тіла, застосовувані у розрахунках трубопроводів, гідротехнічних споруд, рідини, що витікає з отворів через водозливи, а також відповідну методику їх розрахування;

гідравлічні машини - розглядає найпоширеніші у харчовій промисловості відцентрові, поршневі та роторні насоси. Найбільше уваги приділяється відцентровим насосам.

Для кращого засвоєння студентами навчального матеріалу передбачено прослуховування короткого курсу лекцій, відпрацювання лабораторних робіт у лабораторії університету і виконання двох контрольних робіт.

Після завершення вивчення розділу студенти складають залік.

Терміни виконання усіх видів навчальної роботи з дисципліни встановлюються деканатом факультету.

Під час виконання контрольних завдань слід:

- 1) написати умову задачі;
- 2) накреслити потрібну схему чи рисунок (якщо цього вимагають умови задачі);
- 3) виписати умови тільки свого варіанта;
- 4) зазначити одиниці виміру величин;
- 5) розв'язати задачу спочатку в загальному вигляді з відповідними поясненнями, а потім підставити числові значення згідно із варіантом;
- 6) відповіді на запитання подати з рисунками і поясненнями.

Варіант задачі вибирається за останньою цифрою шифру студента а запитання – за двома останніми цифрами згідно з додатком, наведеним у кінці даних методичних вказівок.

Література

1. Мотуз І.К., Геращенко В.М., Кулінченко В.Г. Методичні вказівки до вивчення курсу "Гідравліка та гідравлічні машини". - К.: УДУХТ, 1991. - 116 с.
2. Мотуз І.К. Гідравліка і гідравлічні машини в довідках і таблицях. - К.: ІЗМН, 1996. - 280 с.
3. Шлипченко З.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. - К.: Техніка, 1976. - 365 с.

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Розділ 1. ГІДРОСТАТИКА

1.1. Вступ

Предмет "Гідравліка і гідромашини". Коротка історія розвитку. Роль вітчизняних і зарубіжних вчених у створенні сучасної механіки рідин і гідравліки. Місце гідравліки у сучасній техніці.

1.2. Основні властивості рідин

Визначення рідини. Ідеальна і реальна рідина. Рідина крапельна і газоподібна. Питома вага і густина, залежність між ними. Залежність цих величин від температури й тиску. Відносна питома вага і відносна густина. В'язкість. Закон Ньютона для рідинного тертя. Коефіцієнти в'язкості й одиниці її виміру, вплив температури та тиску на в'язкість.

Методичні вказівки

Рідина - фізичне тіло, молекули якого слабо пов'язані між собою, тому під впливом навіть незначної сили рідина змінює свою форму.

Рідина займає проміжне місце між твердим тілом і газом, вона зберігає об'єм тієї посудини, в якій міститься, і цим схожа на тверде тіло, але не може самостійно зберігати свою форму, що споріднює її з газами. Усі рідини у разі зміни тиску і температури змінюють свій об'єм.

Властивість рідини чинити опір зсуву зветься в'язкістю. В'язкість спричинює виникнення сил внутрішнього тертя між суміжними шарами рідини, які рухаються з різними швидкостями і відповідають закону Ньютона:

$$\tau = \mu F \frac{dU}{dr},$$

або

$$\tau = \frac{T}{F} = \mu \frac{dU}{dr},$$

де μ - абсолютний (динамічний) коефіцієнт в'язкості; F - площа шарів, що торкаються один одного; dU/dr - градієнт швидкості.

Під час зміни температури в'язкість рідини також змінюється, тобто підвищення температури зменшує в'язкість, і навпаки.

Поки рідина нерухома, в'язкість не проявляється, тому при розв'язуванні задач нею нехтують. При русі слід рахувати силу тертя і, як наслідок, в'язкість. Проте існують і такі рідини, в яких виникають сили тертя вже у стані спокою за їх намірі прийти в рух. Такі рідини називаються неньютонівськими, або аномальними.

Питання для самоперевірки

1. Яка різниця між густиною і питомою вагою? Розмірність в СІ, МКГСС, СГС. Відносна питома вага і відносна густина.
2. Залежність в'язкості рідини від температури і тиску
3. Що таке в'язкість рідини? У чому полягає суть закону в'язкого тертя Ньютона?
4. Чим відрізняється ідеальна рідина від реальної? В яких випадках за практичних розрахунків рідину можна вважати ідеальною?
5. Як вимірюється в'язкість рідини?
6. Типи віскозиметрів.

1.3. Гідростатика

Абсолютний та відносний спокій. Сили, які діють на рідину. Тиск рідини, що перебуває у стані спокою. Гідростатичний тиск та його властивості. Тиск абсолютний і надлишковий. Вакуум. Диференціальні рівняння рівноваги Ейлера.

Основне рівняння гідростатики. Поверхні рівного тиску. Закон Паскаля, його застосування у техніці. Умови рівноваги рідини в сполучених посудинах. Рідинні прилади для вимірювання тиску, розрідження, різниці тисків.

Відносний спокій рідини. Повна сила тиску на плоскі й криволінійні поверхні, занурені у рідину. Центр тиску. Гідростатичний парадокс. Епюри гідростатичного тиску. Плавання тіл. Закон Архімеда.

Методичні вказівки

У гідростатиці вивчаються закони рівноваги рідин, розглядаються питання розподілу гідростатичного тиску рідини, визначаються значення, напрямки і точки прикладення сили тиску на плоскі та криволінійні поверхні.

Основними рівняннями рівноваги є диференціальні рівняння.

Зведене рівняння Ейлера

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz), \quad (1)$$

де dP - диференціал тиску; X, Y, Z - проекції прискорення масових (об'ємних) сил на відповідні осі.

Похідні рівняння (1):

1) поверхні однакового тиску

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0; \quad (2)$$

основне рівняння гідростатики (гідростатичний напір)

$$z + \frac{P}{\rho g} = H, \quad (3)$$

де z - геометричний напір (висота); $\frac{P}{\rho g}$ - гідростатичний напір.

Ця сума є сталою величиною для різних точок розглядуваної системи. Розглянувши рівняння (3) для двох точок рідини, одержимо 3) закон Паскаля - закон про передачу рідиною зовнішнього тиску

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (4)$$

де P_0 - зовнішній тиск; h - глибина занурення точки під рівень рідини;

4) різницю між абсолютним, надлишковим тиском і вакуумом

$$P_{абс} = P_{ат} + P_{ндлп} \quad (5)$$

$$P_{ндл} = P_{абс} - P_{ат}, \quad (6)$$

$$P_{вак} = P_{ат} - P_{абс} \quad (7)$$

Сили тиску рідини на плоскі й криволінійні поверхні визначають аналітично.

На плоску поверхню:

$$P = (P_0 + \rho gh_c)F$$

або

$$P = \rho gh_c F, \quad (8)$$

де h_c - глибина занурення центру тяжіння стінки під рівень рідини; F - площа змоченої поверхні стінки.

Точка, в якій прикладені сили (центр тиску):

$$h_T = h_c + \frac{I_0}{h_c F}, \quad (9)$$

де I_0 - момент інерції відносно осі, що проходить через центр тяжіння змоченої поверхні стінки.

Рівнодійна сил тиску на криволінійній поверхні являє собою три взаємно перпендикулярні складові: P_x, P_y, P_z :

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}. \quad (10)$$

Сили P_x і P_y обчислюються, як сили тиску на плоскі поверхні (проекція криволінійної поверхні на вертикальні площини), P_z - як вага тіла тиску. Центр тиску визначають графічно.

Спокій рідини відносно стінок посудини, що рухається або обертається разом з рідиною, зветься відносним спокоєм. Прикладом може служити посудина з рідиною, яка обертається навколо вертикальної чи горизонтальної осі.

У наведених випадках, крім сили тяжіння, діють ще відцентрові сили й сили інерції.

Під час обертання посудини навколо вертикальної осі вільна поверхня рідини у ньому набуває форми параболоїда обертання

$$\frac{\omega^2 R^2}{2g} - Z = C, \quad (11)$$

висота якого

$$h = \frac{\omega^2 R^2}{2g}, \quad (12)$$

де ω - кутова швидкість; R - радіус посудини.

Об'єм цього параболоїда

$$V = \frac{1}{2} \pi R^2 h. \quad (13)$$

Питання для самоперевірки

7. Що таке гідростатичний тиск? Основні властивості, одиниці вимірювання.

8. Чому при визначенні сили тиску рідини на поверхні найчастіше оперують не абсолютним, а манометричним (надлишковим) тиском або розрідженням?

9. Коли центр тиску плоскої фігури збігається з її центром тяжіння?

10. Що таке п'єзометр, вакуумметр, дифманометр? Які величини вони вимірюють?

11. Які пристрої конструюються на основі закону Паскаля?

12. Які сили діють на рідину в умовах абсолютного і відносного спокою?

13. Якої форми набувають поверхні рівного тиску у випадках абсолютного та відносного спокою? Наведіть приклади.

Розділ 2. ГІДРОДИНАМІКА І ТЕХНІЧНА ГІДРАВЛІКА

2.1. Кінематика і динаміка рідини

Різновиди руху рідини. Основні поняття кінематики рідини, лінії течії, трубка течії, елементарна струминка. Потік рідини, середня швидкість і витрати рідини. Рівняння суцільності. Рівняння Бернуллі для усталеного руху ідеальної рідини, його геометрична й енергетична інтерпретація. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини. Коефіцієнт Коріоліса. Загальні відомості про втрати напору. Різновиди гідравлічних втрат. Трубка Піто, трубка Вентурі для вимірювання витрат рідини.

Методичні вказівки

Одне з основних рівнянь гідродинаміки – рівняння сталості витрат (рівняння суцільності), яке для двох перерізів потоку має такий вигляд:

$$Q = v_1 F_1 = v_2 F_2.$$

Звідси
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_2}{F_1}, \quad (14)$$

тобто швидкості потоку обернено пропорціональні живим перерізам.

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

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w, \quad (15)$$

де z_1, z_2 – геометричні напори (потенціальна енергія положення) відповідно в першому та другому перерізах; $P_1/\rho g, P_2/\rho g$ – п'єзометричні напори (потенціальна енергія тиску у тих самих перерізах);

$v_1^2/2g, v_2^2/2g$ – швидкісні напори (питома кінетична енергія у тих са-

мих перерізах); α_1, α_2 – коефіцієнти нерівномірності розподілу швидкостей у тих самих перерізах (коефіцієнти Каріоліса), що дорівнюють відношенню дійсної кінетичної енергії до кінетичної енергії, яка обчислюється за середньою швидкістю; h_w – втрати напору (енергії) на подолання місцевих гідравлічних опорів, а також опорів за довжиною,

$$h_w = h_r + h_l = \frac{v^2}{2g} \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right), \quad (16)$$

де $\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів; λ – коефіцієнт опору тертя за довжиною.

У розв'язанні інженерних задач використовують рівняння суцільності (14) та Бернуллі (15), які складають систему, що дає можливість розв'язати задачу з двома невідомими для усталеного руху в'язкої нестискуваної рідини. Рух рідини між обчислюваними перерізами має бути паралельно-струминним або плавно змінним.

Під час складання рівнянь для двох живих перерізів треба керуватися такими положеннями:

1) рівняння Бернуллі складається для двох живих перерізів, нормальних до напрямку руху. Ці перерізи повинні розміщуватись на прямолінійних ланках потоку;

2) один з обчислюваних перерізів слід обирати там, де визначається тиск P , геометричний напір z або швидкість v , другий - де P , z , v задаються;

3) позначати обчислювані перерізи треба так, щоб рідина рухалась від першого перерізу до другого. За зворотної нумерації змінюється знак втрат напору h_w ;

4) порівняльна площа має бути горизонтальною. Положення центру тяжіння живого перерізу z вище порівнювальної площини вважається додатним, нижче - від'ємним;

5) якщо в рівнянні Бернуллі є ряд невідомих швидкостей, то до нього додатково дописують стільки рівнянь суцільності, скільки буде невідомих швидкостей.

Питання для самоперевірки

14. Дайте визначення і наведіть приклади основних різновидів руху рідини: усталеного, неусталеного, напірного, безнапірного, рівномірного, нерівномірного.

15. Що таке лінія течії, трубка течії, елементарна струминка?

16. За яких умов зберігається сталість витрат рідини вздовж потоку?

17. Фізичний і геометричний зміст гідравлічного та гіеометричного нахилів?

18. Обмеження у застосуванні рівняння Бернуллі.

19. Як записується рівняння Бернуллі за умов: а) нерухомої рідини;

б) рівномірного руху в горизонтальному трубопроводі; в) витікання рідини з посудини через круглий невеликий отвір.

20. Причини виникнення втрат напору під час руху в'язкої рідини. Визначення поняття "гідравлічні втрати напору".

2.2. Режим руху рідини і основи гідродинамічної подібності

Ламінарний і турбулентний режими руху рідини. Досліди Рейнольдса. Числа Рейнольдса. Основи теорії гідродинамічної подібності і критерії подібності.

Методичні вказівки

Під час визначення втрат напору у процесі руху рідини у трубопроводі потрібно знати режим руху - ламінарний або турбулентний. Той чи інший режим зумовлюється співвідношенням трьох факторів: швидкості U , діаметра трубопроводу d , кінематичного коефіцієнта в'язкості у вигляді критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ud}{\nu} \quad (17)$$

У гідравліці широко застосовується метод моделювання, коли досліджується не саме явище або установка, а їх модель, як правило, меншого розміру. Основа моделювання – теорія гідродинамічної подібності.

Для усталеного руху однорідних нестислих рідин необхідною і достатньою умовою є геометрична, кінематична і матеріальна подібності течій.

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

$$Ne = \frac{\rho l}{m U^2} \quad (18)$$

Критерій Ne (18) являє собою залежність між силами, масами, швидкостями та лінійними розмірами динамічно подібних систем.

У кожному окремому випадку в динамічно подібних системах діє одна з трьох сил: тяжіння G , тиску P , тертя T . Якщо ці сили послідовно підставлятимемо у рівняння (18) замість значення, одержимо критерії: в першому випадку – Фруда, в другому – Ейлера, в третьому – Рейнольдса.

Особливу увагу треба звернути на критерій Рейнольдса, який є відношенням сил інерції до сил тертя. Багато величин, що характеризують рух рідини, можуть бути подані як функція критерію Re .

Питання для самоперевірки

21. Відмінності структур течій в умовах ламінарного і турбулентного руху рідини в трубах.

22. Як обчислити критерій Рейнольдса для труб круглого і некруглого перерізів?

23. Яка швидкість називається критичною?

24. Чи залежить критична швидкість від температури рідини?

25. Принципи геометричної, кінетичної та матеріальної подібностей.

26. Які сили переважають в течії, якщо моделювання здійснюється за рівністю критеріїв Рейнольдса, Ейлера або Фруда?

2.3. Ламінарний рух рідини

Розподіл швидкостей в перерізі круглої труби (закон Стокса). Визначення витрат рідини і середньої швидкості в круглій трубі (формула Пуазейля). Втрати напору за довжиною труби. Коефіцієнт опору тертя.

Методичні вказівки

За ламінарної течії частинки рідини рухаються паралельно осі труби, не переміщуючись. У такій течії дотичні напруження підкоряються закону Ньютона. Сили тертя більші за сили інерції.

Втрати напору на тертя за довжиною труби

$$h_t = \frac{64 \cdot l \nu^2}{\text{Re} d 2g}, \quad (19)$$

де $\frac{64}{\text{Re}} = \lambda$ – коефіцієнт опору тертя за довжиною; l, d – відповідно довжина та діаметр трубопроводу; ν – швидкість руху рідини в трубі.

Швидкість розподіляється за параболічним законом, а середня швидкість дорівнює половині максимальної.

Питання для самоперевірки

27. Розподіл дотичних напружень у трубопроводі.
26. Показати епіюру швидкостей в круглому трубопроводі і довести співвідношення між середньою та максимальною швидкостями.
29. Визначення витрат рідини через циліндричний трубопровід.
30. Від яких параметрів залежить коефіцієнт опору тертя за довжиною?
31. Поясніть, що за ламінарного руху втрати напору за довжиною пропорційні першій степені швидкості.

2.4. Турбулентний рух

Структура турбулентної течії. Пульсація швидкостей. Розподіл швидкостей у живому перерізі течії. В'язкий шар. Втрати напору в трубах. Формула Дарсі та коефіцієнт втрат на тертя за довжиною. Шорсткість стінок абсолютна, відносна та еквівалентна. Графіки Нікурадзе і Кольбрука – Уайта. Гідравлічно гладкі й шорсткі труби, визначення зон опору. Формули для розрахунку коефіцієнта тертя і межі їх застосування.

Методичні вказівки

Для турбулентного руху характерне хаотичне переміщення частинок рідини.

Структура течії у перерізі не однорідна. Біля стінок труби знаходиться в'язкий шар, в якому діють сили в'язкого тертя згідно із законом Ньютона. В ядрі турбулентної течії головну роль відіграють

сили інерції, а сили в'язкого тертя малі $\left(\frac{dU}{dr} \rightarrow 0 \right)$.

Втрати напору за довжиною трубопроводу визначаються за формулою Дарсі:

$$h_t = \lambda \frac{l \nu^2}{d 2g}. \quad (20)$$

У загальному випадку коефіцієнт опору залежить як від режиму руху, так і од відносної шорсткості: тобто

$$\lambda = f(\text{Re}; \bar{\Delta}),$$

де $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$, Δ - абсолютна шорсткість.

Формули для обчислювання λ під час турбулентного руху такі:

1) якщо рух відбувається у гладких трубах $\text{Re} < \frac{20}{\bar{\Delta}}$, то застосовують формули:

а) Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}; \quad (21)$$

б) Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg \text{Re} - 1,5)^2}. \quad (22)$$

Примітка. Формулою (21) користуються при значеннях $\text{Re} < 10^5$,

2) якщо рух рідини відбувається у шорстких трубах $\frac{20}{\bar{\Delta}} < \text{Re} < \frac{500}{\bar{\Delta}}$, то застосовують формули:

а) Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}; \quad (23)$$

б) Френкеля

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\bar{\Delta}}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]. \quad (23a)$$

Ця зона опору труб називається доквадратичною.

У квадратичній зоні опору $\text{Re} > \frac{500}{\bar{\Delta}}$ застосовують формулу Шифрінсона:

$$\lambda = 0,11 (\bar{\Delta})^{0,25}, \quad (24)$$

Формула (23) є універсальною: за умови $Re < \frac{20}{\Delta}$ вона перетворюється на формулу (21), $Re > \frac{500}{\Delta}$ - на формулу (24).

Питання для самоперевірки

32. Характерні особливості турбулентного руху рідини в трубах.
33. Поясніть поняття "гідравлічно гладкі" і "гідравлічно шорсткі труби".
34. Чи може одна й та сама труба бути гідравлічно гладкою і шорсткою.
35. Як розподіляються швидкості під час турбулентного режиму руху? Співвідношення між середньою і максимальною швидкостями.
36. Визначення зон гідравлічного опору.
37. Які застосовуються формули для обчислення коефіцієнта тертя?

2.5. Місцеві гідравлічні опори

Різновиди місцевих опорів. Коефіцієнти місцевих опорів. Раптове розширення потоку (теорема Борда): Місцеві втрати напору за великих і малих чисел Рейнольдса. Еквівалентні довжини труб.

Методичні вказівки

Місцевими називаються гідравлічні опори, в яких потік рідини змінює напрямок руху або форму перерізу. Тоді витрачається енергія, яка визначається залежністю.

$$h_r = \zeta \frac{U^2}{2g}, \quad (25)$$

де ζ - коефіцієнт місцевого опору; U - швидкість руху рідини в перерізі, як правило, за місцевим опором.

Коефіцієнт місцевих опорів визначають експериментально. Виняток становить раптове розширення потоку, в якому втрати напору знайдені аналітично Бордом (з деякими припущеннями):

$$h_{r,pp} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}. \quad (26)$$

Питання для самоперевірки

38. В яких випадках у процесі руху рідини виникають місцеві втрати напору?
39. Чи залежить значення ζ від режиму руху рідини?

40. Розрахункове рівняння для визначення втрат від місцевого опору.
41. Як визначається значення ζ ?
42. В яких випадках у гідросистемах треба визначати місцевий опір окремо?
43. Визначення втрат напору в разі раптового розширення потоку.

2.6. Гідравлічний розрахунок трубопроводів

Основне розрахункове рівняння простого трубопроводу. Поняття про визначення економічно вигідного діаметра трубопроводу. Сифонний трубопровід. Послідовне й паралельне з'єднання трубопроводів. Складні трубопроводи.

Методичні вказівки

Під час розрахунку напірних трубопроводів користуються рівняннями суцільності потоку (14) і Бернуллі (15). Якщо швидкість у трубопроводі незначна, то швидкісний напір порівняно з іншими членами рівняння Бернуллі, такий малий, що ним можна знехтувати, а гідравлічні втрати дорівнюють різниці показів п'єзометрів (манометрів). У такому випадку весь напір іде на подолання гідравлічних опорів, тобто $H = \sum h_w$ (напір наявний дорівнює втраченому).

Залежно від гідравлічної схеми роботи і методів гідравлічного обчислення, трубопроводи бувають короткі й довгі, прості й складні, розгалужені та замкнені, з транзитними і шляховими витратами рідини. Треба засвоїти відмінності між цими типами трубопроводів і специфіку їх гідравлічних обчислень. Стосовно простих трубопроводів, існує три типи задач розрахунку: 1) витрат рідини; 2) напору; 3) діаметра трубопроводу. Щодо складних трубопроводів, потрібна система рівнянь, яка пов'язує розміри труб, витрат рідини і напір. Ця система складається з рівнянь балансу витрат рідини для кожного вузла і рівнянь балансу напорів (рівняння Бернуллі) для кожного відгалуження трубопроводу.

Питання для самоперевірки

44. Які трубопроводи звуться короткими і довгими, простими і складними? Особливості їхнього розрахунку.
45. Економічний розрахунок трубопроводів.
46. Особливості розрахунку трубопроводу з паралельним з'єднанням труб.
47. Що таке сифон? Особливості гідравлічного розрахунку.
48. Особливості розрахунку трубопроводів з насосною подачею рідини.
49. Розрахунок трубопроводу при напорному русі методом Шезі – Павловського.

50. Розрахунок трубопроводів за допомогою таблиць.

51. Розрахунок трубопроводів з шляховими і змішаними витратами рідини.

2.7. Неусталений рух рідини

Неусталений рух нестислої рідини в трубах з урахуванням інерційного напору. Явище гідравлічного удару. Формула Жуковського для прямого удару. Поняття про непрямий удар. Методи послаблення гідравлічного удару. Час витікання рідини через отвори (змінний напір).

Методичні вказівки

Розрахунок трубопроводів ведеться за рівнянням Бернуллі для усталеного руху з доповненням інерційного члена, зумовленого втратою напору на подолання місцевої сили інерції. Такі випадки зустрічаються за умови:

а) розрахунку всмоктувальної мережі поршневого насоса з нерівномірним подаванням рідини;

б) звільнення посудини з раптовим відкриттям крана. Особливе місце у гідравліці посідає задача про гідравлічний удар в трубах. Вона відрізняється від решти задач тим, що при її розв'язанні не можливо знехтувати пружністю рідини. Зміст цього явища полягає в тому, що за раптової зміни швидкості потоку в напорному трубопроводі різко змінюється тиск. Зміна тиску залежить від співвідношення t/T , де t – час зміни швидкості (відкриття чи закриття крана), а T – фаза гідравлічного удару,

$$T = \frac{2L}{C}, \quad (27)$$

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

За умови $t < T$ відбувається прямий удар, $t > T$ – непрямий.

Ударний тиск визначається за формулою Жуковського для прямого удару:

$$P_{уд} = P + \rho C u, \quad (28)$$

де P – початковий тиск; ρ – густина рідини; C – швидкість поширення ударної хвилі; u – середня швидкість руху рідини.

Для розрахунку непрямого удару застосовують спеціальні формули. Гідравлічний удар призводить до руйнування трубопроводів і запорних пристроїв. Щоб запобігти йому, необхідно збільшити час закриття чи відкриття запірних пристроїв, змонтувати спеціальні пристрої на трубопроводах.

Питання для самоперевірки

- 52. Яка різниця між усталеним та неусталеним рухом?
- 53. Що таке гідравлічний удар в трубах?
- 54. Фаза гідравлічного удару. Її роль у розрахунку ударного тиску.
- 55. Як визначається швидкість поширення ударної хвилі?
- 56. Гідравлічний таран. Принцип його дії.
- 57. Способи запобігання або зменшення ударного тиску.

2.8. Взаємодія потоку зі стінками. Дія струменя на тверді перешкоди. Сили дії потоку на стінки

Методичні вказівки

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

Силу тиску течії на перешкоди можна обчислити за теоремою про зміну імпульсу руху. Мірою дії сили є кінетична енергія маси

рідини $\frac{mv^2}{2}$ та імпульс руху цієї маси mv .

Питання для самоперевірки

- 58. Активна і реактивна дія струменя.
- 59. Чому дорівнює реактивна сила взаємодії між струменем і твердим тілом?
- 60. Чому дорівнює активний тиск струменя на плоску і ківшоподібну стінку?

2.9. Витікання рідини через отвори, насадки і водозливи

Витікання рідини через отвори у тонкій стінці за постійного напорі. Коефіцієнти звуження, швидкості, витрати рідини, опору. Витікання рідини через циліндричний насадок. Різновиди насадків. Водозливи. Витрата рідини. Коефіцієнти витрат рідини.

Методичні вказівки

Тонкою вважається стінка, отвір якої має гострі входні кромки. До таких належать стінки товщиною $S < 0,2d$ (для круглих отворів).

Насадок – це короткий патрубок, довжина якого $3d < l < 7d$ (круглий переріз).

Витрати рідини через отвори і насадки

$$Q = \mu F_{от} \sqrt{2gh} \quad (29)$$

де μ – коефіцієнт втрат рідини; $F_{от}$ – площа отвору; h – напір над центром тяжіння отвору.

Швидкість витікання

$$v = \varphi \sqrt{2gh} \quad (30)$$

де φ – коефіцієнт швидкості.

Під час витікання зі змінним напором визначають час спорожнення резервуара.

Водозлив – гідротехнічна споруда, встановлена впоперек руху потоку рідини. Її застосовують у промисловості для регулювання рівня і визначення витрат рідини у водоводах.

Питання для самоперевірки

61. Дайте характеристику малих і великих отворів.
62. Чому поперечний переріз струменя у стислому перерізі менший за поперечний переріз отвору?
63. Випадки звуження струменя.
64. Фізичний зміст коефіцієнтів звуження, витрати рідини та швидкості.
65. Що називається насадком? Чим відрізняється насадок від короткого трубопроводу?
66. Чому коефіцієнти швидкості й витрати рідини не дорівнюють одиниці?
67. Довести присутність вакууму в насадку.
68. Визначення витрат рідини через водозлив.

2.10. Рух рідини у відкритих руслах і каналах

Рівномірний рух рідини у відкритому каналі або руслі. Швидкість руху. Формула Шезі. Витрати рідини. Поняття про гідравлічно найвищий переріз каналу.

Методичні вказівки

Основою розрахунку є визначення витрат Q при заданому нахилі і або визначення нахилу, який повинен забезпечити задані витрати рідини.

Витрати рідини визначаються законом суцільності, в якому швидкість руху обчислюється за формулою Шезі $Q = FC\sqrt{Ri}$, а гідрав-

лічний ухил $i = \frac{Q^2}{F^2 C^2 R}$.

Визначальною величиною при обчисленні швидкості є гідравлічний радіус R .

Питання для самоперевірки

69. Визначення швидкості та витрат рідини у відкритих руслах і каналах.
70. Розрахунок гідравлічного ухилу каналу.
71. Співвідношення глибини і ширини каналу прямокутного перерізу.

Розділ 3. ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ

3.1. Загальні відомості про гідромашини

Насоси і турбіни. Класифікація насосів. Принцип дії відцентрових і поршневих насосів. Основні параметри насосів: подача, напір, потужність, ККД і його складові.

Методичні вказівки

Гідравлічні машини – це пристрої, в основі роботи яких лежить принцип перетворення механічної енергії двигуна в енергію транспортованої рідини (насоси) і для перетворення енергії потоку рідини в механічну (турбіни).

Усі типи насосів за принципом дії поділяються на дві групи: відцентрові (динамічні) і об'ємні (поршнєві, роторні).

Параметри, що характеризують насос: подача, напір, споживана потужність, ККД. **Подача** – це об'ємна кількість рідини, що подається насосом в одиницю часу в нагнітальний трубопровід (споживачеві).

Напір – це робота, виконувана насосом на транспортування одиниці маси рідини. Вимірюється, як правило, в метрах стовпа рідини:

$$H = Z_1 + Z_2 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_w' + h_w'', \quad (31)$$

де Z_1, Z_2 – висота відповідно всмоктування і нагнітання; P_1, P_2 – тиск відповідно на початку всмоктувальної і на кінці нагнітальної труб; h_w', h_w'' – втрати напору відповідно у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах.

Потужність – це кількість витраченої енергії на піднімання і транспортування рідини.

ККД – це відношення корисної потужності до споживаної.

Питання для самоперевірки

72. Визначення потужності, затраченої насосом.
73. Фізичний зміст об'ємного, гідравлічного і механічного ККД насосу.
74. Визначення загального ККД насоса.
75. Визначення напору насоса за показниками приладів.

3.2. Відцентрові насоси

Схема одноступеневого насоса. Рівняння Ейлера. Теоретичний напір насоса. Втрати енергії у насосі. Залежність теоретичного напору від форми лопатей. Характеристики теоретичні та дійсні. Коефіцієнт швидкохідності. Застосування формул подібності для перерахування характеристик насоса. Робота насоса на трубопроводі. Робоча точка. Регулювання подачі. Сумісна робота насосів на трубопроводі. Тиск уздовж осі. Кавітація. Висота всмоктування.

Методичні вказівки

Робота відцентрового насоса заснована на силовій дії лопатей на рідину. Рух частинок рідини у робочому колесі складний. Це пов'язано з обертанням самого колеса і рухом рідини по його каналах.

Сума цих двох рухів дає абсолютний рух частинок рідини відносно нерухомого корпусу насоса.

Створена Ейлером приблизна теорія відцентрових машин донині є основою їх розрахунку. За допомогою цієї теорії одержали значення теоретичного напору насоса. Для визначення дійсного напору введені поправки на кінцеву кількість лопатей k і на гідравлічні втрати η_r :

$$H = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} k \eta_r, \quad (32)$$

де U_2 , C_2 – відповідно колова й абсолютна швидкості під час виходу рідини з робочого колеса; α_2 – кут між абсолютною і коловою швидкостями під час виходу; g – прискорення сили тяжіння.

Характеристики бувають дійсні та теоретичні. Теоретичні одержують за основним рівнянням лопатевого насоса, дійсні – під час випробування насосів. При цьому виявляють залежність напору, потужності та ККД від подачі за постійної частоти обертання.

Коли частота обертання (відповідно до теорії подібності) змінюється, змінюються і характеристики насосів згідно з законом пропорційності:

$$\begin{aligned} Q &= \kappa_1 n; \\ H &= \kappa_2 n^2; \\ N &= \kappa_3 n^3; \end{aligned} \quad (33)$$

де $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ – коефіцієнти пропорційності; n – частота обертання.

Під час роботи на трубопровід насоси дають максимальну подачу тоді, коли засувка на нагнітальному патрубку повністю відкрита. Максимальна подача визначається робочою точкою, розміщеною на перетині двох характеристик $H-Q$ насоса і $H-Q$ трубопроводу.

Слід знати, якими способами регулюють подачу насоса, в яких випадках два однакових насоси працюють паралельно на один трубопровід, а коли – послідовно.

Негативно впливає на роботу відцентрових насосів кавітація, що виникає через зменшення тиску при вході рідини в насос порівняно з тиском пароутворення.

До зниження тиску призводить неправильна висота установки насоса над рівнем рідини.

Питання для самоперевірки

76. Накреслити схему відцентрового насоса і пояснити принцип його дії.

77. Трикутники швидкостей на вході в робоче колесо і на виході з нього. Пояснити.

78. Скласти рівняння теоретичного напору. Пояснити.

79. Фізичний зміст законів подібності насосів. Мета їх застосування.

80. Скласти характеристику трубопроводу і визначити робочу точку.

81. Визначення робочої точки під час роботи двох насосів на один трубопровід. Пояснити графічно.

82. Сила тиску на осі. Причини її виникнення.

83. Фізичний зміст явища кавітації.

84. Описати способи (методи) регулювання подачі насосів.

85. Чим відрізняються дійсні характеристики від теоретичних?

3.3. Об'ємні насоси

Поршневий і плунжерний насоси. Класифікація. Межі застосування. Формули подач. Ступінь нерівномірності подач. Закон руху поршня. Повітряні ковпаки. Будова, принцип дії і межі застосування роторних насосів. Параметри і характеристики.

Методичні вказівки

Поршневий насос – це гідравлічна машина, в якій механічна енергія перетворюється на енергію рідини, транспортовану за рахунок руху поршня в циліндрі. Насоси розрізняють за кратністю дії, конструкцією поршня, місцем розташування циліндрів, способом з'єднання поршня з двигуном.

Слід засвоїти принцип дії насосів різної кратності дії і знати формули подачі для кожного насоса.

Подача поршневих насосів пропорційна їх розмірам і швидкості руху поршня. Напір (тиск) не зв'язаний з подачею і залежить виключно від опорів.

Однією з головних особливостей поршневих насосів є нерівномірність в часі подача рідини через змінну швидкість руху поршня в циліндрі.

Для створення рівномірної подачі на всмоктуванні й нагнітанні застосовують повітряні ковпаки, які встановлюють якнайближче до насоса. У цьому разі рух рідини у всмоктувальному трубопроводі до ковпака і в нагнітальному після ковпака буде усталеним.

У роторних насосів обертається один або кілька органів спеціальної форми. При цьому рідина перетікає із всмоктувальної в нагнітальну область. Ці насоси реверсивні.

У роторних насосах переважають об'ємні втрати і механічні. Роторні насоси застосовують для малих подач при досить високих напорах.

Питання для самоперевірки

86. Подати схеми поршневих насосів різної кратності дії і описати принцип їх дії.

87. Від чого залежить подача насосів? Написати формули подачі насосів різної кратності та пояснити їх.

88. Пояснити діаграми подач насосів різної кратності дії і написати ступінь нерівномірності подачі.

89. Що таке ступінь нерівномірності подачі?

90. Будова і принцип дії повітряного ковпака. Описати його.

91. Зобразити шестеренний насос, написати формулу його подачі і дати пояснення принципу його дії.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА № 1

Задача 1.1. Абсолютна в'язкість рідини μ , відносна їх густина δ . Знайти кінематичну в'язкість, густину і питому вагу рідини в системах МКГСС і одиницях СІ.

Вихідні дані до задачі 1.1

Варіант	Продукт	Величина, одиниця виміру	
		δ	μ , Па · с
0	Цукровий розчин	1,23	$1,12 \cdot 10^{-2}$
1	Пиво	1,017	$1,45 \cdot 10^{-3}$
2	Спирт етиловий	0,971	$1,19 \cdot 10^{-3}$
3	Жир яловичий	0,886	$1,96 \cdot 10^{-2}$
4	Олія	0,925	$5,5 \cdot 10^{-2}$
5	Молоко незбиране	1,033	$1,79 \cdot 10^{-3}$
6	Вода при температурі 80 °С	0,996	$3,57 \cdot 10^{-4}$
7	Мелясова барда	1,216	$1,63 \cdot 10^{-2}$
8	Вода при температурі 20 °С	0,999	$1,01 \cdot 10^{-3}$
9	Масло какао	0,880	$1,158 \cdot 10^{-2}$

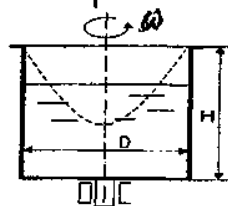


Рис. 1.1

Задача 1.2. Циліндрична посудина діаметром D і заввишки H , заповнена на $2/3$ висоти водою, обертається навколо вертикальної осі. Знайти максимальну частоту обертання посудини, за якою вода не виливатиметься з неї (рис 1.1). Скласти рівняння вільної поверхні рідини.

Вихідні дані до задачі 1.2

Варіант	Величина, одиниця виміру	
	h , м	t , м
0	1,2	0,5
1	1,3	0,6
2	1,1	0,5
3	1,5	0,7
4	1,8	0,8
5	2,0	0,6
6	2,1	0,8
7	1,9	0,7
8	1,7	0,4
9	1,0	0,4

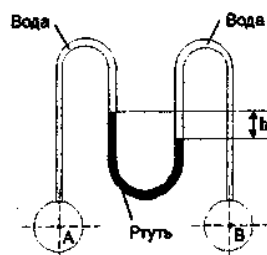


Рис. 1.2

Задача 1.3. Визначити різницю тисків у точках А і В двох трубопроводів, заповнених водою (рис 1.2), якщо різниця рівнів ртуті у диференціальному манометрі h . Температура t .

Вихідні дані до задачі 1.3

Варіант	Величина, одиниця виміру	
	h , мм	t , °C
0	70	20
1	180	25
2	100	20
3	90	20
4	150	25
5	140	30
6	220	30
7	190	35
8	200	25
9	240	20

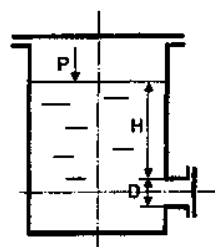


Рис. 1.3

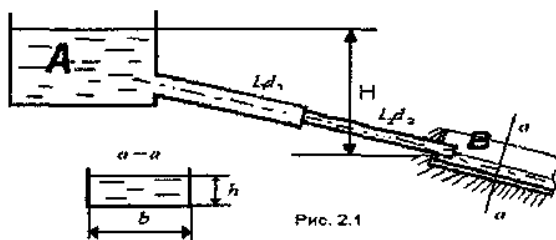
Задача 1.4. Круглий отвір діаметром D в боковій вертикальній стінці резервуара закритий кришкою (рис. 1.3). Обчислити силу тиску рідини M на кришку і точку її прикладання, якщо відстань від поверхні води до отвору H , надлишковий тиск на вільній поверхні P , температура рідини $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вихідні дані до задачі 1.4

Варіант	Величина, одиниця виміру			
	l , м	H , м	P , кПа	M
0	1,0	1,8	0	Вода
1	0,8	2,0	50	Сік яблучний
2	0,6	4,0	40	Сік томатний
3	0,8	3,6	100	Вода
4	0,8	2,0	0	Сік виноградний
5	0,4	2,9	30	Молоко
6	0,7	3,5	50	Пиво
7	0,6	5,2	100	Цукровий розчин
8	0,2	1,5	50	Олія
9	0,6	3,0	0	Вода

КОНТРОЛЬНА РОБОТА №2

З великого відкритого резервуара А (рис. 2.1), де підтримується сталий рівень води H , по трубопроводу з двох послідовно з'єднаних труб вода при температурі t витікає в лоток В, який має розміри $b \times h$. Довжина труб l_1, l_2 , а їх діаметри d_1, d_2 . Визначити витрати рідини Q в системі та ухил лотка i .



Вихідні дані до задачі 2.1

Варіант	Величина, одиниця виміру								
	H , м	l_1 , м	l_2 , м	d_1 , мм	d_2 , мм	b , м	h , м	Матеріали і стан	t , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	6,8	6,8	82	70	50	0,4	0,8	Чавун, нові	4
1	7,2	9,0	11,0	50	40	0,3	0,8	Сталь, нові	15
2	8,0	10,0	98	60	40	0,8	0,5	Сталь, б/к	10
3	6,8	12,0	13,0	40	32	0,6	0,4	Сталь, брудні	40

Закінчення таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	9,2	9,0	78	50	40	0,5	0,8	Сталь, б/к	30
5	7,6	8,0	90	60	50	0,6	0,3	Чавун, брудні	20
6	9,8	7,0	74	70	50	0,5	1,0	Сталь, брудні	35
7	8,2	7,8	82	50	40	1,0	0,5	Чавун, б/к	25
8	6,3	13,0	10,0	40	32	0,3	0,6	Сталь, нові	12
9	7,8	11,0	10,5	60	50	0,8	0,4	Чавун, брудні	20

Примітка: б/к – труби, що були в користуванні. Під час розв'язання задачі скористуйтесь рівнянням Бернуллі.

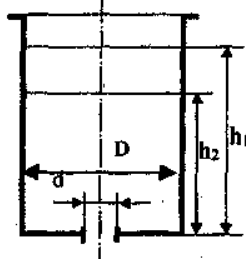


Рис. 2.2

Задача 2.2. Визначити час, за який спорожниться резервуар діаметром D від рівня h_1 до h_2 через отвір у дні резервуара діаметром d (рис. 2.2).

Вихідні дані до задачі 2.2

Варіант	Величина, одиниця виміру				
	D , м	d , м	h_1 , м	h_2 , м	Тип отвору*
0	2	0,15	1,5	0,5	Т
1	3	0,20	1,6	0,5	В
2	3,5	0,25	2,0	0,9	Т
3	3	0,25	2,3	1,1	З
4	4	0,25	2,5	1,0	В
5	2	0,12	1,7	1,2	Т
6	1,5	0,16	1,6	0,9	З
7	2,5	0,22	1,9	0,7	В
8	4	0,30	2,0	0,5	Т
9	6	0,35	2,5	1,3	З

*Т – отвір у тонкій стінці; З, В – циліндричний насадок відповідно зовнішній і внутрішній.

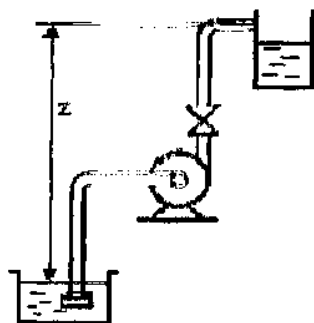


Рис. 2.3

Задача 2.3. Насосна установка (рис. 2.3) включає в себе насос і трубопровід діаметром d довжиною l . Вода подається на висоту z .

1. Розрахувати гідравлічну характеристику трубопроводу за даними табл. 2.1. Коefіцієнт опору тертя $\lambda = 0,02$. Місцеві опори врахувати еквівалентною довжиною $l_{\text{екв}} = 30$ м.

2. За даними табл. 2.2 на міліметровому папері побудувати характеристики насоса $H-Q$; $\eta-Q$. У такому самому масштабі на рис.2.3 побудувати характеристику трубопроводу $H-Q$.

3. Визначити потужність на валі насоса при його роботі на трубопроводі.

Таблиця 2.1

Варіант	Числові значення за варіантами		
	d , м	l , м	z , м
0	0,20	1870	15
1	0,14	50	20
2	0,15	60	25
3	0,16	70	20
4	0,17	80	22
5	0,18	90	21
6	0,20	100	19
7	0,20	110	15
8	0,19	120	18
9	0,15	150	19

Таблиця 2.2

Q , м ³ /г	0	40	80	120	160	200	240	280
H , м	38	40	39	37,5	34	30	25,5	20
η , %	0	30	57	67	73	73	69	57

ДОДАТОК

Таблиця добору варіантів для відповіді на запитання

остан- ньою	№ запитання за цифрою шифру передостанньою									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	1,14, 44,61, 72	11,22, 45,71, 82	7,31, 54,69, 72	2,39, 45,66, 80	9,16, 52,62, 86	2,20, 58,68, 73	7,25, 46,61, 78	11,29, 50,65, 82	1,32, 53,68, 85	3,34, 55,70, 87
8	4,35, 48,71, 88	2,15, 56,62, 73	12,23, 46,61, 81	8,32, 55,70, 73	3,40, 46,67, 81	10,17, 53,63, 87	3,21, 59,69, 74	8,26, 47,62, 79	12,30, 51,66, 83	2,33, 54,60, 86
7	13,14, 57,69, 78	5,36, 49,61, 89	3,16, 57,63, 74	13,24, 47,62, 84	9,33, 56,71, 74	4,41, 47,68, 82	11,18, 54,64, 88	4,22, 60,70, 75	9,27, 48,63, 80	13,31, 52,67, 84
6	8,20, 48,66, 86	1,15, 58,70, 79	6,37, 50,62, 90	4,17, 58,64, 75	1,25, 48,63, 85	10,34, 57,61, 75	5,42, 48,69, 83	12,19a, 55,65, 89	52,23, 44,71, 76	10,28, 49,64, 81
5	2,27, 55,62, 74	9,21, 49,67, 87	2,16, 59,71, 80	7,38, 51,63, 72	5,18, 59,65, 76	2,26, 49,64, 86	11,35, 58,62, 76	6,43, 49,70, 84	13,19b, 56,66, 90	6,24, 45,61, 77
4	8,33, 44,68, 80	3,28, 56,63, 75	10,22, 50,68, 88	3,17, 60,61, 81	8,39, 52,64, 73	6,19a, 60,66, 77	3,27, 50,65, 87	12,36, 59,63, 77	7,14, 50,71, 85	1,19b, 57,67, 72
3	13,36, 49,62, 85	9,34, 45,69, 81	4,29, 57,64, 76	11,23, 51,69, 89	4,18, 44,62, 82	9,40, 53,65, 74	7,19b, 44,67, 78	4,28, 51,66, 88	13,37, 60,64, 78	8,15, 51,61, 76
2	4,40, 53,66, 89	1,37, 50,63, 86	10,35, 46,70, 82	5,30, 58,65, 77	12,24, 52,70, 90	5,19a, 45,63, 83	10,41, 54,68, 75	8,19b, 54,68, 79	5,29, 52,67, 89	1,38, 44,65, 79
1	7,43, 56,69, 73	5,41, 54,67, 90	2,38, 51,64, 87	11,36, 47,71, 83	6,31, 59,66, 78	13,25, 53,71, 72	6,19b, 46,64, 84	11,42, 55,67, 76	9,20, 46,69, 80	6,30, 53,68, 90
0	9,15, 58,71, 75	8,14, 57,70, 74	6,42, 55,68, 72	3,39, 52,65, 88	12,35, 48,61, 84	7,35, 60,67, 79	7,32, 54,61, 73	7,19b, 47,65, 85	12,43, 56,68, 77	10,21, 47,70, 81

СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Процеси і апарати харчових виробництв. Основи гідравліки: Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання контрольних робіт для студентів технологічних спеціальностей заочної форми навчання / Укладач І.К. Мотуз. – К: УДУХТ, 2000.– 28 с.

Метою вивчення розділу «Основи гідравліки» дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв» є засвоєння студентами понять і законів гідравліки та гідравлічних машин і застосування цих законів під час вивчення спеціальних дисциплін та у інженерних розрахунках.

Ключові слова: гідравліка, рідина, статика, динаміка, втрати, трубопроводи, машини

Процессы и аппараты пищевых производств. Основы гидравлики: Методические указания к изучению дисциплины и выполнению контрольных работ для студентов технологических специальностей заочной формы учебы / Составитель И.К. Мотуз. – К: УГУПТ, 2000.–28 с.

Целью изучения раздела «Основы гидравлики» дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств» является усвоение студентами понятий и законов гидравлики и гидравлических машин и применения данных законов во время изучения специальных дисциплин и в инженерных расчетах.

Ключевые слова: гидравлика, жидкость, статика, динамика, потери, трубопроводы, машины

Processes and vehicles of food productions. Bases of hydraulics: Methodical pointing to the study of discipline and implementation of control works for the students of technological specialties of extra-mural form of studies / Sostavitel' I.K. Motuz. – K: UGUFT, 2000.–28 p.

By the purpose of study of section of «Basis of hydraulics» of discipline «Processes and vehicles of food productions» there is mastering of concepts and laws of hydraulics and hydraulic machines and application of these laws students during the study of the special disciplines and in engineerings calculations.

Keywords: hydraulics, liquid, statics, dynamics, losses, pipelines, machines