МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
Подільський державний аграрно-технічний університет
Таврійський державний агротехнологічний університет

**В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур,
С.Л. Олексійко, Я.М. Михайлович Т.Д. Гуцол,
П.П. Краснолуцький, В.В. Чекменьов**

ГІДРАВЛІКА

Навчальний посібник для студентів агроінженерних вищих навчальних закладів напряму 6.100102 «Процеси, машини і обладнання агропромислового виробництва» на освітньо-кваліфікаційному рівні «Бакалавр»

Навчально-методичний комплекс дисципліни

Кам'янець-Подільський
ФОП Сисин О.В.
Абетка
2013

УДК 621.221(072)
ББК 40.7Я7
Г46

Допущено Міністерством аграрної політики України як навчальний посібник для студентів інженерних спеціальностей аграрних вищих навчальних закладів (лист №___ від _____)

Автори: ***Дуганець В.І.,*** кандидат технічних наук, доцент;
Бендера І.М., доктор педагогічних наук, професор;
Дідур В.А., доктор технічних наук, професор;
Олексійко С.Л., викладач;
Михайлович Я.М., кандидат технічних наук, професор;
Гуцол Т.Д., кандидат технічних наук, доцент;
Краснолуцький П.П., кандидат технічних наук, доцент;
Чекменьов В.В., кандидат технічних наук, доцент

За редакцією ***В.І. Дуганця, І.М. Бендери, В.А. Дідура.***

Рецензенти: ***Булгаков В.М.,*** доктор технічних наук, професор НУБіП, член-кореспондент НААН України;
Водяник І.І., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів Подільського державного аграрно-технічного університету;
Атаманчук П.С., доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри методики викладання фізики та дисциплін технологічної галузі Кам'янець-Подільського національного університету.

Г46 Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник. / В.І.Дуганець, І.М.Бендера, В.А. Дідур та ін. За ред. В.І. Дуганця, І.М.Бендери, В.А. Дідура. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В. 2013. – ___ с.
ISBN 978-617-539-131-0

Комплекс призначений для самостійного вивчення дисципліни в умовах кредитно-модульної організації навчального процесу студентами аграрних вищих навчальних закладів денної та заочної форми навчання напряму 6.100202 «Процеси, машини і обладнання агропромислового виробництва».

Навчально-методичний посібник містить навчально-методичний комплекс з дисципліни «Гідравліка», в який входять: навчальна програма з дисципліни; викладений лекційний матеріал, питання для самоконтролю та літературні джерела з кожної теми; інструктивні матеріали до лабораторних та практичних занять; тематика та індивідуальні завдання для самостійної роботи; завдання для контролю якості знань; список рекомендованої літератури і додатки.

Для студентів та науково-педагогічних працівників агроінженерних вищих навчальних закладів.

УДК 621.221(072)
ББК 40.7Я7

© В.І.Дуганець, І.М.Бендера,
В.А. Дідур, С.Л. Олексійко,
Т.Д. Гуцол, П.П. Краснолуцький,
В.В.Чекменьов

ISBN 978-617-539-131-0

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 5

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ 8

1.1. Загальні терміни та визначення 8

1.2. Специфічні терміни дисципліни «Гідравліка» 16

1.3. Нормативні документи 23

РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ 26

2.1. Нормативно-правова база організації навчального процесу 26

2.2. Форми організації навчання 27

2.3. Навчальний час студента 34

2.4. Робочий час викладача 36

2.5. Форми навчання 37

2.6. Науково-методичне забезпечення навчального процесу 38

РОЗДІЛ 3. ТИПОВА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ 39

3.1. Структура та характеристика навчальної дисципліни «Гідравліка» 40

3.2. Передмова 40

3.3. Теоретичні заняття 43

3.4. Орієнтовний перелік тем практичних занять 44

3.5. Орієнтовний перелік тем лабораторних занять 45

3.6. Самостійна робота студентів 45

3.7. ООрієнтовний перелік тем для самостійної роботи 46

3.8. Орієнтовний розподіл балів, що присвоюються студентам за модулями, змістовими модулями навчальної дисципліни 47

3.9. Критерії та шкала оцінювання знань і умінь студентів 48

РОЗДІЛ 4. ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС 51

4.1. Методичні рекомендації викладачам щодо проведення лекцій 51

4.1.1. Що повинен пам'ятати викладач, готуючись до лекції? 53

4.1.2. Що повинен пам'ятати викладач, працюючи над складанням опорного конспекту? 55

4.2. ЛЕКЦІЯ №1. Вступ. Загальні відомості 58

4.3. ЛЕКЦІЯ №2. Основні положення гідростатики 68

4.4. ЛЕКЦІЯ №3. Сили гідростатичного тиску на поверхні 84

4.5. ЛЕКЦІЯ №4. Основи гідродинаміки. Рівняння Бернуллі 100

4.6. ЛЕКЦІЯ №5. Основи теорії подібності 117

4.7. ЛЕКЦІЯ № 6. Основи руху реальної рідини. Опори і втрати напору при русі рідини 122

4.8. ЛЕКЦІЯ № 7. Витікання рідини з отворів і протікання через насадки 134

4.9. ЛЕКЦІЯ № 8. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів 145

4.10. ЛЕКЦІЯ № 9. Динамічні гідравлічні машини 160

4.11. ЛЕКЦІЯ № 10. Особливості сільськогосподарського водопостачання 179

4.12. ЛЕКЦІЯ № 11. Об'ємні гідравлічні машини 195

4.13. ЛЕКЦІЯ № 12. Комплексна гідрофікація сільськогосподарської техніки 213

4.14. ЛЕКЦІЯ № 13. Гідроенергетичні і вітроенергетичні установки 241

4.15. ЛЕКЦІЯ № 14. Зовнішні та внутрішні водопровідні мережі 267

4.16. ЛЕКЦІЯ № 15. Основи гідромеханізації 291

РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ 313

5.1. Методика проведення лабораторних занять 313

5.2. Методичні вказівки для проведення лабораторних занять 317

5.2.1. Лабораторне заняття № 1. Прилади для вимірювання тиску 317

5.2.2. Лабораторне заняття № 2. Дослідження режимів руху рідини 323

5.2.3. Лабораторне заняття № 3. Дослідження рівняння Бернуллі 330

5.2.4. Лабораторне заняття № 4. Дослідження втрат напору по довжині трубопроводу 336

5.2.5. Лабораторне заняття № 5. Дослідження втрат напору місцевих опорів ... 345
5.2.6. Лабораторне заняття № 6. Дослідження явища гідравлічного удару в напірному трубопроводі ... 353
5.2.7. Лабораторне заняття № 7. Визначення основних параметрів і побудова робочої характеристики відцентрового насоса ... 361
5.2.8. Лабораторне заняття № 8. Визначення загального ККД гідроприводу ... 371
РОЗДІЛ 6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ... 385
6.1. Методика проведення практичних занять ... 385
6.2. Методичні вказівки для проведення практичних занять ... 389
6.2.1. Практичне заняття № 1. Основні фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск ... 389
6.2.2. Практичне заняття № 2. Тиск на плоскі та криволінійні поверхні ... 405
6.2.3. Практичне заняття № 3. Закон Архімеда. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики ... 416
РОЗДІЛ 7. ДІАГНОСТИКА ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ ... 425
7.1. Методика проведення діагностики знань ... 425
7.2. Перелік програмних питань ... 427
7.3. Перелік тестових питань з визначення фахової компетенції ... 430
7.4. Варіанти тестових завдань ... 445
7.4.1. Варіант 1 ... 445
7.4.2. Варіант 2 ... 453
7.4.3. Варіант 3 ... 460
7.4.4. Варіант 4 ... 468
7.4.5. Варіант 5 ... 476
РОЗДІЛ 8. МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ... 486
8.1. Самостійна робота студентів очної форми навчання ... 486
8.2. Алгоритм виконання розрахункової роботи ... 488
8.2.1. Водопровідна мережа ... 488
8.2.2. Визначення витрати води ... 489
8.2.3. Гідравлічний розрахунок розподільного трубопроводу ... 490
8.2.4. Розрахунок водонапірної споруди ... 491
8.2.5. Вибір водопідіймального обладнання ... 493
8.2.5.1. Водонапір «СВЕРДЛОВИНА» ... 493
8.2.5.2. Водозабори «ШАХТНИЙ, РУСЛОВИЙ, БЕРЕГОВИЙ» ... 495
8.3. Приклад виконання розрахункової роботи ... 499
8.4. Самостійна робота студентів заочної форми навчання ... 514
8.4.1. Прилади для вимірювання тиску ... 515
8.4.2. Гідростатичні машини ... 519
8.4.3. Дія тиску на плоску стінку ... 522
8.4.4. Довгі трубопроводу. Паралельне і послідовне з'єднання труб. Сильфонний трубопровід. Гідравлічний удар. ... 525
8.4.5. Місцеві опори. Витікання рідини через отвори і наслідки ... 531
8.5. Приклад виконання контрольної роботи ... 538
ДОДАТКИ ... 549
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК ... 564
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК ... 565
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ... 567
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ ... 568

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Гідравліка» викладається для студентів напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» циклу нормативної підготовки із загальним обсягом 72 години (кількість кредитів ECTS – 3,6).

На аудиторні заняття відводиться 50 години (лекцій 16 лабораторних-16, практичних18, самостійна робота складає 22 години.

Форма підсумкового контролю – іспит.

Програмою дисципліни «Гідравліка» передбачено вивчення:

- основних фізичних властивостей рідин;
- дію тиску на плоскі і криволінійні поверхні;
- основних законів гідростатики та їх практичне використання;
- режимів руху рідини;
- основних законів гідродинаміки;
- визначення втрат напору в трубопроводах;
- розрахунок трубопроводів різного призначення;
- витікання рідини з отворів та насадок;
- явища гідравлічного удару;
- розрахунок водопровідних мереж населених пунктів та вибір водопіднімального обладнання;
- визначення основних параметрів відцентрових насосів;
- конструкції гідравлічних машин;
- основ сільськогосподарського водопостачання.

Мета дисципліни – отримати теоретичні знання в галузі гідравліки, гідромашин, сільськогосподарського водопостачання, та оволодіти методами розв'язування інженерних задач, пов'язаних із використанням і застосуванням рідин у різноманітних галузях сільського господарства.

Завдання дисципліни

Методичні: навчити студентів:

- користуватися навчально-методичною та науковою літературою для засвоєння теоретичних знань;
- розраховувати водопровідні мережі населених пунктів і вибирати технологічне обладнання для їх водопостачання;
- обґрунтовувати системи водопостачання населених пунктів.

Пізнавальні: надати студентам знання з:
- теоретичних основ гідростатики, гідродинаміки та водопостачання;
- будови та принципу дії гідравлічних машин для водопостачання.

Практичні: навчити студентів:
- розв'язувати інженерні задачі, які пов'язанні з використання і застосуванням рідин в різноманітних галузях сільського господарства;
- виконувати необхідні гідравлічні розрахунки водопровідних мереж для водопостачання сільськогосподарського виробництва;
- підбирати необхідне обладнання для забезпечення сільського господарства водою.

Після вивчення дисципліни студент **повинен знати**:
- основні фізико-хімічні властивості рідин;
- властивості гідростатичного тиску;
- дію гідростатичного тиску на плоскі та криволінійні поверхні;
- закон Архімеда, основи теорії плавання тіл, використання законів гідростатики;
- основні положення гідродинаміки, гідравлічні параметри потоку, рівняння нерозривності потоку;
- геометричний та енергетичний зміст рівняння Бернуллі, основи руху реальної рідини та втрати напору при русі;
- особливості витікання рідини через отвори та насадки;
- основні методи розрахунку напірних трубопроводів з послідовним та паралельним з'єднанням труб;
- будову та принцип дії гідравлічних машин;
- методи розрахунку гідравлічних систем сільськогосподарського водопостачання;
- шляхи поширення, основні джерела забруднень та правила охорони водних ресурсів.

повинен вміти:
- визначати основні фізичні властивості рідин;
- використовувати прилади для вимірювання тиску;
- розв'язувати практичні задачі, пов'язані з визначенням основних фізичних властивостей рідин;
- визначати режими руху рідини, число і критерії Рейнольдса;
- визначати втрати напору по довжині трубопроводу та місцеві втрати;
- використовувати рівняння Бернуллі для гідравлічних розрахунків;
- розраховувати короткі та довгі трубопроводи, тупикові та кільцеві водопровідні мережі;

- визначати гідравлічний удар в напірному трубопроводі;
- використовувати на практиці гідравлічні машини;
- визначати напір, подачу насосів, їх параметри при роботі на мережу;
- визначати схему водопровідної мережі;
- підібрати обладнання, яке забезпечує економне витрачання води.

Цей навчальний посібник написано згідно з програмою дисципліни «Гідравліка», що є складовою освітньо-професійної програми вищої освіти для підготовки бакалаврів в аграрних навчальних закладах III-IV рівнів акредитації напряму 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» Міністерства аграрної політики України.

Навчальний посібник включає передмову, 8 розділів, запитання для самоконтролю, список літератури, покажчик, іменний покажчик, перелік скорочень, додатки. Загальний обсяг посібника 572 сторінок, основний текст викладено на 572 сторінках. Роботу ілюстровано 43 таблицями, 221 рисунками, приведено 558 формул.

Автори із вдячністю сприймуть відгуки та пропозиції спеціалістів кафедр, де вивчається дисципліна «Гідравліка» з метою подальшого вдосконалення навчального посібника.

Розділ 1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

При складанні навчально-методичного комплексу і використання його у навчальному процесі випливають наступні загальні і специфічні терміни та визначення.

1.1. Загальні терміни та визначення

Виробнича функція (трудова, службова) – коло обов'язків, які виконує фахівець відповідно до займаної посади і які визначаються посадовою інструкцією або кваліфікаційною характеристикою.

Вища освіта – рівень освіти, який здобувається особою у вищому навчальному закладі в результаті послідовного, системного та цілеспрямованого процесу засвоєння змісту навчання, що ґрунтується на базовій загальній середній освіті та повній загальній середній освіті й завершується здобуттям особою певної академічної або (та) професійної кваліфікації за підсумками державної атестації в акредитованому закладі.

Вищий навчальний заклад (ВНЗ) – освітній, освітньо-науковий заклад, який заснований і діє відповідно до законодавства України про освіту, реалізує відповідно до наданої ліцензії освітньо-професійні програми вищої освіти за певними освітніми та освітньо-кваліфікаційними рівнями, забезпечує навчання, виховання та професійну підготовку громадян відповідно до їх покликання, інтересів, здібностей та нормативних вимог у галузі вищої освіти, а також здійснює наукову та науково-технічну діяльність.

Галузевий стандарт вищої освіти – сукупність норм, які визначають зміст вищої освіти, зміст навчання, засіб діагностики якості вищої освіти та нормативний термін навчання.

Галузеві стандарти вищої освіти є основою оцінювання освітнього та освітньо-кваліфікаційного рівня громадян незалежно від форм одержання вищої освіти. Відповідальність освітніх послуг галузевим стандартам вищої освіти визначає якість освітньої та наукової діяльності вищих навчальних закладів.

Галузь знань – група напрямів підготовки, споріднених за ознакою спільності узагальнених структур діяльності.

Державна атестація випускників вищих навчальних закладів – процедура встановлення відповідності рівня якості та професійної підготовки після завершення навчання з певного освітньо-кваліфікаційного рівня вимогам галузевих стандартів вищої освіти.

Діяльність (діяльність людини) – динамічна система взаємодій людини із всесвітом, де вона досягає свідомо поставлених цілей, що з'являються в наслідок виникнення у неї певних потреб. У процесі діяльності людина перетворює природу, роблячи тим самим із себе суб'єкт діяльності, а з явищ природи, якими вона оволоділа, об'єкти своєї діяльності.

професійні задачі діяльності – задачі, що безпосередньо спрямовані на виконання завдання (завдань), яке (які) поставлено(і) перед фахівцем як професіоналом;

соціально-виробничі задачі діяльності – задачі, що пов'язані з діяльністю фахівця у сфері виробничих відносин у трудовому колективі (наприклад, інтерактивне та комунікативне спілкування тощо);

соціально-побутові задачі діяльності – задачі, що виникають у повсякденному житті і пов'язані з домашнім господарством, відпочинком, родинним спілкуванням, фізичним і культурним розвитком тощо і можуть впливати на якість виконання фахівцем професійних та соціально-виробничих задач.

Екзамен – це форма підсумкового контролю засвоєння студентом теоретичного та практичного матеріалу з окремої навчальної дисципліни, що проводиться як контрольний захід.

Економічна діяльність – це процес поєднання дій, які призводять до отримання набору продукції чи послуг. Вид діяльності (вид економічної діяльності) має місце тоді, коли об'єднуються ресурси (устаткування, робоча сила, технологічні засоби, сировина та матеріали) для створення виробництва конкретної продукції та надання послуг. Таким чином, вид діяльності характеризується використанням ресурсів, виробничим процесом, випуском продукції та наданням послуг.

Індивідуальні навчальні заняття (ІНЗ) – вид навчальних занять, що проводяться з окремими студентами з метою підвищення рівня їх підготовки та розкриття індивідуальних творчих здібностей. ІНЗ організовуються за окремим графіком з урахуванням ІНПС і можуть складати частину або повний обсяг занять з однієї або декількох навчальних дисциплін. Види ІНЗ, їх обсяг, форми та методи поточного і підсумкового контролю (крім державної атестації) визначаються ІНПС.

Індивідуальний навчальний план студента (ІНПС) складається на підставі робочого навчального плану ВНЗ і включає всі нормативні навчальні дисципліни та частину вибіркових навчальних дисциплін, вибраних студентом з обов'язковим урахуванням структурно-логічної схеми підготовки. ІНПС складається на кожний навчальний рік і затверджується в порядку, встановленому ВНЗ. Вибіркові навчальні дис-

ципліни, введені ВНЗ в ОПП підготовки і включені до ІНПС, є обов'язковими для вивчення.

Задача технології як науки – виявлення фізичних, хімічних, біологічних, механічних та інших закономірностей з метою визначення та використання на практиці найбільш ефективних і економічних виробничих процесів.

Залік (диференційований залік) – це форма підсумкового контролю, що полягає в оцінюванні засвоєння студентом навчального матеріалу з певної дисципліни виключно на підставі результатів виконаних ним індивідуальних завдань (розрахункових, графічних тощо), певних видів робіт на практичних і лабораторних заняттях. Залік не передбачає обов'язкову присутність студента.

Заліковий кредит – це завершена, задокументована частина загального обсягу трудомісткості навчання студента, що складається з одного чи кількох модулів, виражена в академічних годинах і кредитах ECTS і підлягає обов'язковому оцінюванню та зарахуванню.

Здібність – особливості індивіда, що є суб'єктивними умовами успішного здійснення певного виду продуктивної діяльності. Здібності пов'язані із загальною спрямованістю особи, з її нахилом до тієї чи іншої діяльності.

Зміст лекційного курсу – теми і плани лекцій, рекомендована література.

Зміст навчання – структура, зміст і обсяг навчальної інформації, засвоєння якої забезпечує особі можливість здобуття вищої освіти і певної кваліфікації.

Зміст освіти – обумовлена цілями та потребами суспільства система знань, умінь і навичок, професійних, світоглядних і громадянських якостей особи, що формуються у процесі навчання з урахуванням перспектив розвитку суспільства, науки, техніки, технологій, культури та мистецтва.

Змістово-діяльнісна структура навчальної дисципліни – вивчення теми, відповідно тематичного планування дисципліни, передбачає лекційне, семінарське заняття та самостійну роботу, то це й повинно бути відображено у змістово-діяльнісній структурі. Відповідно до кожного виду заняття прогнозуються результати навчання: розуміти, знати, уміти.

Змістовий модуль – це система навчальних елементів, що поєднані за ознакою відповідності певному навчальному об'єктові. Залікові кредити включають один або кілька видів навчальної діяльності студента і можуть містити аудиторну та самостійну роботу, індивідуальні заняття та практики студента.

Кваліфікація – здатність особи виконувати завдання та обов'язки відповідної роботи. Кваліфікація вимагає певного освітньо-кваліфікаційного рівня. Кваліфікація визначається через назву професії.

Компетентність – необхідний обсяг і рівень знань та досвід у певному виді діяльності.

Контрольні заходи (КЗ) – це форми та методи оцінювання рівня відповідності сформованих знань та вмінь у студентів із зазначеними у відповідних галузевих стандартах (державна атестація) чи програмах навчальних дисциплін (поточна та підсумкова семестрова атестація).

Модуль – це завершена частина освітньо-професійної програми (навчальної дисципліни, практики, державної атестації), що реалізується відповідними видами навчальної діяльності студента (лекції, практичні, лабораторні, семінарські та індивідуальні заняття, самостійна робота, практики, контрольні заходи). Тобто, це частина загального обсягу навчальної інформації, споріднена за формами і видами навчальної та науково-дослідної діяльності студента. Модуль включає один або декілька змістових модулів.

Навичка – дії, що виконуються за здійснення певної діяльності, котрі завдяки численним повторенням стають автоматичними і виконуються без свідомого контролю.

Навчальна дисципліна – педагогічно адаптована система понять про явища, закономірності, закони, теорії, методи тощо будь-якої галузі діяльності (або сукупності різних галузей діяльності) із визначенням потрібного рівня сформованості у тих, хто навчається, певної сукупності умінь і навичок.

Навчальний процес – це система організаційних і дидактичних заходів, спрямованих на реалізацію змісту освіти на певному освітньому або кваліфікаційному рівні відповідно до державних стандартів освіти.

Навчальний план – це нормативний документ вищого навчального закладу, який складається на підставі ОПП та структурно-логічної схеми підготовки і визначає перелік та обсяг нормативних і вибіркових навчальних дисциплін, послідовність їх вивчення, конкретні форми проведення навчальних занять та їх обсяг, графік навчального процесу, форми та засоби проведення поточного та підсумкового контролю. Для конкретизації планування навчального процесу на кожний навчальний рік складається робочий навчальний план.

Навчально-методичний комплекс (НМК) – це певна, чітко визначена сукупність навчально-методичних документів, що являють собою модель освітнього процесу, яка згодом буде реалізована на практиці.

Напрям підготовки за професійним спрямуванням у вищій освіті – група спеціальностей із спорідненим змістом освіти та професійної підготовки.

Об'єкт діяльності – процеси, або (та) явища, або (та) матеріальні об'єкти, на які спрямована діяльність фахівця (наприклад, двигун внутрішнього згоряння, організаційно-економічна система, технологія галузі тощо).

Освітньо-професійна програма (ОПП) – це складова галузевих стандартів вищої освіти, що визначає нормативний термін та нормативну частину змісту навчання за певним напрямом або спеціальністю відповідного освітньо-кваліфікаційного рівня, встановлює вимоги до змісту, обсягу та рівня освіти й професійної підготовки фахівця. Тобто, це задокументовані структура, зміст і обсяг навчальної інформації у вигляді переліків змістових модулів (тем), блоків змістових модулів (розділів) та навчальних дисциплін, необхідних для формування у студентів професійних умінь для виконання посадових обов'язків відповідного фахівця.

Освітній рівень базової вищої освіти – характеристика сформованості інтелектуальних якостей особи, що визначають її розвиток як особистості і є достатніми для здобуття особою кваліфікації бакалавра.

Освітній рівень вищої освіти – характеристика вищої освіти за ознакою рівня сформованості якостей людини, що забезпечують її всебічний розвиток як особистості і достатніх для здобуття відповідної кваліфікації.

Освітній рівень повної вищої освіти – характеристика сформованості інтелектуальних якостей особи, що визначають її розвиток як особистості і є достатніми для здобуття особою кваліфікацій спеціаліста або магістра.

Освітньо-кваліфікаційний рівень вищої освіти – характеристика вищої освіти за ознаками ступеня сформованості знань, умінь та навичок особи, що забезпечують її здатність виконувати завдання та обов'язки (роботи) певного рівня професійної діяльності.

Освітньо-кваліфікаційна характеристика (ОКХ) – це складова галузевих стандартів вищої освіти, де відображені цілі вищої освіти та професійної підготовки, визначено місце фахівця в структурі галузей економіки держави і вимоги до його компетентності, інших соціально – важливих якостей, систему виробничих функцій і типових завдань діяльності й умінь для їх реалізації. Тобто, це перелік умінь і навичок, професійних, світоглядних і громадських якостей особи, які необхідно сформувати у студента для виконання ним посадових обов'язків відповідного фахівця.

Освітньо-професійна програма підготовки фахівця – державний нормативний документ, де узагальнюється зміст навчання, встановлюються вимоги до змісту, обсягу і рівня освіти та професійної підготовки фахівця за певною спеціальністю певного освітньо-кваліфікаційного рівня.

Первинна посада – посада, що не потребує від випускників навчального закладу попереднього досвіду професійної практичної діяльності.

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінки результатів навчання на певному освітньому (кваліфікаційному) рівні або на окремих його завершених етапах. Підсумковий контроль включає екзамени, заліки, модульну та державну атестацію.

Поточний контроль здійснюється під час практичних, лабораторних і семінарських занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Форма проведення поточного контролю під час навчальних занять і система оцінювання рівня знань визначаються відповідною кафедрою.

Програма навчальної дисципліни – це складова стандартів вищої освіти, в якій визначено місце і значення навчальної дисципліни, зміст та обсяг навчальної інформації, рівень сформованості вмінь та знань, перелік рекомендованої навчальної літератури, інших методичних та дидактичних матеріалів, критерії успішності навчання та засоби діагностики якості навчання. На підставі програми навчальної дисципліни та навчального плану вищим навчальним закладом складається робоча програма.

Пояснювальна записка – мета, завдання дисципліни, компетенції, яких має набути студент у результаті вивчення навчальної дисципліни.

Професія – здатність виконувати подібні роботи, що вимагають від особи певної кваліфікації. Професія вимагає визначеного кола знань та умінь.

Рівень професійної діяльності – характеристика професійної діяльності за ознаками опанування особою певної сукупності умінь та знань. У сфері праці розрізняють наступні рівні професійної діяльності:

- стереотипний рівень (рівень використання) – уміння використовувати налагоджену систему (об’єкт діяльності) у разі виконання певних задач діяльності та знання призначення об’єкта і його основних характеристик (властивостей);
- операторський рівень – уміння готувати (налагоджувати) систему і керувати нею під час виконання певних задач діяльності та знання принципу (основних особливостей) побудови і принципу дії системи на структурно-функціональному рівні;
- експлуатаційний рівень – уміння під час виконання певних задач діяльності тестувати та аналізувати роботу системи з метою ви-

явлення та усунення пошкоджень і знання методів аналізу функціонування системи та методів аналізу, пошуку та усунення пошкоджень;
- технологічний рівень – уміння під час виконання певних задач діяльності здійснювати розробку систем, що відповідають заданим характеристикам (властивостям), і знання методів синтезу та технологій розробки систем та способів їх моделювання;
- дослідницький рівень – уміння проводити дослідження систем з метою перевірки їх відповідності заданим властивостям, уміння обирати з множини систему, що дозволяє найбільш ефективно вирішувати задачі діяльності, знання методики дослідження систем та методів оцінювання ефективності їх застосування під час вирішення конкретних задач.

Робота – певні завдання та обов'язки, що виконані, виконуються чи повинні бути виконані однією особою.

Робоча програма навчальної дисципліни, яка включає: анотацію навчальної дисципліни, узгодження змісту навчальної інформації із забезпечуючими та забезпечуваними навчальними дисциплінами, структурно-логічну схему викладення змісту навчальної дисципліни, тематичний план, засоби для проведення поточного і підсумкового контролю, перелік навчально – методичної літератури.

Самостійна робота студента (СРС) – це форма навчального процесу у ВНЗ, що є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Навчальний час, відведений для СРС, регламентується ІНПС і повинен становити згідно вимог ECTS разом з ІНЗ не менше 50% загального обсягу трудомісткості навчання з дисципліни.

Система – цілісний об'єкт, що складається з ряду взаємозв'язаних елементів.

Спеціальність – категорія, що характеризує:
- у сфері освіти – спрямованість і зміст навчання під час підготовки фахівця (визначається через об'єкт діяльності або функцію та предмет діяльності фахівця і відображає, насамперед, вид його діяльності і сферу застосування його праці);
- у сфері праці – особливості спрямованості і специфіку роботи у межах професії (зміст задач професійної діяльності, що відповідають кваліфікації).

Навчання за спеціальністю освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр передбачає вивчення узагальненого об'єкта діяльності фахівця, виробничих функцій та типових складових структури професійної діяльності таких, що задовольняють вимоги сфери праці до спеціальності.

Спеціалізація за спеціальністю – категорія, що характеризує відміни окремих задач діяльності фахівця за ознаками різниці засобів, або (та) продуктів, або (та) умов діяльності в межах спеціальності. Ці окремі задачі характерні для відносно невеликих груп фахівців у межах спеціальності.

Технологія (від грецьк. techne майстерність, мистецтво, уміння) – сукупність методів обробки зміни властивостей, стану і форм об'єкту, що здійснюється в процесі виробництва продукції.

Типова задача діяльності – узагальнена задача діяльності, що є характерною для більшості виробничих або соціальних ситуацій і не містить конкретних даних, а отже, не має конкретного розв'язку (можуть бути визначені тільки шляхи вирішення).

Уміння – здатність людини виконувати певні дії під час здійснення тієї чи іншої діяльності на основі відповідних знань.

Уміння поділяються за видами:

- предметно-практичні – уміння виконувати дії щодо переміщення об'єктів у просторі, зміни їх форми тощо. Головну роль у регулюванні предметно-практичних дій виконують образи, що відображають просторові, фізичні та інші властивості предметів і забезпечують керування робочими рухами відповідно до властивостей об'єкта та завдань діяльності.
- предметно-розумові – уміння щодо виконання операцій з розумовими образами предметів. Ці дії вимагають розвиненої системи уявлень і здатність до розумових дій (наприклад, аналіз, класифікація, узагальнення, порівняння тощо).
- знаково-практичні – уміння щодо виконання операцій зі знаками та знаковими системами. Прикладами цих дій є письмо, прокладання курсу на карті, одержання інформації від пристроїв тощо.
- знаково-розумові – уміння щодо розумового виконання операцій зі знаками та знаковими системами. Наприклад, дії, що є необхідні для виконання логічних та розрахункових операцій. Ці дії дозволяють вирішувати широке коло задач в узагальненому вигляді.

Фахівець освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр – особа, яка на основі повної загальної середньої освіти здобула базову вищу освіту, фундаментальні та спеціальні уміння та знання щодо узагальненого об'єкта діяльності (праці), достатні для виконання завдань та обов'язків (робіт) певного рівня професійної діяльності, що передбачені для первинних посад у певній галузі економічної діяльності. Бакалавр має освітній рівень базова вища освіта і призначений для вико-

нання обмеженої кількості виробничих функцій, що пов'язані з циклом існування об'єкта його діяльності. Задачі діяльності, які вирішує бакалавр, припускають діяльність відповідно до загального алгоритму, що містить процедуру часткового конструювання відповідних операцій.

Якість вищої освіти – це сукупність якостей особи з вищою освітою, що відображає її професійну компетентність, ціннісну орієнтацію, соціальну спрямованість й обумовлює здатність задовольняти як особисті духовні і матеріальні потреби суспільства. Якість вищої освіти випускників навчального закладу також відображає придатність:

- задовольняти відповідно до соціальних норм суспільні вимоги до виконання майбутніх соціально-професійних ролей;
- відповідати за свої соціально важливі рішення;
- задовольняти намагання до соціального статусу та престижу.

Якість навчання – ступінь відповідності знань і умінь випускників навчальних закладів раніш узгодженим вимогам, що забезпечують його конкурентно-спроможність на ринку праці.

Якість освітньої діяльності – сукупність характеристик системи вищої освіти та її складових, яка визначає її здатність задовольняти встановленні й передбачені потреби окремої особи або (та) суспільства.

Якість особистості випускника вищого навчального закладу – цілісна сукупність елементів внутрішньої структури особистості, що визначає зміст соціально значущих і професійно важливих властивостей випускника вищого навчального закладу.

1.2. Специфічні терміни дисципліни «Гідравліка»

Абсолютний тиск – це тиск, який відраховується від нульового значення тиску.

Атмосферний тиск – це той тиск, який діє на всі предмети, на нас, тобто та атмосфера, яка нас оточує, в залежності від природного стану, він може мати різне значення в межах допустимих величин.

Барометр – прилад для вимірювання атмосферного тиску.

Вакуумметричний тиск – це тиск, менший за атмосферний.

Вакуумметр – прилад для вимірювання вакуумметричного тиску.

Ватерлінія – це лінія перетину вільної поверхні рідини з боковою поверхнею плаваючого тіла.

Великим отвором називається отвір, вертикальний розмір якого більше 0,1 напору на отворі H.

Висота усмоктування – це висотне розташування осі насоса по відношенню до відмітки динамічного рівня рідини в її джерелі.

Витрата рідини – це об’єм рідини, яка протікає через живий переріз потоку за одиницю часу.

Вихрові насоси – це динамічні насоси тертя, в яких рідина переміщується завдяки силам тертя.

Відносна шорсткість – це відношення розрахункової висоти виступів шорсткості Δ до одного з лінійних параметрів русла: радіуса труби, діаметра труби чи гідравлічного радіуса.

Відцентрові насоси – це динамічні лопатеві насоси, які працюють на принципі використання відцентрової сили і в яких робочим органом є робоче колесо.

Вітродвигуни – це пристрої, призначені для перетворення енергії вітру на механічну енергію.

Вітроколесо – це основний робочий орган, який сприймає енергію потоку вітру і перетворює її на обертову енергію.

Водний кадастр – це систематизована сукупність відомостей про водні ресурси країни.

Водні ресурси – це запаси поверхневих і підземних вод певної території.

Водозабірні вузли – це гідротехнічні споруди, призначені для забирання води з джерела водопостачання.

Водозабірні свердловини – це вертикальні циліндричні гірничі виробки в земній корі відносно малого діаметра і великої глибини.

Водопропускні споруди – це споруди, через які пропускається зайва вода або спорожнюються водосховища.

В’язкість – властивість рідини чинити опір дотичним зусиллям, або чинити опір відносному зсуву часток (ковзанню одного шару відносно іншого).

Геометричним нахилом являється опускання лінії дна каналу на одиницю довжини.

Гідравліка – наука, в якій вивчаються закони рівноваги та руху рідин і методи застосування цих законів в інженерній практиці.

Гідравлічний радіус – це відношення площі живого перерізу ω до змоченого периметра χ.

Гідравлічний удар — це різке збільшення або зменшення тиску в напірних трубопроводах внаслідок різкого перекриття або відкриття їх, що викликає різке збільшення або зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі.

Гідравлічним нахилом називається опускання лінії повної питомої енергії, або напірної лінії, на одиницю довжини.

Гідравлічні опори – це будь-які перешкоди на шляху руху рідин, що викликають деформацію потоку у вигляді зміни швидкості руху за величиною чи напрямком або за величиною і напрямком одночасно.

Гідравлічні струмини – це потоки рідини, не обмежені твердими стінками.

Гідравлічно довгі трубопроводи – це трубопроводи, в яких переважають втрати напору по довжині, а місцеві втрати складають 5…10% від загальних втрат напору.

Гідравлічно короткі трубопроводи – це трубопроводи, в яких місцеві втрати напору приблизно однакові з втратами напору по довжині.

Гідровузол – це комплекс гідротехнічних споруд, об'єднаних за своїм розташуванням і призначенням.

Гідродинаміка – розділ гідравліки, в якому вивчаються закони руху рідин і методи використання цих законів при розв'язанні інженерних задач.

Гідродинамічною передачею називають сукупність механізмів і систем, що передають механічну енергію від двигуна до споживача за допомогою потоку рідини.

Гідроелектростанція (ГЕС) – це комплекс гідротехнічних споруд і обладнання для перетворення енергії води на електричну.

Гідропневмотранспорт – це комплекс пристроїв і устаткування, призначених для переміщення продуктів сільськогосподарського виробництва і матеріалів за допомогою рідини (у рідкому стані) або повітря (у сухому стані).

Гідростатика – це розділ гідравліки, в якому вивчається рівновага (спокій) рідин і розглядаються методи застосування законів, що описують рівновагу рідин, в інженерній практиці.

Гідростатичний тиск – це стискуюче напруження, що виникає всередині рідини, яка знаходиться в стані рівноваги.

Гідротурбіни – це гідравлічні двигуни, які перетворюють енергію води, що рухається, на механічну обертову енергію.

Гідроциліндри – це об'ємний гідродвигун зі зворотно-поступальним рухом вихідної ланки.

Греблі – це гідротехнічні споруди, які перегороджують русло й заплаву річки чи інших водотоків з метою утворення водосховища або підняття рівня води для створення її напору.

Густина – це маса рідини в одиниці її об'єму.

Динамічні насоси – це насоси, в яких рідина переміщується під дією на неї сили в камері, яка постійно сполучається із входом і виходом насоса.

Досконале стиснення струмини буде, коли бокові стінки і дно резервуара не впливають на витікання рідини, тобто отвір розташований від них на відстані l, більшій за потроєний вертикальний розмір отвору A (l > 3A).

Дощування – це спосіб поливу, при якому зрошувальна вода розосереджується по полю у вигляді штучного дощу.

Дроселі – це гідравлічні опори з постійним чи регульованим прохідним перерізом.

Еквівалентна шорсткість – це така рівномірно розміщена по поверхні й рівнозерниста шорсткість, втрати напору при якій дорівнюють втратам напору при дійсній шорсткості – нерівномірній і нерівномірнозернистій

Елементарна струминка – це миттєвий рухомий об'єм у неусталеному русі(коли швидкість і тиск залежать від розміщення в просторі і часу), а в усталеному(коли швидкість і тиск залежать від розміщення в просторі) його можна розглядати як застигла форма потоку дуже малих розмірів.

Епюри гідростатичного тиску – це графічне зображення розподілу гідростатичного тиску по довжині контуру тіла, на яке він діє.

Живий переріз – це площа перерізу потоку, перпендикулярна до загальної поздовжньої його течії.

Закон Архімеда формулюється так: на занурене в рідину тіло діє виштовхувальна сила $P_в$, напрямлена знизу вгору, яка дорівнює вазі рідини, витисненої тілом.

Закон Паскаля, формулюється так: всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.

Занурювальні насоси – це багатоступінчасті секційні вертикальні відцентрові насоси.

Затоплені струмини – це струмини, які рухаються в рідинному середовищі, однорідному з рідиною струмини.

Змочений периметр – це та частина периметра живого перерізу потоку, на якій рідина торкається твердих стінок.

Зрошення сільськогосподарських культур – це штучне поповнення недостачі природної вологи в ґрунтах для забезпечення високих і сталих врожаїв сільськогосподарських культур.

Зрошувальна система – це водогосподарське підприємство, яке складається з водозабірної споруди, магістральних і внутрішньогосподарських каналів чи трубопроводів, гідротехнічних споруд, насосних станцій, водорозподільної мережі, засобів поливу сільськогосподарсь-

ких культур та експлуатаційних дільниць з експлуатаційним персоналом на чолі з управлінням зрошувальної системи.

Ідеальна рідина – це рідина, що вважається нестисливою й не може розширюватися, у ній абсолютно відсутня в'язкість.

Кавітація – це порушення суцільності потоку рідини, яке відбувається внаслідок зниження тиску в насосі до критичного значення.

Канали – це штучні русла, які належать до відкритих русел, тобто на вільній поверхні в них діє атмосферний тиск, а тому рух рідини в каналах безнапірний.

Капілярність – здатність рідини підніматися або опускатися в трубках малого діаметра (капілярах), під дією додаткового тиску, спричиненого поверхневим натягом.

Кільцеві трубопроводи – це трубопроводи, в яких рідина в кожну точку подається з декількох напрямків, що забезпечує підвищену надійність їхньої роботи в порівнянні з тупиковими.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса – це величина співвідношення корисної і споживаної потужностей.

Корисна потужність – це робота, яку виконує насос за секунду при переміщенні одного кубічного метра рідини на шляху, що дорівнює висоті стовпа, на який піднімається рідина.

Краплинне зрошення – це спосіб поливу, при якому вода невеликими дозами подається безпосередньо до кореневищної системи рослин із наземних трубопроводів за допомогою гнучких поливних трубок (краплинних стрічок) через отвори (крапельниці) улаштовані в них.

Ламінарний (від лат. lamina – шар) – рідина рухається окремими шарами (струминками) без перемішування.

Магістральні канали – це відкриті штучні русла (водоводи) з трапецеїдальною формою поперечного перерізу, призначені для транспортування води від джерела до місць її відбору безпосередньо на зрошення.

Мановакуумметр – прилад для вимірювання манометричного і вакуумметричного тиску.

Манометр – прилад для вимірювання надлишкового тиску;

Масові сили – це сили, які діють на кожну частку рідини, тобто сили, розосереджені по всій масі рідини. Їх ще називають об'ємними силами.

Метрологія (від грец. metron – міра і logos – наука) – наука про вимірювання.

Міжпластові води – це води, які залягають у водоносному пласту, який у свою чергу розташований між водотривними пластами

Надлишковий – це тиск, більший за атмосферний, часто називають **манометричним**.

Напір насоса – це приріст енергії потоку, віднесеної до одиниці ваги рідини, яка проходить через робочий орган насоса.

Насадком називається коротка труба довжиною l = (2…5)d, втратами напору якої по довжині нехтують.

Насоси – це гідравлічні машини, призначені для створення потоку рідинного середовища.

Насосною станцією називається комплекс гідротехнічних споруд і обладнання, призначений для забирання води із джерела і подачі її в напірний резервуар або в розподільчу мережу.

Нев'язкою рідиною або ідеальною називається умовна рідина, яку вважають такою, що зовсім не стискається і не розширяється і в якій цілком відсутні сили тертя.

Незатоплені струмини – це струмини, які рухаються в повітряному (газовому) середовищі.

Несталий рух – це такий рух рідини, при якому в будь-якій точці потоку швидкість і тиск з плином часу змінюються.

Норма водоспоживання – це середня кількість води, яка використовується одним споживачем за добу або витрачається на одиницю продукції, що виробляється.

Об'ємний двигун – це гідравлічна машина, призначена для перетворення енергії потоку робочої рідини на енергію руху вихідної ланки.

Об'ємний насос – це гідравлічна машина, призначена для перетворення механічної енергії руху на гідравлічну енергію потоку робочої рідини.

Об'ємні насоси – це насоси, в яких рідина переміщується завдяки періодичній зміні об'єму камери, яку займає рідина і яка поперемінно з'єднується з входом і виходом насоса.

Об'ємне розширення – здатність рідини змінювати свій об'єм в залежності від температури.

Основна магістраль – це лінія, яка з'єднує початкову точку мережі з тією точкою, в яку найважче подати рідину, тобто з **диктуючою** точкою.

Остійність – це здатність тіла що плаває відновлювати положення рівноваги після припинення дії сил, які вивели його зі стану рівноваги.

Осушувальна система – це територія, обладнана комплексом інженерних споруд і пристроїв, які забезпечують необхідні умови для покращення водного режиму перезволожених земель.

Осьові насоси – це динамічні лопатеві насоси, в яких рідина рухається вздовж осі робочого колеса.

Отвір вважається **затопленим**, якщо витікання відбувається не в атмосферу, а під рівень рідини.

Отвір вважається **незатопленим**, якщо витікання рідини відбувається в атмосферу.

Отвір називається **малим**, якщо його вертикальний розмір менше або дорівнює 0,1 напору на отворі Н.

П'єзометри – це рідинні прилади, які складаються зі скляної відкритої трубки діаметром не менше 10 мм зі шкалою.

П'єзометричним нахилом, або нахилом п'єзометричної лінії, називається опускання п'єзометричної лінії на одиницю довжини.

Паралельно з'єднані трубопроводи – це трубопроводи, які в певній точці розгалужуються на дві або більше гілок, а в наступній точці об'єднуються в один трубопровід

Питома (об'ємна) **вага** – це відношення ваги рідини до її об'єму.

Плавучість – це здатністю тіла зберігати положення рівноваги по відношенню до вільної поверхні рідини.

Поверхневі сили – це сили, прикладені до поверхні, яка обмежує рідину, або до поверхні, проведеної довільно всередині рідини.

Подача насоса – об'єм або маса рідини, яку насос подає за одиницю часу.

Поливна норма – це кількість зрошувальної води, яка подається на один зрошуваний гектар за один полив.

Послідовно з'єднані трубопроводи – це трубопроводи, в яких до кінця попередньої ділянки приєднується початок наступної ділянки.

Режим зрошення – це строки і норми поливів сільськогосподарських культур.

Режим осушення – це норми і строки проведення заходів, спрямованих на підтримку оптимального водно-повітряного стану ґрунтів.

Резервуари – це споруди, призначені для зберігання господарських, протипожежних, технологічних і аварійних запасів води.

Рідиною називається фізичне тіло, яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму.

Робочі характеристики насосів – це графічне зображення залежностей напору, потужності і ККД від подачі насоса.

Розімкнуті (тупикові) трубопроводи – це трубопроводи, в яких рідина в кожну точку подається з одного напрямку.

Русло потоку – це тверда поверхня, яка обмежує потік рідини.

Середня швидкість руху рідини – це фіктивна швидкість, з якою всі частинки рідини рухаються так, що кількість рідини, яка протікає через живий переріз, що розглядається, дорівнює дійсній кількості рідини, яка протікає через той же переріз при дійсних швидкостях руху.

Сила гідростатичного тиску – це інтегруюча величина, тобто тиск підсумовується за площею поверхні, на яку він діє.

Системою водопостачання називається комплекс споруд для отримання (добування) води з природних джерел, її очистки (у випадку необхідності), транспортування й розподілу між споживачами.

Сільськогосподарське водопостачання – це забезпечення водою в необхідній кількості та необхідної якості сільських споживачів.

Сталий рух – це такий рух рідини, при якому в будь-якій точці потоку швидкість і тиск з плином часу не змінюються

Стисливість – здатність рідини змінювати свій об'єм під дією сили тиску.

Стиснення буде **недосконалим**, коли одна або декілька бокових стінок резервуара будуть віддалені від отвору на відстань, меншу за потроєний вертикальний розмір отвору ($l < 3A$).

Стиснення струмини може бути **повним** (по всьому периметру) і **неповним**, якщо отвір частиною периметра співпадає з боковими стінками або дном резервуара.

Струминні насоси – це динамічні насоси, в яких рідина переміщується завдяки використанню кінетичної енергії струмини робочої краплинної рідини, газу чи пари.

Турбулентний (від лат. turbulentus – безладний) – рідина рухається з перемішуванням частинок рідини, струминність потоку порушується.

Фільтром називають пристрій, в якому рідина піддається очищенню від твердих і в'язких забруднюючих домішок, що потрапляють у гідросистему.

Центр тиску – це точка прикладання сили тиску.

Шахтний колодязь – це також (як і свердловина) вертикальна циліндрична чи квадратна гірнича виробка в земній корі, але відносно великого поперечного розміру й невеликої глибини – до 30…40 м.

1.3. Нормативні документи

Основними нормативними документам для підготовки фахівців у вищих навчальних закладах є освітньо-кваліфікаційні характеристики та освітньо-професійні програми. На їх основі у вищих навчальних закладах складаються всі регламентуючі документи за видами освітянської діяльності. При цьому враховуються вимоги загальноосвітніх інструктивних документів, а саме:

1. Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах (Затверджено наказом Міністерства освіти України від 2 червня 1993 р. № 161. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 листопада 1993 р. за № 173).
2. Положення про проведення практики студентів вищих навчальних закладів України (Затверджено наказом Міністерства освіти України від 8 квітня 1993 р. № 93 із змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства освіти від 20 грудня 1994 р. № 351).
3. Класифікатор професій ДК 003:2010 – Наказ Держспоживстандарту України 28.07.2010 № 327 К.: Соцінформ, 2010. – 315с.
4. Довідник кваліфікаційних характеристик працівників. Центр продуктивності Міністерства праці та соціальної політики України.
5. ОКХ і ОПП на освітньо-кваліфікаційному рівні «Бакалавр», «Спеціаліст», «Магістр».
6. Закон України про освіту (витяг).
7. Закон України про вищу освіту. Положення про освітньо-кваліфікаційні рівні (ступеневу освіту) (витяг) (Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 січня 1998 р. № 65).
8. Положення про підготовку фахівців для роботи в сільській місцевості (витяг) (Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29 червня 1999 р. № 1159).
9. Положення про державний вищий навчальний заклад (Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 5 вересня 1996 р. № 1074).
10. Примірний статут вищого навчального закладу (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 5 лютого 2003 р. № 60).
11. Програма проведення педагогічного експерименту щодо впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу у вищих навчальних закладах III і IV рівнів акредитації (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23 січня 2004 р. № 48).
12. Тимчасове положення про організацію навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23 січня 2004 р. № 48).
13. Про впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу (витяг) (Наказ Міністерства освіти і науки України від 30 грудня 2005 р. № 774).

14. Програма дій щодо реалізації положень Болонської декларації в системі вищої освіти і науки України (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23 січня 2004 р. № 49).
15. Заходи щодо реалізації положень Болонської декларації системі вищої освіти і науки України (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23 січня 2004 р. № 49).
16. Петренко В.Л. Комплекс нормативних документів для розробки складових стандартів вищої освіти (додаток 1 до наказу МОН України від 31.07.98 № 285 зі змінами та доповненнями, що введені розпорядженням МОН України від 5.03.2001 № 28-Р) // Інформ. вісник «Вища освіта». – 2003. – № 10. – С. 5-71.
17. Роберт Вагенаар (Комітет погоджувального менеджменту). Європейська система перезарахування кредитів ECTS: Довідник для користувачів ECTS // Інтернет джерело. – 1998. – 72 с.
18. Вища освіта України і Болонський процес: Навчальний посібник / За ред. В.Г. Кременя. Авторський колектив: М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, В.Д. Шинкарук, В.В. Грубінко, І.І. Бабин. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2004. – 384 с.

Література до розділу

1. Збірник нормативно-правових документів з питань вищої освіти / Уклад. Т.Д. Іщенко, Н.А. Демешкант, Л.Л. Білан, М.П. Хоменко. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 365 с.
2. Методичні рекомендації щодо впровадження в аграрних ВНЗ України III-IV рівнів акредитації окремих нормативних і навчально-методичних матеріалів з кредитно-модульної системи організації навчального процесу. – К.: Аграрна освіта, 2005. – 56 с.
3. Російсько-українсько-польський словник з гідравліки, сантехніки та механіки рідин і газів / Уклад. Н. Лещій, С. Шнерх. – Львів: Еко-інформ, 2002. – 326 с.
4. Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.) / Уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. – К.: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2005. – 1728 с.
5. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали:
6. В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 2009. – 1011 с. – (Словники України).

Розділ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

2.1. Нормативно-правова база організації навчального процесу

1. Організація навчального процесу здійснюється навчальними підрозділами вищого навчального закладу (факультетами, кафедрами, відділеннями, предметними або цикловими комісіями тощо). Основним нормативним документом, що визначає організацію навчального процесу в конкретному напрямку освітньої або кваліфікаційної підготовки, є навчальний план.

Навчальний план – це нормативний документ вищого навчального закладу, який складається на підставі освітньо-професійної програми та структурно-логічної схеми підготовки і визначає перелік та обсяг нормативних і вибіркових навчальних дисциплін, послідовність їх вивчення, конкретні форми проведення навчальних занять та їх обсяг, графік навчального процесу, форми та засоби проведення поточного і підсумкового контролю.

Навчальний план затверджується керівником вищого навчального закладу.

Для конкретизації планування навчального процесу на кожний навчальний рік складається робочий навчальний план.

Нормативні навчальні дисципліни встановлюються державним стандартом освіти. Дотримання їх назв та обсягів є обов'язковим для навчального закладу.

Вибіркові навчальні дисципліни встановлюються вищим навчальним закладом. Вибіркові навчальні дисципліни вводяться для задоволення освітніх і кваліфікаційних потреб особи, ефективного використання можливостей і традицій конкретного навчального закладу, регіональних потреб тощо.

Місце і значення навчальної дисципліни, її загальний зміст та вимоги до знань і вмінь визначаються навчальною програмою дисципліни.

Навчальна програма нормативної дисципліни є складовою державного стандарту освіти. Навчальна програма вибіркової дисципліни розробляється вищим навчальним закладом.

2. Для кожної навчальної дисципліни, яка входить до освітньо-професійної програми підготовки, на підставі навчальної програми дисципліни та навчального плану вищим навчальним закладом склада-

ється робоча навчальна програма дисципліни, яка є нормативним документом вищого навчального закладу.

Робоча навчальна програма дисципліни містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Структурні складові робочої навчальної програми дисципліни:

- тематичний план;
- засоби для проведення поточного та підсумкового контролю;
- перелік навчально-методичної літератури.

3. Навчання студента здійснюється за індивідуальним навчальним планом.

Індивідуальний навчальний план студента складається на підставі робочого навчального плану і включає всі нормативні навчальні дисципліни та частину вибіркових навчальних дисциплін, вибраних студентом з обов'язковим урахуванням структурно-логічної схеми підготовки. Індивідуальний навчальний план складається на кожний навчальний рік і затверджується в порядку, встановленому вищим навчальним закладом.

Вибіркові навчальні дисципліни, введені вищим навчальним закладом в освітньо-професійну програму підготовки і включені до індивідуального навчального плану студента, є обов'язковими для вивчення.

4. Вищий навчальний заклад надає студентам можливість користування навчальними приміщеннями, бібліотеками, навчальною, навчально-методичною і науковою літературою, обладнанням, устаткуванням та іншими засобами навчання на умовах, визначених правилами внутрішнього розпорядку.

5. За відповідність рівня підготовки студента до вимог державних стандартів освіти відповідає керівник навчального структурного підрозділу (факультету, відділення, кафедри, предметної або циклової комісії тощо).

За виконання індивідуального навчального плану відповідає студент.

2.2. Форми організації навчання

1. Навчальний процес у вищих навчальних закладах здійснюється у таких формах: навчальні заняття, виконання індивідуальних завдань, самостійна робота студентів, практична підготовка, контрольні заходи.

2. Основні види навчальних занять у вищих навчальних закладах:

- лекція;
- лабораторне, практичне, семінарське, індивідуальне заняття;
- консультація.

Інші види навчальних занять визначаються у порядку, встановленому вищим навчальним закладом.

3. Лекція.

3.1. Лекція – основна форма проведення навчальних занять у вищому навчальному закладі, призначених для засвоєння теоретичного матеріалу.

Як правило, лекція є елементом курсу лекцій, який охоплює основний теоретичний матеріал окремої або кількох тем навчальної дисципліни.

Тематика курсу лекцій визначається робочою навчальною програмою.

Можливе читання окремих лекцій з проблем, які стосуються даної навчальної дисципліни, але не охоплені навчальною програмою. Такі лекції проводяться провідними вченими або спеціалістами для студентів та працівників вищих навчальних закладів в окремо відведений час.

Лекції проводяться лекторами – професорами і доцентами (викладачами) вищого навчального закладу, а також провідними науковцями або спеціалістами, запрошеними для читання лекцій.

Лекції проводяться у відповідно обладнаних приміщеннях – аудиторіях для однієї або більше академічних груп студентів.

3.2. Лектор, якому доручено читати курс лекцій, зобов'язаний перед початком відповідного семестру подати на кафедру (предметну або циклову комісію) складений ним конспект лекцій (авторський підручник, навчальний посібник), контрольні завдання для проведення підсумкового контролю, передбаченого навчальним планом і програмою для даної навчальної дисципліни.

Лектор, який вперше претендує на читання курсу лекцій, може бути зобов'язаний завідувачем кафедри (головою предметної або циклової комісії) до проведення пробних лекцій з участю викладачів та наукових співробітників кафедри.

Лектор зобов'язаний дотримуватися навчальної програми щодо тем лекційних занять, але не обмежується в питаннях трактування навчального матеріалу, формах і засобах доведення його до студентів.

4. Лабораторне заняття.

4.1. Лабораторне заняття – форма навчального заняття, при якому студент під керівництвом викладача особисто проводить натурні або імітаційні експерименти чи досліди з метою практичного підтвердження окремих теоретичних положень даної навчальної дисципліни, набуває практичних навичок роботи з лабораторним устаткуванням, обладнанням, обчислювальною технікою, вимірювальною апаратурою, методикою експериментальних досліджень у конкретній предметній галузі.

Лабораторні заняття проводяться у спеціально обладнаних навчальних лабораторіях з використанням устаткування, пристосованого до умов навчального процесу (лабораторні макети, установки тощо). В окремих випадках лабораторні заняття можуть проводитися в умовах реального професійного середовища (наприклад, у школі, на виробництві, в наукових лабораторіях). Лабораторне заняття проводиться з студентами, кількість яких не перевищує половини академічної групи.

Перелік тем лабораторних занять визначається робочою навчальною програмою дисципліни. Заміна лабораторних занять іншими видами навчальних занять, як правило, не дозволяється.

4.2. Лабораторне заняття включає проведення поточного контролю підготовленості студентів до виконання конкретної лабораторної роботи, виконання завдань теми заняття, оформлення індивідуального звіту з виконаної роботи та його захист перед викладачем.

Виконання лабораторної роботи оцінюється викладачем. Підсумкова оцінка виставляється в журналі обліку виконання лабораторних робіт. Підсумкові оцінки, отримані студентом за виконання лабораторних робіт, враховуються при виставленні семестрової підсумкової оцінки з даної навчальної дисципліни.

5. Практичне заняття.

5.1. Практичне заняття – форма навчального заняття, при якій викладач організує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентом відповідно сформульованих завдань.

Практичні заняття проводяться в аудиторіях або в навчальних лабораторіях, оснащених необхідними технічними засобами навчання, обчислювальною технікою. Практичне заняття проводиться з студентами, кількість яких не перевищує половини академічної групи.

Перелік тем практичних занять визначається робочою навчальною програмою дисципліни. Проведення практичного заняття ґрунтується на попередньо підготовленому методичному матеріалі – тестах для виявлення ступеня оволодіння студентами необхідними теоретичними положеннями, наборі завдань різної складності для розв’язування їх студентами на занятті.

Вказані методичні засоби готуються викладачем, якому доручено проведення практичних занять, за погодженням з лектором даної навчальної дисципліни.

5.2. Практичне заняття включає проведення попереднього контролю знань, умінь і навичок студентів, постановку загальної проблеми

викладачем та її обговорення за участю студентів, розв'язування завдань з їх обговоренням, розв'язування контрольних завдань, їх перевірку, оцінювання.

Оцінки, отримані студентом за окремі практичні заняття, враховуються при виставленні підсумкової оцінки з даної навчальної дисципліни.

6. Семінарське заняття.

6.1. Семінарське заняття – форма навчального заняття, при якій викладач організує дискусію навколо попередньо визначених тем, до котрих студенти готують тези виступів на підставі індивідуально виконаних завдань (рефератів).

Семінарські заняття проводяться в аудиторіях або в навчальних кабінетах з однією академічною групою.

Перелік тем семінарських занять визначається робочою навчальною програмою дисципліни.

6.2. На кожному семінарському занятті викладач оцінює підготовлені студентами реферати, їх виступи, активність у дискусії, уміння формулювати і відстоювати свою позицію тощо.

Підсумкові оцінки за кожне семінарське заняття вносяться у відповідний журнал.

Отримані студентом оцінки за окремі семінарські заняття враховуються при виставленні підсумкової оцінки з даної навчальної дисципліни.

7. Індивідуальне заняття.

7.1. Індивідуальне навчальне заняття проводиться з окремими студентами з метою підвищення рівня їх підготовки та розкриття індивідуальних творчих здібностей.

Індивідуальні навчальні заняття організуються за окремим графіком з урахуванням індивідуального навчального плану студента і можуть охоплювати частину або повний обсяг занять з однієї або декількох навчальних дисциплін, а в окремих випадках – повний обсяг навчальних занять для конкретного освітнього або кваліфікаційного рівня.

Види індивідуальних навчальних занять, їх обсяг, форми та методи проведення, форми та методи поточного і підсумкового контролю (крім державної атестації) визначаються індивідуальним навчальним планом студента.

8. Консультація.

8.1. Консультація – форма навчального заняття, при якій студент отримує відповіді від викладача на конкретні запитання або пояснення певних теоретичних положень чи аспектів їх практичного застосування.

8.2. Консультація може бути індивідуальною або проводитися для групи студентів, залежно від того, чи викладач консультує студентів з

питань, пов'язаних із виконанням індивідуальних завдань, чи з теоретичних питань навчальної дисципліни.

Обсяг часу, відведений викладачу для проведення консультацій з конкретної дисципліни, визначається навчальним планом.

9. Індивідуальні завдання.

9.1. Індивідуальні завдання з окремих дисциплін (реферати, розрахункові, графічні, дипломні проекти або роботи тощо) видаються студентам в терміни, передбачені вищим навчальним закладом.

Індивідуальні завдання виконуються студентом самостійно при консультуванні викладачем.

Допускаються випадки виконання комплексної тематики кількома студентами.

9.2. Дипломні (кваліфікаційні) проекти (роботи) виконуються на завершальному етапі навчання студентів у вищому навчальному закладі і передбачають:

систематизацію, закріплення, розширення теоретичних і практичних знань зі спеціальності та застосування їх при вирішенні конкретних наукових, технічних, економічних виробничих й інших завдань;

розвиток навичок самостійної роботи і оволодіння методикою дослідження та експерименту, пов'язаних з темою проекту (роботи).

Студенту надається право обрати тему дипломного проекту (роботи), визначену випускаючими кафедрами (предметними або цикловими комісіями), або запропонувати свою з обґрунтуванням доцільності її розробки.

Керівниками дипломних проектів (робіт) призначаються професори і доценти (викладачі) вищого навчального закладу, висококваліфіковані спеціалісти виробництва.

Порядок захисту дипломних проектів (робіт) здійснюється відповідно до пункту 12.3.3. даного Положення. [2]

Дипломні проекти (роботи) зберігаються в бібліотеці вищого навчального закладу протягом п'яти років, потім списуються в установленому порядку.

10. Самостійна робота студента.

10.1. Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять.

10.2. Навчальний час, відведений для самостійної роботи студента, регламентується робочим навчальним планом і повинен становити не менше 1/3 та не більше 2/3 загального обсягу навчального часу студента, відведеного для вивчення конкретної дисципліни.

10.3. Зміст самостійної роботи студента над конкретною дисципліною визначається навчальною програмою дисципліни, методичними матеріалами, завданнями та вказівками викладача.

10.4. Самостійна робота студента забезпечується системою навчально-методичних засобів, передбачених для вивчення конкретної навчальної дисципліни: підручник, навчальні та методичні посібники, конспект лекцій викладача, практикум тощо.

Методичні матеріали для самостійної роботи студентів повинні передбачати можливість проведення самоконтролю з боку студента.

Для самостійної роботи студенту також рекомендується відповідна наукова та фахова монографічна і періодична література.

10.5. Самостійна робота студента над засвоєнням навчального матеріалу з конкретної дисципліни може виконуватися у бібліотеці вищого навчального закладу, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах (лабораторіях), а також в домашніх умовах.

У необхідних випадках ця робота проводиться відповідно до заздалегідь складеного графіка, що гарантує можливість індивідуального доступу студента до потрібних дидактичних засобів.

Графік доводиться до відома студентів на початку поточного семестру.

10.6. При організації самостійної роботи студентів з використанням складного обладнання чи устаткування, складних систем доступу до інформації (наприклад, комп'ютерних баз даних, систем автоматизованого проектування тощо) передбачається можливість отримання необхідної консультації або допомоги з боку фахівця.

10.7. Навчальний матеріал навчальної дисципліни, передбачений робочим навчальним планом для засвоєння студентом в процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль поряд з навчальним матеріалом, який опрацьовувався при проведенні навчальних занять.

11. Практична підготовка студентів.

11.1. Практична підготовка студентів вищих навчальних закладів є обов'язковим компонентом освітньо-професійної програми для здобуття кваліфікаційного рівня і має на меті набуття студентом професійних навичок та вмінь.

Практична підготовка студентів здійснюється на передових сучасних підприємствах і організаціях різних галузей господарства, науки, освіти, охорони здоров'я, культури, торгівлі і державного управління.

11.2. Практична підготовка проводиться в умовах професійної діяльності під організаційно-методичним керівництвом викладача вищого навчального закладу та спеціаліста з даного фаху.

Програма практичної підготовки та терміни її проведення визначаються навчальним планом.

Організація практичної підготовки регламентується Положенням про проведення практики студентів вищих навчальних закладів України, затвердженим наказом Міністерства освіти України від 8 квітня 1993 року № 93.

12. Контрольні заходи.

12.1. Контрольні заходи включають поточний та підсумковий контроль.

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних, лабораторних та семінарських занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Форма проведення поточного контролю під час навчальних занять і система оцінювання рівня знань визначаються відповідною кафедрою (предметною або цикловою комісією).

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінки результатів навчання на певному освітньому (кваліфікаційному) рівні або на окремих його завершених етапах.

Підсумковий контроль включає семестровий контроль та державну атестацію студента.

Вищий навчальний заклад може використовувати модульну та інші форми підсумкового контролю після закінчення логічно завершеної частини лекційних та практичних занять з певної дисципліни і їх результати враховувати при виставленні підсумкової оцінки.

12.2. Семестровий контроль.

12.2.1. Семестровий контроль проводиться у формах семестрового екзамену, диференційованого заліку або заліку з конкретної навчальної дисципліни в обсязі навчального матеріалу, визначеного навчальною програмою, і в терміни, встановлені навчальним планом.

Семестровий екзамен – це форма підсумкового контролю засвоєння студентом теоретичного та практичного матеріалу з окремої навчальної дисципліни за семестр, що проводиться як контрольний захід.

Семестровий диференційований залік – це форма підсумкового контролю, що полягає в оцінці засвоєння студентом навчального матеріалу з певної дисципліни виключно на підставі результатів виконаних індивідуальних завдань (розрахункових, графічних тощо).

Семестровий диференційований залік планується при відсутності модульного контролю та екзамену і не передбачає обов’язкову присутність студентів.

Семестровий залік – це форма підсумкового контролю, що полягає в оцінці засвоєння студентом навчального матеріалу виключно на підставі результатів виконання ним певних видів робіт на практичних, се-

мінарських або лабораторних заняттях. Семестровий залік планується при відсутності модульного контролю та екзамену і не передбачає обов'язкову присутність студентів.

Студент вважається допущеним до семестрового контролю з конкретної навчальної дисципліни (семестрового екзамену, диференційованого заліку або заліку), якщо він виконав всі види робіт, передбачені навчальним планом на семестр з цієї навчальної дисципліни.

12.2.2. Екзамени складаються студентами в період екзаменаційних сесій, передбачених навчальним планом.

Вищий навчальний заклад може встановлювати студентам індивідуальні терміни складання заліків та екзаменів. При використанні модульного контролю екзамени можуть не проводитись.

Екзамени проводяться згідно з розкладом, який доводиться до відома викладачів і студентів не пізніше, як за місяць до початку сесії. Порядок і методика проведення заліків та екзаменів визначаються вищим навчальним закладом.

12.2.3. Результати складання екзаменів і диференційованих заліків оцінюються за чотирибальною шкалою («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»), а заліків – за двобальною шкалою («зараховано», «незараховано») і вносяться в екзаменаційну відомість, залікову книжку, навчальну картку студента.

Студенти, які одержали під час сесії більше двох незадовільних оцінок, відраховуються з вищого навчального закладу.

Студентам, які одержали під час сесії не більше двох незадовільних оцінок, дозволяється ліквідувати академзаборгованість до початку наступного семестру. Повторне складання екзаменів допускається не більше двох разів з кожної дисципліни: один раз викладачу, другий – комісії, яка створюється деканом факультету (завідувачем відділення).

Студенти, які не з'явились на екзамени без поважних причин, вважаються такими, що одержали незадовільну оцінку.

2.3. Навчальний час студента

1. Навчальний час студента визначається кількістю облікових одиниць часу, відведених для здійснення програми підготовки на даному освітньому або кваліфікаційному рівні.

Обліковими одиницями навчального часу студента є академічна година, навчальні день, тиждень, семестр, курс, рік.

Академічна година – це мінімальна облікова одиниця навчального часу. Тривалість академічної години становить, як правило, 45 хвилин. Дві академічні години утворюють пару академічних годин (надалі «пара»).

Навчальний день – складова частина навчального часу студента тривалістю не більше 9 академічних годин.

Навчальний тиждень – складова частина навчального часу студента тривалістю не більше 54 академічних годин (18 кредитів).

Навчальний семестр – складова частина навчального часу студента, що закінчується підсумковим семестровим контролем. Тривалість семестру визначається навчальним планом.

Примітка. Облік навчального часу може здійснюватись у кредитах (credit).

Кредит – це три академічні години навчальних занять та самостійної роботи у навчальному тижні протягом навчального семестру. Час, відведений для проведення підсумкового контролю, не входить у кредит.

Навчальний курс – завершений період навчання студента протягом навчального року. Тривалість перебування студента на навчальному курсі включає час навчальних семестрів, підсумкового контролю та канікул. Сумарна тривалість канікул протягом навчального курсу, крім останнього, становить не менше 8 тижнів.

Початок і закінчення навчання студента на конкретному курсі оформляються відповідними (перевідними) наказами.

Навчальний рік триває 12 місяців, розпочинається, як правило, 1 вересня і для студентів складається з навчальних днів, днів проведення підсумкового контролю, екзаменаційних сесій, вихідних, святкових і канікулярних днів.

2. Навчальні дні та їх тривалість визначаються річним графіком навчального процесу. Вказаний графік складається на навчальний рік з урахуванням перенесень робочих та вихідних днів, погоджується і затверджується в порядку і в терміни, встановлені вищим навчальним закладом.

Навчальні заняття у вищому навчальному закладі тривають дві академічні години з перервами між ними і проводяться за розкладом.

Розклад має забезпечити виконання навчального плану в повному обсязі щодо навчальних занять.

3. Допускається у порядку, встановленому вищим навчальним закладом, вільне відвідування студентами лекційних занять (для студентів третього та наступних курсів). Відвідування інших видів навчальних занять (крім консультацій) є обов’язковим для студентів.

Забороняється відволікати студентів від участі в навчальних заняттях та контрольних заходах, встановлених розкладом, крім випадків, передбачених чинним законодавством.

2.4. Робочий час викладача

1. Робочий час викладача визначається обсягом його навчальних, методичних, наукових і організаційних обов'язків у поточному навчальному році, відображених в індивідуальному робочому плані. Тривалість робочого часу викладача з повним обсягом обов'язків становить не більше 1548 годин на навчальний рік при середньо тижневій тривалості 36 годин.

2. Обсяг навчальних занять, доручених для проведення конкретному викладачеві виражений в облікових (академічних) годинах, визначає навчальне навантаження викладача.

Види навчальних занять, що входять в обов'язковий обсяг навчального навантаження викладача відповідно до його посади, встановлюються кафедрою (предметною або цикловою комісією).

3. У вищих навчальних закладах III і IV рівня акредитації мінімальний та максимальний обов'язковий обсяг навчального навантаження викладача в межах його робочого часу встановлює вищий навчальний заклад з урахуванням виконання ним інших обов'язків (методичних, наукових, організаційних) і у порядку, передбаченому його статутом та колективним договором.

4. У випадках виробничої необхідності у вищих навчальних закладах 3 і 4 рівня акредитації викладач може бути залучений до проведення навчальних занять понад обов'язковий обсяг навчального навантаження, визначений індивідуальним робочим планом, в межах свого робочого часу. Додаткова кількість облікових годин встановлюється вищим навчальним закладом і не може перевищувати 0,25 мінімального обов'язкового обсягу навчального навантаження.

Зміни в обов'язковому навчальному навантаженні викладача вносяться в його індивідуальний робочий план.

5. Графік робочого часу викладача визначається розкладом аудиторних навчальних занять і консультацій, розкладом або графіком контрольних заходів та іншими видами робіт, передбаченими індивідуальним робочим планом викладача. Час виконання робіт, не передбачених розкладом або графіком контрольних заходів, визначається у порядку, встановленому вищим навчальним закладом, з урахуванням особливостей спеціальності та форм навчання.

Викладач зобов'язаний дотримуватися встановленого йому графіка робочого часу.

Забороняється відволікати викладачів від проведення навчальних занять та контрольних заходів, передбачених розкладом.

2.5. Форми навчання

1. Навчання у вищих навчальних закладах здійснюється за такими формами:

- денна (стаціонарна);
- вечірня;
- заочна (дистанційна);
- екстернат.

Можливе поєднання різних форм навчання.

2. Денна (стаціонарна) форма навчання є основною формою здобуття певного рівня освіти або кваліфікації з відривом від виробництва.

Організація навчального процесу на денній (стаціонарній) формі навчання здійснюється вищим навчальним закладом згідно з державними стандартами освіти і даним Положенням [2].

3. Вечірня і заочна (дистанційна) форми навчання є формами здобуття певного рівня освіти або кваліфікації без відриву від виробництва.

Організація навчального процесу на вечірній і заочній (дистанційній) формах навчання здійснюється вищим навчальним закладом згідно з державними стандартами освіти і даним Положенням з урахуванням передбачених чинним законодавством пільг для осіб, які поєднують роботу з навчанням.

4. Екстернат є особливою формою навчання осіб, які мають відповідний освітній (кваліфікаційний) рівень, для здобуття ними певного рівня освіти або кваліфікації шляхом самостійного вивчення навчальних дисциплін і складання у вищому навчальному закладі заліків, екзаменів та інших форм підсумкового контролю, передбачених навчальним планом.

4.1. Перелік напрямків підготовки (спеціальностей) і вищих навчальних закладів, де організується екстернат, визначається Міністерством освіти за поданням вищих навчальних закладів або міністерств і відомств, які мають у своєму підпорядкуванні вищі навчальні заклади.

4.2. Організація навчального процесу в екстернаті здійснюється вищим навчальним закладом згідно з державними стандартами освіти і данного Положення у терміни, передбачені графіком навчального процесу для денної (стаціонарної), вечірньої і заочної (дистанційної) форм навчання.

4.3. Особи, які виявили бажання навчатись в екстернаті подають заяву та документ про освіту (кваліфікацію) до відповідного вищого навчального закладу.

Зарахованим до екстернату видається залікова книжка.

4.4. Особи із числа екстернів, які успішно склали усі передбачені навчальним планом заліки, екзамени та інші форми підсумкового кон-

тролю, допускаються до складання державних екзаменів і захисту дипломного проекту (роботи).

2.6. Науково-методичне забезпечення навчального процесу

1. Науково-методичне забезпечення включає:
- державні стандарти освіти;
- навчальні плани;
- навчальні програми з усіх нормативних і вибіркових навчальних дисциплін;
- програми навчальної, виробничої й інших видів практик;
- підручники і навчальні посібники;
- інструктивно-методичні матеріали до семінарських, практичних і лабораторних занять;
- індивідуальні семестрові завдання для самостійної роботи студентів з навчальних дисциплін;
- контрольні завдання до семінарських, практичних і лабораторних занять;
- контрольні роботи з навчальних дисциплін для перевірки рівня засвоєння студентами навчального матеріалу;
- методичні матеріали для студентів з питань самостійного опрацювання фахової літератури, написання курсових робіт і дипломних проектів (робіт).

Інші характеристики навчального процесу визначає викладач, кафедра (предметна або циклова комісія), вищий навчальний заклад.

Література до розділу

1. Збірник нормативно-правових документів з питань вищої освіти / Уклад. Т.Д. Іщенко, Н.А. Демешкант, Л.Л. Білан, М.П. Хоменко. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 365 с.
2. Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах (Затверджено наказом Міністерства освіти України від 2 червня 1993 р. № 161. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 листопада 1993 р. за № 173).
3. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.:Довіра, 2009. – 1011 с. – (Словники України).

Розділ 3. ТИПОВА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Інтенсивний науково-технічний прогрес, динамічні зміни в соціально-трудових відносинах вносять суттєві зміни в техніку, технологію та умови виробництва соціально-необхідного продукту, що зумовлює і відповідні зміни в змісті освіти та навчання фахівців.

Цим пояснюється необхідність періодичної зміни нормативно-правового і навчально-методичного забезпечення підготовки фахівців і, зокрема, зміни в переліку спеціальностей, змісті освітньо-кваліфікаційної характеристики та освітньо-професійної програми, змісті програми навчальної дисципліни, обсягу навчального часу, видів навчальної діяльності, форм і методів навчання та контрольних заходів.

Все, що стосується навчальної діяльності суб'єктів навчання з навчальної дисципліни, має бути викладено в програмі, яку розробляють відповідно до освітньо-професійної програми підготовки фахівців.

Програма навчальної дисципліни – це один із основних нормативних документів, що визначає мету, місце і завдання навчальної дисципліни, її загальний зміст та вимоги до сформованості компетенцій, перелік рекомендованої літератури, інших дидактичних та методичних матеріалів.

Підготовку програм навчальних дисциплін здійснюють висококваліфіковані, досвідчені науково-педагогічні працівники (професори, доценти, старші викладачі) вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації. В окремих випадках до підготовки програм навчальних дисциплін можна залучати і наукових працівників (докторів і кандидатів наук) науково-дослідних установ.

Авторські колективи для підготовки програм навчальних дисциплін формують науково-методичні комісії разом із керівником відповідного сектору Науково-методичного центру аграрної освіти. У підготовці програми навчальної дисципліни беруть участь провідні науково-педагогічні працівники не менш, як з двох вищих навчальних закладів.

Підготовлену програму навчальної дисципліни заслуховують на одній із відповідних кафедр вищого навчального закладу. У разі її схвалення, програму, разом із позитивними рецензіями, одна з яких зовнішня, подають на розгляд до відповідної науково-методичної комісії.

У разі рекомендації комісією програми до видання, витяг із засідання науково-методичної комісії і дві позитивні рецензії та програму подають до Науково-методичного центру аграрної освіти для проведення експертного оцінювання та затвердження у Департаменті аграрної освіти, науки та дорадництва і тиражування.

3.1. СТРУКТУРА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ГІДРАВЛІКА»

Напрям – 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва»

Освітньо-кваліфікаційний рівень	***бакалавр***
Нормативна чи вибіркова	***нормативна***
Семестр	***5-й***
Кількість кредитів ECTS	***3, 6***
Модулів	***2***
Змістових модулів	***3***
Загальна кількість годин	***72***

Види навчальної діяльності та види навчальних занять і обсяги їх в годинах:

Лекції	***16 (год)***
Лабораторні	***16 (год)***
Практичні	***18 (год)***
Самостійна робота	***22 (год)***

Форма підсумкових контрольних заходів ***іспит***

3.2. ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Гідравліка» – це система достовірних знань про закони рівноваги та руху рідини, практичне використання, яких дозволяє вирішувати інженерні задачі. Дисципліна включає в себе такі розділи, як гідростатика, гідродинаміка, основи гідромеханізації та водопостачання. Гідравліка є базовою наукою, для дисциплін гідротехнічного спрямування.

Для вивчення дисципліни «Гідравліка» необхідні базові знання із фізики, математики та загально-технічних дисциплін.

Мета дисципліни – підготовка фахівця, який володітиме теоретичними знаннями в галузі гідравліки та методами розв’язування інженерних задач, пов’язаних із використанням і застосуванням рідин у різноманітних галузях сільськогосподарського виробництва.

Завдання дисципліни полягає в формуванні знань та вмінь, що необхідні для виконання професійних завдань за спеціальністю.

Після вивчення дисципліни, студент **повинен знати**:

- основні фізичні властивості рідин;
- основне рівняння гідростатики, дію сил гідростатичного тиску на плоскі та криволінійні поверхні;
- закон Архімеда, основи теорії плавання тіл, закон Паскаля та використання його в техніці, а також використання інших законів гідростатики;
- основні положення гідродинаміки, рівняння нерозривності потоку;
- геометричний та енергетичний зміст рівняння Бернуллі, основи руху реальної рідини та втрати напору при русі, режими руху рідини, гідромеханічну подібність;
- основні методи розрахунку напірних трубопроводів з послідовним та паралельним з'єднанням труб, фільтрацію рідини, Закон Дарсі;
- будову та принцип дії динамічних та об'ємних насосів;
- основи гідромеханізації сільськогосподарських процесів;
- методи розрахунку гідравлічних систем водопостачання;

повинен вміти:

- використовувати прилади для вимірювання тиску;
- визначати режими руху рідини, число і критерії Рейнольдса;
- визначати втрати напору по довжині трубопроводу та місцеві втрати;
- використовувати рівняння Бернуллі для гідравлічних розрахунків;
- розраховувати тупикові та кільцеві водопровідні мережі;
- визначати гідравлічний удар в напірному трубопроводі;
- використовувати на практиці динамічні насоси та об'ємні гідравлічні машини;
- визначати напір, подачу насосів, їх параметри при роботі на мережу;
- підбирати обладнання, яке забезпечує економне витрачання води;
- підбирати гідромашини для водопостачання при зрошенні.

Загальний обсяг навчального часу на вивчення навчальної дисципліни «Гідравліка» відведено – 72 годин, в тому числі 50 годин аудиторного часу, самостійна і індивідуальна робота – 22 години. Контроль знань – іспит.

Таблиця 1

Орієнтовна структура змісту навчальної дисципліни та орієнтовний розподіл навчального часу, годин

Вид навчальної діяльності студентів		Модуль (розділ, блок змістовних модулів)		Обсяг годин для окремих видів навчальних занять і самостійної роботи						
№	назва	№	назва	лекції	лабо рат.	практ.	семін.	Самостійна робота		разом
								підг. до занять	індивід заняття	
1	Модуль 1 (розділ «Гідростатика»		Вступ	2	-	-	-			2
		1.1	Основні положення гідростатики	2	2	2	-	1	1	8
		1.2	Сили гідростатичного тису на поверхні. Закон Архімеда. Закон Паскаля.	2	2	2	-	1	1	8
Всього годин				6	4	4	-	2	2	18
2	Модуль 2 (розділ «Гідродинамка»)	2.1	Основи гідродинаміки. Рівняння Бернуллі	2	2	2	-	1	1	8
		2.2	Основи руху реальної рідини. Опори і втрати напору при русі рідини	2	4	2	-	1	1	10
		2.3	Витікання рідини з отворів і насадок	1	-	2	-	1	1	5
		2.4	Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів	1	2	4	-	1	2	10
Всього годин				6	8	10	-	4	5	33
3	Модуль 3 (розділ «Основи водопостачання та гідромеханізації)	3.1	Об'ємні і динамічні насоси та гідравлічні машини	1	4	-	-	1	1	7
		3.2	Основи гідромеханізації	1	-	2		1	1	5
		3.3	Особливості водопостачання	1	-	-	-	1	1	3
		3.4.	Зовнішні та внутрішні водопровідні мережі. Водопровідні та напірно-регулюючі споруди	1	-	2	-	1	2	6
Всього годин				4	4	4	-	4	5	21
Всього годин з навчальної дисципліни				16	16	18	-	10	12	72

3.3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Вступ

Наука гідравліка. Історія розвитку. Роль гідравліки та гідромеханізації в сучасній техніці та технологічних процесах, особливості водопостачання сільськогосподарських споживачів та сільських населених пунктів. Суть і значення дисципліни, її місце і роль у загальному плані підготовки спеціалістів сільськогосподарського виробництва.

Змістовий модуль 1
(розділ «Гідростатика»)

1.1. Загальні відомості.

Короткий історичний огляд розвитку гідравліки. Основні фізичні властивості рідин. Сили і напруження, які діють в рідині.

1.2. Основні положення гідростатики.

Гідростатичний тиск та його властивості. Основне рівняння гідростатики та його геометрична інтерпретація. Види тиску. Вимірювання тиску. Диференційні рівняння рівноваги рідини (рівняння Ейлера). Гідростатичний напір, п'єзометрична та вакуумметрична висоти.

1.3. Сили гідростатичного тиску на поверхні.

Сили гідропатичного тиску на плоскі та криволінійні поверхні. Центр тиску. Епюри тиску. Закон Паскаля. Закон Архімеда. Основи теорії плавання тіл. Використання законів гідростатики.

Змістовий модуль 2
(розділ «Гідродинаміка»)

2.1. Основи гідродинаміки. Рівняння Бернуллі.

Основні положення та визначення. Визначення потоку. Рівняння нерозривності потоку. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини. Геометричний і енергетичний зміст рівняння Бернуллі.

2.2 Основи руху реальної рідини. Гідравлічні опори і втрати напору при русі рідини

Режими руху рідини. Число і критерії Рейнольдса. Втрати напору по довжині трубопроводу. Місцеві втрати напору.

2.3. Витікання рідини з отворів і насадок.

Класифікація отворів. Витікання рідини з незатопленого отвору в товстій і тонкій стінках при постійному та змінному напорах. Витікання рідини через насадки.

2.4. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів.

Класифікація трубопроводів. Розрахунок коротких та довгих трубопроводів, простих і складних з послідовним та паралельним з'єднанням труб. Розрахунок тупикової та кільцевої мереж. Гідравлічний удар в трубопроводах. Гідравлічний таран.

Змістовий модуль 3
(розділ «Основи водопостачання та гідромеханізації»)

3.1. Динамічні насоси та об'ємні гідравлічні машини.

Призначення, класифікація, будова, принцип дії, основні параметри, порядок підбору динамічних насосів. Основне рівняння лопатевих насосів. Характеристики насосів. Робота насоса з трубопроводом. Висота усмоктування, кавітація.

3.2. Особливості водопостачання.

Системи і схеми водопостачання. Норми водоспоживання. Джерела водопостачання. Вимоги до якості води. Водозабірні споруди.

3.3. Зовнішні та внутрішні водопровідні мережі.

Гідравлічний розрахунок. Визначення розрахункових витрат. Призначення водонапірних споруд. Розрахунок об'єму резервуарів. Без баштові пневматичні споруди. Системи зрошення.

3.4. Основи гідромеханізації.

Гідропневмотранспорт. Меліорація і механізація зрошення. Гідрофікація с.г. техніки.

3.4. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ТЕМ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Змістовий модуль 1
(розділ «Гідростатика»)

1.1. Вивчити методику розрахунку і вирішити задачі на тему: «Основні фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск та його властивості»

1.2. Виконати розв'язування задач на тему: «Сили гідростатичного тиску на плоскі та криволінійні поверхні».

1.3. Виконати розв'язування задач на тему: «Закон Архімеда. Закон Паскаля та його практичне застосування в гідравлічних машинах. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики».

Змістовий модуль 2
(розділ «Гідродинаміка»)

2.1. Вивчити методику інженерного розрахунку задач на тему: «Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів».

2.2. Розв'язати задачі на тему: «Витікання рідини з отворів при постійному та змінному напорах».

2.3. Розв'язати задачі на тему: «Розрахунок коротких та довгих трубопроводів».

Змістовий модуль 3
(розділ «Основи водопостачання та гідромеханізації»)

3.1. Провести розрахунок водопровідної мережі.
3.2. Провести розрахунок гідропневмотранспортної системи.
3.3. Провести розрахунок продуктивності поливних машин.

3.5. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ТЕМ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Змістовий модуль 1
(розділ «Гідростатика»)

1.1. Вивчити будову приладів для вимірювання гідростатичного тиску.

Змістовий модуль 2
(розділ «Гідродинаміка»)

2.1. Вивчити будову приладів для вимірювання елементів потоку рідини
2.2. Дослідити рівняння Бернуллі.
2.3. Провести дослідження режимів руху рідини.
2.4. Дослідження втрат напору по довжині трубопроводу.
2.5. Дослідження втрат напору в місцевих опорах.
2.6. Вивчити явище гідравлічного удару в напірному трубопроводі.

Змістовий модуль 3
(розділ «Основи водопостачання та гідромеханізації»)

3.1. Визначити основні параметри і побудувати робочу характеристику відцентрового насоса.

3.6. САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Самостійну роботу студентів поділяють на дві складові – підготовку до навчальних занять, використовуючи при цьому рекомендовану навчально-методичну літературу, а також пошук інформації в Internet ресурсах і виконання індивідуальних завдань.

Перша складова – підготовка до навчальних занять згідно рекомендованої навчально-методичної літератури.

Таблиця 2

Джерела літератури та обсяг сторінок які треба опрацювати:

Змістовий модуль	Тема	Сторінки в джерелах, що наведені в списку рекомендованої літератури				
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1.1.	5 – 13	3 – 12	3 – 10	5 – 12	3 – 12
	1.2.	13 – 34	13 – 30	10 – 17	13 – 24	41 – 53
	1.3.	34 – 46	30 – 40	18 – 48	25 – 34	53 – 62
2	2.1.	47 – 65	40 – 54	48 – 63	34 – 45	77 – 86
	2.2.	66 – 93	55 – 78	63 – 84	50 – 64	86 – 102
	2.3.	110 – 128	92 – 104	84 – 104	72 – 83	137 – 145
	2.4.	93 – 109	79 – 91	104 – 125	64 – 72	102 – 132
3	3.1.	146 – 185	119 – 150	-	89 – 155	146 – 176
	3.2.	454 – 474	366 – 392	-	326 – 337	191 – 207
	3.3.	474 – 488	393 – 404	-	337 – 367	–
	3.4.	395 – 412	404 – 434	-	269 – 316	–

Друга складова – виконання індивідуальних завдань: двох самостійних завдань відповідно з розділів «Гідростатика» і «Гідродинаміка» та однієї розрахункової роботи з розділу «Основи водопостачання та гідромеханізації».

3.7. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Змістовий модуль 1
(розділ «Гідростатика»)

1.1. Розв’язати задачі на тему «Вимірювання гідростатичного тиску»

1.2. Розв’язати задачі на тему «Застосування Закону Паскаля в об’ємних гідромашинах».

1.3. Розв’язати задачі на тему «Сила гідростатичного тиску на плоскі і криволінійні поверхні».

Змістовий модуль 2
(розділ «Гідродинаміка»)

2.1. Провести розрахунок довгих трубопроводів

2.2. Виконати розрахунок трубопроводів з послідовним і паралельним з’єднанням.

2.3. Розв’язати задачі на тему «Сильфонний трубопровід. Гідравлічний удар».

2.4. Виконати розрахунок коротких трубопроводів.

2.5. Розв’язати задачі на тему «Витікання рідини з отворів і насадок».

Змістовий модуль 3
(розділ «Основи водопостачання та гідромеханізації»)

3.1. Провести аналіз конструкцій динамічних насосів.

3.2. Розрахувати водопровідну мережу населеного пункту.

3.3. Вибрати водонапірне обладнання для забезпечення водою населеного пункту.

3.8. ОРІЄНТОВНИЙ РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЩО ПРИСВОЮЮТЬСЯ СТУДЕНТАМ ЗА МОДУЛЯМИ, ЗМІСТОВИМИ МОДУЛЯМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Кожен змістовий модуль оцінюється у балах, ураховуючи навчальні заняття, виконання індивідуальних завдань та модульний контроль. Орієнтовний розподіл балів, що присвоюються студентам, наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Орієнований розподіл балів, що присвоюються студентам

Вид контролю	Модуль	Тема	Навчальні заняття	Виконання індивідуальних завдань	Модульний контроль	Усього балів
Поточний контроль	1.	Вступ	2	1	1	4
		1.1.	4	4	1	9
		1.2.	3	4	1	8
	Усього за змістовий модуль 1		**9**	**9**	**3**	**21**
	2.	2.1.	3	3	1	7
		2.2.	3	3	1	7
		2.3.	2	2	1	5
		2.4.	4	4	1	9
	Усього за змістовий модуль 2		**12**	**12**	**4**	**28**
	3.	3.1.	3	2	1	6
		3.2.	2	2	1	5
		3.3.	2	2	1	5
		3.4.	2	2	1	5
	Усього за змістовий модуль 3		**9**	**8**	**4**	**21**
Усього за поточний контроль						**70**
Підсумковий контроль (іспит)						**30**
Разом						**100**

3.9. КРИТЕРІЇ ТА ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ І УМІНЬ СТУДЕНТІВ

Контроль знань і умінь студентів (поточний і підсумковий) з навчальної дисципліни «Гідравліка» здійснюють відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Поточний – під час виконання практичних, лабораторних і індивідуальних завдань (описових завдань (ОЗ), написання рефератів, виконання курсового проекту), контроль за засвоєнням цього модуля (модульний контроль). Форму проведення поточного контролю і систему оцінювання визначає кафедра, на якій викладається дисципліна.

Підсумковий – включає іспит з цієї навчальної дисципліни.

Кожен модуль може оцінюватись в умовних балах пропорційно обсягу часу, відведеному на засвоєння матеріалу цього модуля.

Кількість умовних балів за навчальні заняття студента становить 70% (коефіцієнт 0,7) і 30% (коефіцієнт 0,3) припадає на іспит від загальної кількості умовних балів.

Рішенням кафедри за виконання робіт, які не передбачені навчальним планом, але сприяють підвищенню рівня знань та умінь студентів з навчальної дисципліни (доповідь на студентській конференції, здобуття призового місця на олімпіадах, виготовлення макетів, підготовка наочних посібників тощо) може надаватись до 10% від загальної кількості умовних балів з навчальної дисципліни.

З метою кращої диференціації знань студентів може бути прийнято збільшену шкалу оцінювання знань студентів (умовних балів), яку потім через перевідний коефіцієнт приводять до відповідності (поточний контроль – 0,7 і підсумковий – 0,3).

Таким чином, максимальні рейтинги за навчальну роботу студента під час поточного контролю (за навчальні заняття) та за атестацію під час підсумкового контролю (за диференційований залік) відповідно становитимуть:

$R_{нр}$ = 70 балів $R_{ат}$ = 30 балів $R_{дис}$ = 100 балів.

Студенти, які протягом навчального семестру під час поточного контролю набрали суму балів, що менша за 50 % від загального розрахункового рейтингу з навчальної роботи $R_{нр}$ (тобто менше 35 балів), зобов'язані до початку залікової сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до підсумкового контролю (іспиту) і мають академічну заборгованість.

Відповідно до отриманих балів студентам присвоюються відповідні кредити ECTS (табл. 4). Кредити записують у журнал рейтингового оцінювання знань і умінь студента.

Таблиця 4

Критерії та шкала оцінювання знань і умінь студентів

Оцінка національна	**Оцінка ECTS**	**Визначення ECTS**	**Кількість балів із навчальної дисципліни**
Відмінно	A	Відмінно – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	≥ 90
Добре	B	Дуже добре – вище середнього рівня з кількома помилками	80 – 89
	C	Добре – загалом правильна робота з певною кількістю помилок	65 – 79
Задовільно	D	Задовільно – непогано, але із значною кількістю помилок	55 – 64
	E	Достатньо – виконання задовольняє мінімальні критерії	50 – 54
Незадовільно	FX	Незадовільно – потрібно працювати перед тим, як отримати позитивну оцінку	35 – 49
	F	Неприйнятно – необхідна серйозна подальша робота	< 35

Список рекомендованої літератури

1. Дідур В.А. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан // К.: Аграрна освіта, 2008. – 577с.
2. Дідур В.А. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан // Запоріжжя: Премєр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич // К.: Вища шк, 1993. – 255 с.
4. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур // М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
5. Костюченко Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов. / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок // Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
6. Палишкин Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А Палишкин // М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
7. Дидур В.А. Гидроаэромеханика и ее использование в энергетике АПК / В.А. Дидур, Л.И. Грачева, Н.Н. Радул, А.Н. Орел. // Москва: МГАУ, 2008. – 395 с.
8. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В.Яковлева // М.: Колос, 1992. – 287 с.

ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ

1. Інструкція з підготовки та видання програм навчальних дисциплін для вищих навчальних закладів I-IV рівнів акредитації Міністерства аграрної полвтики та продовольства України / І.М. Синявська, М.П. Хоменко, Н.П. Бобяк, Т.П. Дудник, М.В. Ковальчук, С.М. Кравченко, І.О. Серова. – К.: Агроосвіта, 2013. – 18 с.
2. Збірник нормативно-правових документів з питань вищої освіти / Уклад. Т.Д. Іщенко, Н.А. Демешкант, Л.Л. Білан, М.П. Хоменко. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 365 с.
3. Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах *(Затверджено наказом Міністерства освіти України від 2 червня 1993 р. № 161. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 листопада 1993 р. за № 173)*.
4. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 2009. – 1011 с. – (Словники України).

Розділ 4. ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС

4.1. Методичні рекомендації викладачам щодо проведення лекцій

Успішна реалізація навчального курсу залежить як від змісту навчальної дисципліни (відбору, структурування та викладу матеріалу), так і від способу його подання. Важливу роль у цьому відіграє раціональне поєднання конкретного матеріалу та логічного, переконливого узагальнення. Одночасно програма курсу зорієнтована на використання різних форм і методів ведення занять, передбачає постійне вдосконалення організаційних форм навчання.

Насамперед мова йде про перехід від методики, типовою рисою якої є пояснювально-ілюстративний характер викладання матеріалу, до методики, заснованої на організації активної самостійної роботи студентів. У зв'язку з цим основою навчального процесу у викладанні курсу «Гідравліка» повинні бути форми, методи та засоби навчання, які б забезпечували високу пізнавальну активність та самостійність студентів. Використання у навчанні різних форм занять (лекцій, семінарів, підсумкових співбесід, практичних занять тощо) слід поєднувати з різноманітними формами роботи за межами аудиторії – конференціями, зустрічами, екскурсіями, самостійною роботою з літературою.

Існують різні варіанти типології занять. Досить поширеною у практиці викладання є класифікація за ланками навчального процесу: подання нового матеріалу, його закріплення, повторення, перевірка знань та так звані «комбіновані заняття». Виходячи з особливостей курсу та специфіки навчального процесу більш доцільне, на наш погляд, є групування занять, в основу якого покладено характер діяльності викладача і студентів.

Відомо, що викладач на занятті виконує дві основні функції: інформаційну – виступає головним джерелом інформації, та управлінську – організовує діяльність студентів, щодо засвоєння навчального матеріалу, формування вмінь та навичок.

При групуванні занять за характером діяльності викладача та студентів вирізняють такі їх типи: заняття подання нових знань викладачем – лекції; заняття лабораторного типу, практикуми, індивідуальні заняття, залікові заняття.

Зважаючи на особливості навчальної дисципліни «Гідравліка», більшу частину занять курсу доцільно проводити у вигляді лекцій. Переказ великого за обсягом та складного за змістом нового матеріалу за жорсткого ліміту навчального часу може здійснюватись лише шляхом подання нових знань. До того ж курс насичений великою кількістю понять, які вимагають чіткого формування та виявлення взаємозв'язків, переконливої та емоційної конкретизації теоретичних положень.

Отже, основною формою організації навчального процесу є заняття подання нового матеріалу, а також його закріплення – лекція, що одночасно акумулює змістовну, процесуальну та результативну функції навчальної роботи. Як одна з важливих форм навчальних занять, лекція покликана розкрити основні положення теми, її проблеми та дискусійні питання, узагальнений досвід роботи, викликати творчий інтерес студентів, дати їм рекомендації для практичної роботи, показати шляхи вирішення існуючих проблем. Тому провідна роль у методиці викладання курсу відводиться лекції, вдосконаленню її форм та підвищенню пізнавально-освітньої ефективності. З урахуванням загальних положень дидактики, особливостей і специфіки курсу як логічно поєднаної системи знань, можна виділити такі вимоги до проведення занять-лекцій.

1. Заняття має в комплексі вирішувати завдання програми курсу (з урахуванням навчальної мети даного заняття).
2. Тема заняття визначається програмою та викладається відповідно до змісту підручника, посібника, нормативних документів тощо. Викладач має простежити, щоб інформація, яку отримують студенти, була не тільки теоретично розроблена, а й доступна для розуміння та засвоєння. Ретельний добір та дозування навчального матеріалу сприяє реалізації мети заняття й одночасно дозволяє запобігти перевантаженню інформацією.
3. Додатковий матеріал, що використовується викладачем на лекції, має ілюструвати та конкретизувати поняття курсу.
4. Зміст заняття має бути якомога тісніше пов'язаний з процесами та явищами. Інакше засвоєні знання перетворяться на абстрактні, схоластичні догми.
5. Кожне заняття має будуватися з урахуванням реалізації головної навчальної мети курсу (виходячи, звичайно, з можливостей і специфічних завдань теми). Тому при підготовці до нього важливо визначити місце теми у тематичному блоці, розділі, її значення в усій системі курсу. Заняття курсу «Гідравліки» мають бути взаємо-

пов'язані за змістом, завданнями, дозуванням навчального матеріалу, методичними прийомами роботи зі студентами та розвитком у них певних умінь та навичок. Кожне поняття сформоване у попередніх темах, має збагачуватись і розкриватися при вивченні наступних розділів курсу і одночасно слугувати підґрунтям для засвоєння нового навчального матеріалу.

6. Будучи частиною всього навчального процесу, заняття одночасно має бути тематично цілісним і завершеним. Викладачу слід чітко визначити дозування навчального матеріалу, уникаючи перенесення недоопрацьованої теми на наступне заняття.
7. Заняття має сприяти розвиткові пізнавальної активності та самостійності студентів. Тому під час підготовки до нього важливе місце належить відбору ефективних засобів та методів навчання для керування пізнавальною діяльністю студентів та розвитку у них здатності самостійно засвоювати знання.

4.1.1. Що повинен пам'ятати викладач, готуючись до лекції?

1. Тема лекції повинна бути сформульована згідно з навчально-тематичним планом курсу. Студентам дається під запис.
2. Викладач у стислій формі формулює мету заняття.
3. Оголошується література, яку потрібно опрацювати при вивченні даної теми. При цьому викладач дає можливість записати лише основні джерела інформації. Не слід витрачати час на перелік, а тим більше запис, усієї використаної літератури.
4. Якщо тема заняття пов'язана з попередніми, що були розглянуті раніше, викладач може в тій чи іншій формі нагадати основні поняття, визначення тощо. Можна це зробити, наприклад, у формі фронтального опитування.
5. Викладач дає під запис план лекції. Він має складатись з кількох пунктів, крім того має бути сформульований стисло і чітко. План не повинен містити уже готові відповіді (визначення, класифікації тощо). Вся вступна частина не повинна тривати більше 10 хвилин.
6. В основній частині заняття питання теми розглядаються обов'язково в послідовності, передбаченій планом. Спочатку оголошується перше питання плану. Форма подання матеріалу вибирається викладачем і залежить від його професійної майстерності. Бажано,

щоб викладач не вичитував матеріал, не відриваючись від тексту конспекту, а розповідав.

7. Для кращого сприйняття інформації студентам пропонуються різного роду схеми, таблиці, класифікації тих чи інших понять. Ці прийоми мають активізувати розумову діяльність, і не допустити механічного конспектування матеріалу.
8. Ще під час підготовки до лекції викладач повинен виділити головне в матеріалі, що буде запропонований, а вже під час заняття зосередити їх увагу на цьому. Треба дати можливість обов'язково записати це головне. Якщо є необхідність, на цьому етапі можна згадати додаткові джерела інформації з цього питання, що не згадувались в переліку літератури на першому етапі заняття.
9. Мова викладача має бути чіткою і виразною. Не допускається вживання суржику чи слів, що належать до місцевих діалектів. Викладання має вестись державною мовою.
10. Після повного висвітлення даного пункту плану викладач повинен дати можливість задати запитання. Після чого зобов'язаний на них відповісти. Це потрібно зробити стисло і чітко, не витрачаючи багато часу. Далі викладачем робиться коротенький висновок.
11. Щоб переконатись, що матеріал студенти зрозуміли, можна запропонувати їм кілька контрольних питань. Це може бути звичайне фронтальне опитування. Запитань має бути мало (всього 2-3), вони повинні бути чітко сформульовані і розраховані на коротку і конкретну відповідь. Цей етап повинен тривати не більше 1-2 хвилин. Проте можна перенести його до заключної частини лекції, тобто контрольне опитування провести одразу з усієї теми. Тоді питань має бути більше і вони повинні охопити весь матеріал. Однак і в цьому випадку питання повинні формулюватись чітко і бути розраховані на швидку і конкретну відповідь.
12. Якщо перше питання плану розкрито, з'ясовані всі незрозумілі деталі і викладач переконаний, що студенти зрозуміли матеріал, пропонується перейти до наступного. Робота ведеться за тією ж схемою. Так послідовно опрацьовуються всі питання теми.
13. Лекція має бути тематично цілісною і завершеною. Викладачу слід чітко визначити дозування навчального матеріалу, уникаючи перенесення недоопрацьованої теми на наступне заняття.
14. В заключній, третій частині заняття-лекції необхідно вирішити два основні завдання:

- по-перше, провести контрольне опитування студентів, яке б дозволило визначити, чи досягнута мета заняття;
- по-друге, підвести підсумок, зробити певні висновки.

15. Контрольне опитування складається з різної (але невеликої) кількості питань, залежно від того, проводився чи ні контроль знань в процесі розгляду теми. У будь-якому випадку це мають бути конкретні питання і чіткі конкретні відповіді. Не допускається дублювання питань, що є пунктами плану.
16. Проаналізувавши відповіді студентів, викладач підводить підсумок заняття.

При підготовці до заняття будь-якого типу, а заняття-лекції – особливо, викладачу доцільно готувати опорний конспект.

Пропонуємо методичні рекомендації викладачам щодо складання опорного конспекту.

4.1.2. Що повинен пам'ятати викладач, працюючи над складанням опорного конспекту?

Опорний конспект – це засіб опрацювання та поглибленого вивчення теми викладачем, основа для його власних міркувань і висновків, що мають знайти відображення у продуманому і аргументованому викладі матеріалу під час проведення заняття. Яку б форму заняття не обрав викладач, йому слід врахувати, що опорний конспект є тим фундаментом, на якому базується весь виклад і опрацювання матеріалу теми.

Проте опорний конспект не служить еталоном. Викладач може вдатися у процесі вивчення всього курсу до створення різноманітних опорних конспектів. Але при цьому він сам повинен добре володіти методикою їх використання, виходячи з того, що не опорний конспект, а сам викладач є основним компонентом проведення заняття і саме від нього залежить його ефективність.

1. Тема. Формулюється згідно з навчально-тематичним планом курсу.
2. Мета. Повинна бути чітко визначена, виходячи з трьох рівнів засвоєння знань і формування вмінь (усвідомлене сприйняття та запам'ятовування; застосування знань за зразком; творче застосування знань). Отже, метою заняття, по-перше, є формування знань (уявлень) студентів про ті чи інші явища (поняття, закони тощо), або розширення (поглиблення) знань, одержаних раніше. По-друге, формування вмінь застосовувати набуті знання на практиці. Мета формулюється у стислій формі і складається, як правило, з 2-4 ре-

чень. Не допускається розбивання тексту на окремі пункти, наприклад, 1, 2, 3 чи а), б), в) тощо, а також дублювання пунктів плану заняття.

3. Тип заняття. Існують різні варіанти типології занять. При групуванні занять за характером діяльності викладача та студентів вирізняють такі їх типи: заняття подання нових знань викладачем (лекції); заняття лабораторного типу, практичні заняття, підсумкові співбесіди, залікові заняття. Можна застосувати і такий варіант: заняття оволодіння новими знаннями, заняття застосування набутих знань, заняття комплексного застосування знань, умінь і навичок. Досить поширеною у практиці викладання є класифікація занять за ланками навчального процесу: подання нового матеріалу, його закріплення, повторення, перевірка знань та так звані «комбіновані заняття». Отже, викладач вказує тип заняття.
4. План. План заняття має бути простим. Формулюється чітко, стисло і складається не більш як з 4-5 пунктів. План не повинен містити уже готові відповіді (визначення, класифікації тощо).
5. Література. В переліку використаної літератури викладач може виділити особливими позначками ті джерела інформації, котрі він вважає основними і обов'язковими для опрацювання. Саме ця література буде запропонована (під запис). Таких джерел має бути кілька (не більше 4-5), щоб занотовування їх не забрало багато часу.
6. Складаючи опорний конспект, а особливо його основну частину, викладач повинен пам'ятати, що основне завдання такого конспекту – це допомогти йому у роботі, бути «опорою» під час проведення самого заняття. Тому тут немає якихось чітких стандартів щодо його структури і форми. Викладач сам вирішує, який об'єм інформації має міститись в конспекті, що можна записати у вигляді окремих тез. Проте можна дати викладачам деякі методичні рекомендації щодо складання основної частини конспекту:
   - Матеріал має бути розміщений в послідовності, передбаченій планом. Нумерація окремих частин тексту має співпадати з відповідними пунктами плану.
   - Основні визначення, класифікації тощо краще подавати у вигляді табличок і схем. Це спонукає до роботи зорову пам'ять і в потрібний момент допоможе відшукати потрібну інформацію.
   - Інформацію, що заслуговує на особливу увагу, а також висновки, які необхідно зробити під час викладання матеріалу бажано виділити. Тут можна використати інший шрифт, підкреслити рядок

(можна навіть кольоровим олівцем) тощо. Допускаються особливі позначки (зірочки, знаки оклику, інші умовні позначки).

7. Остання, заключна частина конспекту містить питання для самоконтролю. Таких питань має бути небагато (3-5), вони мають бути чітко сформульовані і розраховані на точну і швидку відповідь. Не допускається дублювання пунктів плану чи питань, на які не можна дати чітку і конкретну відповідь, оскільки цей етап заняття досить обмежений в часі.
8. Викладачу слід пам'ятати, що опорним конспектом можна і потрібно користуватись, проте недопустиме механічне диктування тексту конспекту аудиторії.

У заключному слові викладач має провести аналіз рівня розгляду теми заняття за запропонованим планом, зробити узагальнені висновки, розкрити перспективи подальшого вивчення даної проблеми. Викладачу слід реально оцінити рівень підготовки студентів, виділити тих, що більш ґрунтовно підготувались до заняття і тих, чия підготовка була незадовільною. Мають бути надані методичні поради щодо подальшого використання отриманих знань, умінь та навичок у практичній діяльності.

Для використання навчально-методичного комплексу дисципліни «Гідравліка» студентами освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр», науково-педагогічними працівниками вищих навчальних закладів пропонуємо конспекти лекцій згідно типової програми, а також оригінальних тем.

4.2. ЛЕКЦІЯ №1. Вступ. Загальні відомості

Змістовий модуль 1 «ГІДРОСТАТИКА»

Тема: Вступ. Загальні відомості.

Мета. Ознайомитися з історією розвитку гідравліки.

Вивчити:

- історію розвитку гідравліки;
- основні властивості рідин.

План лекції

1. Вступ.
2. Історичний огляд розвитку гідравліки.
3. Основні фізичні властивості рідини.
4. Сили і напруження, які діють в рідині.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 3-13).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 3-12).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 3-11).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 3-13).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 5-12).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 4-10).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 3-17).

Матеріал лекції

1. Вступ

Гідравліка – це наука, яка вивчає закони рівноваги і механічного руху рідини, а також розглядає їх практичне застосування для рішення конкретних інженерних задач.

Назва «***гідравліка***» виникла від двох грецьких слів: ***«хюдор»*** – вода і ***«аулос»*** – труба, тобто як наука про рух рідин по трубах.

Зміст сучасної гідравліки незрівнянно ширший. Питання, що вивчаються в гідравліці, охоплюють рух води не тільки в трубах, але і у відкритих руслах (каналах, річках), в різних гідротехнічних спорудах і системах, а також рух інших рідин (нафта, масла, розчини) в трубопроводах і гідромашинах. На підставі цього сучасну гідравліку розглядають як одну з галузей механіки.

Математичний апарат гідравліки спирається на такі науки, як математика, фізика, теоретична механіка. У свою чергу гідравліка є базовою для наук гідротехнічного спрямування, а також наук з проектування, виготовлення чи будівництва та експлуатації насосів, гідродинамічних передач, гідроприводів, гідротурбін, систем сільськогосподарського водопостачання та гідромеліоративних систем.

Гідравліку поділяють на дві частини: гідростатику і гідродинаміку, причому остання містить у собі і кінематику рідині. Гідростатика вивчає закони рівноваги рідин і їх силову дію на тверді стінки, що обмежують об’єми рідин; гідродинаміка – закони руху рідин і їх взаємодію з твердими стінками або тілами, які знаходяться в потоці рідини.

2. Історичний огляд розвитку гідравліки

Гідравліка – одна з найдавніших наук, розвиток якої можна умовно поділити на кілька етапів.

Від найдавніших часів до 250 р. до н.е. практичне використання води як найпоширенішої рідини в природі (пристрої для піднімання води зрошувальні системи – 7 тис. р. до н.е. Римляни, греки-системи водопостачання для міст судноплавство).

Архімед (287-212 р. до н.е.) – сформулював закон про рівновагу тіла зануреного в рідину (250 р. до н.е. трактат «Про плаваючі тіла»).

Леонардо да Вінчі (1452-1519) – працював над вивченням:

- роботи гідравлічного преса;
- витіканням рідини через отвори і насадки;
- механізму руху рідини в річках і каналах – на жаль праці не були використані своєчасно лише через 400 років.

Голландський вчений Сімон Стевін (1548-1620) – в 1585 році опублікував трактат «Начала гідростатики» в якому визначив величину гідростатичного тиску на плоску стінку і пояснив явище «гідравлічного парадоксу».

Вклад італійських вчених в розвиток гідравліки:

Галілео Галілей (1564-1642) – в 1612 році надрукований трактат «Про тіла, що знаходяться у воді, і про ті, що в ній рухаються» в якому довів, що гідравлічний опір збільшується з збільшенням швидкості і густини рідини.

Бенедето Кастелі (1577-1644) – учень Галілео Галілея – викладач математики в Римі і Пізі – сформулював принцип нерозривності потоку рідини, (формула витрати рідини – Q).

Еванджеліст Торрічелі (1608-1647) – учень Галілео Галілея – відкрив закон витікання рідини з отворів (1643 р.), запропонував формулу для визначення швидкості витікання рідини з отворів.

Блез Паскаль (1623-1662) – в 1650 році – відкрив закон про передачу тиску всередині рідини, на якому базується робота гідромоторів, пресів та інших гідравлічних машин.

Ісаак Ньютон (164*2*(3)-172*6*(7)) – в 1686 році сформулював гіпотезу про внутрішнє тертя, властивості рідин.

Як самостійна наука гідравліка почала розвиватися після публікацій наступних праць:

Академік Ломоносов Михайло Васильович (1711-1765) – в своїй праці «Рассуждения о твердости и жидкости тела» створив теоретичну базу для дальшого розвитку гідродинаміки тобто розділу гідравліки де розглядаються закони руху рідини.

Академік Даніїл Бернуллі (1700-1782) – в праці «Гидродинамика» (1738 р.) – вивів своє знамените рівняння і сформулював закон збереження енергії.

Академік Леонардо Ейлер (1707-1783) – в творі «Общие принципы движения жидкости» (1755) вивів диференціальні рівняння рівноваги і руху рідин, розробив теоретичні основи гідродинаміки.

Практичне використання теоретичних основ гідродинаміки висвітлено в працях таких вчених як:

- французького гідравліка А. Шезі (1775 р.) – який досліджував рух рідини в каналах і трубах;
- Д. Вентурі (1780 р.) – вивчав витікання рідини через отвори і насадки;
- французького інженера А. Дарсі (1849 р.) – дослідження втрат напорів, які виникають при русі рідини в напірних трубопроводах і каналах;

- німецького гідравліка Ю. Вейсбаха (1854 р.) – дослідження місцевих втрат напорів, які виникають при русі рідини в напірних трубопроводах; і багато іншими вченими.

В 1791 році з'явилася перша книга з гідравліки на російській мові, яку написав А. Колмиков. «Карманная книжка для вычисления количества воды, протекающей через трубы, отверстия».

В 1836 році був виданий перший навчальний посібник на російській мові по гідравліці П.П. Мельникова «Основания практической гидравлики или о движении воды в различных случаях»; створена перша учбова гідравлічна лабораторія в Петербурзькому інституті шляхів.

В 1880 році Д.І. Мендєлєєв (1843-1907) – вперше вказав на існування двох режимів руху рідини з різними законами її опору, що згодом англійським фізиком Осборном Рейнольдсом (1842-1912) були підтверджені дослідженнями які були проведені в 1883 році і в результаті яких встановлені режими руху реальної рідини – турбулентний і ламінарний.

Велику роль в розвитку гідравліки того часу відіграли російські вчені і інженери:

М.П. Петров (1836-1920) – теоретично обґрунтував гіпотезу Ньютона про внутрішнє тертя в рідині; розробив гідродинамічну теорію мащення і опублікував в 1882 році працю «Гидродинамическая теория трения при наличии смазывающей жидкости» яка принесла йому світове визнання.

М.Є. Жуковський (1847-192*0*(1)) – розробив теорію гідравлічного удару в напірних трубопроводах (1898 р.); теорію зависання намулів у водних потоках; теорію фільтрації води в ґрунтах. В 1906 році М.Є. Жуковський разом з С.О. Чаплигіним (1869-1942) опублікував працю «О трении смазочного слоя между шипом и подшипником», в тому ж році розроблена теорія підйомної сили крила. На основі цієї теорії проводились розрахунки крил літаків, лопатей робочих коліс гідравлічних турбін, відцентрових і пропелерних насосів. Таким чином була вирішена важлива проблема аеродинаміки і гідродинаміки.

І.С. Громека (1851-1889) – засновник російської школи гідравліки; розробив теорію капілярних явищ; при проведені дослідів отримав рівняння вихрового руху рідини.

Акад. М.М. Павловський (1886-1937) – створив математичну теорію фільтрації води в ґрунтах і першого в Росії «Гидравлического справочника»; розробив метод електрогідродинамічних аналогій, розв'язав ряд інших питань гідравліки, засновник радянської школи гідравліки.

Б.О. Бахметєв (1880-1951) – вирішив в загальному вигляді задачу про інтегрування диференціального рівняння нерівномірного руху в

призматичних руслах; розробив теорію нерівномірного руху рідини в відкритих руслах.

З розвитком промисловості, техніки, технологій виникали нові гідравлічні задачі вирішенням яких на сучасному етапі займались провідні радянські та закордонні вчені. Значний вклад у розвиток гідравліки в цей період внесли вчені: Й.І. Агроскін, О.Н. Ахутін, М.А. Веліканов, М.Т. Башта, А.О. Угінчус, Р.Р. Чугаєв, А.Д. Альтштуль, В.А. Большаков, Д.В, Штеренлихт, та інші.

3. Основні властивості рідин

Рідиною називається фізичне тіло, яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму.

Рідиною називається речовина, що знаходиться в конденсованому агрегатному стані, проміжному між твердим і газоподібним. Такі рідини не мають своєї форми, а набирають форми об'єму тієї посудини, в яку вони налиті.

Рідини поділяють на два класи.

Стисливі рідини або газоподібні (***гази***).

Дуже малостисливі рідини або краплині рідини ***(вода, нафта, бензин, керосин, ртуть, масло, молоко і т.д.)***.

Гази заповнюють увесь наданий їм об'єм, не утворюють вільної поверхні, легко змінюють об'єм під час розширення або стиснення; чинять дуже малий опір зсуву (малов'язкі) і майже не протидіють розтягуванню.

Крапельні рідини утворюють вільну поверхню, майже не змінюють свого об'єму при деформаціях, чинять дуже великий опір стисненню і невеликий – зсуву, майже не протидіють розтягуванню.

Якщо не змінюється об'єм чи температура, поведінка газу якісно майже не відрізняється від поведінки краплинної рідини. У цих випадках закони будуть одночасно справедливі як для краплинних так і для газоподібних рідин.

В інженерних розрахунках, а також для розв'язування ряду практичних задач необхідно знати фізичні властивості рідин.

Основними фізичними властивостями рідин являються: густина, питома вага, в'язкість, об'ємне розширення, стисливість.

Інші властивості рідин: відносна питома вага, відносна густина, теплоємність, теплопровідність, поверхневий натяг (капілярність), текучість, колір тощо в гідравлічних задачах використовуються рідко, тому вони вважаються другорядними.

Густина ρ – це маса рідини в одиниці її об'єму. Густина рідини визначається по формулі

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{кг}{м^3}; \quad \frac{н \cdot с^2}{м^4}\right], \tag{4.1}$$

де m – маса рідини;

V – об'єм рідини.

Зміна густини рідини залежить від зміни тиску і температури. Вона, як правило збільшується з підвищенням тиску. Всі рідини, крім води, характеризуються зменшенням густини з збільшенням температури. Густина води найбільша при t = 4°С (277°К), $\rho = 1000\left[\frac{кг}{м^3}\right]$, та вона зменшується як з зменшенням, так і збільшенням температури від цього значення. В цьому проявляється одна з аномальних властивостей води.

Питома (об'ємна) вага γ – це відношення ваги рідини до її об'єму. Питома вага рідини визначається по формулі

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \left[\frac{н}{м^3}; \quad \frac{кгс}{м^3}\right]. \tag{4.2}$$

Враховуючи що вага рідини визначається по формулі $G = m \cdot g$; підставивши значення ваги в формулу для визначення питомої ваги і замінивши відношення на густину отримаємо формулу, яка показує зв'язок між густиною і питомою вагою.

де G – вага рідини, Н.

Отже, $\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \Rightarrow \gamma = \rho \cdot g$.

Стисливість – здатність рідини змінювати свій об'єм під дією сили тиску. Стисливість характеризується коефіцієнтом об'ємного стиснення β_V, який визначається за формулою:

$$\beta_V = \frac{1}{V}\left(\frac{\Delta V}{\Delta p}\right) = \frac{1}{V}\left(\frac{V_1 - V_2}{p_2 - p_1}\right), \tag{4.3}$$

де V – початковий об'єм рідини, м^3;

ΔV – зміна об'єму, м^3;

Δp – зміна тиску, Па.

Величина, обернена коефіцієнту об'ємного розширення, називається *модулем пружності рідини* і визначається за формулою:

$$E_p = \frac{1}{\beta_V}. \tag{4.4}$$

Модуль пружності рідини залежить від температури і тиску.

Об'ємне розширення – здатність рідини змінювати свій об'єм в залежності від температури і характеризується коефіцієнтом температурного розширення β_t; який визначається за формулою:

$$\beta_t = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{V}\left(\frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}\right). \qquad (4.5)$$

В'язкість – властивість рідини чинити опір дотичним зусиллям, або чинити опір відносному зсуву часток(ковзанню одного шару відносно іншого). Сили, що виникають при цьому називаються силами внутрішнього тертя, чи силами в'язкості. В'язкість проявляється лише при русі рідини і залежить від сил міжмолекулярної взаємодії.

На основі експериментів встановлено, що при русі рідини швидкість її в різних точках потоку різна. Так, якщо розглядати рух рідини між двома паралельними пластинами нескінченної довжини (рис. 4.1), одна з яких нерухома, а інша рухається зі швидкістю *u*, то виявиться, що швидкість руху кожної точки (кожного шару) рідини пропорційна відстані точки (шару) рідини *y* від нерухомої пластини. Внаслідок цього між шарами виникають відносні зсуви зі швидкістю Δ*u*, що приводить до виникнення сил внутрішнього тертя.

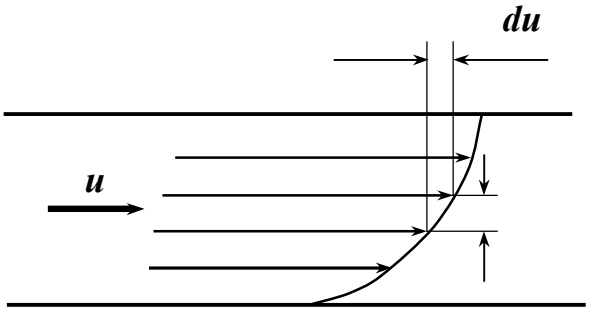


Рис. 4.1. Епюра швидкостей у рідині

Вперше наявність внутрішнього тертя в рідині була відзначена І. Ньютоном ще у 1687 році в гіпотезі про те, що сила внутрішнього тертя між шарами рідини залежить від властивостей рідини, пропорційна площі поверхні дотику шарів (площі тертя), відносній швидкості руху й не залежить від зовнішнього тиску. Достовірність гіпотези І. Ньютона була експериментально доведена М.П. Петровим в його праці «Тертя в машині і вплив змащувальної рідини».

В'язкість – це основна ознака, якою реальна рідина відрізняється від ідеальної.

Ідеальною вважається така рідина, яка має сталу густину й абсолютну рухливість частинок (сили в'язкості відсутні).

Силу внутрішнього тертя *T* можна визначити за формулою:

$$T = \pm \mu S \frac{du}{dy}, \qquad (4.6)$$

де μ – коефіцієнт внутрішнього тертя (коефіцієнт динамічної в'язкості залежить від руху рідини і її температури);

S – площа поверхні дотичних шарів;

$\frac{du}{dy}$ – градієнт швидкості, який характеризує зміну відносної швидкості при переході від одного шару до іншого.

Величину, обернену до динамічного коефіцієнта в'язкості називають *текучістю,* яка визначається по формулі:

$$k = \frac{1}{\mu}; \tag{4.7}$$

В'язкість рідини характеризується двома коефіцієнтами: динамічним і кінематичним

В гідравлічних розрахунках швидше всього користуються коефіцієнтом кінематичної в'язкості рівним відношенню коефіцієнта динамічної в'язкості μ до густини рідини ρ, який визначається за формулою:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left[\frac{м^2}{с}\right] \quad (1\,\text{стокс}). \tag{4.8}$$

Вимірюють в'язкість за допомогою приладів, які називаються віскозиметрами.

В посуд заливають 200 мл досліджуваної рідини і підігрівають до $t = 20°C$.

$$^0E = \frac{T_p}{T_в}. \tag{4.9}$$

В'язкість крапельних рідин, як правило, з підвищенням температури зменшується.

Відносна питома вага δ (дельта) – це відношення питомої ваги i-тої рідини(будь якої) до питомої ваги дистильованої води при температурі 4°C $\gamma_4 = 10000\frac{Н}{м^3}$.

визначається по формулі $\delta = \frac{\gamma_i}{\gamma_4}$. (4.10)

Капілярність – здатність рідини підніматися або опускатися в трубках малого діаметра (капілярах), під дією додаткового тиску, спричиненого поверхневим натягом. Сила притягання води буде достатньою, щоб підняти невеликий об'єм рідини у середині трубки невеликого діаметра (рідина змочує стінки капіляра). При цьому утвориться так званий *угнутий меніск* (4.2, а) сила взаємодії між частинками рідини й стінками

капіляра більша, ніж між частинками в середині рідини. Явище капілярності виникає у трубці, внутрішній діаметр якої менший від 12 мм. Якщо скло занурити в рідину з більшою, ніж у скла, питомою вагою (наприклад ртуть), то її частинки притягаються одна до одної сильніше ніж до скла. Така рідина в середині скляної трубки не опуститься а, навпаки дещо підніметься (рідина не змочує стінки капіляра). При цьому утвориться *опуклий меніск* (4.2, б) сила взаємодії між частинками рідини й стінками капіляра менша, ніж між частинками в середині рідини.

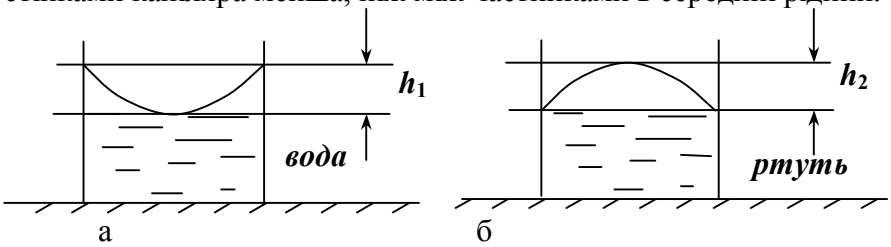


Рис. 4.2. Види менісків: а – угнутий; б – опуклий

Висота підняття, або опускання рідини в капілярові враховується тільки при використанні рідинних приладів для вимірювання тисків.

Опір розтягуючим зусиллям. Міцність рідини на розрив характеризується досить великими величинами. Проте, наявність в рідині дрібних часток або бульбашок газу призводить до різкого їх зменшення.

З урахуванням цього, на практиці вважають, що рідина не чинить опору розтягуючи зусиллям і, як правило, величиною розтягуючи зусиль нехтують.

3. Сили і напруження які діють в рідині

На рідину, що знаходиться в стані рівноваги чи руху, діють внутрішні й зовнішні сили. Внутрішні (міжмолекулярні) – це сили, що діють між частками рідини всередині її, і в гідравліці вони не враховуються. Зовнішні – це сили, які обумовлені зовнішніми факторами. Зовнішні сили, що діють на рідину, поділяються на масові й поверхневі.

Масові сили – це сили, які діють на кожну частку рідини, тобто сили, розосереджені по всій масі рідини. Їх ще називають об'ємними силами. До масових сил належать сила тяжіння (ваги) та сила інерції.

Поверхневі сили – це сили, прикладені до поверхні, яка обмежує рідину, або до поверхні, проведеної довільно всередині рідини. До поверхневих сил належать нормальна до поверхні рідини сила тиску P, наприклад сила атмосферного тиску та сила тиску суміжних шарів рідини (по відношенню до шару або об'єму рідини, що розглядаються), а також дотична до поверхні сила тертя.

У стані рівноваги на рідину діють: із масових сил – сила тяжіння (ваги) та сила інерції, із поверхневих сил – нормальна сила тиску та сила тиску суміжних шарів. У стані руху рідини на неї діє, крім вище перерахованих сил, дотична до поверхні сила тертя.

Слід відмітити, що на рідину в стані рівноваги можуть діяти тільки поверхневі сили нормальні до її поверхні, тобто відсутні будь – які дотичні сили, які викликають дотичні напруження. Дотичні напруження в рідині виникають тільки в випадку її руху.

Питання для самоконтролю до лекції №1.

1. Що вивчає гідростатика?
2. Які вчені є основоположниками гідравліки?
3. В яких галузях техніки застосовуються закони гідравліки?
4. За якою формулою визначається густина рідини?
5. Які основні фізичні властивості рідин?
6. Що таке рідина взагалі та реальна й ідеальна рідини зокрема?
7. Які рідини вважаються краплинними?
8. Яким приладом вимірюється в’язкість рідин?
9. Які сили діють на рідини, що знаходяться в стані рівноваги та руху?

4.3. ЛЕКЦІЯ №2. Основні положення гідростатики

Змістовий модуль 1 «ГІДРОСТАТИКА»

Тема: Основні положення гідростатики.

Мета. Вивчити основне рівняння гідростатики. Ознайомитися з видами тиску, а також з будовою і принципом дії приладів для вимірювання тиску.

План лекції

1. Гідростатичний тиск та його властивості.
2. Основне рівняння гідростатики та його геометрична інтерпретація.
3. Види тиску.
4. Вимірювання тиску.
5. Диференційні рівняння рівноваги рідини(рівняння Ейлера).
6. Гідростатичний напір, п'єзометрична та вакуумметрична висоти.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 13-33).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 13-30).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10-17).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 14-22).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 13-25).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 7-15).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 7-53).

Матеріал лекції

1. Гідростатичний тиск та його властивості

Для вивчення гідростатичного тиску розглянемо посуд, наповнений рідиною яка знаходиться в стані спокою.

Уявімо даний об'єм рідини затверділим і розділимо його площиною *K* на дві частини, замінивши її дію рівнодіючою силою *F*, нормальною (перпендикулярною) до площини *K* . Сила вимірюється в кгс (система МКГСС) або в *H* (система СІ).

1 кгс = 9,81 Н ≈ 10 Н.

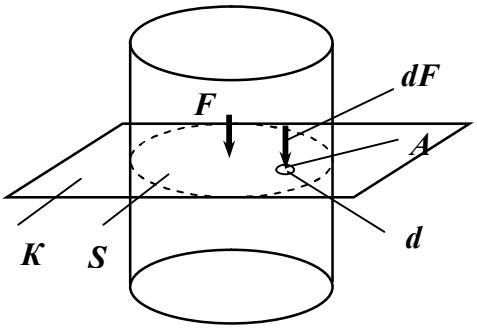


Рис. 4.3. Схема до обґрунтування поняття середнього гідростатичного тиску

Якщо силу *F*, що називається сумарною силою гідростатичного тиску, рівномірно розподілити по площі *S*, то отримаємо середній гідростатичний тиск (рис. 4.3).

$$p_c = \frac{F}{S}. \qquad (4.11)$$

Крім середнього гідростатичного тиску в гідравліці існує поняття гідростатичного тиску в точці, або просто гідростатичного тиску.

Виділимо на площині *K* елементарну площадку ΔS на яку в точці *A* діє елементарна сила ΔF. Якщо зменшувати цю площадку до нуля при умові, що точка *A* буде залишатися всередині, то границя відношення сили тиску ΔF до площадки ΔS, на яку вона діє, визначить **гідростатичний тиск в даній точці** (рис. 4.3).

$$p = \lim_{\Delta S \to 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta S} \right). \qquad (4.12)$$

Гідростатичний тиск характеризується трьома основними властивостями:

1. Перша властивість.

Гідростатичний тиск направлений завжди по внутрішній нормалі до поверхні, на яку він діє.

Щоб довести це, розглянемо посуд, наповнений рідиною (рис. 4.4). Розділимо об'єм, що знаходиться в посуді похилою площиною *K* на дві частини.

На площині розділу візьмемо точку *C*. Допустимо, що сила гідростатичного тиску *F*, прикладена в цій точці, направлена не по нормалі до площини *K*. Тоді цю силу можна розкласти на дві складові: нормальну і дотичну $F_д$ до площини *K*. Але, як відомо, рідина не може чини-

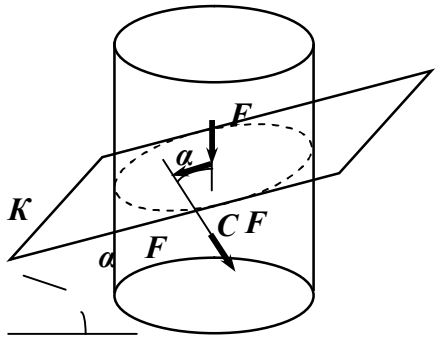


Рис. 4.4. Схема до обґрунтування першої властивості гідростатичного тиску

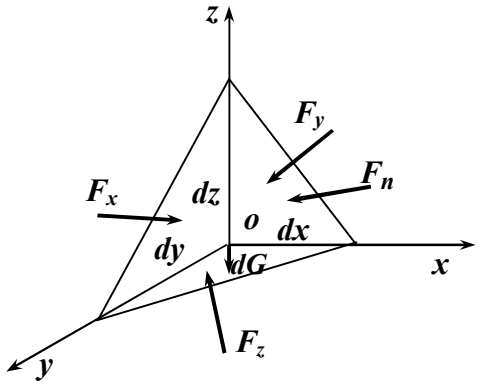


Рис. 4.5. Схема до обґрунтування другої властивості гідростатичного тиску

ти опір дотичним зусиллям, так як частки її повинні були б вийти з рівноваги, а це перечить умові про стан спокою рідини.

Відповідно, єдиним можливим напрямком дії сили гідростатичного тиску F повинна бути нормаль до площини K, тобто кут нахилу до нормалі $\alpha = 0$.

2. Друга властивість.

Гідростатичний тиск в будь-якій точці рідини діє однаково в усіх напрямах.

Для доказу цієї властивості виділимо навколо т. O тетраедр нескінченно малих розмірів (рис. 4.5). Відкинемо умовно всю рідину, що омиває тетраедр, замінивши її дію силами тиску F_x, F_y, F_z, F_n прикладеними нормально до його відповідних граней.

Крім цих сил на тетраедр діє сила ваги dG. При умові рівноваги суми проекцій всіх сил на осі координат повинні бути рівними 0.

Запишемо рівняння рівноваги відносно осей x, y, z

$$\begin{aligned} F_x - F_n \cos(F_n x) &= 0 \\ F_y - F_n \cos(F_n y) &= 0 \\ F_z - F_n \cos(F_n z) &= 0 \end{aligned} \qquad (4.13)$$

Виконавши відповідні підстановки з урахуванням виразу $p = \frac{F}{S}$ і нехтуючи силами ваги, яка являється нескінченно малою величиною порівняно з силами гідростатичного тиску, отримаємо рівняння 4.14.

$$p_x \frac{dydz}{2} - p_n \frac{dydz}{2} = 0$$

$$p_y \frac{dxdz}{2} - p_n \frac{dxdz}{2} = 0 \qquad (4.14)$$

$$p_z \frac{dydx}{2} - p_n \frac{dydx}{2} = 0 .$$

Після скорочення отримаємо рівності:

$$p_x = p_n ; p_y = p_n ; \; p_z = p_n . \qquad (4.15)$$

Відповідно, $p_x = p_y = p_z = p_n = p$, тобто гідростатичний тиск в точці O діє в усіх напрямках з однаковою силою, так як напрямки взято нами довільно.

3. Третя властивість.

Гідростатичний тиск в експериментальній точці залежить лише від положення її в просторі, тобто для заданої рідини являється функцією координат цієї точки

$$p = f(x, y, z) .$$

Даний вираз не потребує спеціального доведення, так як, очевидно, що по мірі збільшення занурення точки під рівень, тиск в ній буде збільшуватися, і, навпаки, по мірі зменшення занурення – зменшуватися.

2. Основне рівняння гідростатики та його геометрична інтерпретація

Для розгляду основного рівняння зробимо малюнок (рис. 4.6).

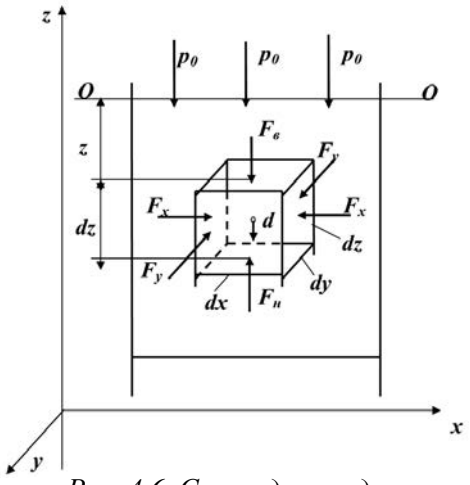


Рис. 4.6. Схема до виведення основного рівняння гідростатики

Припустимо, що на поверхню рідини діє тиск $\boldsymbol{p_0}$.

Виділимо в даному об'ємі рідини елементарний паралелепіпед з ребрами ***dxdydz***, паралельними напрямкам відповідних координатних осей і розглянемо умову його рівноваги.

На верхню основу паралелепіпеда площею ***dxdy***, що знаходиться на глибині ***z*** від граничної поверхні О-О, діє рівномірно розподілений гідростатичний тиск ***p***. Відповідно, діюча сила на верхню основу паралелепіпеда буде визначатися за формулою:

$$F_в = pdxdy . \qquad (4.16)$$

Сила, що діє на нижню основу буде визначатися за формулою:

$$F_н = (p + dp)dxdy\,, \tag{4.17}$$

оскільки збільшення глибини на *dz* буде відповідати зміна (приріщення) тиску на *dp*.

Вага паралелепіпеда (згідно об'ємної ваги рідини) визначатися за формулою:

$$dG = \gamma dxdydz \text{ або } \rho g dxdydz\,. \tag{4.18}$$

Запишемо умову рівноваги відносно осі ***z*** (проекції сил, що діють на вертикальні грані паралелепіпеда рівні 0).

Складемо рівняння рівноваги всіх сил спроектувавши їх на вісь *Z* отримаємо: $F_в + F_н + dG = 0$, підставивши значення формул (4.16-4.18) отримаємо рівняння:

$$pdxdy + \rho g dzdydz - (p + dp)dxdy = 0 \tag{4.19}$$

або, якщо скоротити і змінити знаки, розкриваючи дужки, отримаємо:

$$dp = \rho g dz, \tag{4.20}$$

дане рівняння являється *основним диференціальним рівнянням рівноваги однорідної рідини.*

Тобто величина гідростатичного тиску в рідині, що знаходиться в стані спокою, зростає із збільшенням глибини занурення, являючись лінійною функцією ***z*** (вертикалі).

Інтегрування рівняння (4.20) дасть вираз для величини повного (абсолютного) гідростатичного тиску в певній точці

$$p_{абс} = \rho g z + c\,, \tag{4.21}$$

де *c* – стала інтегрування, яку можна визначити з граничних умов.

Для прикладу

$$z = 0 \rightarrow p_{абс} = p_0\,, \tag{4.22}$$

де p_0 – тиск на поверхню, і тоді $c = p_0$.

Відповідно,

$$p_{абс} = \rho g z + p_0\,, \tag{4.23}$$

якщо $z = h$, то вираз (4.23) можна записати по іншому і отримати вираз:

$$p_{абс} = p_0 + \rho g h \tag{4.24}$$

Отримане рівняння являється *основним рівнянням гідростатики*, яке описує закон розподілу тисків по глибині рідини, яка знаходиться в стані спокою.

Геометричне зображення елементів основного рівняння гідростатики показане на схемі (рис. 4.7).

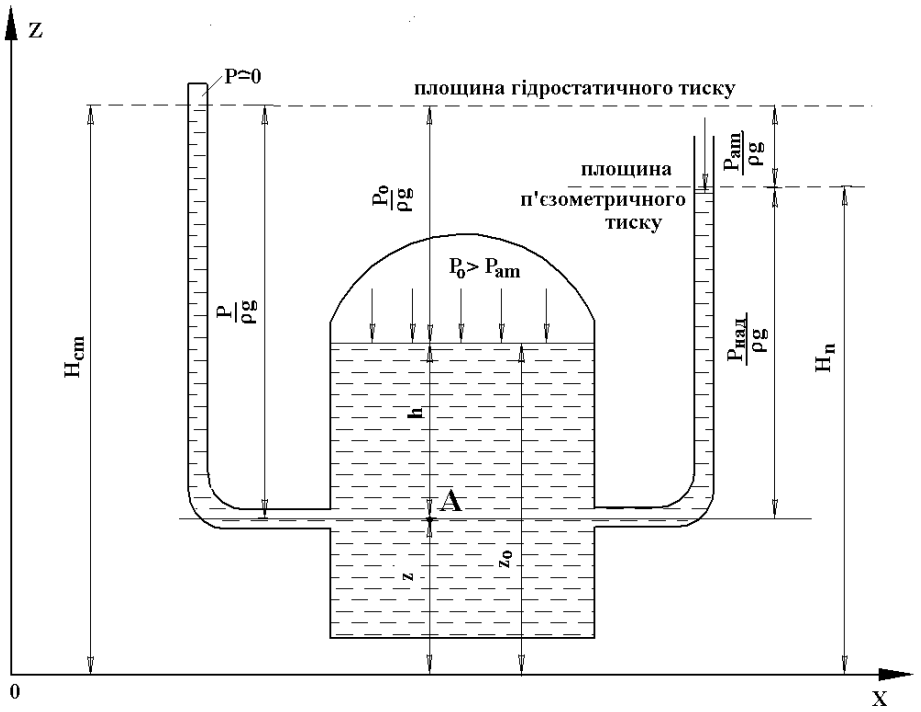


Рис. 4.7. Схема геометричного зображення (інтерпретація) основного рівняння гідростатики

Розглянемо основне рівняння гідростатики стосовно точки А.

Відлік значень усіх елементів будемо вести відносно горизонтальної площини 0-0, яка приймається в якості координатної ОХ.

У гідравліці ця площина називається *площиною порівняння*. Основною умовою щодо місця її розташування є горизонтальність, тобто вона обов'язково повинна бути горизонтальна, у висотному відношенні вона може розташовуватися як завгодно (високо чи низько), але з урахуванням умов задачі, яка розв'язується.

Ординати, які відміряються від неї, називаються *висотою положення точки, або геометричним напором* у цій точці.

Згідно з схемою (рис. 4.7), ордината положення точки А відносно площини порівняння буде *Z*, вона має лінійну розмірність.

Величина $p/(\rho g)$ є геометричною висотою, на яку рідина піднімається під дією тиску. Її можна виміряти за допомогою, наприклад, скляної трубки (п'єзометра) із закритим верхнім кінцем, з якої видалене повітря, приєднаної до посудини на рівні точки *A*, тобто точки, в якій вимірюється тиск. Розмірність величини $p/(\rho g)$ лінійна і показує геометричну висоту, на яку піднімається рідина під дією тиску *p*.

3. Види тиску

В природі існують різні види тисків:

- атмосферний тиск;
- гідростатичний тиск;
- тиск серцево-судинної системи;
- тиск ока (медики називають «очний»);
- тиск нирковий і т.д.

Атмосферний тиск, зрозуміло, – це той тиск, який діє на всі предмети, на нас, тобто та атмосфера, яка нас оточує, в залежності від природного стану, він може мати різне значення в межах допустимих величин.

Гідростатичний тиск поділяється на абсолютний, надлишковий (манометричний) і вакуум метричний (рис. 4.8).

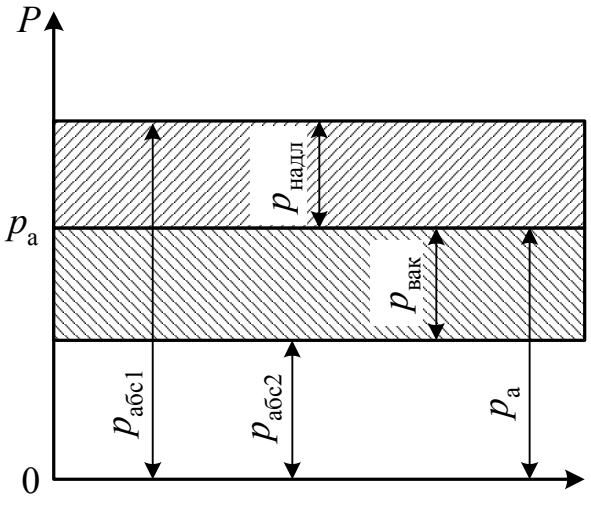


Рис. 4.8. Схема до обґрунтування видів тиску

Абсолютний тиск $p_а$ – це тиск, який відраховується від нульового значення тиску.

Надлишковий (манометричний) тиск p – це тиск, на величину якого абсолютний тиск у точці перевищує атмосферний тиск (рис. 4.8).

Його можна визначити за формулою

$$p = p_{абс1} - p_а , \qquad (4.25)$$

де $p_а$ – атмосферний тиск.

Манометричним він називається тому, що вимірюється манометрами. Оскільки в інженерній практиці переважає саме надлишковий тиск, то при його позначенні літера p не супроводжується символом «н».

Вакуумметричний тиск $p_{вак}$ – це тиск, на величину якого абсолютний тиск у будь-якій точці буде меншим за атмосферний тиск (рис. 4.8); його можна визначити за формулою

$$p_{вак} = p_а - p_{абс\,2} . \qquad (4.26)$$

Максимальний вакуум (при $p_{абс2} = 0$) не може бути більшим, ніж атмосферний тиск $p_а$.

Вакуумметричний тиск має місце в усмоктувальних трубах насосних установок. Слід підкреслити, що ***вакуум*** (лат. vacuum – розрідження) – це зовсім не порожнина, це тільки недостача абсолютного тиску до атмосферного, і він може мати місце як у газовому середовищі, так і всередині рідини. Слід враховувати й ту обставину, що при малих тисках, наприклад, вода може перетворитися на пару, а тому в трубопроводах (зокрема, в усмоктувальних трубопроводах насосів) не допускається перевищення вакууму більше ніж на 7 м вод. ст.

СПІВІДНОШЕННЯ МІЖ ОДИНИЦЯМИ
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ:

1атм.техн. = 1 кгс/см^2 = 10 м.вод.ст. = 754 мм. рт. ст. = 98066 Па(Н/м^2) = = 98 кПа = 0,098 МПа.

1 мм. рт. ст. = 133,3 Па. 1 м. вод. ст. = 9,81 Па

Інші види тиску розглядаються в спеціальній літературі.

4. Вимірювання тиску

Нагадаємо, що ***метрологія*** (від грец. metron – міра і logos – наука) – наука про вимірювання. Однією з основних проблем метрології є розробка засобів вимірювань. Тиск вимірюється спеціальними пристроями. За допомогою їх встановлюються якісні та кількісні показники (значення) тиску. Прилади для вимірювання тиску є найбільш розповсюдженими і складають близько 25% від усіх існуючих вимірювальних приладів.

Прилади для вимірювання тиску певним чином класифікуються.

За видом вимірюваного тиску:

- барометри – для вимірювання атмосферного тиску;
- манометри – для вимірювання надлишкового тиску;
- вакуумметри – для вимірювання вакуумметричного тиску;
- мановакуумметри – для вимірювання манометричного і вакуумметричного тиску.

За принципом дії:

1. Рідинні – п'єзометри, рідинні барометри та манометри, мікроманометри. Вказівним елементом, який сприймає тиск, у них є рідина, а мірою тиску – її стовп, що врівноважується вимірюваним тиском.

2. Механічні – вантажопоршневі, пружинні, мембранні, сильфонні манометри та механічні барометри. Елементами, які сприймають тиск у цих приладах, є відповідно вантажопоршнева колонка, трубчаста пружина, мембрана і сильфон.

3. Електричні – принцип дії яких базується на залежності електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірюваного тиску.

4. Комбіновані – у них поєднується принцип дії рідинних і механічних з електричними.

За класом точності прилади класифікуються: 0,005; 0,02; 0,05; 0,15; (0,16); (0,2); 0,25; 0,4; (0,5); 0,6; 1,0; 1,5; (1,6); 2,5; 4,0; (6). У дужках наведені класи точності, які зустрічаються рідше.

Клас точності – це максимальна допустима погрішність приладу, виражена в процентах від граничного тиску, вимірюваного приладом.

За призначенням прилади поділяються на три групи:

а) технічні (робочі), клас точності – 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0;

б) лабораторні (контрольні), клас точності – 0,5;

в) зразкові, якими перевіряються інші манометри, клас точності – 0,02; 0,05; 0,15; 0,25; 0,4.

Розглянемо конструкцію та принцип дії деяких приладів для вимірювання тиску.

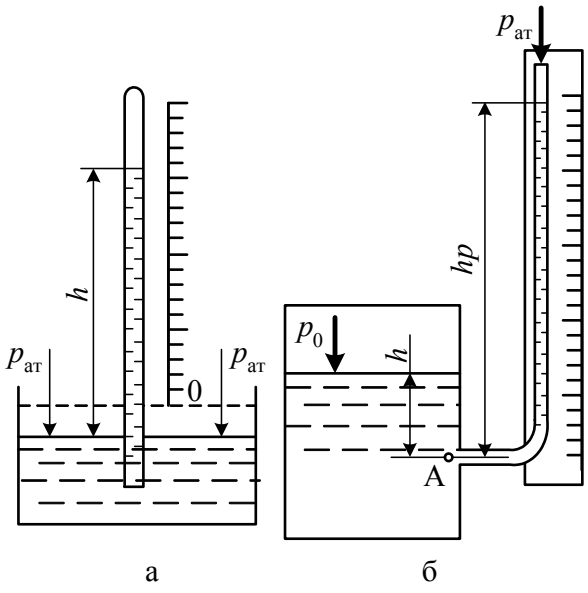


Рис. 4.9. Схеми: а – рідинного барометра б – п'єзометра

Барометри – це прилади для вимірювання атмосферного тиску. Найпростіший рідинний барометр (рис. 4.9, а) складається зі скляної трубки, запаяної з одного кінця, з якої видалене повітря. Відкритим кінцем трубка опущена в посудину з рідиною (частіше ртуттю). Для фіксації показань до трубки додається шкала.

Оскільки на вільну поверхню рідини в посудині діє атмосферний тиск, то рідина піднімається в трубці на висоту h, яку можна знайти з формули $h = p_a/\gamma_{рід}$. За нормальних умов висота стовпа ртуті буде 0,735 м рт. ст., а води – 10 м вод. ст.

П'єзометри – це рідинні прилади, які складаються зі скляної відкритої трубки діаметром не менше 10 мм зі шкалою.

Нижнім кінцем трубка приєднується до посудини, в якій вимірюється тиск, вказівною рідиною в них є та ж рідина, в якій вимірюється тиск. За допомогою п'єзометра вимірюється порівняно невеликий надлишковий тиск – до 2…3 м вод. ст.

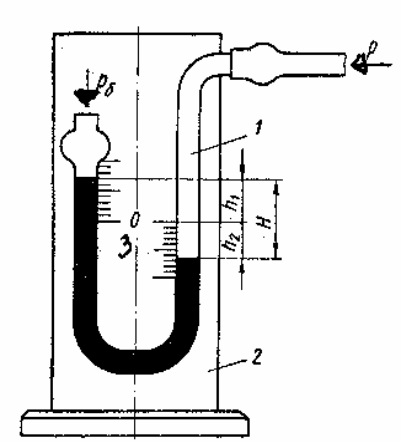


Рис. 4.10. Рідинний манометр

Рідинні манометри відрізняються від п'єзометрів тим, що в них тиск що вимірюється урівноважується стовпом рідини з більшою питомою вагою, наприклад ртуті $\gamma_{рт} = 136$ кН/м^3. Принцип дії їх базується на зрівноваженні вимірюваного тиску тиском відповідного стовпа рідини (рис. 4.10). Вони прості за конструкцією і порівняно точні за вимірюванням тиску. Але їх не використовують в системах автоматичного керування, оскільки немає можливості передавати значення тиску на відстань.

Рідинний манометр являє собою зігнуту як латинська велика літера *U* скляну трубку 1, що закріплена на дошці 2 зі шкалою 3.

Трубку приладу заповнюють рідиною (вода, ртуть тощо) до нульової відмітки («0»). Один кінець трубки з'єднують з вимірюваним тиском (P_1), а другий залишають вільним (тобто на нього діє атмосферний тиск $P_б$). Для рисунка 4.10 рідина справа, нижче «0» на величину h_2, а зліва – вище «0» на величину h_1, тоді зміна тиску визначається за формулою:

$$\Delta P = P_1 - P_б = H \cdot g \cdot \rho , \qquad (4.27)$$

де $H = h_1 + h_2$ – висота стовпа рідини (м);

g – прискорення вільного падіння (м/с^2);

ρ – густина рідини (кг/м^3), тобто вимірюваний тиск (ΔP) – надлишковий.

Найпростішим являється *U*-подібний ртутний манометр в якому коліно трубки заповнюється ртуттю.

Ртутні манометри використовуються для вимірювання тиску до 3 атм – далі вони є громіздкими і використовуються тільки в лабораторних умовах.

Мікроманометри – це також рідинні прилади, призначені для вимірювання малих тисків з високою точністю (рис. 4.11).

Вони складаються з резервуара 1, заповненого рідиною (найчастіше спиртом), і приєднаної до резервуара нахиленої трубки 2 зі шкалою. Тиск, який показує мікроманометр, знаходиться за залежністю $p = \rho g L \cdot \sin\alpha$, де L – довжина заповнення трубки вказівною рідиною; α – кут нахилу трубки.

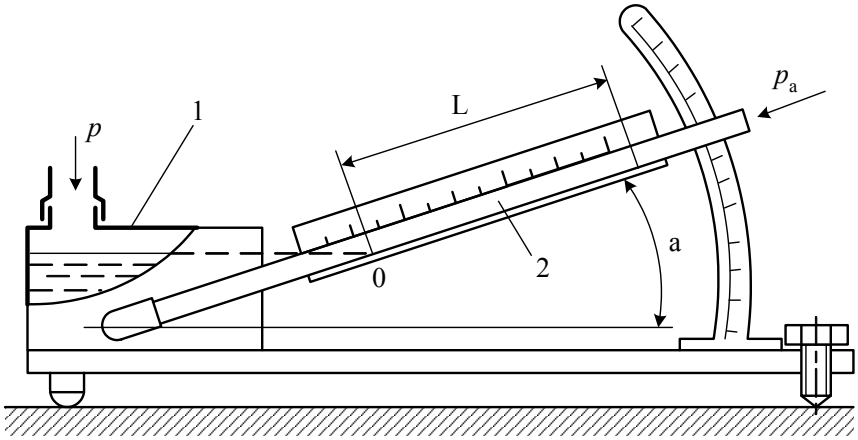


Рис. 4.11. Схема мікроманометра: 1 – резервуар; 2 – нахилена трубка

Для вимірювання високих тисків використовують механічні (пружинні) манометри, вони відрізняються простотою конструкції і портативністю. Це є основні прилади для вимірювання тиску більшого за атмосферний.

Механічні манометри – це прилади, в яких тиск сприймається трубчастою пружиною (рис. 4.12, а) або мембраною (рис. 4.12, в).

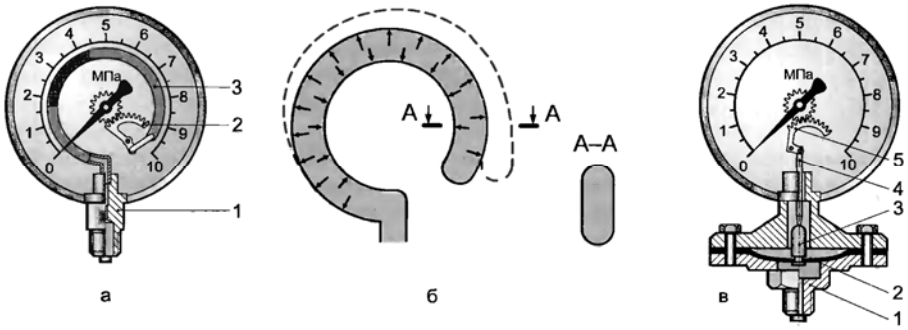


Рис. 4.12. Механічні манометри:
а – пружинний (трубчастий): 1 – штуцер, 2 – приводний механізм з стрілкою, 3 – трубка-пружина; б – схема роботи трубчастого манометра, в – мембранний: 1 – штуцер, 2 – мембрана, 3 – поводок, 4 – штовхач, 5 – приводний механізм з стрілкою

Ці прилади штуцером приєднуються до області вимірюваного тиску. Під дією тиску рідина в пружинному манометрі надходить до трубчастої пружини 3 (рис. 4.12, б), яка під впливом тиску розпрямляється, і кінець її за допомогою приводного механізму 2 приводить у рух стрілку, яка на шкалі манометра показує значення тиску.

У мембранних манометрах тиск рідини сприймається мембраною 2 (металевою гофрованою пластиною), внаслідок чого мембрана вигинається, а її вигинання поводком 3 передається на зубчастий механізм 5, який приводить у рух стрілку, що показує на шкалі значення тиску.

Механічними манометрами вимірюється тиск до 2,5 МПа. Поряд з переконливими перевагами основним недоліком механічних манометрів є залишкова деформація пружних елементів, а тому їх необхідно періодично перевіряти.

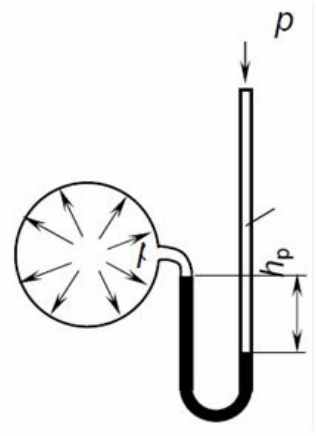


Рис. 4.13. Схема рідинного вакуумметра

Вакуумметри. Вони призначені для вимірювання вакуумметричного тиску і можуть бути як рідинними (рис. 4.13), так і механічними (аналогічними пружинним манометрам) (рис. 4.12, а).

Візьмемо посудину в якій тиск менший атмосферного (тобто вакуумметричний), і з'єднаємо її зігнутою трубкою з рідиною, яка знаходиться в посудині. Оскільки в посудині тиск менше атмосферного, то рідина під дією атмосферного тиску p_a, який діє на її поверхні опуститься на висоту $h_{вак}$, яка і є вакуумметричною. У пружинному вакуумметрі, під дією вакуумметричного тиску, пружина стискується і змушує стрілку рухатися у зворотному (у порівнянні з манометрами) напрямку (проти годинникової стрілки).

5. Диференціальні рівняння рівноваги рідини (рівняння Ейлера)

Диференціальні рівняння рівноваги рідини є математичним обґрунтуванням розподілу тиску всередині рідини, яка знаходиться в стані рівноваги. Рівняння виведені у 1755 р. дійсним членом Російської академії наук (м. С.-Петербург) Л. Ейлером.

При виведенні рівнянь у об'ємі рідини, яка знаходиться в стані рівноваги, виділяється нескінченно малий об'єм рідини у формі паралелепіпеда з ребрами *dx*, *dy*, *dz*, поміщений в систему прямокутних координат (рис. 4.14). Умовно відкинемо оточуючу паралелепіпед рідину, а її дію замінимо відповідними силами. Приймемо, що в центрі грані BCDE, у точці A, діє тиск *p*. Оскільки тиск є безпосередньою функцією координат, то, розклавши цю функцію в ряд Тейлора по прирощенню *∂p* і обмежуючись при цьому двома першими членами, отримаємо вираз для тиску в центрі бокової грані GLNK:

$$p + \frac{\partial p}{\partial x} dx . \tag{4.28}$$

На грань BCDE діє сила тиску $P = pdydz$, а на грань GLNK –

$$P_1 = \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz . \tag{4.29}$$

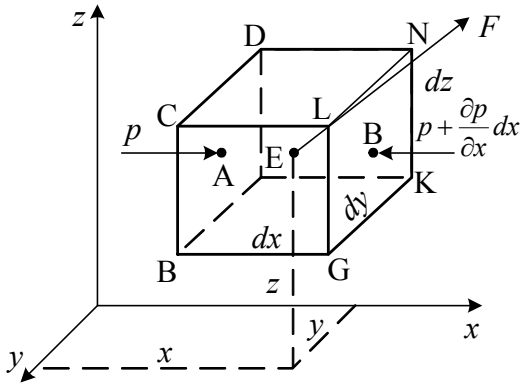


Рис. 4.14. Схема до виведення рівнянь рівноваги рідини

Крім сил тиску, на паралелепіпед діють масові сили F, проекція яких на вісь x буде F_x.

Проектуючи на вісь x усі зовнішні сили, які діють на паралелепіпед, отримаємо:

$$pdydz - (p + \frac{\partial p}{\partial x} dx) dydz + \rho dxdydz F_x = 0 . \tag{4.30}$$

Після спрощення маємо:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dxdydz + \rho dxdydz F_x = 0 . \tag{4.31}$$

Остаточно для осі x отримаємо (у тому числі аналогічно й у напрямку осей y, z):

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \rho F_x = 0 ; \; -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho F_y = 0 ; -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho F_z = 0 . \tag{4.32}$$

Отримані рівняння і є диференціальними рівняннями рівноваги рідини, або рівняннями Ейлера. Кожне з них характеризує зміну тиску в напрямку відповідної осі координат.

Якщо кожне з рівнянь (4.32) помножити відповідно на ρdx, ρdy, ρdz і скласти почленно, отримаємо:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho \left(F_x dx + F_y dy + F_z dz \right). \tag{4.33}$$

Ліва частина цього рівняння є повним диференціалом тиску *dp*, тобто:

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz\,. \tag{4.34}$$

Як наслідок,

$$dp = \rho\left(F_x dx + F_y dy + F_z dz\right). \tag{4.35}$$

Оскільки густина однорідної рідини ρ = const, то рівняння (4.35) має сенс тільки тоді, коли його права частина є також повним диференціалом якоїсь функції *u* (*x, y, z*), частинні похідні якої по *x, y, z* були б;

$$F_x = \frac{\partial u}{\partial x};\; F_y = \frac{\partial u}{\partial y};\; F_z = \frac{\partial u}{\partial z}\,. \tag{4.36}$$

Отримані функції називаються потенціальними. Тоді рівняння (4.35) набере вигляду

$$dp = \rho du\,, \text{ або } dp = -\rho d\Pi\,, \tag{4.37}$$

де $d\Pi = du$.

Функція Π (*x, y, z*) виражає потенціальну енергію поля масових сил.

Проінтегрувавши останнє рівняння (4.37), отримаємо:

$$p = -\rho\Pi + c, \text{ або } p + \rho\Pi = c\,, \tag{4.38}$$

де *c* – довільна постійна інтегрування.

Для двох точок одного й того ж об'єму однорідної нестискуваної рідини рівняння (4.38) буде мати вигляд:

$$p_0 + \rho\,\Pi_0 = p_1 + \rho\,\Pi_1\,. \tag{4.39}$$

За допомогою рівняння (4.39) можна знайти гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини, якщо відомі значення функцій Π_1, p_0 і Π_0.

6. Гідростатичний напір, п'єзометрична та вакуумметрична висота

Гідростатичним напором H у точці А називається сума ординат положення її відносно площини порівняння *Z* і висоти стовпа рідини, що відповідає тиску *p* (рис. 4.7, зліва), тобто:

$$H = Z + p/(\rho g)\,. \tag{4.40}$$

З енергетичної точки зору гідростатичний напір – це міра енергії, яка належить одиниці ваги рідини, тобто питома енергія.

Якщо трубка (п'єзометр) відкрита (рис. 4.7, справа) і тиск на вільній поверхні дорівнює атмосферному, то рідина в трубці підніметься на висоту $p_{\text{надл}}/(\rho g)$, яка відповідає надлишковому тиску. Висота підняття

рідини у відкритому п'єзометрі $h_п$ під дією надлишкового тиску називається ***п'єзометричною висотою***:

$$h_п = p_{надл}/(\rho g) \qquad (4.41)$$

Сума п'єзометричної висоти та ординати Z висотного положення точки приєднання відкритого п'єзометра є ***п'єзометричним напором***, тобто:

$$H_п = Z + h_п = Z + p_{надл}/(\rho g). \qquad (4.42)$$

П'єзометричний напір $H_п$ менше гідростатичного напору H на висоту (величину), яка відповідає атмосферному тиску, тобто $\Delta h = p_a/(\rho g)$.

Площина, проведена на рівні рідини в закритому п'єзометрі, тобто через кінець відрізка $z + p/(\rho g)$, називається ***площиною гідростатичного напору***, а площина, проведена на рівні рідини у відкритому п'єзометрі, тобто через кінець відрізка $z + p_{надл}/(\rho g)$, – ***площиною п'єзометричного напору.***

Вакуумметричною висотою $h_{вак}$ називається висота підняття (або зниження) рідини, що відповідає вакуумметричному тиску в рідині.

Візьмемо посудину D (рис. 4.15, а), в якій тиск менше атмосферного (тобто вакуумметричний), і з'єднаємо її зігнутою трубкою з рідиною, яка знаходиться в посудині B.

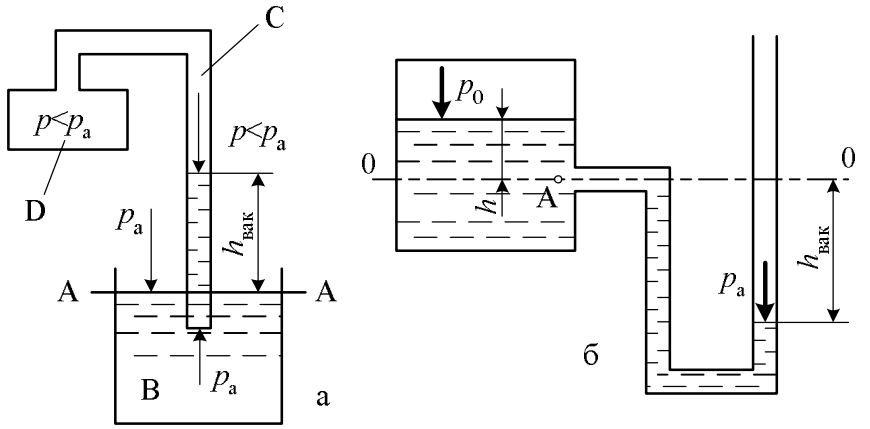


Рис. 4.15. Схеми до обґрунтування вакуумметричної висоти:
а – вакуумметрична висота підняття стовпа рідини;
б – вакуумметрична висота зниження стовпа рідини

Оскільки в посудині D тиск менше атмосферного, то рідина під дією атмосферного тиску p_a, який діє на її поверхні в посудині B, підніметься на висоту $h_{вак}$, яка і є вакуумметричною. Оскільки рідина знаходиться в стані рівноваги, то на лінії А-А (на вільній поверхні рідини)

тиск буде врівноважений знизу і зверху, що за допомогою рівняння (4.24) можна описати так:

$p_а = \rho g h_{вак} + p$, де $p < p_а$, звідки вакуумметрична висота визначається за формулою:

$$h_{вак} = \frac{p_а - p}{\rho g} = \frac{p_{вак}}{\rho g}, \tag{4.43}$$

а вакуумметричний тиск за формулою:

$$p_{вак} = \rho g h_{вак}. \tag{4.44}$$

Таким чином, вакуумметричний тиск дорівнює добутку ρg на вакуумметричну висоту.

На рисунку 4.15 б вакуумметрична висота проілюстрована за допомогою зворотного п'єзометра (вакуумметра), виконаного у вигляді зігнутої у формі літери *U* трубки. Очевидно, рівень рідини в правій частині трубки (рис. 4.15, б) опуститься нижче точки *A* (точки приєднання вакуумметра) на величину вакуумметричної висоти. Відносно площини порівняння 0-0 тиск у точці *A* з боку рідини в посудині визначиться з виразу

$$p = p_0 + \rho g h, \tag{4.45}$$

а з боку рідини у вакуумметрі рівняння:

$$p = p_a - \rho g h_{вак}. \tag{4.46}$$

З рівняння (4.46) отримаємо:

$$h_{вак} = \frac{p_а - p}{\rho g} = \frac{p_{вак}}{\rho g}. \tag{4.47}$$

Питання для самоконтролю до лекції №2.

1. Від яких величин залежить абсолютний тиск?
2. Назвіть види гідростатичного тиску.
3. Які види рівноваги рідин існують в інженерній практиці?
4. Що визначається за допомогою основного рівняння гідростатики?
5. Сформулювати властивості гідростатичного тиску?
6. Якими приладами вимірюють надлишковий тиск?
7. Що таке гідростатичний напір?
8. Що таке п'єзометрична та вакуумметрична висота?
9. Яка основна одиниця тиску в системі СІ?

4.4. ЛЕКЦІЯ №3. Сили гідростатичного тиску на поверхні

Змістовий модуль 1 «ГІДРОСТАТИКА»

Тема: Сили гідростатичного тиску на поверхні

Мета. Вивчити закон Паскаля та Архімеда. Ознайомитися з основами теорії плавання тіл. Вивчити методику визначення величини сил, що діють на плоску та криволінійну поверхні. Ознайомитися з принципами побудови епюр тиску.

План лекції

1. Поверхні рівня рідини.
2. Сили гідростатичного тиску на плоскі та криволінійні поверхні.
3. Центр тиску. Епюри тиску.
4. Закон Паскаля.
5. Закон Архімеда. Основи теорії плавання тіл.
6. Використання законів гідростатики.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34-47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 30-40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10-48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22-34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 25-34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 14-23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53-64).

Матеріал лекції
1. Поверхні рівня рідини

Поверхня, гідростатичний тиск в усіх точках якої однаковий, називається ***поверхнею рівного тиску***, або поверхнею ***рівня***.

Однією з поверхонь рівного тиску може бути вільна поверхня рідини – тобто поверхня на межі (границі) рідкого і газоподібного стану тіла.

Слід відмітити, що вільна поверхня ***горизонтальна*** лише для ***обмеженого об'єму*** рідини.

В усіх точках поверхні океанів, морів нашої планети сила ваги направлена до центра землі по радіусу, а вільна поверхня по всій формі схожа (близька) до поверхні кулі.

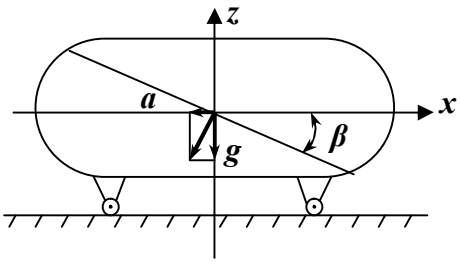
Для поверхні рівного тиску обмеженого об'єму при $p = const$, відповідно $dp = 0$, запишемо рівняння Ейлера, котре говорить, що гідростатичний тиск спокою являється функцією тільки від координат:

$$p = f(x, y, z)$$

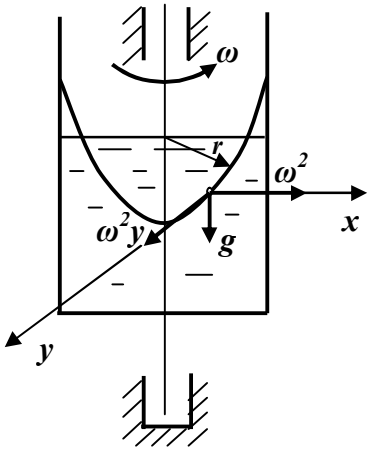
$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

Розглянемо можливі випадки положення і форми вільної поверхні рівного тиску.

1. Рідина знаходиться в нерухомому посуді (абсолютний спокій). Тоді $x = y = 0$, $z = -g$. Після підстановки цих значень в рівняння і інтегрування його, одержимо $z = const$. Значить, вільна поверхня буде розміщена горизонтально.



а



б

Рис. 4.16. Схеми поверхонь рівня рідини:
а – при горизонтальному русі; б – при обертальному русі

2. Рідина знаходиться в резервуарі, що рухається горизонтально з постійним прискоренням (рис. 4.16, а) переміщається в напрямі осі ***x*** з прискоренням ***a*** (відносний спокій). В даному випадку із об'ємних сил на рідину будуть діяти сили ваги і інерції в напрямі осі ***x***.

Тоді $x = -a$; $y = 0$; $z = -g$ і рівняння прийме вигляд:

$$-adx - gdz = 0. \tag{4.48}$$

Після інтегрування отримаємо:

$$z = -\left(\frac{a}{g}\right)x + c. \tag{4.49}$$

Це і є рівняння похилої площини, кут нахилу якої до горизонту можна визначити $arctg\frac{a}{g}$. (4.50)

Поверхні однакового тиску будуть паралельні їй і також нахилені під кутом β до горизонту.

3. Рідина знаходиться в циліндричному посуді. який обертається навколо осі ***z*** з постійною кутовою швидкістю ***ω*** (рис.6.16).

На рідину будуть діяти сили ваги і сили інерції в напрямах ***x*** і ***y***. Тоді проекції цих сил будуть рівні

$X = \omega^2 x$; $Y = \omega^2 y$; $Z = -g$. Підставляючи їх в рівняння Ейлера та інтегруючи, одержимо:

$$\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz = const \tag{4.51}$$ або

$$\frac{\omega^2}{2}\left(x^2 + y^2\right) - gz = \frac{\omega^2 r^2}{2} - gz = const. \tag{4.52}$$

Формула (4.52) є рівнянням параболоїда обертання відносно осі ***z***.

Таким чином, вільна поверхня рідини в цьому випадку є ***параболоїдом обертання,*** поверхні однакового тиску будуть також параболоїдами обертання, отримуваними на необхідній глибині.

Поверхні однакового тиску ніколи не перетинаються одна з одною і завжди перпендикулярні (нормальні) вектору прискорення масових сил.

2. Визначення сили тиску, що діє на плоску і криволінійну поверхню

Сила гідростатичного тиску P, Н, – це інтегруюча величина, тобто тиск підсумовується за площею поверхні, на яку він діє. Інакше кажучи, це рівнодіюча гідростатичного тиску. Ця величина, або характеристика гідростатичного тиску, використовується при міцнісних і ста-

тичних розрахунках конструкцій та гідроспоруд. Крім значення сили тиску, важливим є й визначення місця її прикладення до конструкції чи гідроспоруди, що й буде розглянуте нижче.

Оскільки в інженерній практиці зустрічаються два види поверхонь, а саме: плоскі й криволінійні, то й розглянемо порядок визначення сили гідростатичного тиску на них та порядок знаходження точки її прикладення.

Сила гідростатичного тиску при його дії на плоскі поверхні. Прикладами таких поверхонь є стінки посудин, призначених для зберігання рідини, плоскі щити підпірних та перегороджуючих гідроспоруд і т. ін.

Розглянемо нахилену під кутом α плоску стінку площею ω (рис. 4.17), яка утримує рідину при глибині H.

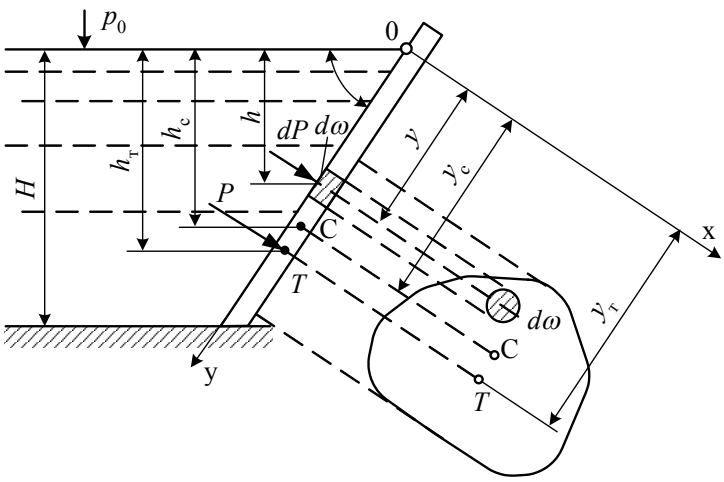


Рис. 4.17. Схема до визначення сили тиску на плоску поверхню та положення точки її прикладення (центра тиску)

За початок координат 0 приймемо точку урізу, вісь y приймемо співпадаючою зі стінкою, а вісь x – перпендикулярно до неї. На вільній поверхні рідини діє тиск p_0, і вона має питому вагу γ.

Користуючись методом безкінечно малих величин, візьмемо на стінці елементарну площадку площею $d\omega$, центр ваги якої занурений на глибину h.

Розглянемо спочатку елементарну силу dP, що виникне внаслідок дії абсолютного тиску на площадку $d\omega$, тобто $dP_{абс}$:

$$dP_{абс} = pd\omega = (p_0 + \gamma h)d\omega . \qquad (4.54)$$

Проінтегрувавши рівняння (4.54) по всій площі ω, отримаємо повну силу гідростатичного тиску:

$$P_{\substack{\text{абс}\\ \text{пов}}} = \int_{\omega} dP_{\text{абс}} = p_0 \int_{\omega} d\omega + \gamma \int_{\omega} h d\omega = p_0 \omega + \gamma \sin\alpha \int_{\omega} y d\omega, \qquad (4.55)$$

де y – ордината площадки $d\omega$.

Інтеграл $\int_{\omega} y d\omega$ є статичним моментом змоченої поверхні фігури відносно осі ОХ і дорівнює добутку площі цієї фігури на ординату центра тяжіння y_c, тобто $\int_{\omega} y d\omega = y_c \omega$. Підставивши отримане значення в рівняння (4.55), отримаємо:

$$P_{\substack{\text{абс}\\ \text{пов}}} = p_0 \omega + \gamma \sin\alpha y_c \omega = p_0 \omega + \gamma h_c \omega, \qquad (4.56)$$

де $h_c = y_c \sin\alpha$ – глибина занурення центра тяжіння площадки ω в рідині.

Якщо посудина відкрита і на вільній поверхні рідини діє атмосферний тиск, то на плоску стінку діятиме сила надлишкового тиску, яка визначається залежністю:

$$P = \gamma h_c \omega. \qquad (4.57)$$

Таким чином, сила надлишкового тиску рідини на плоску довільно орієнтовану в просторі стінку дорівнює тиску в центрі ваги цієї стінки γh_c, помноженому на її площу ω.

Сила тиску на горизонтальне дно посудини з рідиною визначається за залежністю:

$$P = \gamma H \omega, \qquad (4.58)$$

де H – глибина рідини в посудині; ω – площа дна посудини.

Якщо плоска стінка вертикальна $\alpha = 90^o$ і $h_c = y_c$.

Сила гідростатичного тиску при його дії на криволінійні поверхні

Прикладами криволінійних поверхонь, застосування яких пов'язане з тиском рідин, є секторні, сегментні та вальцьові гідротехнічні затвори, сферичні кришки резервуарів, стінки баків, цистерн і т. ін.

При визначенні сили тиску на криволінійні поверхні застосовується метод знаходження її складових, а вже за ними – результуючої сили гідростатичного тиску. Обумовлено це тим, що в кожній точці криволінійної поверхні вектор тиску має свій напрямок, на відміну від попереднього випадку (плоских поверхонь), де вектори тиску паралельні між собою, а знаходження сили тиску зводиться до підсумовування паралельних елементарних сил.

Для визначення сили тиску розглянемо криволінійну поверхню циліндричної форми площею **ω** і радіусом r, на яку рідина тисне з увігнутого боку (рис. 4.18).

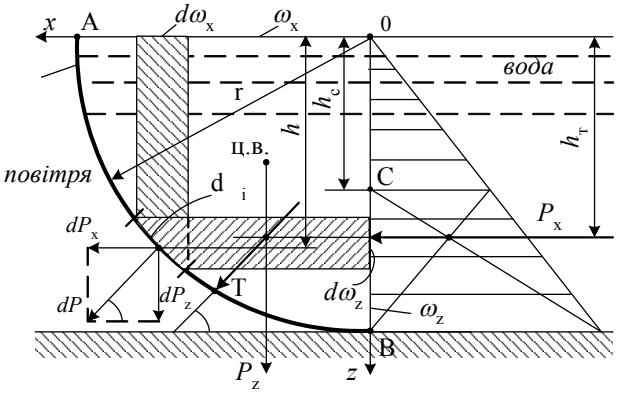


Рис. 4.18. Схема до визнання сили тиску на криволінійну поверхню

Візьмемо координатні осі: вісь *ox* суміщається з вільною поверхнею рідини, а вісь *oz* опустимо вниз. Виділимо на криволінійній поверхні елементарну смугу площею $d\omega$ занурену в рідину на глибину *h.*

На неї діє елементарна сила *dP*, напрямлена перпендикулярно до елементарної смуги і під кутом α до горизонтальної площини, яка дорівнює:

$$dP = \gamma h d\omega_{\text{i}}. \tag{4.59}$$

Розкладемо її на складові: горизонтальну dP_x і вертикальну dP_z, і знайдемо їх:

$$dP_x = dP\cos\alpha = \gamma\cos\alpha h d\omega_i = \gamma h d\omega_z, \tag{4.60}$$

де $\cos\alpha \cdot d\omega_{\text{i}} = d\omega_z$ – проекція смуги $d\omega_{\text{i}}$ на вертикальну площину.

Проінтегрувавши рівняння (4.60) по всій площі ω, одержимо горизонтальну складову повної сили гідростатичного тиску:

$$P_x = \gamma\int_{\omega} h d\omega_z = \gamma h_{\text{c}}\omega_z, \tag{4.61}$$

де $\int_{\omega} h d\omega_z = h_{\text{c}}\omega_z$ – статичний момент усієї проекції відносно вільної поверхні рідини; h_c – глибина занурення центра ваги проекції ω_z в рідині; ω_z – проекція криволінійної поверхні на вертикальну площину. У випадку, який розглядається, це буде прямокутник.

Вертикальна складова визначається з виразу:

$$dP_z = dP\sin\alpha = \gamma\sin\alpha h d\omega_{\text{i}} = \gamma h d\omega_x, \tag{4.62}$$

де $\sin\alpha d\omega_{\text{i}} = d\omega_x$ – проекція смуги $d\omega_{\text{i}}$ на горизонтальну площину.

Оскільки $h \cdot d\omega_x = dW$, тобто є об'ємом елементарної вертикальної призми (заштрихованої (рис. 4.18), то:

$$dP_z = \gamma dW. \tag{4.63}$$

Таким чином, вертикальна складова буде визначатися за формулою:

$$P_z = \gamma \int_w dW = \gamma W \,, \tag{4.64}$$

де W – об'єм тіла тиску, м^3.

Тіло тиску є об'ємом, обмеженим вільною поверхнею рідини, криволінійною поверхнею та умовними вертикальними гранями з її торців (рис. 4.18).

Таким чином, вертикальна складова сили тиску на криволінійну поверхню P_z дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла тиску і напрямлена в цьому випадку вниз. Якби рідина діяла на криволінійну поверхню з випуклого боку, то тіло тиску було б заповнене повітрям і P_z була б напрямлена вгору. Взагалі, тіло тиску, заповнене рідиною, називається дійсним, а заповнене повітрям – фіктивним, або тілом «випору» [1].

Повна сила тиску P знаходиться як рівнодіюча горизонтальної і вертикальної складових:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \,, \tag{4.65}$$

де P_x і P_z – відповідно горизонтальна і вертикальна складові сили P.

Положення центру тиску (точки Т) знаходиться, як показано на рисунку 4.18. Сила P пройде через точку перетину векторів складових P_x і P_z під кутом α до горизонтальної площини, тобто $\alpha = arctg(P_z / P_x)$.

У свою чергу вектор горизонтальної складової пройде горизонтально через центр ваги епюри гідростатичного тиску на проекцію ω_z (рис. 4.18) (точка перетину медіан), а вертикальна складова пройде вертикально через центр ваги тіла тиску.

Слід відмітити, що в тих випадках, коли циліндрична поверхня є коловою, лінія дії рівнодіючої сил тиску напрямлена по радіусу.

3. Центр тиску. Епюри тиску

Сила гідростатичного тиску напрямлена з боку рідини нормально до поверхні, на яку діє тиск. Точка прикладення сили тиску P називається *центром тиску Т* (рис. 4.17).

Аналітичний метод. Для знаходження ординати $y_т$ положення центра тиску скористуємося теоремою Варіньйона, згідно з якою момент рівнодіючої, у нашому випадку сили P, дорівнює сумі моментів складових, тобто

$$Py_т = \int_\omega y dP. \tag{4.66}$$

Звідси,

$$y_т = \left(\int_\omega y dP \right) \Big/ P \,. \tag{4.67}$$

З урахуванням, що $dP = \gamma h \cdot d\omega = \gamma y \cdot \sin\alpha \cdot d\omega$ і $P = \gamma h_c \cdot \omega = \gamma y_c \cdot \sin\alpha \cdot \omega$, отримаємо:

$$y_т = \frac{\int\limits_\omega y^2 d\omega}{y_c \omega} = \frac{J_x}{y_c \omega}, \tag{4.68}$$

де $J_x = \int\limits_\omega y^2 d\omega$ – осьовий момент інерції площі відносно осі OX.

У розрахунках зручніше використовувати момент інерції змоченої частини плоскої стінки відносно осі, що проходить через центр ваги паралельно осі OX, тобто центральний момент інерції J_0. Зв'язок між J_0 і J_x, за теоремою Штейнера, описується формулою:

$$J_x = J_0 + y_c^2 \omega. \tag{4.69}$$

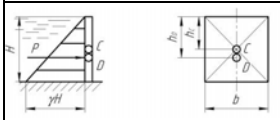
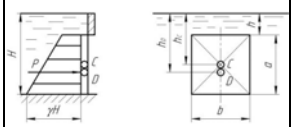
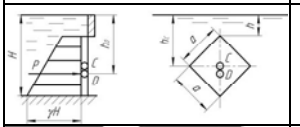
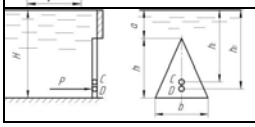
Підставивши значення у формулу (4.68), одержимо:

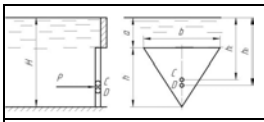
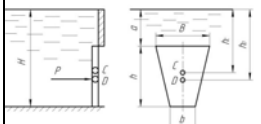
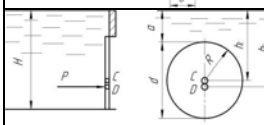
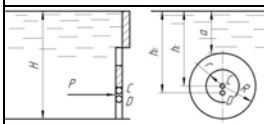
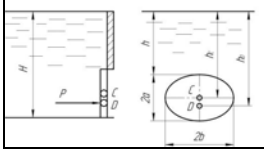
$$y_т = \frac{J_0 + y_c^2 \omega}{y_c \omega} = y_c + \frac{J_0}{y_c \omega}. \tag{4.70}$$

У випадку вертикальної стінки:

$$h_т = h_c + \frac{J_0}{h_c \omega}. \tag{4.71}$$

Формули для визначення центрального моменту інерції для плоских поверхонь різної форми наведемо нижче.

Форма плоскої стінки	Площа, ω	Центральний момент інерції, I_0	Ордината центра ваги, h_C	Ордината центра тиску, h_D	Сила тиску на стінку, P
	bH	$\frac{bH^3}{12}$	$\frac{H}{2}$	$\frac{2}{3}H$	$\gamma\frac{H^2}{2}b$
	ab	$\frac{ba^3}{12}$	$H-\frac{a}{2}$	$h+\frac{a}{3}\frac{2H+h}{H+h}$	$\gamma\left(h+\frac{a}{2}\right)ab$
	a^2	$\frac{a^4}{12}$	$h+\frac{\sqrt{2}}{2}a$	$h+\frac{7\sqrt{2}}{12}a$	$\gamma\left(h+\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)a^2$
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$a+\frac{2}{3}h$	$a+\frac{3}{4}h$	$\gamma\frac{bh^2}{3}$

	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$a+\frac{h}{3}$	$a+\frac{(2a+h)h}{(3a+h)2}$	$\gamma\left(a+\frac{h}{3}\right)\frac{bh}{2}$
	$\frac{B+b}{2}h$	$\frac{h^3}{36}\left(B+b+\frac{2bB}{B+b}\right)$	$a+\frac{h}{3}\times$ $\times\frac{B+2b}{B+b}$	$a+\frac{h}{2}\frac{B+3b}{B+2b}$	$\gamma\left(a+\frac{h}{3}\frac{B+2b}{B+b}\right)\times$ $\times(B+b)\frac{h}{2}$
	πR^2	$\frac{\pi R^2}{4}$	$H-\frac{d}{2}$	$a+\frac{5}{8}R$	$\gamma(a+R)\pi R^2$
	$\pi(R^2\text{-}r^2)$	$\frac{\pi}{4}\left(R^4-r^4\right)$	$a+R$	$a+R+\frac{R^2-r^2}{4R}$	$\gamma(a+R)\pi\left(R^2-r^2\right)$
	πab	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$h+a$	$h+\frac{5}{4}a$	$\gamma(h+a)\pi ab$

Графоаналітичним методом сила тиску P та положення центра тиску знаходяться за допомогою епюр гідростатичного тиску. Розглянемо окремий випадок визначення сили тиску цим методом при дії його на плоску вертикальну стінку завширшки b (рис. 4.19).

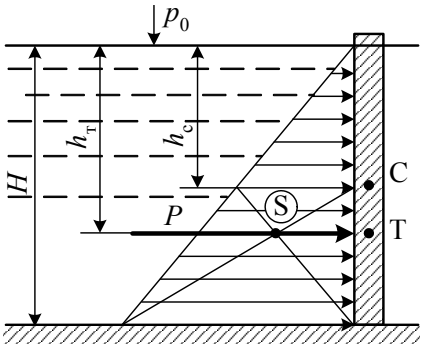


Рис. 4.19. Схема до графоаналітичного методу знаходження центра тиску

Побудуємо епюру гідростатичного тиску.

Сила гідростатичного тиску за цією методикою визначиться залежністю

$$P = S \cdot b, \qquad (4.72)$$

де S – площа епюри, м^2:

$$S = \frac{pgH^2}{2}; \qquad (4.73)$$

b – ширина стінки (перпендикулярна площі рисунка), м.

Сила P пройде перпендикулярно площині стінки через центр ваги його епюри, який у цьому випадку буде знаходитися на перетині медіан трикутника, форму якого має епюра.

Епюри гідростатичного тиску – це графічне зображення розподілу гідростатичного тиску по довжині контуру тіла, на яке він діє. При їх побудові вектори тиску в кожній точці відкладаються нормально до поверхні, на яку діє тиск, і за величиною дорівнюють йому в цій точці.

Тиск у будь-якій точці рідини визначається за основним рівнянням гідростатики, а вони є рівняннями прямої: для абсолютного тиску (4.24) з вільним членом у вигляді $y = kx + b$, де кутовому коефіцієнту k відповідає вираз ρg, а вільному члену b – тиск на вільній поверхні p_0, тобто рівнянням прямої, яка не проходить через початок координат; для надлишкового тиску (4.25) – рівнянням прямої, яка проходить через початок координат ($b = \rho_0 = 0$). Таким чином, зміна гідростатичного тиску за глибиною описується лінійним законом, і для побудови епюри необхідно мати дві точки.

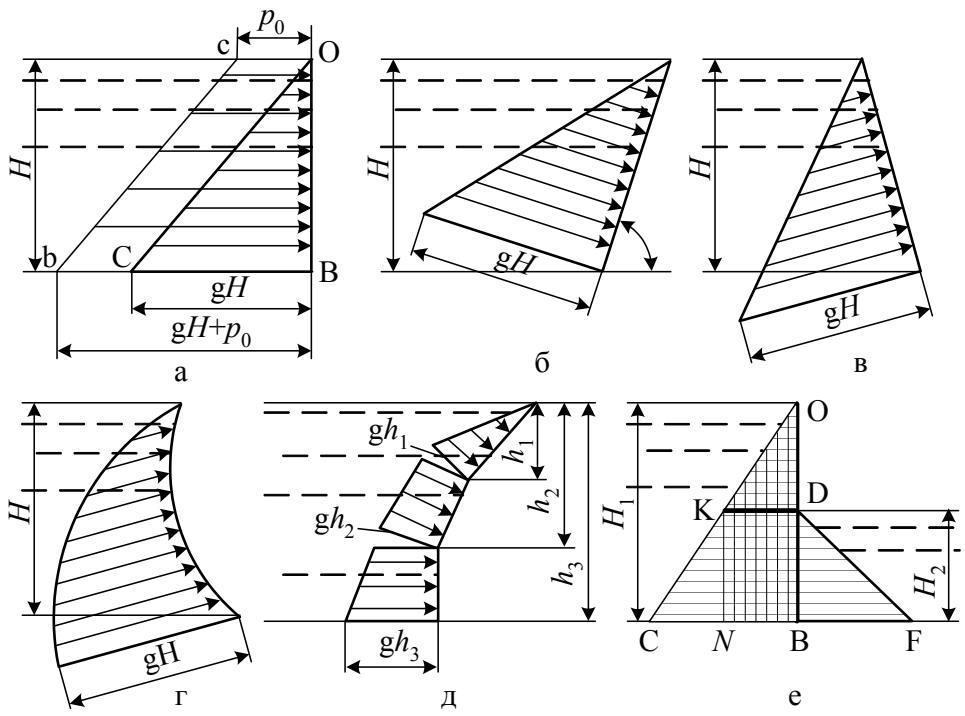


Рис. 4.20. Епюри гідростатичного тиску:
а – на вертикальну плоску стінку (абсолютного OBbc і надлишкового OBC);
б, в – на нахилену плоску стінку; г – на криволінійну стінку; д – на ламану стінку; е – на вертикальну плоску стінку при дії тиску з двох сторін

Розглянемо вертикальну плоску стінку, яка підпирає рідину з глибиною H (рис. 4.20, а). Приймаємо за початок координат точку 0, яка співпадає з лінією урізу (лінія торкання поверхні води зі стінкою). Для побудови епюри абсолютного тиску ($p_{абс} = p_0 + \rho g h$) візьмемо першу точку на поверхні рідини, тобто $h = 0$, тоді $p_{абс} = p_0$, а другу на дні, тобто $h = H$, де $p_{абс} = p_0 + \rho g H$. З'єднавши ці дві точки прямою лінією,

отримаємо епюру абсолютного гідростатичного тиску у вигляді трапеції OBbc (рис. 4.20, а).

Аналогічно будується й епюра надлишкового тиску ($p = \rho g h$), при цьому якщо $h = 0$, то $p = 0$, якщо $h = H$, то $p = \rho g H$, а епюра має форму трикутника OBC (рис. 4.20, а). Епюри надлишкового тиску на нахилену, криволінійну та ламану стінку будуються за тим же принципом, що й на вертикальну плоску стінку (рис. 4.20, б, в, г, д). При дії тиску на вертикальну стінку OB з двох сторін результуючою розрахунковою буде трапеціеподібна епюра OBNK (рис. 4.20, е).

Епюри гідростатичного тиску показують навантаження на стінки (поверхні) і використовуються при статичних (міцнісних) розрахунках різних гідротехнічних конструкцій.

4. Закон Паскаля.

З основного рівняння гідростатики $p = p_o + \rho g h$ можна бачити, що при зміні зовнішнього тиску p_o на величину Δp_o, тиск у всіх точках даного об'єму рідини змінюється на теж саме значення Δp_o. Таким чином, рідина має властивість передавати тиск.

В цьому і полягає закон Паскаля: тиск, який виникає на граничній поверхні рідини, що знаходиться в стані спокою, передається всім частинкам цієї рідини по всім напрямам без зміни його величини.

Для обґрунтування цього розглянемо посудину, наповнену рідиною (рис. 4.21).

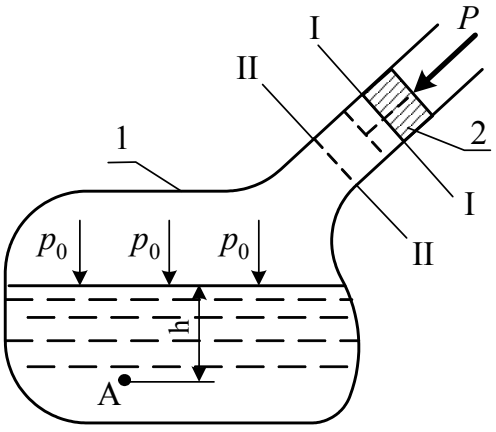


Рис. 4.21. Схема до обґрунтування закону Паскаля:1 – посудина з рідиною; 2 – поршень; I-I і II-II – початкове і кінцеве положення поршня

На вільній поверхні рідини за допомогою поршня 2, який знаходиться в положенні I-I, створено тиск p_0. У відповідності з цим абсолютний тиск у точці А буде $p_A = p_0 + \rho g h$.

Перемістимо поршень з положення I-I в положення II-II. Тиск на вільній поверхні рідини в посудині збільшиться на величину Δp і буде дорівнювати $\Delta p = P_{II}/\omega_п$, де P_{II} – додаткова сила, прикладена до поршня при його переміщенні з положення I-I в положення II-II; $\omega_п$ – площа поршня.

В різних літературних джерелах формулювання закону Паскаля формулюється по різному,але суть залишається незмінною

Наприклад:

Закон Паскаля, формулюється так: *всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини,* [3].

Закон Паскаля: *тиск на поверхню рідини, який здійснюється зовнішніми силами, передається рідиною однаково в усіх напрямках,* [2].

Закон Паскаля: *будь яка зміна тиску в кожній точці рідини, що перебуває у, стані спокою не порушує стану її спокою і передається в усі її точки без змін.*

На законі Паскаля ґрунтується принцип дії різноманітних гідравлічних пристроїв, за допомогою яких тиск передається на відстань такі як: гідравлічний прес, гідравлічний домкрат, гідромультиплікатор та інші.

5. Закон Архімеда. Основи теорії плавання тіл

Закон Архімеда формулюється так: *на занурене в рідину тіло діє виштовхуюча сила $P_в$, напрямлена знизу вгору, яка дорівнює вазі рідини, витисненої тілом.*

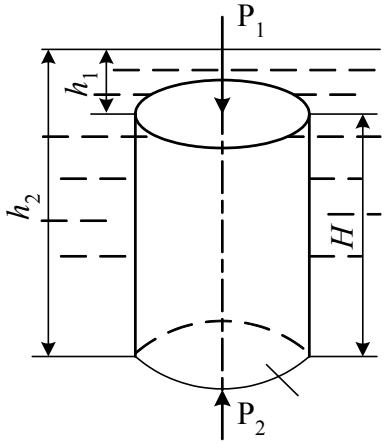


Рис. 4.22. Схема до обґрунтування закону Архімеда

Для обґрунтування сказаного розглянемо занурене в рідину у відкритій посудині циліндричної форми тіло, яке знаходиться в стані рівноваги (рис. 4.22). Висота тіла H, а площа нижньої та верхньої основ циліндра ω. Діючі на бокову поверхню сили гідростатичного тиску взаємно врівноважуються і в розрахунках не враховуються. Таким чином, до уваги беруться тільки сила ваги тіла і сили, які діють на верхню й нижню основи.

Отже, зверху на тіло діє занурююча (напрямлена зверху вниз) сила, яка визначається за формулою:

$$P_1 = \omega\rho g h_1, \qquad (4.75)$$

а знизу – виштовхуюча (напрямлена знизу вгору) сила, яка визначається за формулою:

$$P_2 = \omega\rho g h_2. \qquad (4.76)$$

Різниця цих сил буде виштовхуючою (підтримуючою) силою,

$$P_в = P_2 - P_1. \qquad (4.77)$$

Підставивши значення сил P_1 і P_2, отримаємо:

$$P_в = \omega\rho g h_2 - \omega\rho g h_1 = \omega\rho g\left(h_2 - h_1\right) = \rho g \omega H = \rho g W \,. \qquad (4.78)$$

Тобто виштовхуюча сила дорівнює вазі рідини, виштовхуваної цим тілом:

$$P_в = \gamma W \,, \qquad (4.79)$$

де γ – питома вага рідини; W – об'єм тіла.

Вона напрямлена по вертикалі вгору і прикладена до тіла в точці, що відповідає центру тиску, яка називається центром водотоннажності (рис. 4.23, точка *B*). Вага рідини в об'ємі, що виштовхнуло занурене в неї тіло (рис. 4.23, а, б), або частини його (рис. 4.23, в) називається водотоннажністю плаваючого тіла.

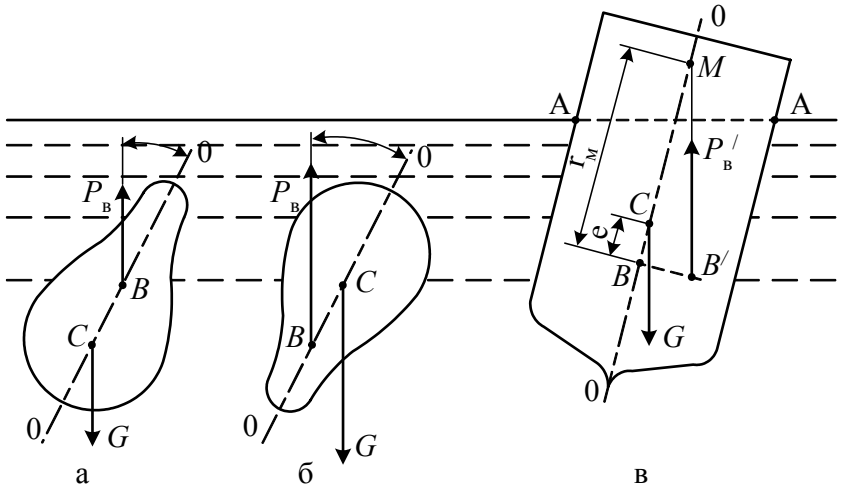


Рис. 4.23. Схеми до обґрунтування рівноваги плаваючих тіл

Крім виштовхуючої (підтримуючої) сили $P_в$, на тіло, як зазначалося вище, діє сила його ваги *G*, яка завжди прикладена в центрі тяжіння тіла (точка *C*) і напрямлена вертикально вниз (рис. 4.23).

Співвідношення виштовхуючої сили й сили ваги складає основу теорії плавання тіл.

Зазначимо, що плавання тіл характеризується їхньою *плавучістю*, тобто здатністю тіл зберігати положення рівноваги по відношенню до вільної поверхні рідини.

Якщо вага тіла $G > P_в$, то тіло тоне; при $G = P_в$ тіло буде знаходитися в стані спокою на будь-якій глибині його занурення – підводне плавання (рис. 4.23, а); при $G < P_в$ тіло сплива до тих пір, доки частина його почне підніматися над поверхнею рідини, і виштовхуюча сила зменшиться до значення $P_в = G$ – надводне плавання тіла (рис. 4.23, в).

На рисунку 4.23, крім вищеназваних величин, зазначені й такі: А-А – лінія перетину вільної поверхні рідини з боковою поверхнею плаваючого тіла, вона ще називається *ватерлінією*, а площина всередині тіла, обмежена ватерлінією, називається площиною плавання; 0-0 – вісь плавання, вона проходить через центр тяжіння тіла *С*. Для забезпечення рівноваги плаваючого тіла необхідно, щоб вісь плавання 0-0 була перпендикулярною до поверхні рідини, а центр водотоннажності *В* повинен розташовуватися на осі плавання вище центра тяжіння *С* (рис. 4.23, а, б).

При плаванні на тіло можуть діяти сторонні явища – нерівномірність навантаження і т. ін., внаслідок чого тіло може відхилятися від положення рівноваги. У зв'язку з цим виникає поняття *остійності* плаваючого тіла, тобто здатності його відновлювати положення рівноваги після припинення дії сил, які вивели його зі стану рівноваги. На рисунку 4.23, а показана остійна рівновага при підводному плаванні тіла, оскільки під дією моменту сил G і $P_в$ тіло, яке нахилене під кутом α, повернеться проти годинникової стрілки, і вісь плавання 0-0 займе вертикальне положення ($\alpha = 0$). На рисунку 4.23, б показана неостійна рівновага при підводному плаванні тіла, оскільки під дією моменту сил G і $P_в$ тіло, нахилене під кутом α, буде продовжувати поворот за годинниковою стрілкою, і кут α буде збільшуватися.

Розглянемо умови остійності судна (рис. 4.23, в). При відхиленні (крені) судна центр його тяжіння *С* не змінює місця положення, а центр водотоннажності *В* переміститься в положення B'. Точка *М* перетину лінії дії сили $P_в$ з віссю плавання називається *метацентром*. При положенні метацентра *М* вище центра тяжіння *С* ($r > e$, де r – метацентричний радіус; e – ексцентриситет) плавання буде остійним (рис. 4.23, в), оскільки при крені судна момент сил G і $P'_в$ прагнутиме відновити первісне положення судна. При положенні метацентра нижче центра тяжіння плавання буде неостійним, оскільки момент сил G і $P_в$ сприятиме збільшенню крену судна.

6. Використання законів гідростатики.

Для з'ясування явища гідравлічного парадоксу розглянемо три посудини різної форми, які заповнені рідиною з однаковою густиною, до одного рівня *hc*. Всі посудини такі, що мають однакову площу дна *S* (рис. 4.24). Отже $S_1 = S_2 = S_3$.

В відповідності з формулою для визначення сили, що діє на плоску поверхню можна обрахувати силу, що діє на дно посудини $F_{над} = \rho g h_c S$.

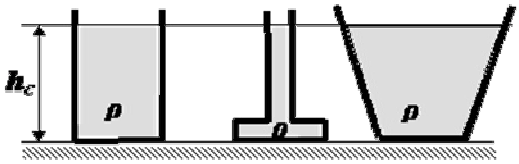


Рис. 4.24. Схема до обґрунтування явища гідравлічного парадоксу

Для всіх трьох посудин ці сили будуть однакові і не залежать від ваги рідини, але на площину будуть діяти з різною силою, яка залежить від ваги рідини, що знаходиться в посудині. Це явище називається «гідравлічним парадоксом».

В техніці широко використовуються закони гідростатики (Паскаля і Архімеда) Закон Архімеда використовується при проектуванні машин і механізмів, які пов'язані з плаваючими тілами (поплавки, кораблі понтони амфібії і інші машини і механізми).

Закон Паскаля застосовується при конструюванні й розрахунках різних гідростатичних механізмів. На законі Паскаля ґрунтується принцип дії різноманітних гідравлічних пристроїв, за допомогою яких тиск передається на відстань (гідравлічний прес, гідравлічний домкрат, гідромультиплікатор, гідравлічний прес).

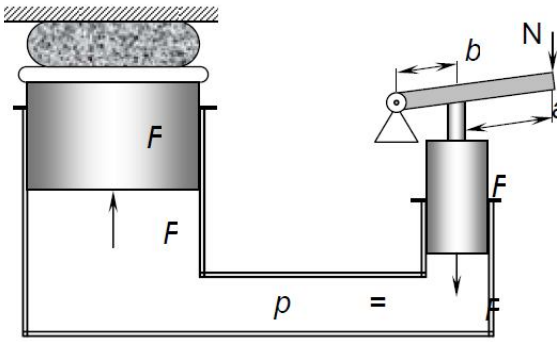


Рис. 4.25. Схема гідравлічного преса

Наведемо характерні випадки застосування закону Паскаля.

Гідравлічний прес (рис. 4.25) – машина для створення великих зусиль, необхідних під час випробування матеріалів на міцність, штампування виробів або їх пресування.

Гідравлічний домкрат (рис 4.26) – машина, яка призначена створювати великі зусилля для підйому вантажів. Обидві ці машини працюють за одним принципом, тому розглянемо детальніше роботу гідравлічного домкрата.

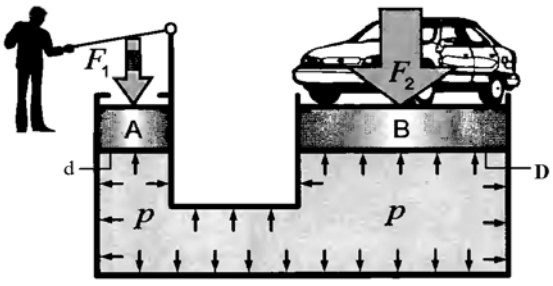


Рис. 4.26. Схема гідравлічного домкрата

Зусилля F_1 прикладене на кінці важеля, приводить до створення зусилля F, діючого на поршень A. У ро-

бочій рідини під поршнем створюється тиск, який, за законом Паскаля, передається в усі точки робочої рідини. Звідси вантаж, котрий може підняти поршень В визначається так:

$$F_2=F_1D^2/d^2 \qquad (4.80)$$

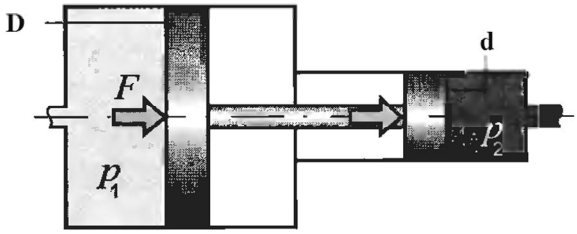


Рис. 4.27. Схема мультиплікатора

Гідравлічний мультиплікатор (4.27) – машина, яка здатна збільшити тиск робочої рідини, або пари. Схематично являє собою поршень діаметром D з'єднаний з плунжером d. У циліндр подається робоча рідина з тиском p_1, внаслідок чого на поршень діє сила F. Ця сила створює тиск робочої рідини під плунжером який визначається по формулі

$$p_2=4\,F/\pi d^2 \qquad (4.81)$$

Гідравлічний акумулятор – машина, що дозволяє поступово накопичувати частину енергії, щоб потім швидко віддати її. За рахунок підняття вантажу на величину робочого ходу поршня у гідравлічному акумуляторі можна накопичити потенціальну енергію.

Питання для самоконтролю до лекції №3.

1. Що таке поверхні однакового тиску?
2. Що таке епюри гідростатичного тиску та як вони будуються для різних поверхонь?
3. Що таке сила гідростатичного тиску?
4. Як знаходиться координата центру тиску?
5. За якою формулою визначається сила тиску, що діє на криволінійну поверхню?
6. Розкрийте сутність закону Паскаля?
7. Розкрийте сутність закону Архімед?
7. Поясніть умови плавання тіл?
9. Поясніть явище «гідравлічний парадокс»?

4.5. ЛЕКЦІЯ №4. Основи гідродинаміки. Рівняння Бернуллі

Змістовий модуль 2 «ГІДРОДИНАМІКА»

Тема: Основи гідродинаміки. Рівняння Бернуллі.

Мета. Вивчити основні терміни, які відносяться до гідродинаміки. Знати основні параметри потоку. Вміти виводити основне рівняння гідродинаміки та рівняння Бернуллі.

План лекції

1. Основні положення та визначення.
2. Гідравлічні параметри потоку рідини.
3. Рівняння нерозривності потоку рідини.
4. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини.
5. Геометрична і енергетична(фізична) суть рівняння.
6. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини.
7. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини.
8. Використання рівняння Бернуллі.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 47-64).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 40-54).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 48-62).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 34-52).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 34-45).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 4-10).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 77-86).

Матеріал лекції
1. Основні положення та визначення

Гідродинаміка – розділ гідравліки, в якому вивчаються закони руху рідин і методи використання цих законів при розв'язанні інженерних задач.

Об'єктом вивчення в гідродинаміці є потік рідини. Рідини рухаються під впливом зовнішніх сил, таких як сила тяжіння, зовнішній тиск і т. д. Рух рідин характеризується швидкістю і гідродинамічним тиском. Враховуючи, що реальні рідини володіють низкою властивостей, у тому числі і в'язкістю, які важко врахувати при вивченні руху рідин, вивчення руху рідини починається з нев'язкої (ідеальної) рідини, тобто без урахування сил тертя, а потім в отримані теоретичні залежності вносяться уточнення. Існують два методи вивчення руху рідин: метод Ж. Лагранжа і метод Л. Ейлера.

Метод Лагранжа полягає в розгляді руху кожної частинки рідини, тобто траєкторії її руху. Через значну трудоємність цей метод не набув широкого розповсюдження.

Метод Ейлера полягає в розгляді загального руху рідини в різних точках рідинного середовища в певний момент часу. Цей метод дозволяє визначити швидкість руху рідини в будь-якій її точці в будь-який момент часу, тобто характеризується побудовою поля швидкостей, а тому широко застосовується при вивченні руху рідин.

За характером зміни поля швидкостей за часом рух рідин поділяється на сталий і несталий.

Сталий рух – це такий рух рідини, при якому в будь-якій точці потоку швидкість і тиск з плином часу не змінюються, тобто:

$$u = f_x(x, y, z),$$
$$p = f_2(x, y, z). \qquad (4.82)$$

Прикладами сталого руху є рух води в каналі з постійними площею поперечного перерізу і глибиною.

Несталий рух – це такий рух рідини, при якому в будь-якій точці потоку швидкість і тиск з плином часу змінюються:

$$u = f,(x, y, z, t),$$
$$p = f_2(x, y, z, t). \qquad (4.83)$$

Прикладом несталого руху є витікання рідини з бака при його спорожненні.

В інженерній практиці розповсюджений переважно сталий рух, який поділяється на рівномірний і нерівномірний. При рівномірному русі живий переріз потоку й середня швидкість не змінюються вздовж течії, а при нерівномірному ці параметри непостійні.

Потоки рідини поділяються на напірні, безнапірні й гідравлічні струмини. Напірні потоки не мають вільної поверхні рідини, тобто потік торкається твердих стінок з усіх боків. Прикладом напірного є рух води у водопровідних трубопроводах (під напором). Безнапірні потоки мають вільну поверхню, тобто вони торкаються твердих стінок лише на частині периметра. Прикладом такого руху є рух води в каналах. Він здійснюється завдяки похилу дна каналу, дії сили тяжіння та текучості рідин. У гідравлічних струминах потік з усіх боків оточений вільною поверхнею. Прикладами гідравлічних струмин є струмини дощувальної техніки, пожежних брандспойтів. Рух рідини в цьому випадку здійснюється за рахунок напору на вихідній насадці.

При вивченні руху рідин найбільшого поширення здобула ***струминкова модель*** їхнього руху, яка базується на методі Ейлера. Згідно з цим шлях руху окремої частинки рідини за певний проміжок часу називається *траєкторією руху* цієї частинки.

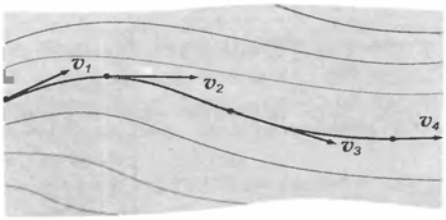


Рис. 4.28. Схема руху частинок рідини. Вектори швидкості в точках v_1 v_2 v_3 v_n

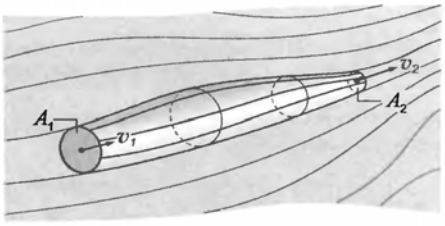


Рис. 4.29. Схема струминкової моделі руху рідини

Якщо в рухомій рідині провести лінію через ряд точок таким чином, що в кожній з них вектор швидкості в конкретний момент часу буде дотичним до цієї лінії, то отримаємо *лінію течії*) (рис. 4.28).

Підкреслимо, що різниця між траєкторією руху частинки й лінією течії полягає в тому, що траєкторія руху зображує шлях, пройдений частинкою рідини за певний проміжок часу, а лінія течії – це миттєва характеристика потоку, яка зв'язує різні частинки рідини, що лежать на лінії течії в цей момент, і показує напрямок вектора швидкості руху частинки в цей момент. При сталому русі рідини траєкторія руху частинки рідини співпадає з лінією течії.

Якщо в рухомій рідині провести замкнутий контур A, що обмежує елементарну площу $\Delta\omega$, і через усі точки цього контуру провести лінії течії, то утвориться ***трубка течії*** (рис. 4.29). Рідина, яка знаходиться всередині трубки течії у вигляді пучка ліній течії, називається ***елементарною струминкою рідини.***

2. Гідравлічні параметри потоку рідини

Потік рідини характеризується рядом геометричних та гідравлічних його параметрів, якими користуються при конструюванні русел і гідравлічному розрахунку потоків. Основними елементами потоків рідини є русло, живий переріз, змочений периметр, гідравлічний радіус, витрата рідини, середня швидкість руху рідини.

Русло потоку – це тверда поверхня, яка обмежує потік рідини знизу (дно, схили).

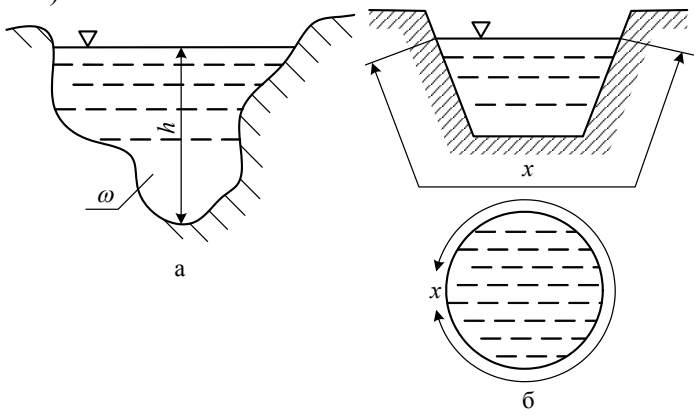


Рис. 4.30. Схеми:
а – живого перерізу потоку; б – змоченого периметра трапецеїдальної і круглої форм перерізу потоку

Живий переріз $\boldsymbol{\omega}$, м^2, – це площа перерізу потоку, перпендикулярна до загальної поздовжньої його течії (рис. 4.30, а).

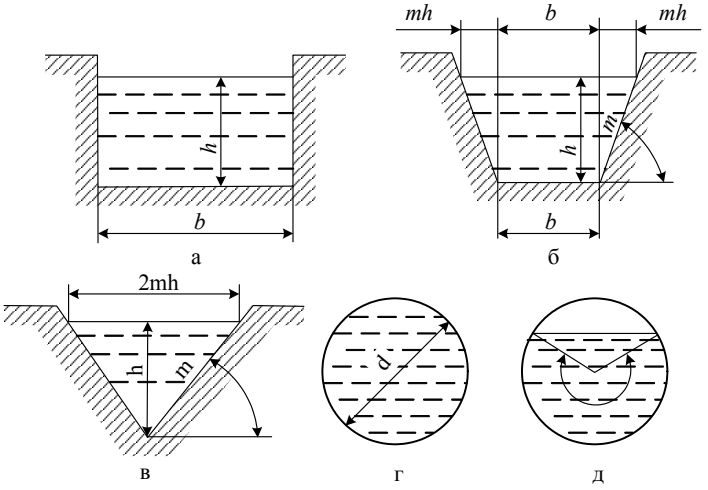


Рис. 4.31. Схеми до визначення гідравлічних характеристик потоків з поперечним перерізом: а – прямокутним; б – трапецеїдальним; в – трикутним; г – круглим; д – сегментним

Площа живого перерізу найбільш розповсюджених його форм (рис. 4.31) визначається за формулами, що наводяться в таблиці 4.1.

Змочений периметр χ, м, – це та частина периметра живого перерізу потоку, на якій рідина торкається твердих стінок (тобто це довжина лінії перерізу поверхні русла) (рис. 4.30, б). Чим більше змочений периметр потоку, тим більші гідравлічні опори при його русі, а значить, більші втрати енергії. Довжина змоченого периметра найбільш розповсюджених форм поперечного перерізу (рис. 4.31) визначається за формулами, що наводяться в таблиці 4.1.

Гідравлічний радіус R, м, – це відношення площі живого перерізу ω до змоченого периметра χ:

$$R = \omega / \chi \ . \qquad (4.84)$$

Таблиця 4.1.

Формули для визначення гідравлічних елементів потоку рідини (ω, χ, R)* [1]

Форма поперечного перерізу	Схема, рис. 4.31	Площа поперечного перерізу ω, м^2	Довжина змоченого периметра χ, м	Гідравлічний радіус R, м
Прямокутна	а	$b \cdot h$	$2h + b$	$\dfrac{bh}{2h+b}$
Трапецеїдальна	б	$(b + mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$h(mh + b)$
Трикутна	в	mh^2	$2h\sqrt{1+m^2}$	$\dfrac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$
Кругла	г	πr^2, *або* $\dfrac{\pi d^2}{4}$	$2\pi r$	$\dfrac{r}{2}$
Неповна кругла (сегментна)	д	$\dfrac{d^2}{8}\left(\dfrac{\varphi\pi}{180} - \sin\varphi\right)$	$\dfrac{\varphi\pi d}{360}$	$\dfrac{d}{4}\left(1 - \dfrac{180\sin\varphi}{\varphi\pi}\right)$

* Примітка: у формулах наведено: h – глибина рідини; b – ширина дна; $m = \mathrm{ctg}\alpha$ – коефіцієнт закладання схилу; φ – центральний кут; d – внутрішній діаметр труби; r – внутрішній радіус труби.

Формули для визначення гідравлічного радіусу найбільш розповсюджених форм поперечного перерізу (рис. 4.31) наводяться в таблиці 4.1.

Витрата рідини Q, м^3/с, – це об'єм рідини, яка протікає через живий переріз потоку за одиницю часу.

Теоретично сказане обґрунтовується, якщо прийняти, що витрата рідини в елементарній струминці $dQ = \frac{dW}{t}$, тоді загальна витрата $Q = \int_{\omega} \frac{dW}{t}$, що в кінцевому результаті дає формулу:

$$Q = \frac{W}{t}, \tag{4.85}$$

де W – об'єм рідини; t – час.

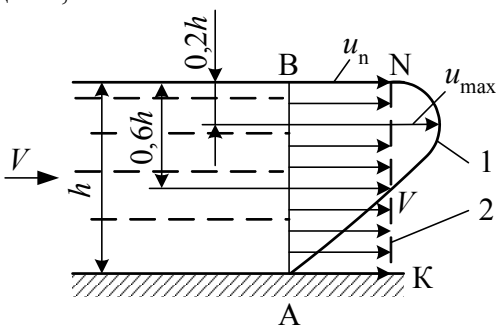


Рис. 4.32. Схема епюр швидкості руху рідини у відкритому руслі: 1 – дійсної швидкості; 2 – середньої швидкості

Середня швидкість руху рідини V, м/с, – це фіктивна швидкість, з якою всі частинки рідини рухаються так, що кількість рідини, яка протікає через живий переріз, що розглядається, дорівнює дійсній кількості рідини, яка протікає через той же переріз при дійсних швидкостях руху. Дійсна швидкість руху рідини, наприклад у живому перерізі каналу, змінюється від поверхневої швидкості до максимальної на деякій глибині й далі до нуля біля дна каналу. На рисунку 4.32 показана епюра дійсних швидкостей (суцільна крива) і епюра середньої швидкості течії (пунктирна вертикальна лінія). Середня швидкість, згідно з її визначенням, буде:

$$V = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega}, \tag{4.86}$$

де Q – витрата рідини; ω – площа живого перерізу.

3. Рівняння нерозривності потоку рідини

Для обґрунтування рівняння нерозривності потоку рідини скористуємося такими міркуваннями. Будемо вважати, що розглядається потік нестискуючої рідини, суцільний за структурою, а значить, з плином часу зміни (збільшення або зменшення) маси рідини в об'ємі, який розглядається, не буде мати місця. Прослідкуємо за масою рідини, яка протікає через грані елементарного паралелепіпеда, виділеного всередині рухомої рідини (рис. 4.33, а).

Розпочнемо розгляд питання з напрямку, який співпадає з напрямком осі 0*x*.

Припустимо зворотне, тобто що при протіканні рідини крізь грані паралелепіпеда кількість маси рідини зміниться. Тоді через ліву грань паралелепіпеда рідина втікає в нього зі швидкістю u_x, а через праву грань витікає зі швидкістю $u_x + \partial u_x dx / \partial x$.

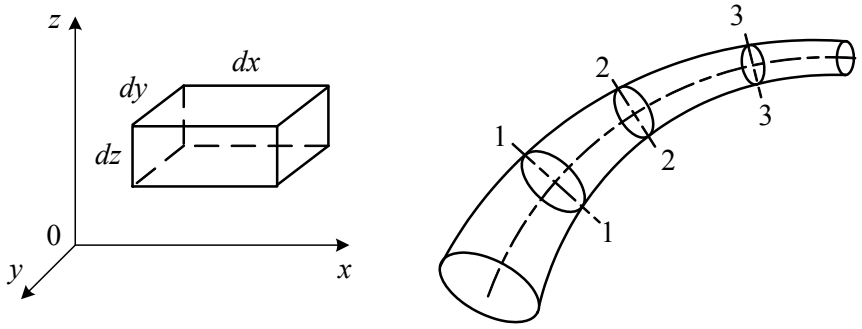


Рис. 4.33. Схеми до обґрунтування нерозривності потоку рідини: а – схема до виведення рівняння нерозривності потоку рідини; б – схема, яка ілюструє нерозривність потоку рідини

Величина зміни кількості маси за одиницю часу в паралелепіпеді в напрямку, який співпадає з віссю 0*x*, складе:

$$dM_x = \rho u_x dydz - \rho(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx)dydz = -\rho \frac{\partial u_x}{\partial x} dxdydz . \qquad (4.87)$$

Аналогічно цьому зміна кількості маси за одиницю часу по інших напрямках складе:

$$dM_y = -\rho \frac{\partial u_y}{\partial y} dxdydz;\ dM_z = -\rho \frac{\partial u_z}{\partial z} dxdydz . \qquad (4.88)$$

Але за умови нерозривності $dM = dM_x + dM_y + dM_z = 0$;

$$dM = -\rho dxdydz(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}) = 0 . \qquad (4.89)$$

Величини ρ, dx, dy, dz не дорівнюють нулю. Отже,

$$\frac{\partial u_x}{\partial x}+\frac{\partial u_y}{\partial y}+\frac{\partial u_z}{\partial z}=0\,. \tag{4.90}$$

Рівняння (4.90) називається рівнянням ***нерозривності в диференціальному вигляді*** (рівняння Л. Ейлера) для довільного руху нестискуючої рідини.

Для потенціального руху нестискуючої рідини існує функція φ (x, y, z), яка називається ***потенціалом швидкості***, частинні похідні якої по координатних осях дорівнюють відповідним проекціям швидкості:

$$u_x=\frac{\partial\varphi}{\partial x}\,,\ u_y=\frac{\partial\varphi}{\partial y}\,,\ u_z=\frac{\partial\varphi}{\partial z}\,. \tag{4.91}$$

З урахуванням цього рівняння нерозривності (4.90) можна записати так:

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=0\,. \tag{4.92}$$

Рівняння (4.92) називається ***рівнянням Лапласа***.

Якщо в потоці рідини взяти перерізи 1-1, 2-2 і 3-3 (рис. 4.33, б), то для кожного з них буде справедливим рівняння (4.86), розв'язане відносно витрати рідини $Q=\omega V$, тобто:

$$Q_1=\omega_1V_1;\ \ Q_2=\omega_2V_2\,;\ Q_3=\omega_3V_3\,. \tag{4.93}$$

Оскільки для всіх живих перерізів потоку, який розглядається, величина Q постійна, то $Q_1 = Q_2 = Q_3$, а

$$\omega_1V_1=\omega_2V_2=\omega_3V_3\,, \tag{4.94}$$

що справедливо при нерозривності потоку нестискуючої рідини.

Замінимо живий переріз потоку рідини на площу перерізу по якому протікає рідина

Таким чином, у будь-якому перерізі потоку рідини її витрата Q визначається залежністю:

$$Q=SV, \tag{4.95}$$

де S – площа перерізу; V – середня швидкість руху рідини.

З цих співвідношень можна зробити висновок, що середні швидкості руху рідини в перерізах обернено пропорційні площам цих перерізів.

Отже $V_1/V_2 = S_2/S_1$ – це і є рівняння нерозривності потоку, або основне рівняння гідродинаміки яке формулюється так: під час руху потоку в різних його перерізах можуть змінюватись як середня швидкість так і площа перерізу, але витрата вздовж потоку залишається незмінною.

4. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини

З метою полегшення вирішення проблем гідромеханіки і практичної інженерної гідравліки введено поняття «нев'язкої рідини» – тобто ідеальної.

Нев'язкою рідиною або ідеальною називається умовна рідина, яку вважають такою, що зовсім не стискається і не розширяється і в якій цілком відсутні сили тертя.

Елементарна струминка – це миттєвий рухомий об'єм у неусталеному русі(коли швидкість і тиск залежать від розміщення в просторі і часу), а в усталеному(коли швидкість і тиск залежать від розміщення в просторі) його можна розглядати як застигла форма потоку дуже малих розмірів.

Рівняння, про яке йтиметься нижче, є теоретичним обґрунтуванням руху рідин, а тому і вважається основним рівнянням гідродинаміки.

Воно встановлює зв'язок між висотним положенням потоку рідини відносно площини порівняння, тиском і швидкістю руху рідини в будь-якому перерізі потоку. Рівняння називається ім'ям Д. Бернуллі (швейцарця за походженням), оскільки ним було вперше встановлено зв'язок між тиском і швидкістю рідини в потоці. Вперше було опубліковане в 1738 р.

У тому вигляді, в якому ми будемо його розглядати, рівняння було сформоване пізніше, але Д. Бернуллі було віддано належне, і рівняння на його честь назване його ім'ям.

За вже усталеною методикою, спочатку розглянемо рівняння стосовно елементарної струминки ідеальної (нев'язкої), а потім реальної (в'язкої) рідини.

Розглянемо елементарну струминку ідеальної рідини, що має сталий рух.

Виділимо відрізок струминки 1-2 і позначимо геометричні висоти центрів ваги живих перерізів dS_1 і dS_2 відносно деякої площини порівняння О-О через z_1 і z_2, швидкості руху в цих перерізах через u_1 і u_2. (рис 4.34)

Допустимо, що за час dt цей відрізок перемістився із свого попереднього положення в нове положення 1′-2′. При цьому частки рідини із перерізу 1-1 перемістились з швидкістю u_1 в переріз 1′-1′ на відстань dS_1.

Аналогічно частинки рідини із 2-2 перемістились з швидкістю u_2 в переріз 2′-2′, пройшовши шлях dS_2.

Очевидно, що

$$dS_1 = u_1 dt;\ dS_2 = u_2 dt. \qquad (4.96)$$

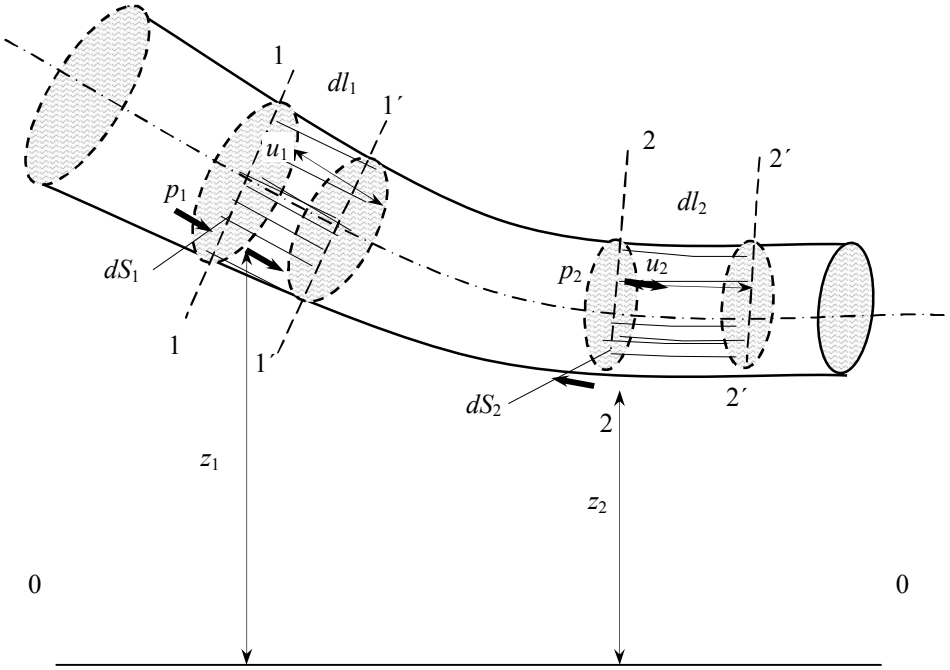


Рис. 4.34. Схема до виведення рівняння Бернулі

Згідно умови нерозривності, можемо записати

$$u_1 dt = u_2 dt = dQ, \tag{4.97}$$

де dQ – витрата елементарної струминки.

Визначимо зміну кінетичної енергії маси відрізка, що перемістився з положення 1-1 в нове положення 1′-2′.

Як видно з малюнка, що частинка відрізка 1′-2 нібито залишилась на своєму місці, а об’єм 1-1′ зайняв інше положення 2-2′.

Як відомо, кінетичну енергію можемо визначити за формулою:

$$E_к = \frac{mV^2}{2}, \tag{4.98}$$

де m – маса рухомого тіл,

V – швидкість, м/с.

Застосуємо цю залежність для об’ємів 1-1′ і 2-2′

$$E_{к1-1'} = \frac{mu_1^2}{2} = \frac{\rho dS_1 dl_1 u_1^2}{2}; \tag{4.99}$$

$$E_{к2-2'} = \frac{mu_2^2}{2} = \frac{\rho dS_2 dl_2 u_2^2}{2}. \tag{4.100}$$

Позначимо $\rho = \frac{\gamma}{g}$ і $dSdl = dQ$ та перепишемо обидва рівняння:

$$E_{к1-1'} = \frac{mu_2^{\ 2}}{2} = \frac{\gamma dQu_1^2 dt}{2}; \tag{4.101}$$

$$E_{к2-2'} = \frac{mu_2^{\ 2}}{2} = \frac{\gamma dQu_2^2 dt}{2}. \tag{4.102}$$

Згідно теореми про кінетичну енергію можна записати:

$$E_{к1-1'} - E_{к1-1'} = \sum_{t}^{t\to dt} pl, \tag{4.103}$$

де $\sum_{t}^{t\to dt} pl$ – повна робота всіх сил на шляху l.

Як відмічалось, в потоці ідеальної рідини можуть діяти тільки сили ваги і гідродинамічні тиски.

Робота сили ваги даного відрізка рідини dG за час dt рівна,

$$dG(z_1 - z_2)dt = \gamma dQ(z_1 - z_2)dt, \tag{4.104}$$

де $dG = \gamma dSu_1 = \gamma dQ$ – сила ваги.

Для визначення роботи гідродинамічного тиску знайдемо сили тиску в перерізах 1-1 і 2-2,

$$P_1 = p_1 dS_1 \text{ і } P_2 = -p_2 dS_2. \tag{4.105}$$

Знак «мінус» перед тиском p_2 показує, що його напрямок протилежний напрямку руху струминки.

Робота сили P_1 запишеться:

$$A_1 = P_1 dl_1 = p_1 dS_1 u_1 dt = p_1 dQdt, \tag{4.106}$$

а робота сили P_2 відповідно;

$$A_2 = P_2 dl_2 = p_2 dQdt. \tag{4.107}$$

Підставивши знайдені вирази в рівняння теореми про кінетичну енергію і перетворивши їх, запишемо:

$$\gamma dQ\left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}\right)dt = \gamma dQ(z_1 - z_2)dt + p_1 dQdt - p_2 dQdt. \tag{4.108}$$

Віднесемо всі елементи написаного рівняння до одиниці ваги рідини, для чого розділимо його ліву і праву частини на γdQ.

Виконавши необхідні перетворення, одержимо рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}, \tag{4.109}$$

$$\text{або } E'_п + E'_к = E''_п + E''_к, \qquad (4.110)$$

де $E_п = z + \frac{p}{\gamma}$ – потенціальна енергія, віднесена до одиниці ваги рідини, або питома потенціальна енергія;

$E_к = \frac{u^2}{2g}$ – питома кінетична енергія.

Таким чином, рівняння показує, що під час руху ідеальної рідини енергія вздовж струминки не витрачається, а залишається постійною.

Рівняння Бернуллі встановлює зв'язок між швидкостями і тисками в різних перерізах однієї й тієї елементарної струминки, а також між висотними положеннями часток рідини, що рухається.

5. Геометрична і енергетична (фізична) суть рівняння

Геометричне зображення рівняння Бернуллі полягає в тому, що величини, які відповідають значенням його членів, зображуються відрізками ліній, оскільки всі члени рівняння мають лінійну розмірність. У потоці рідини, на відстані *l* один від одного намітимо два перерізи: 1-1 (вище за течією) і 2-2 (нижче за течією) (рис. 4.35).

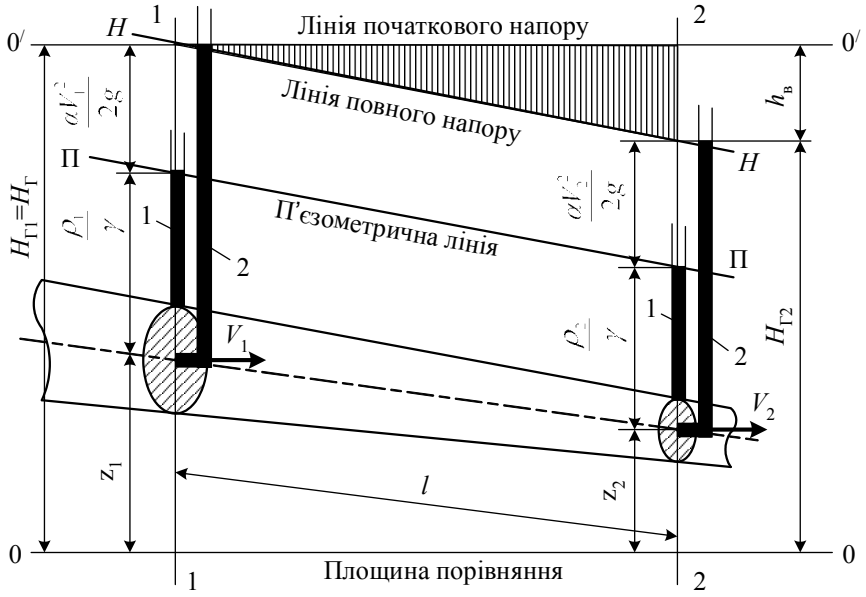


Рис. 4.35. Графічне зображення рівняння Д. Бернуллі: 1 – п'єзометри; 2 – трубки Піто

У відповідності з цим величини в першому перерізі позначимо індексами 1, а в другому – 2. Якщо за площину порівняння взяти довіль-

ну площину 0-0, то відстань від неї до центра тяжіння живих перерізів відповідно буде Z_1 і Z_2, тобто буде зображувати перший член рівняння Бернуллі.

Встановимо в перерізах п'єзометри, рідина в них підніметься відповідно на висоту p_1/γ і p_2/γ, що у свою чергу є п'єзометричною висотою в цих перерізах, яка відповідає гідростатичному тиску в них. Таким чином геометрично зображується другий член рівняння Бернуллі. Встановимо в перерізах швидкісні трубки (трубки Піто) із загнутими під прямим кутом нижніми відкритими кінцями, напрямленими проти течії. Рідина в них підніметься вище, ніж у п'єзометрах, на висоту, яка відповідатиме третьому члену рівняння Бернуллі, а саме: $V_1^2/2g$ і $V_2^2/2g$. Різниця рівнів рідини в трубках Піто в першому і другому перерізах дорівнює втратам повного напору $h_в$. З урахуванням цього рівняння Бернуллі можна записати в такому вигляді:

$$H_{г_1} = H_{г_2} + h_в = H_г, \qquad (4.111)$$

тобто для будь-якого потоку величина $H_г$ залишається постійною.

Лінія, проведена через рівні рідини в першому і другому п'єзометрах, називається ***п'єзометричною лінією*** П-П. Падіння (зниження) п'єзометричної лінії на одиницю довжини потоку називається п'єзометричним похилом, який описується таким рівнянням:

$$I_р = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{l} = \frac{h_{в_р}}{l}, \qquad (4.112)$$

де l – відстані між першим і другим перерізами (довжина потоку); $h_{в_р}$ – втрати п'єзометричного напору.

П'єзометричний похил може бути як позитивним, так і негативним. Сума $\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)$ називається ***п'єзометричним (потенціальним) напором.***

Лінія, проведена через рівні рідини в першій і другій трубках Піто, називається ***лінією повного, або гідродинамічного, напору Н-Н***. Її падіння на одиницю довжини потоку називається *гідравлічним похилом* і виражається рівнянням

$$I = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_г^2}{2g}\right)}{l}, \qquad (4.113)$$

або скорочено можна записати:

$$I = \frac{H_{г1} - H_{г2}}{l} = \frac{h_в}{l}, \qquad (4.114)$$

де $h_в$ – втрати повного напору при русі рідини від першого до другого перерізу.

Лінія повного напору *Н-Н* може тільки знижуватися, оскільки повна енергія при русі потоку рідини постійно витрачається.

При рівномірному русі рідини лінія повного напору *Н-Н* буде паралельною п'єзометричній лінії *П-П* і гідравлічний похил буде дорівнювати п'єзометричному: $I = I_р$. Для нев'язкої (ідеальної) рідини лінія повного напору *Н-Н* буде паралельною площині порівняння і співпадатиме з лінією початкового напору (рис. 4.35), тобто $h_в = 0$.

Енергетична (фізична) суть рівняння Бернуллі полягає в тому, що воно описує той чи інший вид питомої енергії у поперечному перерізі рухомої рідини, тобто енергії, яка припадає на одиницю ваги рідини, що нами було обґрунтовано. З рівняння Бернуллі видно, що повна питома енергія потоку рідини складається з питомої енергії положення Z, питомої енергії тиску p/γ і питомої кінетичної енергії $\alpha V^2/(2g)$, а також що повна енергія зменшується по довжині потоку в напрямку руху рідини через подолання сил тертя.

Два перші члени рівняння Бернуллі $Z + p/\gamma = H_р$ зображають потенціальну питому енергію $E_р$, третій член $V^2/(2g)$ – кінетичну питому енергію $E_к$, що не складає труднощів обґрунтувати це.

Візьмемо масу рідини M, яка рухається зі швидкістю V.

Вага її буде $G = Mg$.

Кінетична енергія, як відомо, описується рівнянням $E_к = MV^2/2$. Оскільки нашою метою є довести, що енергія $E_к$ є питомою, тобто $E_{к\,пит}$, то віднесемо її до ваги, тобто:

$$E_{к\,пит} = \frac{E_к}{G} = \frac{MV^2/2}{Mg} = \frac{V^2}{2g}. \qquad (4.115)$$

Таким чином, $V^2/(2g)$ є питома кінематична енергія.

Повний напір H являє собою суму потенціального і швидкісного напорів, або повну питому енергію рухомої рідини, тобто:

$$H = E_{пит\ полож} + E_{пит\ тиску} + E_{пит\,кін} = E_{пит\,пов}. \qquad (4.116)$$

Таким чином, у відповідності з рівнянням Бернуллі повна питома енергія, яку несе потік рідини, у сумі з енергією, яка втрачається при її русі, є постійною. Окремі види енергії вздовж потоку можуть змінюватися, але їхня сума залишається незмінною в будь-якому його перерізі.

Це дає змогу зробити висновок, що рівняння Бернуллі виражає відомий закон збереження енергії стосовно руху рідини.

6. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини

Для в'язкої (реальної) рідини напір у будь-якому вищерозташованому перерізі завжди буде більше напору в нижчерозташованому за течією перерізі, оскільки частина енергії витрачається на подолання сил опору, і рівняння (1.107) набере вигляду

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u^2_1}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^{\ 2}}{2g} + h_{\text{в}}, \qquad (4.117)$$

де $h_{\text{в}}$ – втрати напору на подолання всіх опорів (сил в'язкості і сил тертя рідини об поверхню русла), $h_{\text{в}} = H_{\text{г}1} - H_{\text{г}2}$.

7. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини

Для потоку в'язкої (реальної) рідини рівняння (4.117) можна застосувати за умови, якщо рух рідини буде сталим і плавнозмінним, тобто таким, при якому кут розходження між сусідніми елементарними струминками буде настільки малим, що складовими швидкості в поперечному напрямку можна знехтувати. Тоді буде справедливим основний закон гідростатики, тобто величина $Z = p/\gamma$, однакова в усіх точках перерізу.

При русі рідини вздовж твердої стінки її швидкість досягає максимального значення в центральній частині потоку і зменшується до нуля біля дна русла. Нерівномірний розподіл швидкостей означає неоднакове сковзання одних елементарних струминок по інших. Враховуючи все це, у рівняння Бернуллі вводиться середня швидкість руху рідини V. Для приведення результатів розрахунків по середній швидкості у відповідність з дійсними швидкостями вводиться коефіцієнт α, який характеризує нерівномірність розподілу швидкостей по живому перерізу потоку і є відношенням кінетичної енергії, вирахуваної за дійсними швидкостями руху, до енергії, вирахуваної за середньою швидкістю руху рідини в тому ж перерізі, тобто:

$$\alpha = \frac{\int_{\omega} u^2 dM}{MV^2}, \qquad (4.118)$$

де M – маса рідини; u і V – відповідно дійсна й середня швидкості руху рідини.

Таким чином, для двох перерізів у потоці в'язкої (реальної) рідини, з урахуванням вищенаведених положень, рівняння Бернуллі буде мати такий вигляд:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_в, \qquad (4.119)$$

де Z_1, Z_2 – висотне положення перерізів відносно площини порівняння; p_1, p_2 – гідростатичний тиск відповідно у першому і другому перерізах; γ – питома вага рідини ($\gamma = \rho g$); α – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкостей по живому перерізу потоку ($\alpha = 1{,}05\ldots1{,}1$); V_1, V_2 – середня швидкість руху рідини відповідно у першому і другому перерізах; g – прискорення вільного падіння; $h_в$ – втрати напору при русі рідини від першого до другого перерізу.

Кожна з величин, які входять до рівняння Бернуллі (4.119), може змінюватися, але їхня сума в кожному перерізу є постійною, тобто;

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} = \text{const}. \qquad (4.120)$$

8. Використання рівняння Бернуллі

Рівняння Бернуллі широко застосовується при дослідженні гідравлічних явищ, наприклад таких, як витікання рідини через отвори й насадки і т. ін., та при розв'язанні багатьох інженерних задач.

Перша умова щодо застосування рівняння Бернуллі витікає з допущень, які робилися при його виведенні. Рівняння застосовується для сталого плавнозмінного руху рідини, тобто руху, при якому швидкість і напір (тиск) залежать лише від координат точки в рідині й незмінні з течією часу, а швидкість частинок рідини постійна вздовж їхніх траєкторій при незначній крутизні ліній течії. Цим вимогам відповідають потоки рідин у трубопроводах, каналах і в інших гідравлічних системах.

Другою умовою можна вважати те, що рівняння Бернуллі застосовується до поперечного перерізу потоку рідини в цілому, а не до окремих його точок. Це правило обґрунтовується гідростатичним законом розподілу тиску в будь-якому перерізі рухомої рідини, тобто $Z + p/\gamma = \text{const}$.

Третьою умовою слід вважати деякі обмеження (поради) щодо вибору поперечних перерізів. Саме в обраних перерізах повинна витримуватися вимога щодо плавнозмінності руху рідини, а між ними рух може бути й різкозмінним. Поперечні перерізи та площину порівняння слід призначати в тих місцях, де найбільша кількість величин були б відомими, їхні значення дорівнювали б нулю або були б пошуковими.

Як приклад розглянемо випадок, коли рідина з відкритого резервуара з постійним її рівнем у ньому витікає через горизонтальну трубу d = 100 мм (рис. 4.36). Напір над віссю труби H = 4 м, витрата рідини Q = 25 л/с. Необхідно знайти втрати напору $h_в$.

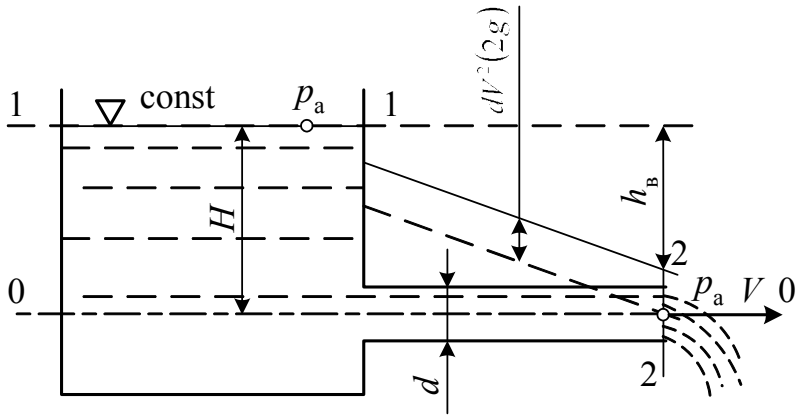


Рис. 4.36. Схема до прикладу застосування рівняння Бернуллі

Розв'яжемо задачу із застосуванням рівняння Бернуллі в такій послідовності. 1. Виберемо площину порівняння й два перерізи з урахуванням вищенаведених рекомендацій. У нашому випадку площину порівняння 0-0 доцільно прийняти по осі труби, а перший переріз доцільно прийняти на вільній поверхні рідини. Тоді $Z = H$, $p_1 = p_a$, $V \approx 0$ (тому що в порівнянні зі швидкістю рідини в трубі швидкість у резервуарі буде незначною). Другий переріз приймемо на виході з труби. Тоді $Z_2 = 0$, $p_2 = p_a$, $V_2 = V$. Підставивши значення величин у рівняння Бернуллі, одержимо:

$$h_в = H - \frac{\alpha V^2}{2g} = H - \frac{\alpha Q^2 \cdot 16}{2g\pi^2 d^4} = H - \frac{8\alpha Q^2}{g\pi^2 d^4} = 4 - \frac{8 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}025^2}{9{,}81 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}14} = 3{,}432 \text{ м}$$

Питання для самоконтролю до лекції № 4.

1. Що вивчає розділ гідродинаміка?
2. Що таке елементарна струминка?
3. Які основні параметри потоку?
4. За якою формулою визначається середня швидкість руху рідини?
5. Як формулюється і записується основне рівняння гідродинаміки?
6. Записати рівняння Бернуллі і пояснити всі його складові.
7. Записати рівняння і пояснити його фізичну інтерпретацію (закон збереження енергії).
8. Пояснити геометричну інтерпретацію рівняння Бернуллі.

9. Як визначається осьова швидкість струминки рідини в поперечному перерізі.
10. Як визначається витрата рідини і швидкість руху.
11. Як визначаються втрати напору.
12. Як будуються п'єзометрична і лінія повної питомої енергії потоку.
13. Що таке гідродинамічний напір?

4.6. ЛЕКЦІЯ №5. Основи теорії подібності

Змістовий модуль 2 «ГІДРОДИНАМІКА»

Тема: Основи теорії подібності.

Мета. Ознайомитися з методикою експериментальних досліджень гідравлічних явищ. Ознайомитися з основами теорії подібності.

План лекції

1. Моделювання гідравлічних явищ.
2. Критерії подібності.
3. π-теорема і її застосування.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 73-78).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 61-66).
3. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 45-50).

Матеріал лекції

1. Моделювання гідравлічних явищ

При вивченні гідравлічних явищ, пов'язаних з рухом рідин, застосовуються аналітичні (теоретичні) дослідження та розрахунки, а також експериментальні дослідження. Сполучення цих двох видів досліджень забезпечує високу надійність отримуваних результатів.

У цьому розділі розглядаються методичні підходи до проведення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження гідравлічних явищ можна виконати в природних (натуральних) умовах і на моделях, у лабораторних умовах. Проведення натуральних досліджень явищ на об'єктах, які проектуються, взагалі неможливе, оскільки об'єкт відсутній у природі. Про-

ведення досліджень на об'єктах-аналогах у більшості випадків неможливе, оскільки важко їх підібрати, реальні об'єкти великі за розмірами і т. ін. Тому при дослідженні гідравлічних явищ здебільшого єдиним методом досліджень є моделювання цих явищ.

Моделювання в гідродинаміці – це дослідження гідродинамічних явищ чи процесів шляхом побудови і вивчення їхньої моделі. Слід відзначити, що моделювання є однією з основних категорій теорії пізнання. Основною умовою моделювання гідравлічних процесів є дотримання подібності відповідних параметрів моделі й натури явища.

Сучасна теорія моделювання гідравлічних явищ базується на ***законі гідромеханічної подібності,*** встановленому І. Ньютоном в 1686 р., у відповідності до якого вважається, що в механічно подібних потоках рідини (у натурі й на моделі) геометричні розміри, швидкості та діючі сили в схожих точках повинні знаходитися в однакових співвідношеннях.

Таким чином, складовими частинами гідромеханічної подібності є *геометрична, кінематична і динамічна подібність*.

Геометрична подібність потоків – це подібність лінійних розмірів $l_н$ і $l_м$, площ $\omega_н$ і $\omega_м$ та об'ємів $W_н$ і $W_м$ у таких співвідношеннях:

$$\frac{l_н}{l_м} = M_l;\ \frac{\omega_н}{\omega_м} = M_\omega = M_l^2;\ \frac{W_н}{W_м} = M_W = M_l^3, \qquad (4.121)$$

де M_l – лінійний масштаб моделювання, індекси «н» і «м» позначають величини натури й моделі

Кінематична подібність потоків – це геометрична подібність переміщень частинок рідини, і вона описується такими співвідношеннями:

$$\frac{t_н}{t_м} = M_t;\ \frac{V_н}{V_м} = M_v;\ \frac{a_н}{a_м} = M_a, \qquad (4.122)$$

де M_t, M_v, M_a – масштаби моделювання відповідно часу, швидкостей і прискорень.

Динамічна подібність потоків – це подібність у натурі й на моделі сил, що описується таким співвідношенням:

$$\frac{F_н}{F_м} = \frac{P_н}{P_м} = \frac{T_н}{T_м} = M_F = \text{idem}, \qquad (4.123)$$

де *F, P, T* – відповідно сили інерції, тяжіння і в'язкості.

2. Критерії подібності

Критерій Ньютона N_e є основним критерієм (основним законом) гідромеханічної подібності потоків, згідно з ним всі сили (тяжіння, тиску, інерції, тертя і поверхневого натягу), під дією яких відбувається те чи інше гідравлічне явище, повинні бути в такому співвідношенні:

$$\frac{F_н}{F_м} = \frac{m_н a_н}{m_м a_м} = \frac{\rho_н l_н^2 V_н^2}{\rho_м l_м^2 V_м^2} \text{ або } \frac{F_н}{\rho_н l_н^2 V_н^2} = \frac{F_м}{\rho_м l_м^2 V_м^2} = N_e, \qquad (4.124)$$

де $F_н$ і $F_м$, $\rho_н$ і $\rho_м$, $l_н$ і $l_м$, $V_н$ і $V_м$ – відповідно сили, густини, довжини і швидкості в натурі й на моделі; N_e – критерій Ньютона.

Таким чином, у динамічно подібних потоках між діючими силами повинно бути постійне співвідношення, яке називається ***критерієм Ньютона.***

Оскільки вплив вищеназваних сил, через різну їхню фізичну природу, може проявлятися неоднаково, встановлюються частинні критерії подібності для випадків, коли в якості переважаючої приймається якась одна з діючих сил.

Критерій Фруда F_r – це один з окремих випадків критеріїв подібності, і застосовується він, коли переважаючими є сили тяжіння. Наприклад, при моделюванні явищ витікання рідин з отворів і насадок, переливу їх через водозливи, де переважаючими і є сили тяжіння, а сили поверхневого натягу і в'язкості є зневажливо малими, тоді й застосовується критерій Фруда, який виражається таким чином:

$$\frac{\textit{Сили інерції}}{\textit{Сили тяжіння}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\nu l^3} = \frac{V^2}{gl} = F_r = \text{idem}. \qquad (4.125)$$

Отже, при перевазі сил тяжіння потоки будуть подібними, якщо будуть однаковими числа Фруда для натури і для моделі, тобто $F_{r_н} = F_{r_м}$. Оскільки, звичайно, у подібних потоках прискорення сили тяжіння $g_н = g_м$, критерій Фруда дещо спрощується:

$$\frac{V_н^2}{l_н} = \frac{V_м^2}{l_м} = F_r. \qquad (4.126)$$

Перехід від моделі до натури в цьому випадку може бути виконаний за такими залежностями:

для швидкості:

$$\frac{V_н^2}{V_м^2} = \frac{l_н}{l_м} = M_l \text{ або } V_н = V_м\sqrt{M_l}; \qquad (4.127)$$

для витрати:

$$\frac{Q_н}{Q_м} = \frac{\omega_н V_н}{\omega_м V_м} = M_l^2\sqrt{M_l} \text{ або } Q_н = Q_м M_l^2\sqrt{M_l}; \qquad (4.128)$$

для часу, оскільки

$$V_{н} = \frac{l_{н}}{t_{н}},\ V_{м} = \frac{l_{м}}{t_{п}} \text{ і } \frac{V_{н}}{V_{м}} = \frac{l_{н}l_{м}}{t_{н}t_{м}},\ \frac{t_{н}l_{м}}{t_{м}l_{н}} = \frac{V_{м}}{V_{н}}, \tag{4.129}$$

$$\text{то } \frac{t_{н}}{t_{м}} = \frac{V_{м}l_{н}}{V_{н}l_{м}},\ t_{н} = t_{м}\sqrt{M_{l}}\,. \tag{4.130}$$

Критерій Рейнольдса R_e застосовується при моделюванні руху рідин у трубопроводах, каналах і річках, де переважають сили тертя (в'язкості), а тому закон гідромеханічної подібності описується такою залежністю:

$$\frac{\textit{Сили інерції}}{\textit{Сили тертя}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\mu l V} = \frac{Vl}{\nu} = R_{e} = \text{idem}\,. \tag{4.131}$$

Тут сили тертя знайдені за залежністю (4.6).

Таким чином, при перевазі сили тертя потоки будуть схожими, якщо критерій Рейнольдса для обох потоків однаковий, тобто

$$R_{e_н} = R_{e_м} \text{ або } \frac{V_{н}l_{н}}{\nu_{н}} = \frac{V_{м}l_{м}}{\nu_{м}}. \tag{4.132}$$

Перехід від моделі до натури в цьому випадку може бути виконаний за такими формулами при $\nu_н = \nu_м$:

$$V_{н} = \frac{V_{м}}{M_{l}};\ Q_{н} = Q_{м}M_{l};\ t_{н} = t_{м}M^{2}{}_{l}, \tag{4.133}$$

де $V_н$, $Q_н$, $t_н$ – відповідно швидкість, витрата та час у натурі.

3. π-теорема і її застосування

У тих випадках, коли неможливо отримати теоретичні залежності для описання гідравлічних явищ, удаються до методу аналізу розмірностей (π-теорема), який дозволяє встановити структуру формули, яка пов'язує фізичні фактори гідравлічного явища, що досліджується [3].

Припустимо, необхідно знайти параметри критеріального рівняння для експериментального визначення будь-якої фізичної величини $F(\pi_1, \pi_2) = 0$, наприклад, критерії $F_г$ і R_e, якщо рух рідини описується рівнянням, яке визначається п'ятьма параметрами $f(l, t, p, g, \nu) = 0$.

Розглянемо розмірності величин, вибравши за основні довжину, час і масу:

$$l[L],\ t[T],\ \rho\left[\frac{M}{L^3}\right],\ g\left[\frac{L}{T^2}\right],\ \nu\left[\frac{L^2}{T}\right]. \tag{4.134}$$

У відповідності до π-теореми, функціональну залежність можна виразити безрозмірними комплексами в кількості (К-3), де K – кіль-

кість параметрів рівняння, 3 – кількість параметрів, які мають основну розмірність. Для випадку, який розглядається, (К – 3) = (5 – 3) = 2, тобто два π (або два критерії):

$$\Pi_1 = l^{x_1} t^{y_1} \rho^{z_1} g\,;\ \Pi_2 = l^{x_2} t^{y_2} \rho^{z_2} \nu\,. \qquad (4.135)$$

З урахуванням розмірностей для кожного π можна записати:

$$\Pi_1 = [L]^{x_1}[T]^{y_1}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_1}\left[\frac{L}{T^2}\right];\quad \Pi_2 = [L]^{x_2}[T]^{y_2}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_2}\left[\frac{L^2}{T}\right]. \qquad (4.136)$$

Рівняння наберуть такого вигляду:

$$\pi_1 = L^{x_1-3z_1+1}T^{y_1-2}M^{z_1};\quad \pi_2 = L^{x_2-3z_2+2}T^{y_1-2}M^{z_2}, \qquad (4.137)$$

звідки, прирівнюючи показники степеня при L, T, M до нуля, для кожного з двох π отримаємо систему рівнянь:

$$\left.\begin{array}{c} x_1 - 3z_1 + 1 = 0 \\ y_1 - 2 = 0 \\ z_1 = 0 \end{array}\right\} \left.\begin{array}{c} x_2 - 3z_2 + 2 = 0 \\ y_2 - 1 = 0 \\ z_2 = 0 \end{array}\right\}. \qquad (4.138)$$

Розв'язуючи кожну з двох систем, знайдемо:

для π_1: $x_1 = -1; y_1 = 2; z_1 = 0$; для π_2: $x_2 = -2; y_2 = 1; z_2 = 0$. (4.139)

Далі знайдемо безрозмірні параметри:

$$\left.\begin{array}{l} \pi_1 = \dfrac{gt_1^2}{l} = \dfrac{gl}{V^2} = \dfrac{1}{F_{\text{г}}} \\ \pi_2 = \dfrac{tv}{l^2} = \dfrac{v}{Vl} = \dfrac{1}{R_{\text{е}}} \end{array}\right\} \qquad (4.140)$$

і запишемо в загальному вигляді критеріальне рівняння руху в'язкої рідини:

$$F(F_{\text{г}}, R_{\text{е}}) = 0\,. \qquad (4.141)$$

Питання для самоконтролю до лекції № 5

1. Які критерії подібності використовуються для моделювання гідравлічних явищ?
2. Які особливості використання критерію Ньютона?
3. Які особливості використання критерію Фруда?
4. Які особливості використання критерію Рейнольдса?
5. Які особливості використання π-теореми?
6. В яких випадках застосовується π-теорема?

4.7. ЛЕКЦІЯ № 6. Основи руху реальної рідини. Опори і втрати напору при русі рідини

Змістовий модуль 2 «ГІДРОДИНАМІКА»

Тема: Основи руху реальної рідини. Опори і втрати напору при русі рідини.

Мета. Ознайомитися з режимами руху рідини. Ознайомитися методикою визначення втрат напору по довжині трубопроводу. Ознайомитися методикою визначення місцевих втрат напору.

План лекції

1. Режими руху рідини.
2. Число і критерії Рейнольдса.
3. Втрати напору по довжині трубопроводу.
4. Місцеві втрати напору.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 66-73, 78-93).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 55-61, 66-78).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка [Текст] / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 63-84).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 52-77).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 50-64).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 33-43).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 73-77, 86-102).

Матеріал лекції
1. Режими руху рідини

Під видом руху розуміють поводження потоку в цілому, а під режимами руху – поводження окремих частинок рідини потоку.

Уже з другої половини XIX століття було відомо, що рідина може протікати в трубі двояким чином, характеризуючись різними законами опору. Вперше це відмітив німецький дослідник Хаген (1869 р.). В 1880 році видатний російський вчений Д.І. Менделєєв у своїх працях вказував на наявність двох режимів руху з різними законами опору. Ця думка була розвинута і доведена в 1882 році російським інженером і вченим М.П. Петровим у процесі створення гідродинамічної теорії мащення.

Однак найповніше дослідження режимів руху рідин у трубах зробив англійський фізик О. Рейнольдс у 1883 році.

Схему дослідної установки Рейнольдса показано на рисунку 4.37. До бака *Б*, наповненого досліджуваною рідиною, приєднана скляна трубка *Т*, обладнана на кінці краном *К* для регулювання витрати у трубці. Величина витрати визначається мірним баком *М*.

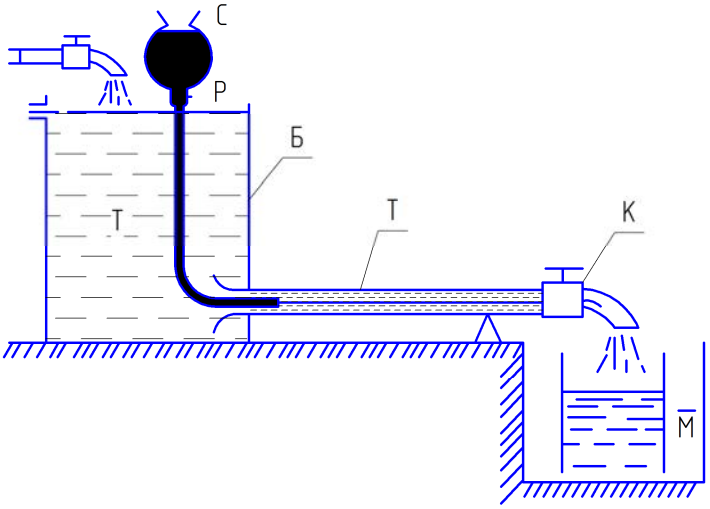


Рис. 4.37. Схема дослідної установки Рейнольдса

Для зменшення збурень, що вносяться в потік, вхід з бака у трубу зроблено плавним. Над великим баком установлено маленький бачок *С*, наповнений розчином якої-небудь нерозчинної фарби з об'ємною вагою, близькою до об'ємної ваги випробовуваної рідини. Від бачка *С* відходить тоненька трубка *Т* зігнута так, що її кінець входить у трубку *Т*. Витрата розчину фарби регулюється краном *Р*.

При незначному відкритті крана *К,* рідина з бака *Б* почне надходити у трубу *Т* з певною середньою швидкістю *v,* що відповідає витраті *Q* і перерізу труби ω (рівень рідини в баку підтримується сталим). Якщо тепер трохи відкрити кран *Р* тоненької трубки *Т* то з неї почне надходити фарба в трубу *Т* у вигляді тонкої прямолінійної струминки, що різко виділяється.

Характерно, що фарба при цьому рухається у трубі *Т,* не змішуючись з рештою рідини, і помітного обміну частинками між забарвленою струминкою і рідиною, що її оточує, не відбувається.

При дальшому відкритті крана *К* збільшується швидкість руху рідини в трубі *Т* до певних границь, при цьому зовнішня картина явища не змінюється.

Однак, якщо кран відкривати ще далі, то забарвлена струминка почне раптово викривлятися, лінія течії стає завивистою, і при дальшому збільшенні швидкості відбувається перемішування забарвленої струминки з усією масою потоку, струминка швидко розпадається, набуваючи вигляду окремих кільцевих завихрень по всьому перерізу труби.

Режим руху, а також і самий рух рідини, при якому непомітна пульсація швидкості, що призводить до перемішування частинок потоку, називають л а м і н а р н и м (від лат. *lamina* – шар) – рідина рухається окремими шарами (струминками) без перемішування.

На відміну від нього режим руху і самий рух рідини з пульсацією швидкостей, що призводить до перемішування частинок потоку, називається турбулентним (від лат. *turbulentus* – безладний) – рідина рухається з перемішуванням частинок рідини, струминність потоку порушується.

При зворотному проведенні досліду, тобто при поступовому закриванні крана після повного його відкриття, явище повторюється у зворотному порядку, однак перехід від турбулентного режиму до ламінарного відбувається при меншому, ніж раніше, значенні швидкості руху рідини.

У цій порівняно невеликій перехідній області режим руху нестійкий і під впливом випадкових факторів може набувати як одну, так і другу форми.

Досліди показали, що режим руху рідини залежить від її в’язкості, яка характеризується динамічним коефіцієнтом в’язкості μ, густоті ρ, від середньої швидкості руху і від геометричних розмірів русла l, d, B.

Характеристикою режиму є безрозмірний комплекс із зазначених величин, що називається числом Рейнольдса.

Розглянемо механізм явищ, які відбуваються в потоці рідини при різних режимах її руху. Русло, по якому рухається рідина (труба чи відкритий потік), завжди має певну шорсткість.

Розглянемо ламінарний рівномірний рух рідини в горизонтальному циліндричному трубопроводі радіусом r_0 і встановимо характер розподілу швидкостей і дотичних напружень у потоці при цьому.

При *ламінарному* режимі рідина рухається окремими шарами. Виступи шорсткості завжди втоплені в ламінарному пристінному шарі, тобто основний потік не торкається виступів шорсткості, а тому рух при цьому буде завжди *гідравлічно гладким*.

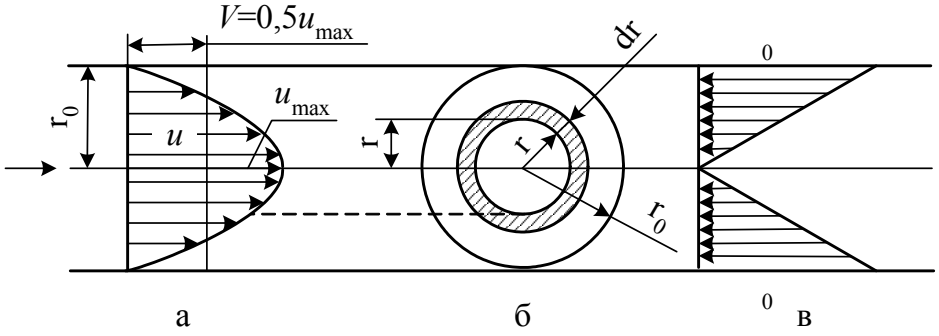


Рис. 4.38. Схема до розгляду ламінарного руху рідини: а – епюра швидкостей (дійсної і середньої); б – концентричний відносно осі труби, безкінечно тонкий шар; в – епюра дотичних напружень

Рух рідини в цьому випадку можна уявити як сукупність безкінечно тонких кільцевих, концентричних відносно осі потоку, шарів, які переміщуються один відносно одного (сковзаються) (рис. 4.38, а, б).

Дотичні напруження, які виникають між шарами, $\tau = -\mu du / dr$. З іншого боку, згідно з основним рівнянням рівномірного руху, $\tau = \rho g R I$. Замінивши $R = r/2$, отримаємо $\tau = \rho g I (r/2)$. Прирівняємо обидва рівняння:

$$\rho g \frac{r}{2} I = -\mu \frac{du}{dr}, \tag{4.142}$$

звідки:

$$du = -\frac{\rho g I}{2\mu} r dr = -\frac{gI}{2\nu} r dr, \tag{4.143}$$

де $\nu = \mu / \rho$.

Після інтегрування отримаємо:

$$u = -\frac{gI}{4\nu} r^2 + c. \tag{4.144}$$

Постійну інтегрування c знайдемо за умови, що $r = r_0$, а дійсна швидкість $u = 0$. Тоді $c = gIr_0^2/(4\nu)$. Звідки:

$$u = \frac{gI}{4\nu}(r_0^{\,2} + r^2)\,. \qquad (4.145)$$

Отримане рівняння є рівнянням параболи. Таким чином, при ламінарному русі епюри дійсних швидкостей у трубопроводі мають вигляд параболи (рис. 4.38, а).

Замінимо в рівнянні (4.145) $\nu = \mu/\rho$, тоді для центральної струмини при $r = 0$ отримаємо:

$$u_{\max} = \gamma \frac{I}{4\mu} r_0^{\,2}\,. \qquad (4.146)$$

Витрату рідини через трубопровід знайдемо з формули:

$$Q = \int_0^{r_0} 2\pi r dr u = \int_0^{r_0} 2\pi r dr \frac{I}{4\mu}(r_0^2 - r^2)\gamma = \gamma \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I}{\mu}\left(\frac{r_0^4}{2} - \frac{r_0^4}{4}\right) = \frac{\pi}{8}\gamma \frac{I}{\mu} r_0^4\,. \qquad (4.147)$$

Середня швидкість буде:

$$V = \frac{Q}{\pi r_0^2} = \gamma \frac{I}{8\mu} r_0^2\,. \qquad (4.148)$$

Із співвідношення максимальної (4.146) і середньої (4.148) швидкостей маємо:

$$V = \frac{u_{\max}}{2}\,. \qquad (4.149)$$

Закон розподілу дотичних напружень (епюру) встановимо за допомогою основного рівняння рівномірного руху $\tau = \gamma RI$.

Для круглого перерізу $R = d/4 = r/2$, тоді рівняння набере вигляду $\tau = \gamma Ir/2$, тобто рівняння прямої, а для її побудови необхідні дві точки. При $r = 0$, тобто на осі трубопроводу, $\tau = 0$, при $r = r_0$ (біля стінок трубопроводу) $\tau = \max$ (рис. 4.38, в).

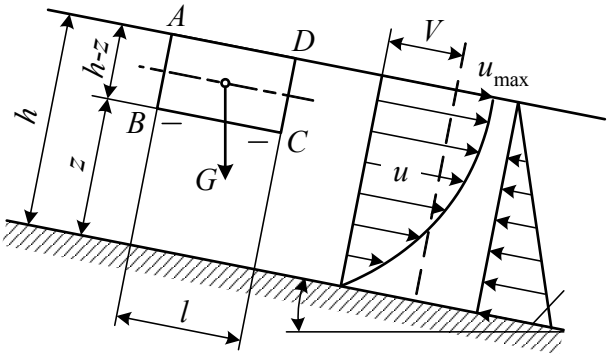


Рис. 4.39. Схема до обґрунтування ламінарного руху рідини у відкритому потоці: θ – кут нахилу дна; h – глибина потоку; ABCD – відсік, що розглядається; l – довжина відсіку; h-z – висота відсіку

Епюри швидкостей та дотичних напружень у відкритому безнапірному *плоскому* ламінарному потоці показано на рисунку 4.39. Зауважимо, що плоским (двомірним) рухом вважається такий рух, при якому кінематичні характеристики залежать тільки від двох координат і не залежать від третьої.

При доведенні рівняння епюри швидкостей розглядається рух виділеного на рисунку 4.39 відсіку *ABCD*, на підставі чого відшукуване рівняння має такий вигляд:

$$u = \frac{gi}{2\nu} z(2h - z), \tag{4.150}$$

де i – похил дна.

Таким чином, у відкритому потоці дійсні швидкості розподіляються за глибиною потоку по параболі, максимальна швидкість буде мати місце на поверхні:

$$u_{\max} = \frac{gi}{2\nu} h^2. \tag{4.151}$$

Середня швидкість визначиться залежністю:

$$V = \frac{2}{3} u_{\max}. \tag{4.152}$$

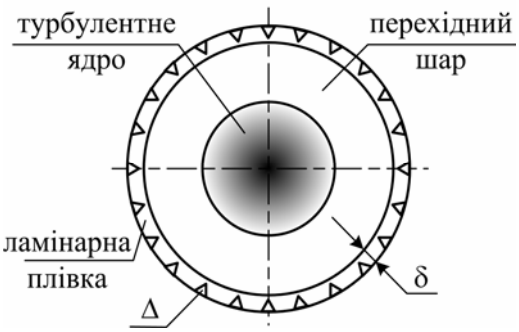


Рис. 4.40. Схема поперечного перерізу трубопроводу з турбулентним рухом рідини: Δ – виступи шорсткості; δ – товщина ламінарної плівки

Дотичні напруження змінюються за лінійним законом від нуля на поверхні потоку до $\tau_0 = \rho ghi$ біля дна.

При *турбулентному* режимі руху рідини структура потоку більш складна. Біля стінок спочатку зберігається деякий шар рідини, яка рухається з малими швидкостями. Цей шар називається *ламінарною плівкою*. Товщина її справляє суттєвий вплив на розподіл швидкостей у потоці, і відбувається це в поєднанні з шорсткістю стінок русла (рис. 4.40). Можливі три види цього співвідношення.

Перший випадок: $\delta_{лп} > \Delta$, тобто виступи шорсткості втоплені в ламінарній плівці.

Завдяки цьому основна маса рідини не торкається виступів шорсткості, а рухається, ковзаючись по пристінній ламінарній плівці, і рух називається *гідравлічно гладким* (не дивлячись, що розглядається турбулентний режим).

***Другий випадок*:** $\delta_{лп} = \Delta$, тобто товщина ламінарної плівки дорівнює висоті виступів шорсткості. Такий рух називається *перехідною зоною*. Зрозуміло, що в цьому випадку можливе торкання основного потоку з виступами шорсткості.

***Третій випадок*:** $\delta_{лп} < \Delta$, тобто ламінарна плівка зникає, і основний турбулентний потік рухається, безпосередньо торкаючись виступів шорсткості. Рух рідини називається *гідравлічно шорстким*, або це називається квадратичною зоною гідравлічних опорів.

Слід відзначити, що абсолютна шорсткість труб не залишається постійною в процесі експлуатації трубопроводів. Спочатку нові труби мають певну шорсткість, яка внаслідок відшліфування рухомим потоком, з включеннями в ньому, зменшується, а потім, внаслідок явищ кристалізації, шорсткість труб збільшується впритул до повного «заростання» трубопроводу.

Що стосується структури потоку при турбулентному режимі руху рідини в круглому трубопроводі, то швидкості в ньому розподіляються більш рівномірно, будучи за абсолютним значенням більшими, ніж при ламінарному режимі руху (рис. 4.41).

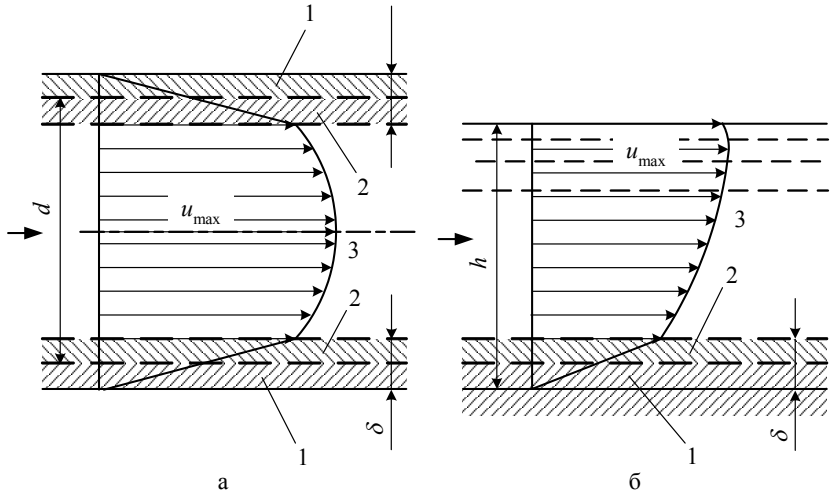


Рис. 4.41. Схема розподілу швидкостей при турбулентному режимі руху рідини: а – у трубопроводі; б – у відкритому каналі; 1 – ламінарна плівка; 2 – перехідний шар; 3 – ядро турбулентної течії

Фігура розподілу швидкостей у перерізі трубопроводу наближається до криволінійної трапеції (рис. 4.41, а), а в центрі трубопроводу швидкості взагалі близькі між собою, і середня швидкість $V = (0{,}75\ldots0{,}9)\ u_{\max}$. Дотичні напруження розподіляються за більш складним законом, ніж при ламінарному режимі.

Загальні дотичні напруження $\tau_{\text{турб}}$ складаються з двох складових:

$$\tau_{\text{турб}} = \tau_1 + \tau_2, \qquad (4.153)$$

де τ_1 – дотичні напруження, обумовлені в'язкістю рідини; τ_2 – дотичні напруження, обумовлені тертям внаслідок інтенсивного перемішування рідини. За теорією Прандтля – Кармана,

$$\tau_2 = \rho l^2 (du/dh)^2, (4.152) \qquad (4.154)$$

де ρ – густина рідини; l – довжина шляху перемішуваня; du/dh – градієнт швидкості.

Оскільки побудова епюри дотичних напружень ускладнена, то тут, як і в більшості літературних джерел з гідравліки, вона не наводиться.

Епюра розподілу швидкостей при турбулентному режимі руху рідини у відкритому руслі показана на рисунку 4.41, б.

Характер розподілу швидкостей при цьому описується порівняно складним рівнянням:

$$u_{\text{x}} = V \frac{\ln(1+\beta/\alpha)}{\ln\dfrac{1}{\alpha} - 1}, \qquad (6.155)$$

де u_{x} – місцева середня швидкість у довільній точці; β – відносна глибина, $\beta = y/h$, де y – відстань від вільної поверхні до точки, яка розглядається, h – глибина потоку; α – відносна шорсткість, $\alpha = \Delta/h$, де Δ – висота виступів шорсткості (додаток С).

2. Число і критерії Рейнольдса

Шляхом досліджень встановлено, що режим руху рідин характеризується числовим значенням безрозмірного параметра, який називається ***числом Рейнольдса*** $\boldsymbol{R_{\text{e}}}$.

Для круглих перерізів воно визначається рівнянням

$$R_{\text{e}} = \frac{Vd}{\nu}, \qquad (4.156)$$

де V – середня швидкість руху рідини; d – діаметр трубопроводу; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини.

Режим руху рідини встановлюється за критичним числом Рейнольдса, яке для круглих трубопроводів становить $R_{\text{e кр}} = 2320$.

У каналах і руслах некруглого поперечного перерізу

$$R_{e\,кр} = \frac{4VR}{\nu}, \qquad (4.157)$$

де R – гідравлічний радіус, $R = d/4$.

Критичне число Рейнольдса для некруглих перерізів $R_{e\,кр\,нкр} = 300…500$.

Отже, для встановлення режиму руху рідини необхідно співставити фактичне число Рейнольдса, яке визначається за формулами (4.156) або (4.157), з критичним: якщо фактичне $R_e < R_{e\,кр}$, то рух ламінарний, якщо ж $R_e > R_{e\,кр}$ – рух рідини турбулентний.

Критерії Рейнольдса розглядалися в попередній лекції.

3. Втрати напору по довжині трубопроводу.

Гідравлічні опори – це будь-які перешкоди на шляху руху рідин, що викликають деформацію потоку у вигляді зміни швидкості руху за величиною чи напрямком або за величиною і напрямком одночасно.

Гідравлічні опори поділяються на опори по довжині й місцеві опори.

Опори по довжині обумовлені шорсткістю стінок русла і в'язкістю рідини. Вони рівномірно розподілені по всій довжині потоку, а тому й мають відповідну назву.

На подолання гідравлічних опорів потоком витрачається напір (енергія).

Загальні втрати напору, згідно з рівнянням Бернуллі для потоку реальної рідини $h_в$, складаються з втрат напору по довжині $h_{дов}$ та в місцевих опорах $h_м$, тобто

$$h_в = h_{дов} + h_м. \qquad (4.158)$$

Втрати напору в круглих трубопроводах. Формулу для визначення втрат напору по довжині потоку виведемо, скориставшись основним рівнянням рівномірного руху рідини, з якого витікає, що $\tau = \gamma RI$.

Замінимо $I = h_{дов}/l$, де $h_{дов}$ – втрати напору по довжині. Розв'яжемо рівняння відносно $h_{дов}$:

$$h_{дов} = \frac{\tau}{\gamma}\frac{l}{R}. \qquad (4.159)$$

Експериментально обґрунтовано, що

$$\tau = \rho f\frac{V^2}{2} = \gamma \cdot f\frac{V^2}{2g}, \qquad (4.160)$$

де f – коефіцієнт тертя рідини об стінки русла.

Підставимо вираз (4.160) у (4.159), отримаємо:

$$h_{\text{дов}} = f\frac{V^2}{2g}\frac{l}{R}. \qquad (4.161)$$

Помножимо й розділимо останній вираз на 4:

$$h_{\text{дов}} = 4f\frac{V^2}{2g}\frac{l}{4R}. \qquad (4.162)$$

Позначимо $4f = \lambda$, отримаємо:

$$h_{\text{дов}} = \lambda\frac{l}{4R}\frac{V^2}{2g}. \qquad (4.163)$$

Для круглих трубопроводів $4R = d$.

Підставивши це значення в рівняння (4.163), остаточно отримаємо рівняння для визначення втрат напору по довжині в круглих трубопроводах, яке носить назву Вейсбаха-Дарсі:

$$h_{\text{дов}} = \lambda\frac{l}{d}\frac{V^2}{2g}, \qquad (4.164)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі); l – довжина трубопроводу; d – діаметр трубопроводу; V – середня швидкість руху рідини.

Для русел з ***некруглою формою поперечного перер**ізу* рівняння (4.164) набирає вигляду:

$$h_{\text{дов}} = \lambda\frac{l}{4R}\frac{V^2}{2g}, \qquad (4.165)$$

де R – гідравлічний радіус ($R = \omega/\chi$).

Формули (4.164) і (4.165) справедливі для будь-якого режиму руху рідини. Замінивши в цих рівняннях $\lambda l/4R = \lambda l/d = \zeta_{\text{дов}}$, їх можна привести до виду формули Вейсбаха:

$$h_{\text{дов}} = \zeta_{\text{дов}}\frac{V^2}{2g}, \qquad (4.166)$$

де $\zeta_{\text{дов}}$ – коефіцієнт втрат напору по довжині.

Очевидно, що коефіцієнт гідравлічного тертя залежить від шорсткості стінок русла. Розрізняють відносну й еквівалентну шорсткості.

Відносна шорсткість – це відношення розрахункової висоти виступів шорсткості Δ до одного з лінійних параметрів русла: радіуса труби, діаметра труби чи гідравлічного радіуса, тобто Δ/r, Δ/d, Δ/R.

Еквівалентна шорсткість Δe – це така рівномірно розміщена по поверхні й рівнозерниста шорсткість, втрати напору при якій дорів-

нюють втратам напору при дійсній шорсткості – нерівномірній і нерівномірно-зернистій. Значення еквівалентної шорсткості для труб з різних матеріалів наведені у додатках.

У розглянутій методиці втрати напору по довжині знаходяться через середню швидкість руху рідини V. У певних випадках застосування цієї методики цілком обґрунтоване й необхідне (при розрахунку коротких трубопроводів).

4. Місцеві втрати напору

Місцеві опори обумовлені місцевою деформацією потоку, яка викликається зміною напрямку чи розмірів русла (трубопроводу чи відкритого русла), пристроями запірно-регулюючої арматури (крани, вентилі, засувки), фасонними частинами (муфти, трійники, хрестовини тощо) та іншими пристроями.

Втрати напору в місцевих опорах при турбулентному режимі руху рідин визначаються за формулою:

$$h_{\text{м}} = \zeta \frac{V^2}{2g}, \qquad (4.167)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору; V – середня швидкість руху рідини в перерізі за місцевим опором.

Для переважної більшості місцевих опорів коефіцієнт місцевого опору визначається дослідним шляхом, і тільки для деяких з них він може бути визначений теоретично.

Раптове розширення трубопроводу. Це широко розповсюджений тип місцевого опору, коли трубопровід з меншим діаметром переходить у трубопровід з більшим діаметром (рис. 4.42, а).

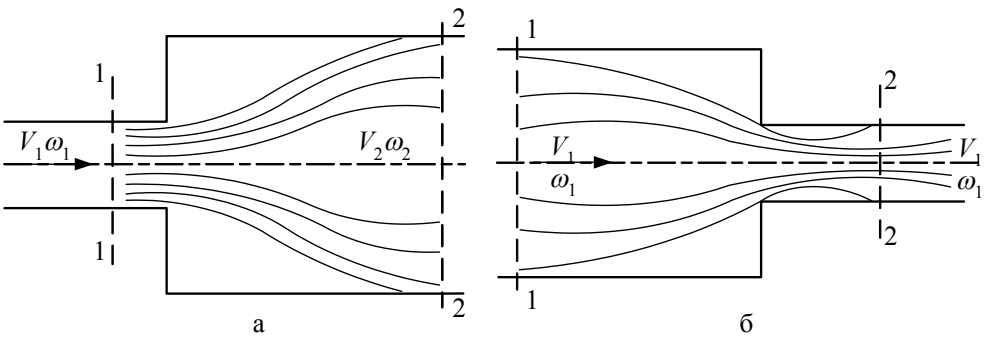


Рис. 4.42. Схема місцевих гідравлічних опорів:
а – раптове розширення; б – раптове звуження.

Втрати напору при раптовому розширенні трубопроводу визначаються за формулою Борда:

$$h_{\text{р р}} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}, \tag{4.168}$$

де V_1 і V_2 – середні швидкості руху рідини в перерізах відповідно 1-1 і 2-2.

Знайдемо коефіцієнт місцевого опору через середні швидкості V_1 або V_2.

З урахуванням рівняння нерозривності потоку $V_1\omega_1 = V_2\omega_2$ втрати напору в залежності від швидкостей V_1 і V_2 дорівнюють:

$$h_{\text{р р}_1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}; \quad h_{\text{р р}_2} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}. \tag{4.169}$$

Звідки коефіцієнти місцевого опору дорівнюють:

$$\zeta_{\text{р р}_1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \zeta_{\text{р р}_2} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2. \tag{4.170}$$

Раптове звуження трубопроводу. Це також широко розповсюджений тип місцевого опору (рис. 4.42, б), при цьому трубопровід з більшим діаметром переходить у трубопровід з меншим діаметром.

Коефіцієнт місцевого опору $\zeta_{\text{р з}}$ при $d_2 < 0{,}5d_1$ знаходиться за формулою

$$\zeta_{\text{р з}} = 0{,}5\left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right). \tag{4.171}$$

Вхід з резервуара в трубу. Цей випадок схожий з раптовим звуженням, а тому тут можна застосувати формулу (4.171) і при $d_2 << d_1$, тобто $d_2 \approx 0$, $\zeta_{\text{вх}} = 0{,}5$.

Що ж до інших типів місцевих опорів, то тут обмежимося даними, наведеними в довідковій літературі.

Питання для самоконтролю до лекції № 6.

1. Які існують режими руху рідини?
2. За якою формулою визначається число Рейнольдса?
3. Яке критичне значення числа Рейнольдса для напірних трубопроводів?
4. Які труби вважаються гідравлічно гладкими?
5. Які вчені вивчали режими руху рідини
6. Як класифікуються гідравлічні опори?
7. Що відбувається з напором в гідравлічних опорах?

8. Що таке місцеві гідравлічні опори?
9. Як визначаються втрати напору в місцевих гідравлічних опорах?
10. Що таке гідравлічні опори по довжині трубопроводу?
11. Як визначаються втрати напору в гідравлічних опорах по довжині трубопроводу?
12. Що таке відносна і еквівалентна шорсткість трубопроводу?

4.8. ЛЕКЦІЯ № 7. Витікання рідини з отворів і протікання через насадки

Змістовий модуль 2 «ГІДРОДИНАМІКА»

Тема: Витікання рідини з отворів і протікання через насадки.

Мета. Ознайомитися з режимами руху рідини. Ознайомитися методикою визначення втрат напору по довжині трубопроводу. Ознайомитися методикою визначення місцевих втрат напору.

План лекції

1. Класифікація отворів.
2. Витікання рідини з незатопленого отвору в товстій і тонкій стінках при постійному та змінному напорах.
3. Витікання рідини через насадки.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 110-121).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 92-100).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 84-103).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 78-89).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 72-79).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 60-66).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 137-146).

Матеріал лекції
1. Класифікація отворів

В гідротехніці і інших областях водного господарства часто приходиться вирішувати питання, зв'язані з витіканням рідини з отворів (спорожнення водосховищ, резервуарів, перетікання води з одного резервуара в інший відбувається шляхом протікання рідини через отвори).

В 1643 р. вчений Торрічеллі на основі дослідів прийшов до висновку, що швидкість витікання з отвору струмини рідини, що знаходиться під напором H, рівна швидкості вільного падіння твердого тіла з висоти, що відповідає цьому напору.

Але результати, отримані Торрічеллі, не співпадали з дійсною (фактичною) швидкістю витікання рідини, оскільки ним не враховувалися *гідравлічні опори* при протіканні рідини через отвори.

Теоретично питання було вирішено після того, як в 1743 році було виведено рівняння Бернуллі.

Класифікація отворів.

В залежності від умов витікання рідини з отворів розрізняють:

- малі;
- великі;
- в тонкій стінці;
- в товстій стінці.

До малих відносяться отвори, розмір яких співставляється з діючим напором H (рис. 4.43).

$d < 0{,}1H$ – малі

$d > 0{,}1H$ – великі

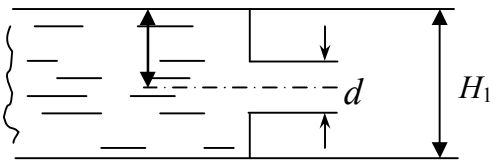


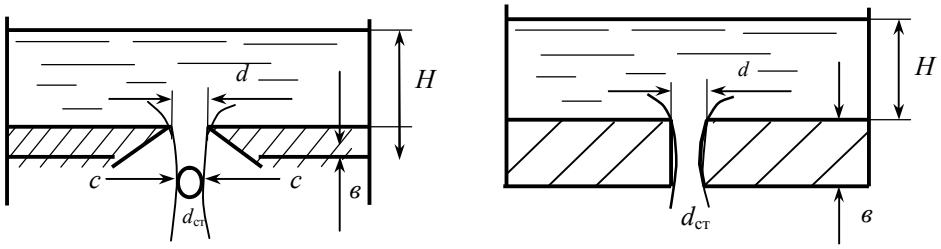
Рис. 4.43. Схема до обґрунтування розмірів отвору

Отвір в тонкій стінці (рис. 4.44, а) – краї мають загострену кромку (стінка не впливає на форму і структуру струминки). Струминка долає лише *місцеві* опори.

Отвір в товстій стінці (рис. 4.44, б) – це отвір в такій стінці, в якій струминка до отримання вільного падіння долає гідравлічні опори, як *місцеві* так і *по довжині*.

Стінка вважається товстою, якщо її товщина $в$ (рис. 4.44, б) більша трьох діаметрів отвору: $в > d$. В іншому випадку стінка тонка.

До отворів в товстій стінці відносяться і насадки – короткі патрубки різних типів і профілів, встановлених в отвори в тонкій стінці.



а б

Рис. 4.44. Схеми отворів: а – в тонкій стінці; б – в товстій стінці

При витіканні струмини рідини з отвору відбувається стискання її поперечного перерізу, тобто площа перерізу струмини стає меншою площі перерізу отвору.

Для оцінки ступеня стискання струмини вводимо поняття коефіцієнта стискання струмини ε, який визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{S_{ст}}{S}, \qquad (4.172)$$

де $S_{ст}$ – площа стиснутого перерізу (струмини);

S – площа перерізу отвору.

На практиці значення ε для малих отворів приймають 0,6-0,64.

Повне і неповне стискання струминки (рис. 4.45)

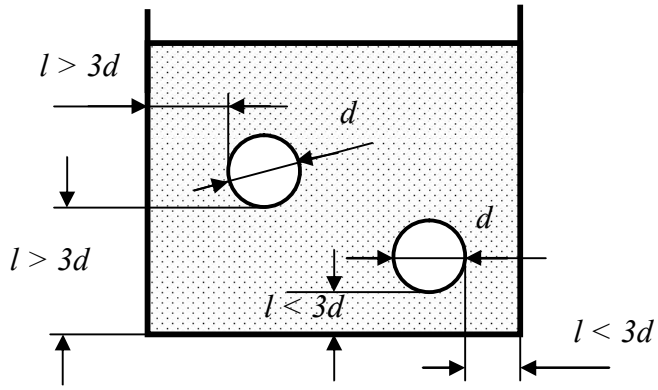


Рис. 4.45. Схема до визначення повного і неповного стискання струминки

Повне стискання – це коли контур отвору віддалений на відстань від будь-якої із стінок посуду більшу, ніж 3*d*, тобто стінки посуду не впливають на стискання струминки.

Неповне – коли контур отвору віддалений на відстань меншу за 3d хоча б від одної із стінок. При цьому стінки посуду впливають на умови витікання і струминка стискається тільки частково.

Відстань між стиснутим перерізом струминки і внутрішньою поверхнею стінки отвору складає ≈ 0,5d.

В ряді випадків при витіканні рідини з малих отворів поперечний переріз струминки може змінювати свою форму по довжині внаслідок того, що швидкості підходу часток рідини не однакові в різних точках периметру отвору. Таке явище носить назву інверсії струминки.

Гідродинамічний тиск в стиснутому перерізі приймається рівним атмосферному.

2. Витікання рідини з незатопленого отвору в товстій і тонкій стінках при постійному та змінному напорах

Розглянемо різні види витікання рідини через отвори.

Витікання рідини з незатопленого отвору в тонкій стінці при постійному напорі. Розглянемо посудину, яка заповнена рідиною, на вільну поверхню діє зовнішній тиск $p_0 > p_{атм}$, більший за атмосферний. В дні посуду є малий отвір (рис. 4.46).

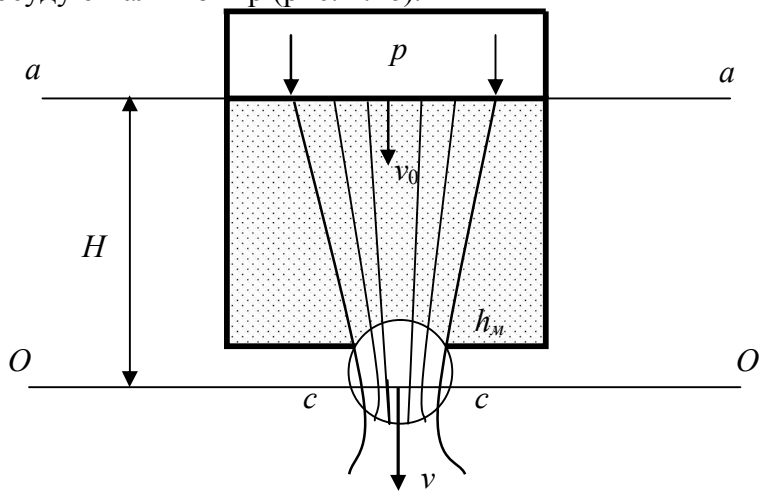


Рис. 4.46. Схема до обґрунтування витікання рідини з отвору в тонкій стінці

Рівень вільної поверхні *a-a*, тиск і напір залишається постійними під час витікання рідини: іншими словами – приток рідини в посуд рівний кількості, що витікає з нього.

Вивести:

- основні розрахункові формули для визначення швидкості і витрати рідини при заданих умовах.

Складемо рівняння Бернуллі відносно площини порівняння *0 0* для перерізу *а-а*, що співпадають з вільною поверхнею рідини в посуді і стиснутого перерізу струминки *с-с*, яка співпадає з площиною порівняння *0 0* (коефіцієнт α приймемо рівним 1).

$$H + \frac{p}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_{атм}}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_м, \qquad (4.173)$$

де v_0 і v – середні швидкості руху рідини в відповідних перерізах;

$p_{атм}$ – атмосферний тиск;

$h_м = \xi \frac{v^2}{2g}$ – місцеві втрати напору в отворі;

ξ – коефіцієнт опору отвору.

Враховуючи місцеві втрати напору рівняння можна записати:

$$H + \frac{p}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_{атм}}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g}, \qquad (4.174)$$

або,

$$H + \frac{p - p_{атм}}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = (1 + \xi) \frac{v^2}{2g}. \qquad (4.175)$$

Звідси отримаємо рівняння для швидкості руху рідини в стиснутому перерізі струминки:

$$v = \sqrt{\frac{2g}{1 + \xi} \left(H + \frac{p - p_{атм}}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} \right)}, \qquad (4.176)$$

або якщо $\frac{1}{1 + \xi} = \varphi$ – коефіцієнт швидкості:

$$v = \varphi \sqrt{2g \left(H + \frac{p - p_{атм}}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} \right)}. \qquad (4.177)$$

Отриманий вираз являється загальною формулою для визначення швидкості витікання рідини.

У випадку, коли $p = p_{атм}$, а площа поперечного перерізу посуду $S_п$ значно більша площі поперечного перерізу отвору $S_{от.}$, наприклад $\frac{S_п}{S_{от.}} > 10$, то швидкість v_0 практично незначна, а вираз значно спроститься, тобто:

$$\sqrt{2gH} \tag{4.178}$$

Звідси коефіцієнт швидкості φ;

$$\varphi = \frac{v}{\sqrt{2gH}}, \tag{4.179}$$

де v – фактична швидкість струминки;

$\sqrt{2gH}$ – теоретична швидкість струминки.

Якщо взяти вираз (4.178), то з нього можна визначити напір, врахувавши коефіцієнт швидкості:

$$H = \frac{v^2}{2g\varphi^2} = \frac{v^2}{2g}(1+\xi). \tag{4.180}$$

Швидкісний напір буде:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{H}{1+\xi}, \tag{4.181}$$

а місцеві втрати напору:

$$h_м = H - \frac{v^2}{2g} = \frac{\xi H}{1+\xi}. \tag{4.182}$$

Витрата рідини, що витікає з отвору, розраховується з умов нерозривності потоку. При цьому потрібно мати на увазі, що швидкість v розрахована за формулою $v = \varphi\sqrt{2gH}$ відповідає швидкості струминки в стиснутому перерізі $S_{ст}$, тому для визначення витрати Q через площу перерізу отвору $S_{от}$ в рівняння слід ввести коефіцієнт стискання ε.

$$Q = \varepsilon S_{от} V = \varepsilon S_{от}\varphi\sqrt{2gH}. \tag{4.183}$$

Якщо позначити $\varepsilon\varphi=\mu$, то:

$$Q = \mu S_{от}\sqrt{2gH}, \tag{4.184}$$

де μ – коефіцієнт витрати який становить μ = 0,62-0,64.

При витіканні рідини з великого отвору витрата визначається за формулою:

$$Q = \mu_o S_{от}\sqrt{2gH}, \tag{4.185}$$

де μ_o = 0,65-0,85 – коефіцієнт витрати для великих круглих і прямокутних отворів.

Витікання рідини з незатопленого отвору в товстій стінці при постійному напорі. Особливістю цього виду витікання рідини є те, що при ньому стиснення струмини відбувається в межах стінки, що, як буде показано, суттєво впливає на витрату рідини при її витіканні. (рис. 4.47).

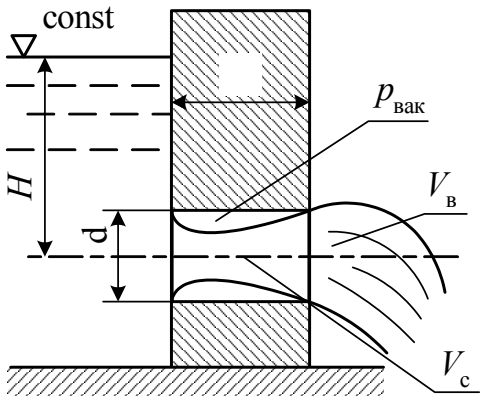


Рис. 4.47. Схема до обґрунтування витікання рідини з отвору в товстій стінці

Під дією сил інерції струмина, обтікаючи вхідні в отвір крайки, викривляється, а оскільки стінка товста, то звуження її відбувається в межах стінки (на відстані $d/2$ від входу). На виході з отвору переріз струмини дорівнює перерізу отвору, тобто витікання йде повним перерізом.

Згідно з рівнянням Бернуллі, у стисненому перерізі швидкість $V_с$ більша, ніж у вихідному $V_в$, а тиск $p_с < p_в = p_а$, де $p_с$, $p_в$, $p_а$ – тиск відповідно у стисненому перерізі, на виході і атмосферний. Відомо, що $p_а - p_с = p_{вак}$. Завдяки вакуумметричному тиску в порожнині між внутрішньою поверхнею отвору і стисненою струминою, тобто в зоні стиснення струмини, буде мати місце ефект «підсмоктування» рідини. Внаслідок цього витрата рідини збільшується, відповідно збільшується і коефіцієнт витрати $\mu = 0{,}82$ [1]. Витрата рідини визначається за формулою:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH}\,, \qquad (4.186)$$

де μ – коефіцієнт витрати, $\mu = 0{,}82$ [1].

Витікання рідини через отвори при змінному напорі. На відміну від попередніх, цей вид витікання належить до несталого руху рідини (рис. 4.48).

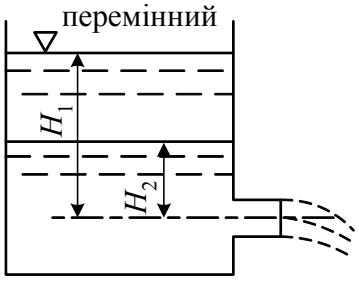


Рис. 4.48. Схема до обґрунтування витікання рідини при змінному напорі

Будемо розглядати призматичний резервуар, тобто такий, в якого площа перерізу по висоті залишається постійною. Найпростішим прикладом такого витікання є витікання з бака циліндричної або прямокутної форми з постійною площею перерізу Ω.

Основним показником цього виду витікання є час часткового або повного спорожнення бака. Хай на початку витікання напір на отворі становив H_1, а в кінці – H_2. Необхідно знайти час, за який напір від H_1 понизиться до H_2. Скористуємося рівнян-

ням (4.186) $Q = \mu\omega\sqrt{2gH}$. Оскільки це рівняння описує витрату рідини при сталому русі, то у випадку, який розглядається, воно буде давати помилку.

Отже, скористуємося методом нескінченно малих величин, при якому для нескінченно малих проміжків часу ця формула буде справедливою.

За час *dt* об'єм рідини, яка витече з бака, складе *dW*, причому

$$dW = Qdt = \mu\omega\sqrt{2gH}\,dt\,. \tag{4.187}$$

Цей же об'єм можна охарактеризувати й зниженням рівня рідини в баці, тобто:

$$dW = -\Omega dH. \tag{4.188}$$

Знак мінус у цьому рівнянні означає зменшення об'єму рідини в баці.

Прирівняємо *dW,* визначений за формулами (4.187) і (6.188):

$$\mu\omega\sqrt{2gH}\,dt = -\Omega dH\,. \tag{4.189}$$

Звідси,

$$dt = -\frac{\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2qH}}\,. \tag{4.190}$$

Час, протягом якого напір від H_1 знизиться до H_2, тобто час часткового спорожнення резервуара отримаємо, проінтегрувавши рівняння (4.190):

$$t_{\text{част}} = \int_{H_1}^{H_2} -\frac{\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}}\,. \tag{4.191}$$

Винесемо постійні за знак інтеграла, змінивши межі інтегрування, позбавимося від знака мінус, тоді отримаємо:

$$t_{\text{част}} = \frac{\Omega}{\mu\omega\sqrt{2gH}}\int_{H_2}^{H_1}\frac{dH}{\sqrt{H}} = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2gH}}\sqrt{H}\Big|_{H_2}^{H_1}\,. \tag{4.192}$$

Підставимо межі інтегрування, отримаємо:

$$t_{\text{част}} = \frac{2\Omega\left(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}\right)}{\mu\omega\sqrt{2g}}, \tag{4.193}$$

де Ω – площа перерізу бака; H_1, H_2 – напір на отворі відповідно на початку й у кінці витікання; μ – коефіцієнт витрати; ω – площа отвору.

Час повного спорожнення бака (резервуара) $t_{\text{повн}}$ настане при $H_2 = 0$, тобто:

$$t_{\text{повн}} = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}}\,. \tag{4.194}$$

Отже час повного спорожнення резервуара при змінному напорі в 2 рази довший того часу, який потрібно було б для витікання з резервуара такої ж кількості рідини при постійному напорі H_1.

3. Витікання рідини через насадки

Насадкам називається коротка труба, втратами напору по довжині якої нехтують, враховуючи лише місцеві втрати напору. Зауважимо, що розглядатимемо витікання рідини через насадки в квадратичній області опору. Конструктивно довжина насадка повинна лежати в межах $3d \le l_н \le 7d$, щоб він працював так, як показано на рисунку 4.49. Якщо $l_н < 3d$, то струмина на виході насадка не заповнює весь переріз, і насадок практично працює як отвір. Якщо $l_н > 7d$, то вже потрібно враховувати втрати напору по довжині.

За допомогою насадків досягається збільшення пропускної здатності отвору (витрати), а також збільшення або зменшення кінетичної енергії струминки, що витікає.

Збільшення витрати рідини, що протікає через насадку, порівняно із звичайним витіканням з отвору такого ж діаметру в тонкій стінці пояснюється утворенням вакууму на початку насадки, що викликає збільшення діючого напору в стиснутому перерізі.

Так як по умові нерозривності потоку (струминки) швидкість на виході з насадки буде менша, ніж в стиснутому перерізі, то гідродинамічний тиск в стиснутому перерізі буде менший за атмосферний відповідно на вході в насадку утворюється вакуум.

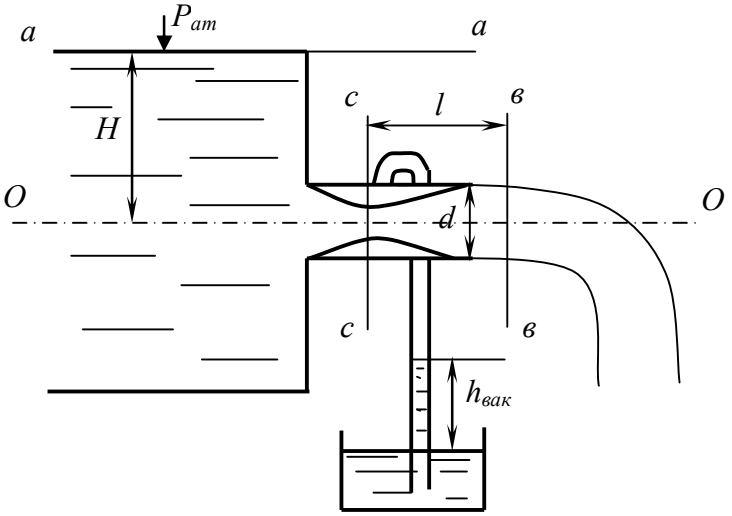


Рис. 4.49. Схема до обґрунтування витікання рідини через зовнішній циліндричний насадок

Розглянемо витікання рідини через зовнішній циліндричний насадок рисунку 4.49.

Для визначення величини витрати складемо рівняння Бернуллі для перерізу а-а, що відповідає рівню води в резервуарі і перерізу в-в – виходу струминки з насадки, взявши за площину порівняння горизонтальну лінію *О-О*, що проходить через центр ваги насадки.

$$H + \frac{p_{атм}}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} = \frac{p_{атм}}{\gamma} + \frac{V_{вих}^2}{2g} + \sum \xi \frac{V_{вих}^2}{2g}, \qquad (4.195)$$

або

$$H_0 = \frac{V_{вих}^2}{2g}\left(1 + \sum \xi\right), \qquad (4.196)$$

де H_0 – повний напір над центром ваги насадки.

$$V_{вих} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{рр} + \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \lambda \frac{l}{d}}}\sqrt{2gH_0} = \varphi\sqrt{2gH_0}\,. \qquad (4.197)$$

Витрата визначається за формулою:

$$Q = S_{вих} \cdot V_{вих} = \varphi\, S_{вих}\sqrt{2gH_0}\,. \qquad (4.198)$$

У техніці використовуються різні види насадків (рис. 4.50).

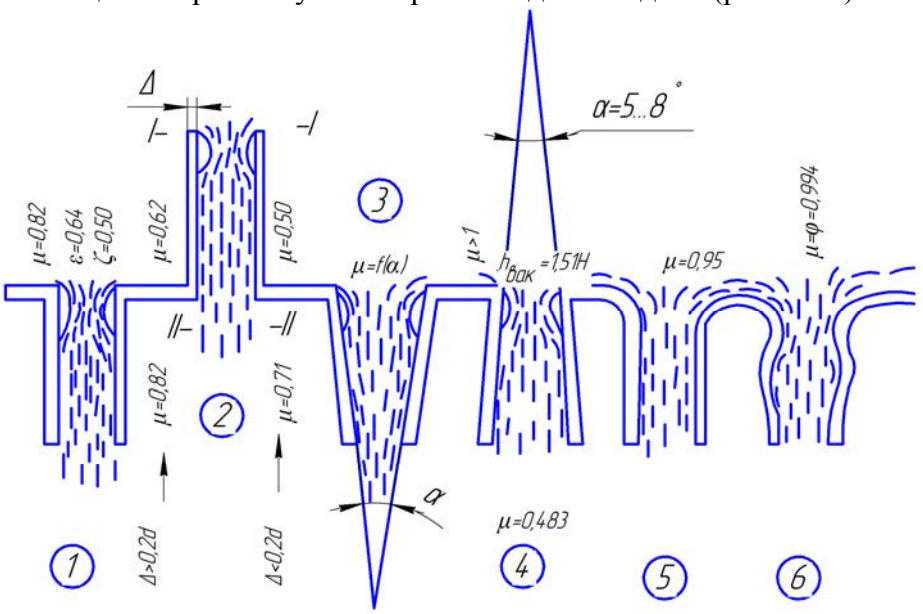


Рис. 4.50. Види насадків: 1 – зовнішній циліндричний (насадок Вентурі); 2 – внутрішній циліндричний (насадок Борда); 3 – конічно-збіжний; 4 – конічно-розбіжний; 5, 6 – коноїдальні.

Зовнішній циліндричний насадок (насадок Вентурі) (рис 4.50, 1) цікавий тим, що витрата буде суттєво більшою ніж через отвір такого самого діаметра.

Внутрішній циліндричний насадок (насадок Борда) (рис. 4.50, 2) цікавий тим, що його коефіцієнт витрати залежить від товщини стінок патрубка і від того, який переріз насадка перед початком витікання був закритим.

Конічно-збіжний насадок (рис. 4.50, 3) використовують тоді, коли необхідно одержати струмину з великою кінетичною енергією, наприклад в гідромоніторах, пожежних брандспойтах, далекоструминних дощувальних установках.

Конічно-розбіжний насадок (рис. 4.50, 4) дає максимальну витрату струмини, але з малою кінетичною енергією і використовується, наприклад, в вогнегасниках, відсмоктувальних трубах гідротурбін.

Коноїдальні насадки (рис. 4.50, 5, 6) мають максимальні коефіцієнти витрати.

Форма їх внутрішньої поверхні повторює форму вільно витікаючої струмини. Струмина, що витікає з такого насадка, характеризується найрівномірнішим розподілом швидкостей по живому перерізу. Тому такі насадки часто використовуються в лабораторній практиці як тарувальні.

Питання для самоконтролю до лекції № 7

1. Як класифікуються отвори?
2. Який отвір вважається малим, а який великим?
3. Коли стиснення струминки вважається досконалим?
4. Яка стінка вважається тонкою, а яка товстою?
5. За якою формулою визначається швидкість витікання рідини через малий отвір в тонкій стінці при постійному напорі в атмосферу?
6. За якою формулою визначається витрата при витіканні рідини через малий отвір в тонкій стінці при постійному напорі в атмосферу?
7. За якою формулою визначається час спорожнення резервуара?
8. Що називається насадком?
9. Який насадок вважається лабораторним?

4.9. ЛЕКЦІЯ № 8. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів

Змістовий модуль 2 «ГІДРОДИНАМІКА»

Тема: Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів.

Мета. Ознайомитися з методикою розрахунку коротких та довгих трубопроводів, простих і складних з послідовним та паралельним з'єднанням труб. Ознайомитися з методикою розрахунку тупикової та кільцевої мережі. Вивчити природу виникнення гідравлічного удару в трубопроводах. Гідравлічний таран.

План лекції

1. Класифікація трубопроводів.
2. Розрахунок коротких та довгих трубопроводів, простих і складних з послідовним та паралельним з'єднанням труб.
3. Розрахунок тупикової та кільцевої мереж.
4. Гідравлічний удар в трубопроводах.
5. Гідравлічний таран.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 93-110).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 79-91).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 104-125).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 94-112).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 64-72).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 44-60).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 102-137).

Матеріал лекції
1. Класифікація трубопроводів

Передача рідини по трубопроводах набула широкого поширення в інженерній практиці. У загальному випадку трубопроводи розділяють на *магістральні*, які передають рідину на великі відстані від місця забору води до споживача, і *розгалужені* мережі труб, що розподіляють рідину. Рух рідини в трубопроводі звичайно здійснюється за рахунок різниці рівнів (різниці геодезичних відміток) або за рахунок енергії, яка передається рідині при проходженні через насоси. В окремих випадках переміщення рідини по трубопроводах здійснюється під тиском газу, який створюється пневматичними установками. Всі трубопроводи мають циліндрову або призматичну форму, тому рух рідини в них рівномірний. Нерівномірний рух може спостерігатися тільки на тих ділянках, де знаходяться місцеві опори. Залежно від довжини, числа і характеру місцевих опорів розрізняють довгі і короткі трубопроводи. До довгих відносяться трубопроводи, в яких місцеві опори в порівнянні з втратами по довжині є незначними. Тому при розрахунку таких трубопроводів місцеві втрати енергії не підраховуються, а приймаються 5-10 % від встановлених розрахунком втрат енергії по довжині, наприклад, всі магістральні трубопроводи.

До коротких трубопроводів відносять трубопроводи, в яких місцеві втрати енергії майже рівні за значенням з втратами по довжині (трубопроводи малої довжини з великим числом місцевих опорів). При розрахунку таких трубопроводів підраховують втрати по довжині і місцеві втрати. Звичайно довжина коротких трубопроводів рідко перевищує 50 м. наприклад, всмоктуюча труба насоса, сифонні трубопроводи, дюкери, труби випуску води. Враховуючи гідравлічну схему роботи трубопроводів, їх підрозділяють на:

- прості;
- складні.

Прості – трубопроводи, що складаються з однієї лінії послідовно сполучених труб, які проводять постійну витрату рідини.

Складні – трубопроводи, системи, що складаються з магістралі з декількома відгалуженнями, з паралельними гілками і кільцеві мережі. Всякий складний трубопровід можна розглядати як сукупність простих трубопроводів, сполучених між собою послідовно, паралельно або змішаним шляхом.

Залежно від матеріалу трубопроводи можуть бути:

- металеві (чавунні, сталеві);
- неметалічні (бетонні, залізобетонні, азбестоцементні, пластмасові).

Труби з різних матеріалів мають різну шорсткість внутрішньої поверхні, тому у них відрізняються коефіцієнти гідравлічного тертя, що потрібно враховувати при розрахунку.

За характером роздачі рідини трубопроводи бувають:

- з транзитною витратою;
- шляховою витратою.

У трубопроводі з транзитною витратою відбора рідини не відбувається і витрата по його довжині зберігається незмінною. У трубопроводі з шляховою витратою по його довжині від початкової до кінцевої точки проводиться роздача рідини, тому витрата уздовж трубопроводу змінна.

Складні трубопроводи можуть бути розімкненими і кільцевими. У кільцевих трубопроводах до будь-якої точки рідина поступає з 2-х або більш напрямів, а в розімкнутих – тільки в одному напрямі.

2. Розрахунок коротких та довгих трубопроводів, простих і складних з послідовним та паралельним з'єднанням труб.

Гідравлічно короткі трубопроводи це трубопроводи, в яких місцеві втрати напору приблизно однакові з втратами напору по довжині. До них належать усмоктувальні трубопроводи насосних станцій, сифони і т. ін.

Особливістю цих трубопроводів є те, що при їхньому гідравлічному розрахунку окремо вираховуються втрати напору в місцевих опорах і в опорах по довжині. Загальні втрати напору визначаються як сума перших і других. Їх розрахунок ведеться з використанням рівняння Бернуллі.

Отже, втрати напору в місцевих опорах вираховуються за формулою $h_{\text{м}} = \zeta V^2/(2g)$, а в опорах по довжині – за формулою $h_{\text{дов}} = \lambda l V^2/(2gd)$. Загальні втрати напору вираховуються за формулою:

$$h_{\text{в}} = h_{\text{дов}} + h_{\text{м}}.$$

Розглянемо приклад гідравлічного розрахунку *усмоктувальної лінії насосної установки* (рис. 4.51).

Метою прикладу, що розглядається, є знаходження висоти установлення насоса над рівнем води в її джерелі, тобто висоти усмоктування.

Використаємося рівнянням Бернуллі, для чого перший переріз 1-1 призначимо на вільній поверхні води в її джерелі, а другий – 2-2 – перед входом у насос. Площину порівняння 0-0 візьмемо співпадаючою з першим перерізом, тобто також на рівні вільної поверхні води.

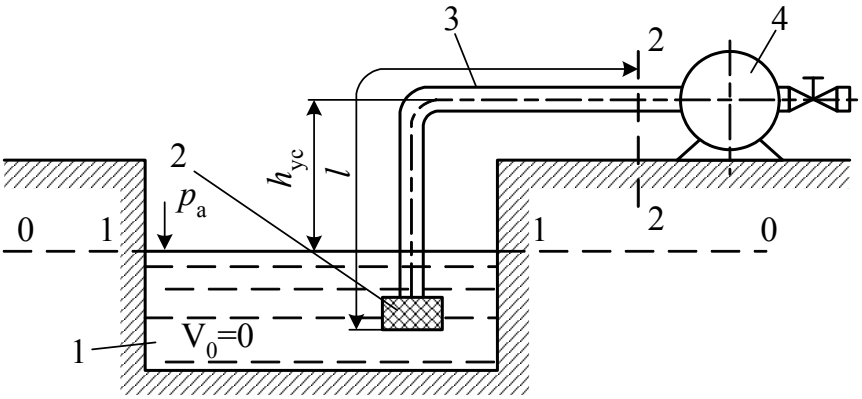


Рис. 4.51. Схема до гідравлічного розрахунку висоти усмоктування насосної установки:
1 – джерело води; 2 – приймальний пристрій (місцевий опір);
3 – усмоктувальний трубопровід; 4 – насос

Оскільки перший переріз 1-1 співпадає з площиною порівняння 0-0, то $Z = 0$. Оскільки джерело води відкрите, то на вільній поверхні діє атмосферний тиск $p_а$, тобто $p_1 = p_а$, а рух води в джерелі у вертикальному напрямку при роботі насосної установки буде несуттєвим, бо поперечний переріз усмоктувального трубопроводу набагато менший від площі вільної поверхні, то $V_1 = 0$. Що стосується другого перерізу, $Z_2 = h_{ус}$, тиск p_2 буде мати місце, $V_2 = Q/\omega = V$. Втрати напору $h_в$ складаються з втрат напору по довжині $h_{дов} = \lambda \frac{l}{d}\frac{V^2}{2g}$ і місцевих $h = \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$.

Підставимо в рівняння Бернуллі значення величин з урахуванням вищенаведених умов:

$$\frac{p_а}{\gamma} = h_{ус} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d}\frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g}. \qquad (4.199)$$

Оскільки $p_а - p_2 = p_{вак}$, а $p_{вак}/\gamma = h_{вак}$, отримаємо:

$$h_{ус} = h_{вак} - (1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta)\frac{V^2}{2g}. \qquad (4.200)$$

Для надійної роботи насосів приймається $h_{вак} < 7...8$ м.

Гідравлічно довгі трубопроводи це трубопроводи, в яких переважають втрати напору по довжині, а місцеві втрати складають 5…10% від загальних втрат напору. Прикладами їх є водопровідні мережі, трубопроводи закритих зрошувальних систем. Вони бувають простими і складними. Прості трубопроводи не мають відгалужень, складні мають відгалуження, змінний діаметр, паралельне або послідовне з'єднання й ін.

При гідравлічному розрахунку таких трубопроводів втрати напору в місцевих опорах вираховуються не окремо, а шляхом умовного подовження трубопроводу на 5…10%, і втрати напору вираховуються за залежностями в яких дійсну довжину трубопроводу l замінюємо на умовну (розрахункову) $l_р$.

Таким чином, формули для вирахування втрат напору будуть мати такий вигляд:

$$h_в = A l_р Q^2 \beta\,, \tag{4.201}$$

$$h_в = 1000 i l_р\,, \tag{4.202}$$

де $l_р$ – розрахункова довжина трубопроводу, $l_р = (1{,}05…1{,}1)l$.

Послідовно з'єднані трубопроводи це трубопроводи, в яких до кінця попередньої ділянки приєднується початок наступної ділянки. Окремі ділянки мають різні діаметри d_1, d_2, ..., d_n та довжину l_1, l_2,…, l_n, а витрата рідини Q постійна по всій його довжині (рис. 4.52).

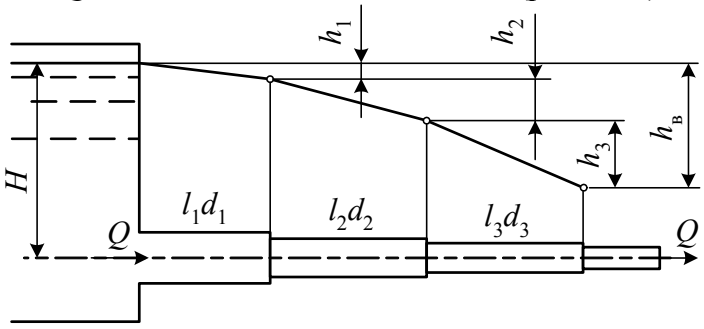


Рис. 4.52. Схема послідовно з'єднаного трубопроводу

Особливістю при гідравлічному розрахунку цих трубопроводів є те, що загальні втрати напору дорівнюють сумі його втрат на окремих ділянках, тобто

$$h_в = h_{в_1} + h_{в_2} + ... + h_{в_n}\,, \tag{4.203}$$

де $h_{в_1}, h_{в_2}, ..., h_{в_n}$ – втрати напору на окремих ділянках.

Витрата рідини однакова на всіх ділянках, тобто

$$Q_1 = Q_2 = ... Q_n = Q\,. \tag{4.204}$$

Таким чином, загальні втрати напору можна виразити формулою:

$$h_в = (S_1 + S_2 + ... + S_n) Q^2 = \sum S_i Q^2, \tag{4.205}$$

де S_i – опір окремих ділянок трубопроводу.

Паралельно з'єднані трубопроводи – це трубопроводи, які в певній точці розгалужуються на дві або більше гілок, а в наступній точці об'єднуються в один трубопровід (рис. 4.53).

Особливістю цих трубопроводів є те, що втрати напору $h_{в_i}$ в усіх його гілках однакові, тобто:

$$h_{в_i} = h_{в_2} = ... = h_{в_n} = h_в, \tag{4.206}$$

а загальна витрата рідини Q дорівнює сумі витрат її в окремих гілках, тобто:

$$Q = Q_1 + Q_2 + ... + Q_n. \tag{4.207}$$

Загальні втрати напору, згідно зі схемою (рис. 4.53), $h_в = H_А - H_Б$.

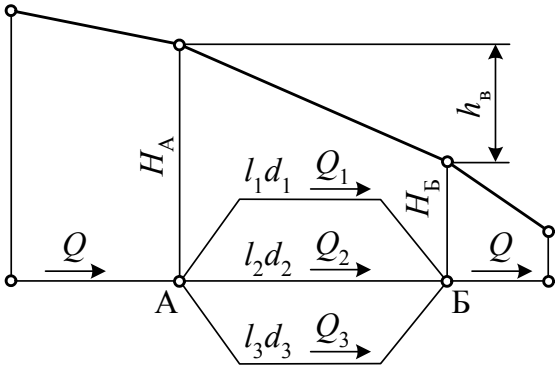


Рис. 4.53. Схема паралельно з'єднаних трубопроводів

Показаний на рисунку 4.53 трубопровід складається з трьох гілок. Типовою задачею у цьому випадку є знаходження витрати рідини в окремих гілках трубопроводу та загальної витрати.

Першою умовою, є баланс витрат рідини в гілках і загального її значення, другою – рівність втрат напору в гілках.

Отже з урахуванням втрат напору в місцевих опорах втрати напору в окремих гілках визначаються за залежностями:

$$h_{в_1} = \frac{l_{р_1} Q_1^2}{K_1^2}; h_{в_2} = \frac{l_{р_2} Q_2^2}{K_2^2}; h_{в_3} = \frac{l_{р_3} Q_3^2}{K_3^2}, \tag{4.208}$$

звідки,

$$Q_1 = \sqrt{\frac{h_{в_1} K_1^2}{l_{р_1}}}; Q_2 = \sqrt{\frac{h_{в_2} K_2^2}{l_{р_2}}}; Q_3 = \sqrt{\frac{h_{в_3} K_3^2}{l_{р_3}}}. \tag{4.209}$$

Рівняння загальної витрати рідини буде мати такий вигляд:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = K_1 \sqrt{\frac{h_{В_1}}{l_{р_1}}} + K_2 \sqrt{\frac{h_{В_2}}{l_{р_2}}} + K_3 \sqrt{\frac{h_{В_3}}{l_{р_3}}}. \tag{4.210}$$

3. Розрахунок тупикової та кільцевої мереж

Розімкнуті (тупикові) трубопроводи – це трубопроводи, в яких рідина в кожну точку подається з одного напрямку. Прикладами їх є трубопроводи зрошувальних і водопровідних систем. Як правило, при гідравлічному розрахунку цих трубопроводів знаходиться діаметр трубопроводу та висота водонапірної башти або необхідний напір на початку трубопроводу.

Розглянемо приклад такого трубопроводу (рис. 4.54), який складається з ділянок, по яких транспортуються тільки вузлові (транзитні) витрати рідини (Q_1, Q_2, Q_4, Q_5), та ділянки 1-3, з якої відбирається рідина за шляхом її руху. Тупикові трубопроводи складаються з основної (головної) магістралі та відгалужень.

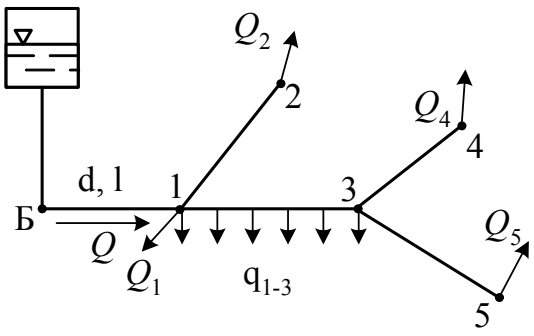


Рис. 4.54. Схема розімкнутого (тупикового) трубопроводу

Основна магістраль – це лінія, яка з'єднує початкову точку мережі з тією точкою, в яку найважче подати рідину, тобто з *диктуючою* точкою. Точки, в яких відгалужуються окремі ділянки або в які подаються зосереджені (вузлові) витрати рідини, називаються *вузловими* (точки 1, 2, 3, 4, 5), а відповідні їм витрати (Q_1, Q_2, Q_4, Q_5) – *вузловими витратами*.

Основним питанням при розрахунку цих трубопроводів є встановлення розрахункових витрат рідини на окремих ділянках трубопроводу. У випадках, коли по трубопроводу транспортується тільки транзитна витрата (ділянки Б-1, 1-2, 3-4 і 3-5), вона буде й розрахунковою. Отже, розрахунковими витратами рідини будуть:

$$Q_{\text{р}_{\text{Б}-1}} = Q_1 + Q_2 + Q_4 + Q_5 + Q_{\text{ш}1-3}, \qquad (4.211)$$

$$Q_{\text{р}_{1-2}} = Q_2; Q_{\text{р}_{1-3}} = Q_4 + Q_5 + 0{,}5Q_{\text{ш}_{1-3}}; \; Q_{\text{р}_{3-4}} = Q_4; Q_{\text{р}_{3-5}} = Q_5. \qquad (4.212)$$

Гідравлічний розрахунок цих трубопроводів ведеться із застосуванням таблиці 4.2, якою регламентується порядок розрахунку, і в неї ж вносяться його результати.

Таблиця 4.2

Гідравлічний розрахунок тупикової водопровідної мережі

Ділянка	l, м	Витрата, л/с			$d_{окр}$, мм	V, м/с	A, с^2/м^6	β	$h_в$, м	$\sum_{Б}^{i} h_в$, м	$Н_{Бі}$, м	При $H_{Б\,буд}$ =			
												$H_{п_i}$, м		$H_{вил_i}$, м	
		$Q_ш$	$Q_{тр}$	$Q_р$								Поч. діл.	Кін. діл.	Поч. діл.	Кін. діл.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Б-1		-													
1-2		-													
1-3															
3-4		-													
3-5		-													

Назва ділянок трубопроводу та їхньої довжини (колонки 1, 2 таблиці 4.2) беруться з гідравлічної схеми трубопроводу. Витрати рідини $Q_ш$, $Q_{тр}$, $Q_р$ (колонки 3, 4, 5) визначаються за методикою, згідно з формулами (4.212). Діаметр трубопроводу d на окремих ділянках (колонка 6) визначається за формулою:

$$d = 0{,}13\sqrt{\frac{Q_р}{V_е}}, \qquad (4.213)$$

де $Q_р$ – розрахункова витрата рідини на цій ділянці трубопроводу; $V_е$ – економічно доцільна швидкість руху рідини.

З великими швидкостями руху транспортувати рідини економічно недоцільно, оскільки будуть великі втрати напору. Наприклад, у водопостачанні $V_е$ = 0,7…1,5 м/с. (Додаток Ш)

Після розрахунку діаметри округлюється до ближчого більшого стандартного. Середня швидкість V (колонка 7) визначається за формулою $V = 4Q_р/(\pi d^2)$. Втрати напору $h_в$ вираховуються за формулою (4.201), для чого питомий опір A (колонка 8) береться з таблиці (Додаток Ф), а поправочний коефіцієнт β (колонка 9) – з таблиці (Додаток Ц)

Вирахувавши втрати напору $h_в$ (колонка 10), знаходимо їх суму від башти до кожної вузлової (i-тої) точки $\sum_{Б}^{i} h_в$ (колонка 11).

Висота водонапірної башти (колонка 12) знаходиться для кожної вузлової точки за формулою:

$$H_{\text{Б}} = H_{\text{віл}} + \sum_{\text{Б}}^{\text{і}} h_{\text{в}} + (Z_{\text{і}} - Z_{\text{б}}), \qquad (4.214)$$

де $H_{\text{віл}}$ – вільний напір рідини, який заданий (вимагається) в *і*-тій точці, тобто напір, під яким рідина витікає з пристрою, за допомогою якого вона відбирається з трубопроводу; $\sum_{\text{Б}}^{\text{і}} h_{\text{в}}$ – сума втрат напору від башти до *і*-тої точки; $Z_{\text{і}}$, $Z_{\text{б}}$ – геодезичні відмітки поверхні землі відповідно в *і*-тій точці й у місці установки башти.

Серед знайдених висот башти для всіх вузлових точок у якості будівельної приймається найбільша, округлена до ближчої більшої стандартної висоти. У колонки 13, 14 вносяться значення п'єзометричної висоти (напору), вирахувані на початку й у кінці ділянки за формулою:

$$H_{\text{п}} = Z_{\text{б}} + H_{\text{Б буд}} - \sum_{\text{Б}}^{\text{і}} h_{\text{в}} . \qquad (4.215)$$

Останнім у гідравлічному розрахунку розгалужених трубопроводів є перевірочний розрахунок забезпечення необхідного вільного напору в кожній вузловій точці за формулою:

$$H_{\text{віл}} = H_{\text{п}} - Z , \qquad (4.216)$$

де $H_{\text{п}}$ – п'єзометричний напір у точці; Z – геодезична відмітка поверхні землі в точці.

Кільцеві трубопроводи – це трубопроводи, в яких рідина в кожну точку подається з декількох напрямків, що забезпечує підвищену надійність їхньої роботи в порівнянні з тупиковими. Прикладом їх є сільські кільцеві водопровідні мережі.

Ці трубопроводи складаються з певної кількості замкнутих кілець, а тому називаються *замкнутими* (рис. 4.55).

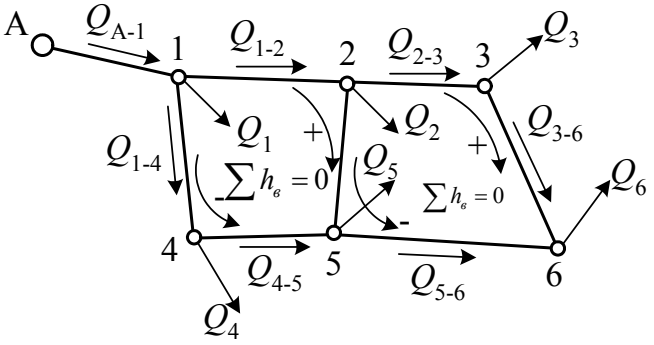


Рис. 4.55. Кільцева водопровідна мережа

Гідравлічний розрахунок цих трубопроводів ведеться в такій послідовності:

1. Обчислюються розрахункові вузлові витрати рідини $Q_{\text{і}}$, які складаються із зосередженої вузлової витрати (якщо вона є) і з півсуми шляхових витрат на лініях, що сходяться у вузлі, тобто:

$$Q_{\text{і}} = Q_{\text{з}} + 0{,}5\sum_{\text{i}=1}^{\text{n}} Q_{\text{ш}_{\text{і}}} , \qquad (4.217)$$

де $Q_{\text{з}}$ – зосереджена вузлова витрата; $Q_{\text{ш}_{\text{і}}}$ – шляхові витрати на лініях, що сходяться у вузлі.

2. Призначаються лінійні (розрахункові) витрати рідини в першому приближенні та їхній напрям (рис. 4.55, закруглені стрілочки). При цьому сума витрат рідини, які надходять до вузла, повинна дорівнювати сумі витрат, які виходять з вузла.

3. Визначаються діаметри труб на ділянках за формулою (4.213), які потім округлюються до більшого стандартного діаметра.

4. За формулою (4.201) обчислюються втрати напору на кожній ділянці кільцевої мережі, а потім виконується ув'язка кілець. Суть її полягає в тому, що алгебраїчна сума втрат напору в гілках кільця має бути близькою до нуля. Для цього в гілці з рухом рідини за годинниковою стрілкою втрати напору умовно приймають зі знаком плюс, а в протилежному напрямку – зі знаком мінус, наприклад, у першому кільці схеми мережі (рис. 4.55).

$$h_{\text{в}_{1-2}} + h_{\text{в}_{2-5}} - h_{\text{в}_{4-5}} - h_{\text{в}_{1-4}} \approx 0 . \qquad (4.218)$$

Якщо умова (4.218) не виконується, то необхідно або перерозподілити розрахункові витрати в гілках кільця, або змінити діаметр труб і повторити розрахунки. Досягти повного виконання умови (4.218) практично неможливо, а тому допускається неув'язка в кільці $\Delta h_{\text{в}} = 0{,}3\ldots0{,}5$ м, а в усій мережі $-\Delta h_{\text{в}} = 1\ldots1{,}5$ м.

4. Гідравлічний удар в трубопроводах

Гідравлічний удар може мати місце тільки в напірних трубопроводах і є прикладом несталого руху рідини в них.

Гідравлічний удар – це різке збільшення або зменшення тиску в напірних трубопроводах внаслідок різкого перекриття або відкриття їх, що викликає різке збільшення або зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі.

Явище гідравлічного удару для трубопроводів негативне, оскільки значне підвищення тиску може викликати розрив трубопроводу.

Вперше це явище було досліджене російським ученим М.Є. Жуковським, і результати досліджень були опубліковані в 1898 р.

При гідравлічному ударі збільшення тиску, викликане ним, – Δp – підсумовується з тиском у трубопроводі до гідравлічного удару p_0, і загальний тиск p буде дорівнювати:

$$p = p_0 + \Delta p\,. \tag{4.219}$$

Розглянемо явище гідравлічного удару при миттєвому закритті засувки 2, розташованої в кінці горизонтального трубопроводу 1 (рис. 4.56, а).

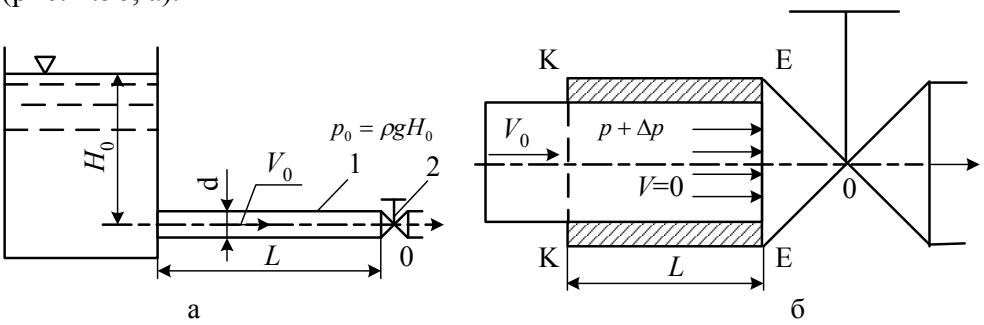


Рис. 4.56. Схеми до визначення тиску при гідравлічному ударі: 1 – трубопровід; 2 – засувка

За нескінченно малий проміжок часу після закриття засувки відсік ЕЕКК довжиною ΔL , який примикає до засувки, зупиниться (рис. 4.56, б). Рідина в трубопроводі продовжує рухатись зі швидкістю V_0, внаслідок чого тиск у відсіку збільшиться на величину Δp, яку можна визначити за допомогою теореми про зміну кількості руху, застосувавши її до маси рідини, що зупинилася.

Кількість руху в об'ємі відсіку ЕЕКК до закриття засувки визначається за формулою:

$$KP = \rho\omega\Delta L V_0\,, \tag{4.220}$$

де ω – площа перерізу труби; V_0 – швидкість руху рідини до закриття засувки.

Після закриття засувки рідина зупиниться, швидкість і кількість руху зменшаться до нуля, тобто зміна кількості руху буде дорівнювати самій кількості руху, яка мала місце до закриття засувки. Зміна кількості руху буде дорівнювати імпульсу сили:

$$IC = (p_0 + \Delta p)\omega\Delta t - p_0\omega\Delta t = \Delta p\omega\Delta t\,. \tag{4.221}$$

Прирівняємо кількість руху й імпульс сили:

$$\rho\omega\Delta L V_0 = \Delta p\omega\Delta t\,. \tag{4.222}$$

Позначимо $c = \Delta L/\Delta t$, отримаємо формулу підвищення тиску при гідравлічному ударі:

$$\Delta p = \rho V_0 c\,, \tag{4.222}$$

де c – швидкість розповсюдження ударної хвилі.

Протягом наступного нескінченно малого проміжку часу зупиниться наступний, ближчий до першого, відсік рідини, і підвищення тиску, яке почалося біля засувки, розповсюдиться по трубопроводу проти течії у вигляді хвилі підвищення тиску. Після збігу часу L/c зупиниться останній відсік рідини в трубопроводі. Вся рідина буде стиснена, але цей стан нестійкий, оскільки рівень її в резервуарі не змінюється.

Приріст тиску Δp погаситься, і спад тиску почне розповсюджуватися зі швидкістю c у вигляді хвилі зниження тиску. Через час $t_ф = 2L/c$ у трубопроводі відновиться початковий тиск. Час $t_ф$ називається *часом фази*, тобто це час проходження ударної хвилі до резервуара й назад. Таким чином, у момент часу тиск біля засувки знизиться на величину $\Delta p = \rho V_0 c$, тобто на таку, на яку він підвищувався. Зниження тиску буде розповсюджуватися у тому ж порядку, що і його підвищення, і в момент $t = 3L/c$ воно досягне резервуара. Відбившись від нього, хвиля тиску через $t = 4L/c$ повернеться до засувки, і рідина в трубопроводі прийме початковий стан.

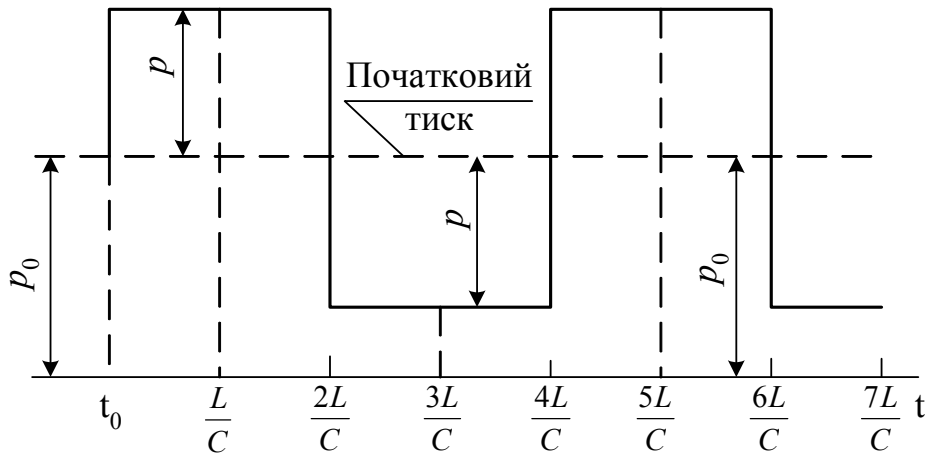


Рис. 4.57. Діаграма зміни тиску в трубопроводі при гідравлічному ударі

Проілюструємо зміну тиску в точці О діаграмою (рис. 4.57).

Діаграма складається з відрізків, паралельних осі часу t, які знаходяться від неї поперемінно то на відстані $p_0 + \Delta p$, то $p - \Delta p$ почергово через проміжок часу $t_ф = 2L/c$.

Швидкість розповсюдження ударної хвилі c в пружному круглому трубопроводі визначається за формулою:

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}\frac{E_{\text{р}}}{E_{\text{тр}}}}}, \qquad (4.224)$$

де d – діаметр трубопроводу; δ – товщина стінки трубопроводу; $E_{\text{р}}$ – модуль об'ємної пружності рідини; $E_{\text{тр}}$ – модуль об'ємної пружності трубопроводу (матеріалу).

У таблиці 4.3 наводиться відношення $E_{\text{р}}/E_{\text{тр}}$ для води і для деяких матеріалів труб.

Таблиця 4.3

Відношення $E_{\text{р}}/E_{\text{тр}}$

Матеріал труб	$E_{\text{р}}/E_{\text{тр}}$	Матеріал труб	$E_{\text{р}}/E_{\text{тр}}$
Сталь	0,01	Азбестоцемент	0,11
Чавун	0,02	Вінілопласт	0,68…0,73
Залізобетон	0,065…0,09	Поліетилен	1,0…1,45
Бетон	0,1	Гума	120…350

Швидкість розповсюдження ударної хвилі води в металевих трубах складає близько 1000 м/с, а підвищення тиску (при швидкості $V \approx 1{,}0$ м/с) $\Delta p = 10^6$ Па = 1 МПа.

У залежності від співвідношення часу закриття засувки $T_{\text{з}}$ і фази гідравлічного удару $t_{\text{ф}}$ розрізняють прямий і непрямий гідравлічний удар.

Гідравлічний удар називається *прямим*, якщо $T_{\text{з}} < t_{\text{ф}}$, підвищення тиску Δp при цьому визначається за формулою (4.222).

При $T_{\text{з}} > t_{\text{ф}}$ гідравлічний удар називається *непрямим*, і підвищення тиску визначається залежністю:

$$\Delta p = 2\rho L V_0 / T_{\text{з}}. \qquad (4.225)$$

Оскільки явище гідравлічного удару негативне, то для недопущення його застосовуються різні заходи і пристрої.

Є заходи щодо недопущення небезпечних підвищень або понижень тиску в трубопроводах і заходи з їх захисту, якщо небезпечні коливання виникнуть.

Заходи щодо боротьби з гідравлічним ударом залежать:

1. Від умов подачі води, якщо вода йде самопливно з водоймища вниз і засувка знаходиться на нижньому кінці трубопроводу, то можливі наступні заходи:

- використовують засувки, що поволі закриваються. Цей захід заснований на тому, що чим більший час закриття засувки, тим менше втрачена швидкість в трубопроводі і тим менше підвищення тиску від гідравлічного удару;
- на трубопроводах можуть встановлюватися зрівняльні резервуари, що сполучені з трубопроводом, і проміжні резервуари, заповнені водою до висоти, яка відповідає нормальному тиску. При гідравлічному ударі в резервуар поступає деякий об'єм води і додатковий тиск в трубопроводі швидко гаситься;
- можуть використовувати повітряні ковпаки, де стиснене повітря амортизує підвищення тиску.

2. У разі зупинки насоса, який подає воду від низу до верху в резервуар, зворотний клапан, встановлений у насоса, закривається дуже швидко і на початку напірного трубопроводу може виникнути гідравлічний удар. Для боротьби прийнято влаштовувати:

- скидні пристрої, які при підході ударної хвилі відкриваються і пропускають воду на вилив. Ці спеціальні протиударні апарати ставлять на початкових ділянках напірних трубопроводів.

5. Гідравлічний таран

Явище гідравлічного удару знайшло застосування в особливому водопідйомному пристрої – гідравлічний таран (рис. 4.58).

За допомогою гідравлічного тарану можна частину води Q_2, що поступає з джерела в кількості Q_1, з напором H_1 підняти на висоту H_2, при цьому $Q_2 < Q_1$.

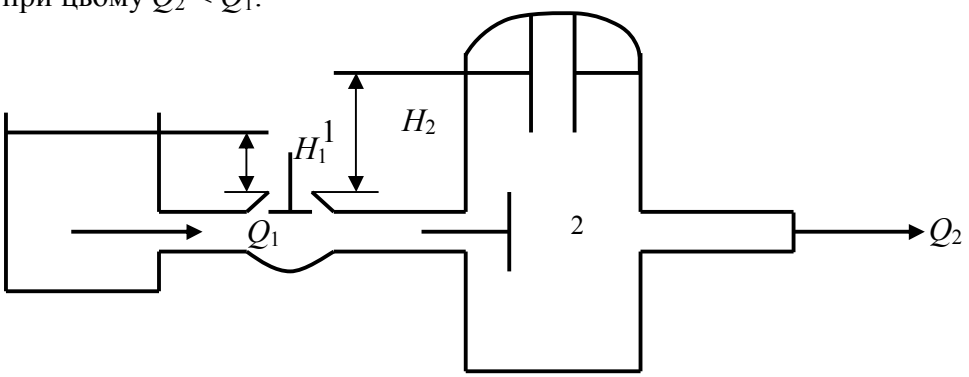


Рис. 4.58. Схема роботи гідравлічного тарану

Основними частинами тарану є коробка з двома клапанами (1 – пусковий клапан; 2 – робочий клапан) і повітряний ковпак.

Якщо таран не працює, обидва клапани закриті. Клапан 1 закритий під дією напору H_1, клапан 2 – під дією H_2. Для пуску тарану в роботу

потрібно натиснути на клапан 1, він привідчиняється і створює умови для витікання води назовні. При цьому витрата води наростатиме, оскільки після відкриття клапана 1 основну енергію буде витрачено на подолання інерції маси води в трубопроводі, який сполучає джерело і клапанну коробку. Надалі H_1 буде повністю використаний на подолання опору.

Коли Q_1 досягне певної величини, клапан 1 різко закриється через різницю тиску. Цей перший період роботи тарану називають *розгінним.* Як тільки клапан 1 закриється швидкість руху рідини по трубопроводу у напрямі клапанної коробки впаде до 0, відбудеться гідравлічний удар і в коробці з'явиться ударний тиск, який відповідає напору H_2. Цей період називають *ударним.* Після цього відкриється клапан 2 і частина води з клапанної коробки потрапить в напірний трубопровід. Її надходження продовжуватиметься до тих пір, поки тиск в клапанній коробці не впаде і клапан 2 закриється. Цей період називають *робочим*. За робочим періодом слідує період відтоку води, коли тиск в клапанній коробці менше за H_2, але більше за H_1. Вода з клапанної коробки піде у бік джерела живлення. В результаті клапан 1 відкриється і знову почнеться розгінний період.

Таким чином, робота гідравлічного тарану полягає в безперервному повторенні вказаних 4-х періодів.

ККД тарану рівний відношенню корисної роботи до витраченої роботи:

$$\eta = \frac{\gamma Q_2 \cdot H_2}{\gamma Q_1 \cdot H_1} = \frac{Q_2 H_2}{Q_1 H_1} \qquad (4.226)$$

Коефіцієнт корисної дії тарана лежить в межах від 0,23…0,92 [3].

Питання для самоконтролю до лекції № 8

1. Яка класифікація трубопроводів залежно від матеріалу труб і від характеру роздачі рідини?
2. Привести розрахунок всмоктуючого трубопроводу насосу.
3. Яка методика при розрахунку послідовного сполучення трубопроводів різних діаметрів і довжин.
4. Яка методика при розрахунку паралельно з'єднаних трубопроводів.
5. Привести методику розрахунку розімкненої мережі водопроводу
6. Привести методику розрахунку кільцевої мережі
7. Що таке гідравлічний удар?
8. Які причини виникнення гідравлічного удару.
9. Заходи по локалізації явища гідравлічного удару у водопровідних трубах і на насосних станціях.
10. Який принцип дії гідравлічного тарана?

4.10. ЛЕКЦІЯ № 9. Динамічні гідравлічні машини

Змістовий модуль 3
«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Динамічні гідравлічні машини.

Мета. Ознайомитися з класифікацією, будовою і принципом дії динамічних гідравлічних машин. Ознайомитися з основними параметри, і методикою підбору динамічних насосів. Вивчити методику побудови робочої характеристики відцентрового насоса.

План лекції

1. Призначення, класифікація, будова і принцип дії динамічних гідравлічних машин.
2. Основні параметри, порядок підбору динамічних насосів.
3. Основне рівняння лопатевих насосів. Характеристики насосів.
4. Робота насоса з трубопроводом.
5. Висота усмоктування, кавітація.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 149-154, 159-177).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 119-125, 129-144). (с. 119-125, 129-144).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 126-176).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 89-141).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 44-60).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с.146-167).

Матеріал лекції
1. Призначення, класифікація, будова і принцип дії динамічних гідравлічних машин

Насоси – це гідравлічні машини, призначені для створення потоку рідинного середовища. Вони передають енергію рідині, яка протікає в їх середині. Таким чином, у насосах відбувається перетворення механічної енергії на енергію рідини (гідравлічну енергію).

Насоси є широко розповсюдженою гідравлічною машиною в агропромисловому виробництві. У сільськогосподарському водопостачанні та на меліоративних системах саме насосами забезпечується механізована подача води споживачам. Насоси використовуються в сільських опалювальних системах, на підприємствах з переробки сільськогосподарської продукції.

Промисловістю випускається біля 3,5 тис. різних типів і марок насосів. Для полегшення використання такої великої кількості насосів існує Державний стандарт. Згідно з ним насоси певним чином класифікуються.

Приведемо класифікацію найбільш широко розповсюджених гідравлічних машин, якими являються динамічні насоси (рис. 4.59).

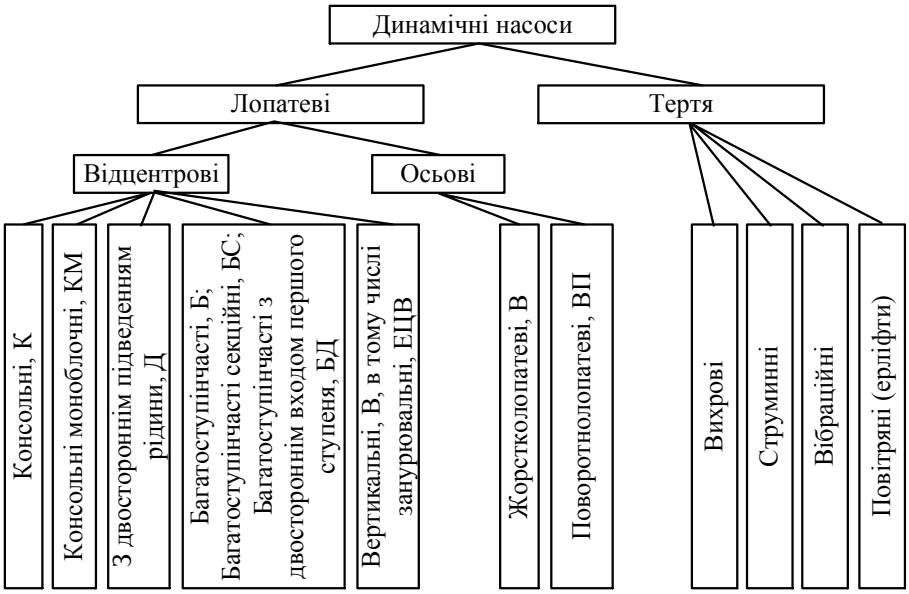


Рис. 4.59. Класифікація динамічних насосів

Динамічні насоси – це насоси, в яких рідина переміщується під дією на неї сили в камері, яка постійно сполучається із входом і виходом насоса. До них належать лопатеві, що включають відцентрові, осьові,

та насоси і пристрої тертя, до яких належать вихрові, шнекові, струминні, вібраційні і повітряні водопідйомники.

Найбільшу групу в класифікації динамічних насосів представляють відцентрові насоси, будову і принцип дії яких розглянемо нижче.

Відцентрові насоси – це динамічні лопатеві насоси, які працюють на принципі використання відцентрової сили і в яких робочим органом є робоче колесо.

Відцентрові насоси найбільше розповсюджені в сільськогосподарському виробництві та в комунальному секторі на селі. Вони призначені для перекачування рідин (переважно води) при температурі від +5 до +105°С.

Відцентровий насос складається з двох основних конструкцій – *корпуса*, виготовленого у вигляді спіральної (равликоподібної) камери, і розташованого всередині його *робочого колеса* (рис. 4.60).

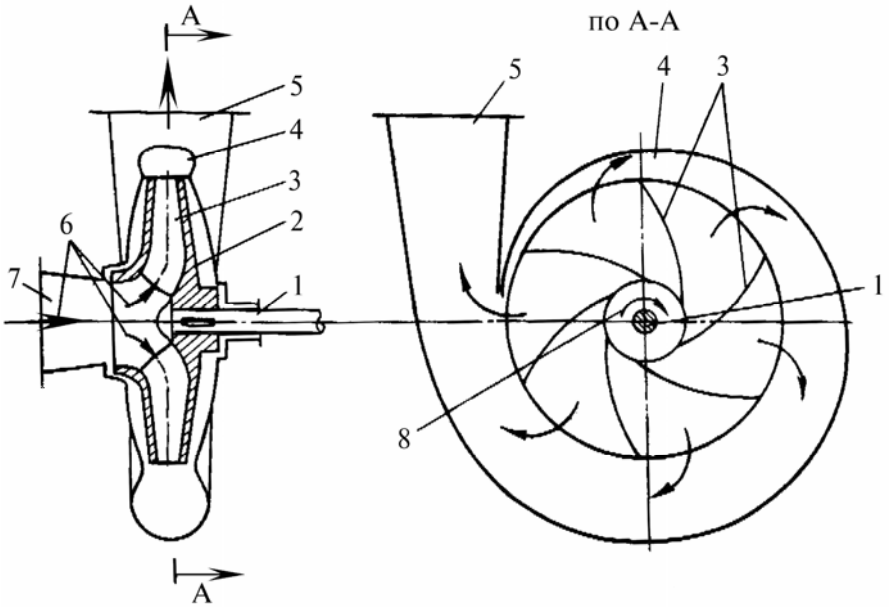


Рис. 4.60. Схема одноступінчастого (консольного) відцентрового насоса: 1 – вал; 2 – робоче колесо; 3 – лопаті робочого колеса; 4 – спіральна (равликоподібна) камера (корпус насоса); 5 – нагнітальний (дифузорний) патрубок; 6 – напрямок потоку рідини; 7 – усмоктувальний патрубок; 8 – напрямок обертання робочого колеса

Робоче колесо – це два диски (передній і задній), з'єднані між собою лопатями; воно насаджене на вал, з яким і обертається. З торцевої сторони до *корпуса* приєднаний усмоктувальний патрубок, через який за допомогою усмоктувальної труби до насоса підводиться рідина, яку

він перекачує. Напірний патрубок відлитий заодно з корпусом, до якого і приєднується напірний трубопровід.

Обов'язковою умовою роботи відцентрових насосів є те, що перед пуском усмоктувальна лінія й насос повинні бути заповнені рідиною, яку перекачують.

Рідина відцентровими насосами подається за рахунок відцентрової сили, яка виникає при обертанні робочого колеса, тому вони й називаються *відцентровими*.

Принцип дії відцентрових насосів полягає в тому, що при обертанні робочого колеса на кожен об'єм рідини, що знаходиться в міжлопатевому каналі на відстані r від осі вала і який має масу M, діє відцентрова сила $F=\omega^2 \cdot M \cdot r$, де ω – кутова швидкість обертання вала. Під дією відцентрової сили рідина викидається з робочого колеса до периферії, а на вході в нього створюється розрідження (вакуумметричний тиск). Під дією атмосферного тиску (у випадку відкритого джерела) рідина по усмоктувальному трубопроводу безперервно надходить до входу робочого колеса. Рідина, яка виходить з робочого колеса, потрапляє у відвідний спіральний канал, який поступово розширюється, у ньому швидкість її зменшується, а напір (тиск, згідно з рівнянням Бернуллі) збільшується. З відвідного каналу рідина надходить у напірний патрубок, а потім у напірний трубопровід.

Таким чином, у відцентрових насосах рідина входить у насос в осьовому напрямку, а виходить у радіальному.

2. Основні параметри, порядок підбору динамічних насосів

Основними параметрами насосів являються: подача, напір (тиск), потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) і частота обертання.

Подача насоса Q, м^3/с, – об'єм або маса рідини, яку насос подає за одиницю часу. Сказане можна виразити формулами:

$$Q = W / T \text{ і } Q = M / T , \qquad (4.227)$$

де W – об'єм; T – час; M – маса.

Крім розмірності витрати, м^3/с, застосовуються й інші (у тому числі й несистемні) – л/с, м^3/г та масові – кг/с, т/г.

Напір насоса H, м, – це приріст енергії потоку, віднесеної до одиниці ваги рідини, яка проходить через робочий орган насоса.

Напір насоса вимірюється в метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

В інженерній практиці розрізняють манометричний (експлуатаційний) і проектний (той, що вимагається) напори.

Манометричний напір встановлюється за показаннями приладів 5 і 6 на діючій насосній установці. (рис. 4.61).

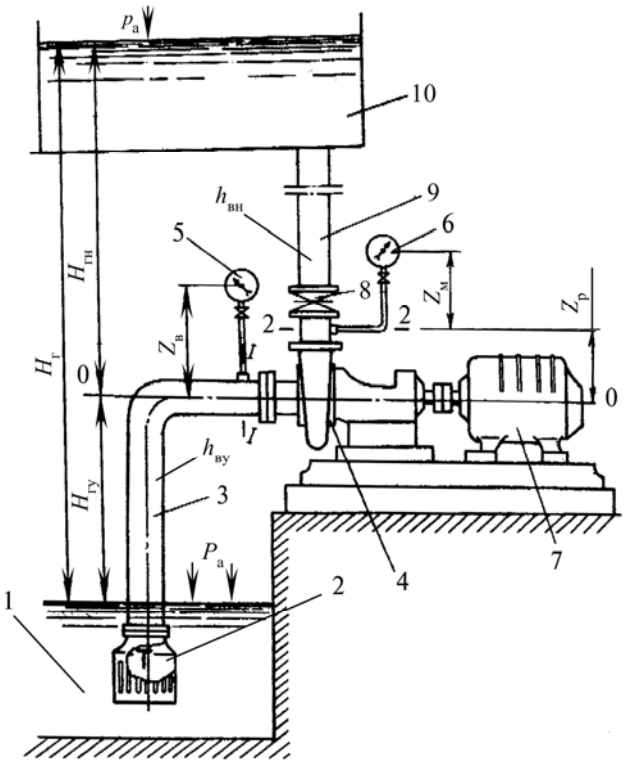


Рис. 4.61. Схема насосної установки:
1 – джерело; 2 – усмоктувальний пристрій 3 – усмоктувальна труба;
4 – насос; 5 – вакуумметр; 6 – манометр; 7 – електродвигун; 8 – засувка;
9 – напірний трубопровід; 10 – напірний) резервуар

Для знаходження манометричного напору використаємо рівняння Бернуллі, згідно з яким повна питома енергія визначається по формулі:

$$E_{\text{пит пов}} = Z + P/\gamma + \alpha V^2/(2g) = H. \qquad (4.228)$$

Оскільки з енергетичної точки зору напір насоса являє собою різницю повної питомої енергії на виході і вході насоса, можна записати:

$$H = E_{\text{вих}} - E_{\text{вх}} = H_{\text{вих}} - H_{\text{вх}}. \qquad (4.229)$$

Позначимо: $P_м$, $P_в$ – тиск, який показують відповідно манометр і вакуумметр, Па; $H_{гу}$, $H_{гн}$ – геометрична (геодезична) висота відповідно усмоктування й нагнітання, м; $H_г = H_{гу} + H_{гн}$ – повна геометрична висота підняття рідини, м; $Z_в$, $Z_м$ – перевищення відповідно вакуумметра й манометра над точкою їхнього підключення, м; $Z_Р$ – різниця рівнів перерізів 1-1 і 2-2 Прийнявши площину порівняння 0-0 на рівні осі насоса, напір у першому перерізі (на вході насоса) буде:

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}, \tag{4.230}$$

на виході з насоса,

$$H_2 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_{\text{р}} + \frac{V_2^2}{2g}. \tag{4.231}$$

Тоді, згідно з рівнянням (6.227),

$$H = H_2 - H_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_{\text{р}} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}. \tag{4.232}$$

Оскільки $p_1 = p_{\text{а}} - p_{\text{в}} + \rho g Z_{\text{в}}$, а $p_2 = p_{\text{а}} + p_{\text{м}} + \rho g Z_{\text{м}}$, то напір насоса буде дорівнювати:

$$H = \frac{p_{\text{м}} + p_{\text{в}}}{\rho \text{g}} + (Z_{\text{р}} + Z_{\text{м}} - Z_{\text{в}}) + \frac{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{ус}}^2}{2\text{g}}. \tag{4.233}$$

Замінимо $\left(Z_{\text{р}} + Z_{\text{м}} - Z_{\text{в}}\right) = Z$, тоді отримаємо рівняння *манометричного напору*:

$$H = Z + \frac{P_{\text{м}} + P_{\text{в}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{ус}}^2}{2g}, \tag{4.234}$$

де Z – відстань по вертикалі між точками вимірювання тиску на виході і вході насоса; $V_{\text{н}}$ і $V_{\text{ус}}$ – середні швидкості руху рідини в нагнітальному й усмоктувальному патрубках, які можна знайти за формулою:

$$V = 4Q/\pi d^2, \tag{4.235}$$

де d – діаметр відповідно усмоктувального або нагнітального трубопроводу. Для води рекомендуються такі швидкості: в усмоктувальному трубопроводі при діаметрі до 250 мм – 0,7…1,0 м/с, при діаметрі 250…800 мм – 1,0…1,5 м/с; у нагнітальному – при діаметрі до 250 мм – 1,0...1,5 м/с, при діаметрі 250…800 – 1,3…2,0 м/с [1].

Проектний напір встановлюється за проектною схемою насосної установки (рис. 4.61) за залежністю:

$$H = H_{\text{г}} + \sum h_{\text{в}}, \tag{4.236}$$

де $H_{\text{г}}$ – геометрична висота підняття рідини,

$$H_{\text{Г}} = H_{\text{гу}} + H_{\text{гн}}, \tag{4.237}$$

де $H_{\text{гу}}$ – висота усмоктування, $H_{\text{гн}}$ – висота нагнітання; $\sum h_{\text{в}}$ – сума втрат напору в усмоктувальному трубопроводі $h_{\text{ву}}$ і нагнітальному $h_{\text{вн}}$.

Тиск насоса виражається залежністю:

$$p = \rho g H, \tag{4.238}$$

де H – напір насоса.

Таким чином, напір насоса – це тиск, виражений у метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

Потужність насоса N, Вт. Розрізняють корисну і споживану потужності.

Корисна потужність $N_{кор}$ – це робота, яку виконує насос за секунду при переміщенні одного кубічного метра рідини на шляху, що дорівнює висоті стовпа, на який піднімається рідина. Вона визначається за формулою:

$$N_{кор} = \rho g Q H \,, \tag{4.239}$$

де Q – подача; H – напір насоса.

Споживана потужність $N_{спож}$ – це потужність, яку споживає насос. Вона визначається приладами (за силою струму) і вираховується за формулою:

$$N_{спож} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{дв} \,, \tag{4.240}$$

де U – лінійна напруга мережі, U = 380 В; I – сила струму, А; cos φ – коефіцієнт потужності (наприклад, φ = 0,89); $\eta_{дв}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна (наприклад, $\eta_{дв}$ = 0,86).

Коефіцієнт корисної дії насоса η – це величина співвідношення корисної і споживаної потужностей:

$$\eta = \frac{N_{кор}}{N_{спож}} \,. \tag{4.241}$$

Частота обертання n, $с^{-1}$, – це кількість обертів, або ходів робочого органу насоса, за одиницю часу.

Підбір насосів. Насоси підбираються за двома основними технічними показниками (характеристиками) – напором H і подачею Q.

Підбираються насоси за зведеними таблицями або графіками полів відповідного типу насосів, наприклад насосів типу «К» (рис. 4.62) [2]. На графіках у координатах Q і H нанесені криволінійні клітини (поля), які обмежують область оптимального застосування за ККД того чи іншого насоса. Верхня лінія кожного з полів відповідає напірній характеристиці базового насоса, нижня – напірній характеристиці насоса з обточеним робочим колесом, бокові лінії відповідають робочій зоні насоса, яка обмежується хвилястими лініями.

Марка насоса, який відшуковується (підбирається), визначається по клітині (полю), в якому перетнуться координати заданих Q і H, в якій би частині поля не опинилася точка їхнього перетину. Наприклад, при необхідних напорі H = 30 м і подачі Q = 30 $м^3$/год точка перетину координат опиниться в полі насоса К – 45/30, n = 2900 (рис. 4.62), що означає – цей насос слід приймати для цих умов.

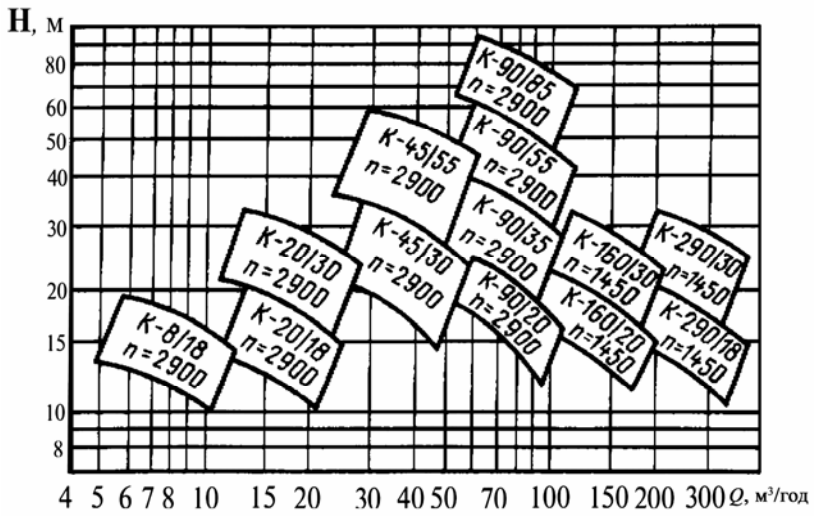


Рис. 4.62. Зведений графік полів насосів типу «К» (КМ)

Після того, як насос підібраний, робота ведеться з робочими характеристиками його, за допомогою чого встановлюються дійсні параметри роботи насоса в цих умовах (із заданими трубопроводами), про що йтиметься в наступному питанню.

3. Основне рівняння лопатевих насосів. Характеристики насосів

Метою виведення основного рівняння лопатевих насосів є теоретичне обґрунтування перетворення в насосі кінетичної енергії на напір насоса, необхідний для подолання геометричної (геодезичної) висоти підняття рідини і гідравлічних опорів в усмоктувальному й нагнітальному трубопроводах.

Рівнянням користуються при розробці нових конструкцій лопатевих (відцентрових і осьових) насосів.

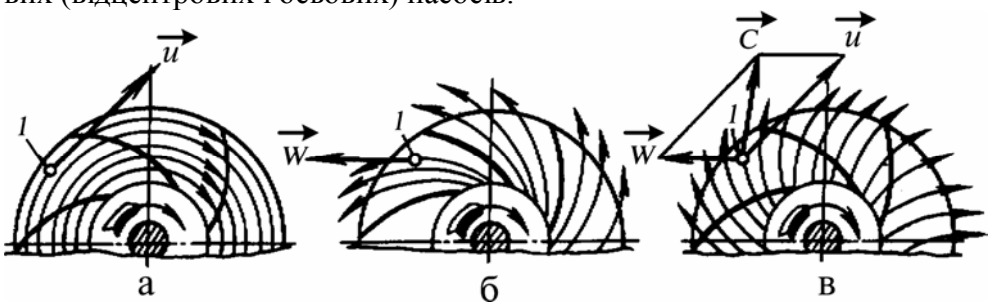


Рис. 4.63. Схема руху рідини в лопатевому колесі насоса:
а – переносний (окружний); б – відносний;
в – абсолютний; 1 – частка рідини

Отже, в робоче колесо рідина входить вздовж осі зі швидкістю V_1. У робочому колесі кожна частка рідини бере участь у двох видах руху: переносному – обертається разом з робочим колесом (рис. 4.63, вектор u) і відносному – рухається вздовж лопатей відносно робочого колеса (рис. 4.63, вектор W).

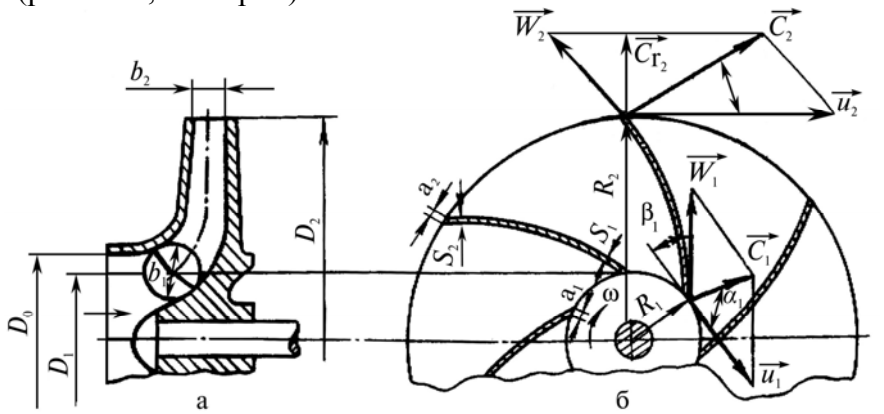


Рис. 4.64. Схема робочого колеса насоса (а) і трикутників швидкостей на вході і виході робочого колеса (б)

Позначення величин на схемі робочого колеса (рис. 4.64, а) і трикутників швидкості на вході і виході робочого колеса (рис. 4.64, б):

D_0 – діаметр вхідного отвору робочого колеса; D_1, D_2 – діаметри входу і виходу каналів; R_1, R_2 – радіуси входу і виходу; b_1, b_2 – ширина лопаті (каналів) на вході і виході; S_1, S_2 – товщина лопаті на вході і виході; u_1, u_2 – окружні швидкості на вході і виході; W_1, W_2 – відносні швидкості на вході і виході; C_1, C_2 – абсолютні швидкості на вході і виході; C_{r2} – радіальна складова абсолютної швидкості; α_1, α_2 – кути між абсолютними й окружними швидкостями на вході і виході.

Абсолютний рух точки 1 характеризується вектором абсолютної швидкості $\vec{C} = \vec{u} + \vec{W}$.

Керуючись цим, побудуємо на вході і виході робочого колеса насоса трикутники швидкостей (рис. 4.64, б).

Для виведення основного рівняння скористуємося теоремою про зміну моменту кількості руху, згідно з якою зміна моменту кількості руху рідини дорівнює сумі моментів зовнішніх сил, які діють на потік, тобто моменту, прикладеному до колеса ззовні.

При виведенні рівняння приймаються такі допущення: кількість лопатей у робочому колесі нескінченно велика, вони зовсім тонкі, і рух між ними ідеально струминний, лопаті ідеально гладкі, рух рідини в колесі осьосиметричний.

З фізики відомо, що кількість руху $KP = Mc$, де M – маса тіла; c – швидкість руху тіла. У випадку, що розглядається, $M = \rho q$, де q – витрата рідини, яка протікає через один канал між двома суміжними лопатями та дисками робочого колеса. Таким чином, M – це маса рідини, яка протікає через один канал за одиницю часу. Підставимо значення маси у формулу кількості руху, застосувавши при цьому символ «штрих», позначаючи, що кількість руху належить до одного каналу, отримаємо на вході і виході робочого колеса:

$$Kp_1 = Mc_1 = \rho q c_1;\ Kp_2 = Mc_2 = \rho q c_2. \qquad (4.242)$$

Рівняння моментів кількості руху на вході і виході робочого колеса (каналу) будуть мати такий вигляд:

$$M_{кр'_1} = \rho q c_1 \cdot R_1 \cos\alpha_1;\ M_{кр'_2} = \rho q c_2 \cdot R_2 \cos\alpha_2, \qquad (4.243)$$

де R_1, R_2 – радіуси відповідно вхідного і вихідного кіл (кругів) робочого колеса; α_1, α_2 – кути між векторами абсолютної й окружної швидкостей відповідно на вході і виході робочого колеса.

Зміна моменту кількості руху буде мати такий вигляд:

$$\Delta M_{кр'} = M_{кр'_2} - M_{кр'_1} = \rho q\left(C_2 R_2 \cos\alpha_2 - C_1 R_1 \cos\alpha_1\right). \qquad (4.244)$$

Сума змін моментів, тобто для всього робочого колеса, складе

$$\sum \Delta M_{кр'} = \sum \rho q\left(C_2 R_2 \cos\alpha_2 - C_1 R_1 \cos\alpha_1\right). \qquad (4.245)$$

У рівнянні (4.245) всі величини постійні, змінна тільки q, але $\sum q = Q$, тоді:

$$\sum \Delta M_{кр'} = \rho Q\left(C_2 R_2 \cos\alpha_2 - C_1 R_1 \cos\alpha_1\right). \qquad (4.246)$$

Оскільки, згідно з прийнятою для виведення рівняння теоремою, зміна моменту кількості руху повинна дорівнювати моменту зовнішніх сил M, тобто моменту, створюваному привідним двигуном, будемо мати:

$$\sum \Delta M_{кр'} = M. \qquad (4.247)$$

Підставимо це значення в (4.246):

$$M = \rho Q\left(C_2 R_2 \cos\alpha_2 - C_1 R_1 \cos\alpha_1\right), \qquad (4.248)$$

де M – момент, з яким робоче колесо діє на рідину при нескінченній кількості лопатей без урахування втрат напору.

Потужність, яку робоче колесо (насос) надає перекачуваній рідині, визначається за відомою залежністю:

$$N_{кор} = \rho g Q H_т, \qquad (4.249)$$

де $H_т$ – теоретичний напір, оскільки в процесі виведення попередніх рівнянь вважалося, що поверхня каналів ідеально гладка, а значить, і відсутні втрати напору.

У свою чергу зв'язок між потужністю й моментом описується такою формулою:

$$N_{\text{кор}} = M \cdot \omega, \tag{4.250}$$

де ω – кутова швидкість обертання робочого колеса, тоді:

$$M\omega = \rho g Q H_{\text{т}}. \tag{4.251}$$

Підставивши значення моменту, отримаємо:

$$\rho g Q H_{\text{т}} = \rho Q \omega \left(C_2 R_2 \cos\alpha_2 - C_1 R_1 \cos\alpha_1\right). \tag{4.252}$$

Після скорочення величин і керуючись тим, що окружна швидкість дорівнює добутку кутової швидкості на радіус обертання, тобто $\omega \cdot R = u$, і розв'язавши рівняння відносно теоретичного напору, отримаємо:

$$H_{\text{т}} = \frac{C_2 u_2 \cos\alpha_2 - C_1 u_1 \cos\alpha_1}{g}. \tag{4.253}$$

Рівняння (4.253) є основним рівнянням лопатевих (у тому числі й відцентрових) насосів для теоретичного напору. Воно виведене для ідеальних умов. Фактичний напір буде менше теоретичного внаслідок втрат енергії на тертя в лопатевому колесі, неплавності та неосьосиметричності лопатей, кінцевої кількості їх і реальної товщини. Дійсний напір буде:

$$H = \varepsilon \eta_{\text{г}} \frac{C_2 u_2 \cos\alpha_2 - C_1 u_1 \cos\alpha_1}{g} \tag{4.254}$$

де ε – коефіцієнт стиснення, який враховує вплив кінцевої кількості лопатей у робочому колесі насоса (ε = 0,75…0,9); $\eta_{\text{г}}$ – гідравлічний ККД, що враховує втрати енергії в робочому колесі на тертя ($\eta_{\text{г}}$ = 0,9…0,95) [1].

У кінцевому підсумку, задача полягає в отриманні найбільшого напору насоса. Досягти цього можна зменшенням другого члена чисельника у формулі (4.254) з наближенням його значення до нуля. Оскільки швидкості C_1 і u_1 обернути на нуль неможливо, то досягти цього можна тільки кутом α_1, наближаючи його до 90°, косинус якого дасть нуль, що й надасть можливість позбавитися від'ємника в чисельнику рівняння (4.254). Саме тому при розробці конструкцій насосів прагнуть, щоб рідина в колесо входила в радіальному напрямку, тобто при куті α_1 = 90°, і тоді напір буде максимальним:

$$H = \varepsilon \eta_{\text{г}} \frac{C_2 u_2 \cos\alpha_2}{g}. \tag{4.255}$$

Цією формулою й користуються при конструюванні робочих коліс нових насосів, але надійно визначити напірну характеристику насоса за нею неможливо, вона будується за експериментальними даними.

Робочі характеристики насосів – це графічне зображення залежностей напору, потужності і ККД від подачі насоса, тобто $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$.

В якості незалежної перемінної прийнята подача насоса Q, тому що вона безпосередньо пов'язана з витратою рідини в трубопроводі. Робочі характеристики насосів є основним технічним документом для проектування насосних установок.

Робочі характеристики насосів будуються за результатами енергетичних випробувань виготовлених на заводі насосів. Випробування насосів здійснюється на спеціальних (випробувальних) стендах (рис. 4.65).

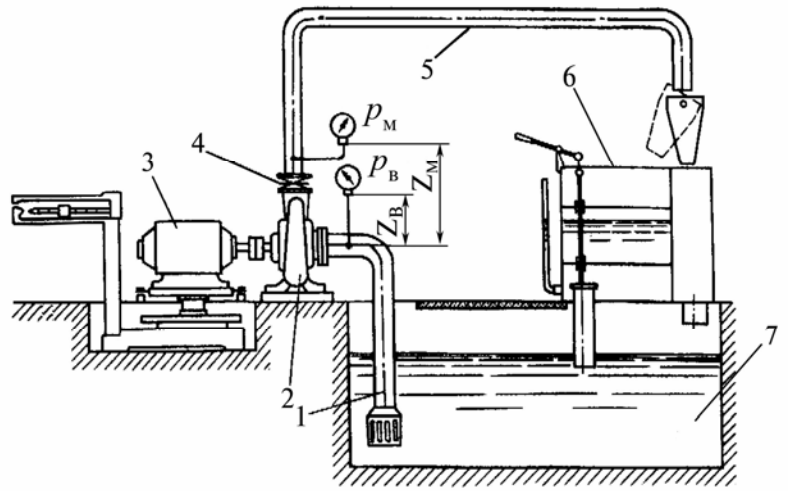


Рис. 4.65. Схема стенда для енергетичних випробувань відцентрових насосів: 1 – усмоктувальний трубопровід; 2 – випробовуваний насос; 3 – електродвигуни; 4 – засувка; 5 – напірний трубопровід; 6 – мірний резервуар; 7 – резервуар з водою

Випробування насосів здійснюється таким чином. Регулюючи ступінь відкриття засувки на напірному трубопроводі, при постійній частоті обертання робочого колеса, отримуються різні подачі Q і відповідні їм напори H. Подача насоса визначається за допомогою мірного резервуара, водозливу чи витратовимірювача.

Повний напір насоса H встановлюється за залежністю (4.234), тобто як манометричний напір. Споживана потужність $N_{спож}$ встановлюється за показанням електровимірювальних приладів і визначається за залежністю (4.240), частота обертання робочого колеса вимірюється

тахометром. Корисна потужність $N_{кор}$ встановлюється за залежністю (4.239). Коефіцієнт корисної дії встановлюється за залежністю (4.241).

За даними випробувань будуються графічні залежності $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$ (рис. 4.65).

Характеристика H-Q (рис. 4.65) називається напірною і є основною характеристикою, тому що за нею підбираються насоси. Характеристика N-Q – потужнісна характеристика. Характеристика η-Q – характеристика ККД.

Точка a на характеристиці η-Q, яка відповідає максимальному значенню ККД, визначає оптимальні робочі параметри насоса $Q_{опт}$, $H_{опт}$ і $N_{опт}$.

Отже, характеристика H-Q – це залежність напору від подачі насоса. На характеристиці H-Q хвилястими лініями позначається *робоча зона*, тобто зона, в якій необхідно експлуатувати насос. Вона відповідає максимальним значенням ККД. За окресленням напірна характеристика є кривою, яка безперервно знижується.

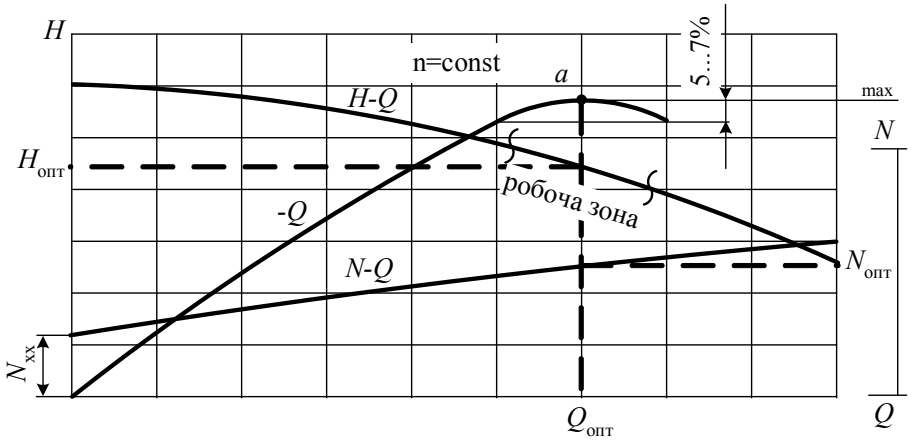


Рис. 4.66. Схема робочих характеристик відцентрових насосів

Потужнісна характеристика N-Q – це залежність корисної потужності від подачі насоса. Вона показує, що при збільшенні подачі потужність насоса збільшується. При нульовій подачі, тобто при холостому ході, потужність $N_{х\,х}$ мінімальна (рис. 4.66), а тому пуск великих насосів здійснюється при закритій засувці на напірному трубопроводі. Робота насоса при закритій засувці допускається протягом нетривалого часу.

Характеристика коефіцієнта корисної дії η-Q – це залежність ККД від подачі насоса. У тривалому режимі насоси слід експлуатувати при максимальних значеннях ККД, зниження ККД від максимальних значень допускається в межах 5…7%.

4. Робота насоса з трубопроводом

Як відзначалося раніше, насос забезпечує перекачування рідини тільки сумісно з усмоктувальним та нагнітальним трубопроводами. Площа поперечного перерізу трубопроводу (його діаметр) суттєво впливає на технічні показники роботи насосної установки.

Трубопровід у системі насосної установки має також свою напірну характеристику. Оскільки гідравлічний опір трубопроводу пропорційний квадрату витрати рідини, тобто $h_в = K\,Q^2$, можемо записати:

$$H_т = H_г + K \cdot Q^2 . \qquad (4.256)$$

Згідно з формулою (4.256), насос у насосній установці забезпечує подолання геометричної висоти підняття рідини та гідравлічних опорів, ця ж формула є рівнянням параболи, яка не проходить через початок координат, а крутизна її залежить від величини опору трубопроводу.

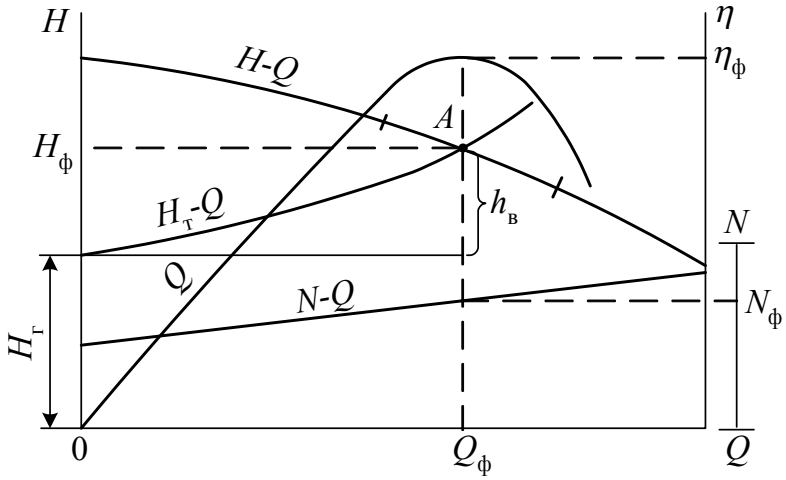


Рис. 4.67. Робочі характеристики насоса і трубопроводу: $h_в$ – втрати напору

Якщо на графік робочих характеристик насоса нанесено напірну характеристику трубопроводу, то на перетині її з напірною характеристикою насоса отримаємо точку A, яка називається *робочою точкою*, їй відповідають фактичні $H_ф$, $Q_ф$, $N_ф$, $\eta_ф$ – параметри роботи насоса з цим трубопроводом (рис. 4.67). Напірна характеристика трубопроводу будується по декількох точках, які отримують, задавшись декількома значеннями витрати Q у формулі (4.256). Величина K окремо вираховується для усмоктувальної лінії $K_{ус} = (\lambda l/d + \sum\zeta)V^2/(2g)$ і нагнітальної $K_н = A \cdot l_р \cdot \beta$.

Величина $H_г$ є постійною й обумовлюється необхідною висотою підняття рідини.

При проектуванні насосної установки необхідно прагнути, щоб робоча точка *А* якомога більше відповідала максимальному значенню ККД, тобто знаходилася в межах робочої зони на характеристиці *H-Q*.

Сумісна робота насосів застосовується у випадках, коли технічні показники одного насоса не задовольняють вимог, що ставляться до насосної установки, а також коли цього вимагають технологічні умови, наприклад, на меліоративних насосних станціях необхідність забезпечення одним чи декількома насосами подачі води, кратної витраті води дощувальними машинами.

Отже, сумісна робота насосів застосовується, коли не вистачає напору чи подачі одного насоса, і для цього в насосній установці чи на насосній станції декілька насосів об'єднуються для роботи на один трубопровід. При цьому виникає необхідність знати напір і подачу насосів, які працюють сумісно. Є два способи з'єднання насосів, які працюють сумісно, – паралельний і послідовний.

Паралельна робота насосів застосовується у випадках, коли не вистачає подачі одного насоса. При ній в одну лінію об'єднуються напірні патрубки двох чи більше насосів, а усмоктувальні трубопроводи для кожного насоса влаштовуються окремо.

Розглянемо спочатку паралельну роботу двох однакових насосів (рис. 4.68, а), технічні показники при ній будуть:

$$Q = Q_1 + Q_2;\ H = H_1 = H_2, \qquad (4.257)$$

де Q_1, Q_2 – подача першого і другого насосів; H_1, H_2 – напір першого і другого насосів.

Для установлення режиму роботи паралельно з'єднаних насосів необхідно побудувати сумарну напірну характеристику двох насосів і на неї нанести в тому ж масштабі характеристику трубопроводу. Сумарна напірна характеристика будується шляхом складання подачі при однакових напорах (рис. 4.68, а).

Наприклад, для знаходження точки *в* сумарної характеристики H-Q_{1+2} необхідно подвоїти відрізок *аб*. Таким же способом знаходиться декілька точок, і по них будується характеристика H-Q_{1+2}. Побудувавши на цьому ж графіку характеристику трубопроводу $H_т$-Q, на їх перетині отримаємо робочу точку А, яка визначає сумарні подачу Q_A і напір H_A двох паралельно з'єднаних насосів. Оскільки насоси однакові, то подача кожного з них дорівнює половині сумарної, тобто $Q_1 = Q_A/2$.

При роботі одного насоса на цей же трубопровід його робочою точкою буде точка В (подача Q_B і напір H_B). Подача насоса Q_B (рис. 4.68, а), який працює на один і той же трубопровід, більше подачі кожного з насосів Q_1 при паралельній роботі, тобто при паралельній роботі подача кож-

ного з них менше на величину $\Delta Q = Q_B - Q_1$. Пояснюється це тим, що при сумарній подачі Q_A втрати напору в трубопроводі збільшуються у квадратичній залежності від подачі, що й викликає збільшення напору. У свою чергу це приводить до зміщення робочої точки по напірній характеристиці насоса вліво (вгору), у результаті чого зменшується подача.

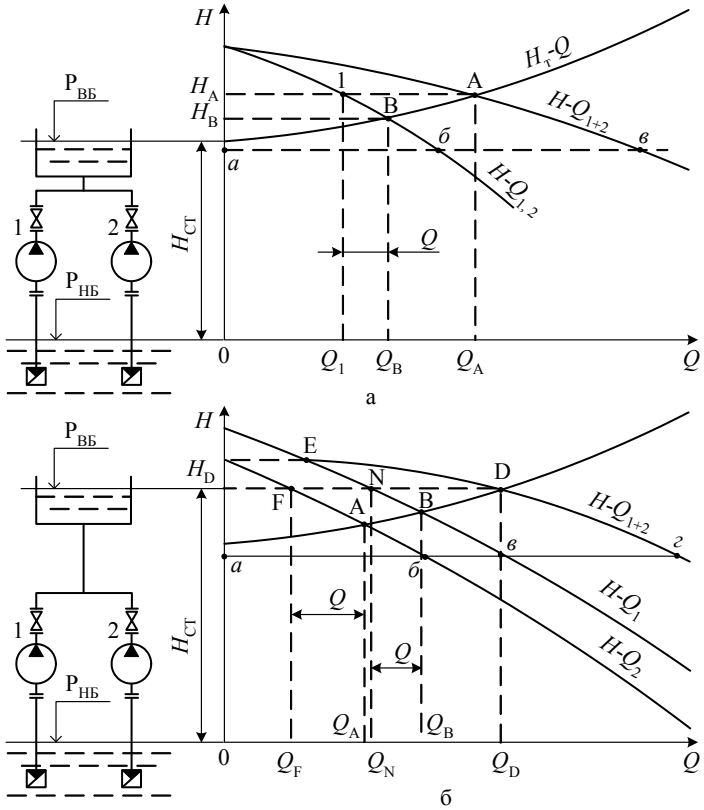


Рис. 4.68. Схеми з'єднання і характеристики паралельної роботи двох насосів: а – однакових, б – різнотипних

При паралельній роботі двох різнотипних насосів на загальний трубопровід їх сумісна робота розпочнеться в момент, коли порівняються їхні напори (рис. 4.68, б). Цьому напору відповідає точка Е на напірній характеристиці H-Q_1 іншого насоса. Від цієї точки і слід будувати сумарну напірну характеристику H-Q_{1+2}, для чого підсумовуються подачі обох насосів при однакових напорах. Наприклад, точку *г* отримуємо складанням відрізків *аб* і *ав*.

Точка перетину сумарної характеристики H-Q_{1+2} з характеристикою трубопроводу (точка *D*) визначає напір H_D, який розвиває кожен насос, і сумарну подачу Q_D двох насосів. Для установлення подачі кожного з двох насосів при паралельній роботі з точки *D* проведемо го-

ризонтальну лінію до перетину її з напірними характеристиками обох насосів (точки *F* і *N*). Ці точки, крім напору H_D, визначають і подачу кожного з насосів Q_F і Q_N. При роботі насосів по одному їхній режим характеризується точками А (першого) і В (другого).

Загальний ККД паралельно з'єднаних насосів визначається залежністю:

$$\eta_{1+2} = Q_{1+2} / \left(Q_F \eta_F + Q_N \eta_N \right). \qquad (4.258)$$

З розглянутого видно, що при паралельній роботі доцільно застосовувати насоси з приблизно однаковими напорами.

Послідовна робота насосів застосовується у випадках, коли напору одного насоса недостатньо. При ній до напірного патрубка попереднього (першого) насоса приєднується усмоктувальний патрубок наступного насоса.

Розглянемо послідовну роботу двох насосів з однаковою подачею (рис. 4.69). Технічні показники при цьому з'єднанні насосів будуть:

$$Q = Q_1 = Q_2 ; \; H = H_1 + H_2 . \qquad (4.259)$$

Для установлення режиму роботи послідовно з'єднаних насосів побудуємо сумарну напірну характеристику, і на неї нанесемо характеристику трубопроводу.

При побудові сумарної напірної характеристики H-Q_{1+2} підсумовуються напори обох насосів при однакових подачах (рис. 4.69). Наприклад, для побудови точки *d* при довільно вибраній подачі підсумовуємо відрізки *cb* і *ce*, тобто *cd* = *cb* + *ce*.

Робоча точка В розташована на перетині сумарної характеристики H-Q_{1+2} з характеристикою трубопроводу $H_т$-Q, по ній визначаються сумісний напір H_B, напір кожного насоса H_1, H_2 і подача Q_B.

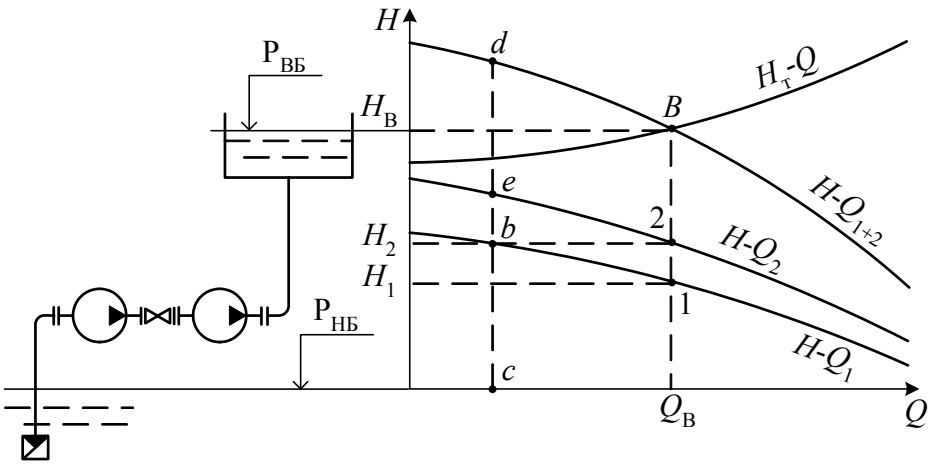


Рис. 4.69. Схема з'єднання і характеристики послідовної роботи двох насосів

Загальний ККД послідовно з'єднаних насосів визначається за залежністю:

$$\eta_{1+2} = H_{1+2} / (H_1 / \eta_1 + H_2 / \eta_2) . \qquad (4.260)$$

Якщо послідовно з'єднані однакові насоси, то ККД їх зберігається, а загальний напір:

$$H_{\text{п}} = n \cdot H_{\text{і}} , \qquad (4.261)$$

де n – кількість насосів; $H_{\text{і}}$ – напір кожного насоса.

Все ж слід відзначити, що у виробничих умовах розглянуте послідовне з'єднання насосів застосовується рідко. Частіше застосовуються багатоступінчасті насоси, прикладом яких є, зокрема, занурювальні насоси (ЕЦВ), за допомогою яких піднімаються підземні води в сільськогосподарському водопостачанні.

5. Висота усмоктування, кавітація

Висота усмоктування $\boldsymbol{H_{\text{ус}}}$ – це висотне розташування осі насоса по відношенню до відмітки динамічного рівня рідини в її джерелі (рис. 4.70).

Висота усмоктування є важливим параметром при проектуванні насосних установок. Неточне її визначення може викликати погіршення й навіть повний зрив роботи насоса. Таким чином, висота усмоктування, або установки насоса над рівнем рідини в джерелі, не повинна перевищувати допустимого її значення $H_{\text{ус}}^{\text{доп}}$, що для відкритих джерел визначається залежністю:

$$H_{\text{ус}}^{\text{доп}} = \frac{p_{\text{а}}}{\gamma} - \frac{p_{\text{п}}}{\gamma} - h_{\text{в ус}} - \Delta h_{\text{кав}} , \qquad (4.262)$$

де $p_{\text{а}}$ – атмосферний тиск; $p_{\text{п}}$ – тиск пароутворення; $h_{\text{в ус}}$ – втрати напору в усмоктувальному трубопроводі; $\Delta h_{\text{кав}}$ – кавітаційний запас.

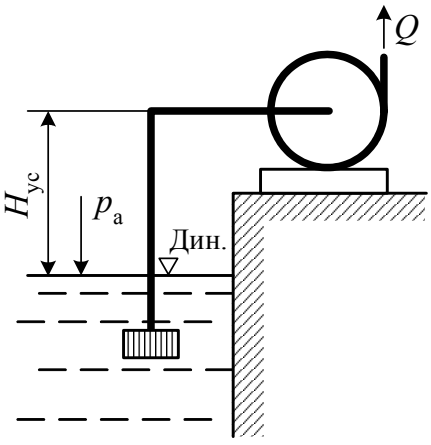


Рис. 4.70. Схема насосної установки

У випадку, коли перекачуваною рідиною є вода, що найбільш поширено, елементи рівняння (4.262) мають такі значення: $P_{\text{а}}/\gamma_{\text{в}} = 10$ м; $P_{\text{п}}/\gamma_{\text{в}} = 0{,}12\ldots0{,}24$ м; втрати напору в усмоктувальному трубопроводі $h_{\text{в ус}}$ вираховуються за методикою гідравлічного розрахунку гідравлічно коротких трубопроводів; $\Delta h_{\text{кав}}$ – кавітаційний запас, береться з графіка робочих характеристик насоса. Таким чином, допус-

тима висота усмоктування для більшості насосів складає 4…8 м. Якщо насос встановлений над рівнем рідини в джерелі на висоті, більшій за допустиму, то це є однією з причин кавітації.

Кавітація – це порушення суцільності потоку рідини, яке відбувається внаслідок зниження тиску в насосі до критичного значення. Критичним називається тиск пароутворення в рідині. При кавітації з рідини виділяються пара і розчинені в рідині гази. Бульбашки пари і газу переносяться в область з тиском вище критичного, де й руйнуються з великою швидкістю, що супроводжується місцевими гідравлічними ударами. Внаслідок механічних і хімічних процесів, які відбуваються при кавітації, руйнується метал деталей насосів, а поверхня стає шорсткою.

Отже, перевищення допустимої висоти установки насоса є основною причиною кавітації, але її розвитку сприяє значне збільшення подачі насоса, наприклад при збільшенні частоти обертання робочого колеса.

Явище кавітації є небезпечним для насосної установки, а тому його треба попереджувати, усуваючи вищеназвані причини. Все ж іноді позбавитися кавітації неможливо, тоді робочі колеса виготовляються з більш стійких матеріалів – необробленого чавуну, вуглецевої та нержавіючої сталі. Наявність кавітації в насосі легко встановити по шуму, тріску і дрижанню насосного агрегату, що супроводжується зниженням подачі, напору і ККД.

Питання для самоконтролю до лекції № 9

1. Що таке динамічні насоси?
2. Де вони використовуються динамічні насоси?
3. Як класифікуються динамічні насоси?
4. Якими технічними показниками характеризуються насоси?
5. Розкажіть порядок підбору насосів.
6. Що таке відцентрові насоси, яка їх будова?
7. Поясніть принцип роботи відцентрових насосів.
8. Що таке робочі характеристики відцентрових насосів.
9. Поясніть роботу відцентрового насоса з трубопроводом.
10. Як знаходиться робоча точка системи «насос – трубопровід»?
11. Поясніть сумісну (паралельну і послідовну) роботу насосів.
12. Що таке висота усмоктування і кавітація насосів?

4.11. ЛЕКЦІЯ № 10. Особливості сільськогосподарського водопостачання

Змістовий модуль 3
«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Особливості сільськогосподарського водопостачання

Мета. Ознайомитися з системами і схемами сільськогосподарського водопостачання. Ознайомитися з нормами водоспоживання і з вимогами, які ставляться до якості води. Ознайомитися з джерелами і водозабірними спорудами, які використовуються в сільськогосподарському водопостачанні.

План лекції

1. Системи і схеми водопостачання.
2. Норми водоспоживання.
3. Джерела водопостачання.
4. Вимоги до якості води.
5. Водозабірні споруди.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 444-463).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 366-383).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 290-298, 320-328).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 326-347).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 103-117).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 191-207).

Матеріал лекції
1. Системи і схеми водопостачання.

Сільськогосподарське водопостачання – це забезпечення водою в необхідній кількості та необхідної якості сільських споживачів.

Сільськими споживачами води є сільське населення, тварини, агропромислові виробництва на селі, сільськогосподарська техніка та ін.

Здійснюється сільськогосподарське водопостачання в основному за допомогою систем водопостачання.

Системою водопостачання називається комплекс споруд для отримання (добування) води з природних джерел, її очистки (у випадку необхідності), транспортування й розподілу між споживачами. Таким чином, система водопостачання забезпечує механізований підйом і подачу води споживачам по системах трубопроводів. Іноді ці системи називаються просто водопроводами.

До складу водопостачальних систем входять такі елементи: водозабірні споруди; насосні станції; очисні споруди (при необхідності); водонапірні споруди і водопровідні мережі.

Системи водопостачання класифікуються: за кількістю населених пунктів, які система забезпечує водою, – групові та локальні; за ступенем централізації – централізовані, децентралізовані і комбіновані; за видом джерела води – системи з підземними, поверхневими та змішаними джерелами води; за способом подачі води – з механізованою подачею води, самотічні (гравітаційні) і комбіновані; за надійністю подачі води; за призначенням – господарсько-питні, виробничі, протипожежні та об'єднані; за конструкцією водопровідної мережі – розімкнуті (тупикові) і кільцеві.

Групові системи забезпечують водою декілька населених пунктів, а іноді й районів.

Локальні системи обслуговують один населений пункт або один об'єкт водоспоживання.

Централізовані – це системи водопостачання, які забезпечують водою всі об'єкти сільського населеного пункту з єдиної водопровідної мережі.

Децентралізовані – це системи, при яких окремі комунальні чи господарські одиниці забезпечуються водою відокремлено (незалежно від інших об'єктів).

Комбіновані – це системи, при яких окремі групи споживачів забезпечуються водою централізованою системою, а решта – окремими локальними системами.

Системи з *підземним* джерелом води використовують підземні води. Системи з *поверхневим* джерелом води – поверхневі води. У систе-

мах зі *змішаними* джерелами води одночасно застосовуються підземні і поверхневі води.

У системах з *механізованою* подачею вода подається за допомогою насосів.

Самотічні системи застосовуються у випадках, коли відмітка місця розташування водозабору перевищує відмітку території водоспоживання, внаслідок чого і створюється напір, за рахунок якого вода транспортується самотічно до споживачів.

У комбінованих за способом подачі води остання частково подається самотічно, а частково – механізовано.

За *надійністю* подачі води системи сільськогосподарського водопостачання належать до *третьої категорії* (при загальноприйнятих трьох категоріях), і в них допускаються перерви в подачі води до 1 доби.

За призначенням системи сільськогосподарського водопостачання є *об'єднаними*, тобто з однієї і тієї ж системи, як правило, одночасно задовольняються потреби господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопостачання.

Особливості систем сільськогосподарського водопостачання обумовлюються особливостями сільського побуту та сільськогосподарського виробництва:

1. Розосередженість водоспоживачів, яка пов'язана з веденням сільськогосподарського виробництва на великих земельних територіях, чим обумовлена значна розосередженість населених пунктів, різних господарських центрів по території землекористування. Крім того, споживачі води (люди, тварини, механізми та ін.) у певні періоди пересуваються по цій території. Такі обставини ведуть до збільшення дальності транспортування води, ускладнення експлуатації систем. При цьому слід врахувати, що об'єми споживання (витрат) води порівняно невеликі.

2. Нерівномірність споживання води обумовлена циклічністю чергування сільськогосподарських робіт у всіх видах сільськогосподарського виробництва. У кінцевому результаті це призводить до нерівномірного завантаження систем водопостачання, збільшення об'ємів регулюючих ємкостей, відбивається на техніко-економічних показниках систем сільськогосподарського водопостачання.

Схеми систем водопостачання графічно зображують місцезнаходження і самі споруди, які входять до їхнього складу. На склад споруд системи водопостачання докорінно впливає вид джерела води. Оскільки основним джерелом води у сільськогосподарському водопостачанні є підземні води (біля 90%), то першою розглянемо систему водопостачання такого типу (рис. 4.71).

Оскільки підземні води в більшості придатні до використання без покращення їхньої якості, то вода з джерела безпосередньо подається споживачам (рис. 4.71).

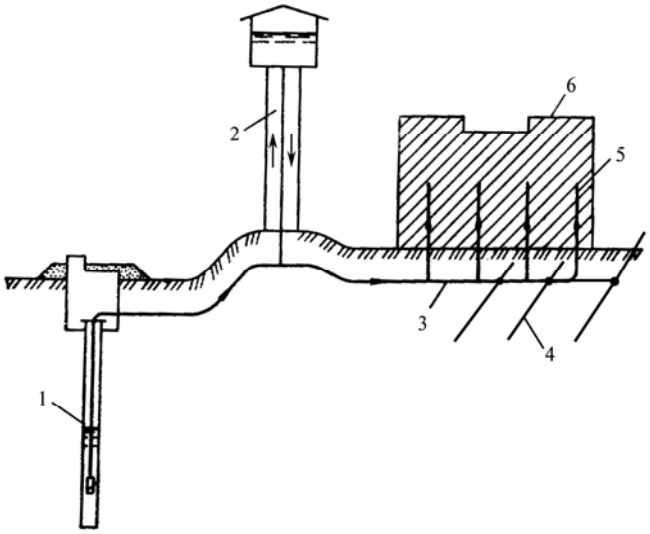


Рис. 4.71. Схема системи водопостачання з підземним джерелом води: 1 – водозабірний вузол; 2 – водонапірна башта; 3 – транспортуючий трубопровід; 4 – розвідна (зовнішня) водопровідна мережа; 5 – внутрішня водопровідна мережа; 6 – об'єкт водопостачання

Істотно в цьому відношенні відрізняються поверхневі води, які без покращення їхньої якості не придатні до вживання в якості питної води, а тому і схема системи водопостачання (склад споруд) суттєво відрізняється від попередньої (рис. 4.72).

За цією схемою природна вода забирається з поверхневого джерела насосною станцією першого водопідйому і подається для очищення на очисні споруди. Потім вода надходить до резервуара чистої води, а звідти, за допомогою насосної станції другого водопідйому, подається у водопровідну мережу. Підкреслимо, що в розглянутих системах водопостачання водонапірні башти розташовані на початку водопровідної мережі. У практиці сільськогосподарського водопостачання мають місце і системи, в яких водонапірна башта встановлюється в кінці водопровідної мережі, і називається вона в цьому випадку *контррезервуаром* (рис. 4.73). У системах сільськогосподарського водопостачання часто застосовується більше однієї башти – по дві, три і більше.

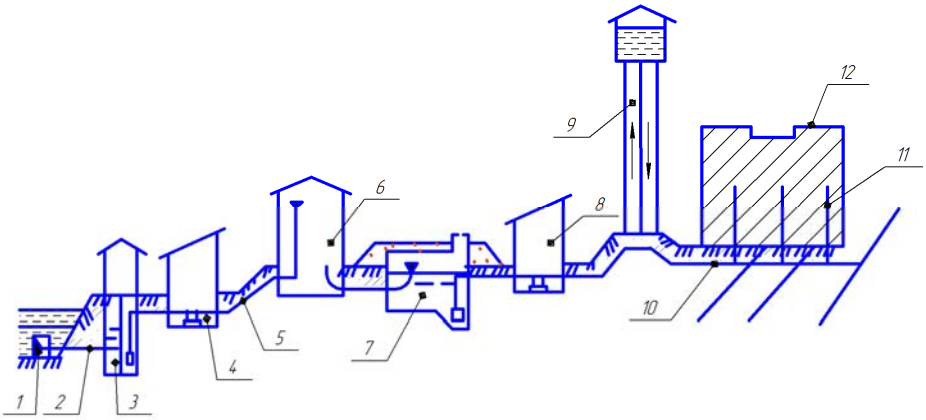


Рис. 4.72. Схема системи водопостачання з поверхневим джерелом води: 1 – водоприймальний оголовок; 2 – самотічний трубопровід; 3 – береговий сітчастий колодязь; 4 – насосна станція першого водопідйому; 5 – напірний трубопровід; 6 – станція очищення води; 7 – підземний резервуар чистої води; 8 – насосна станція другого водопідйому; 9 – водонапірна башта; 10 – розвідна (зовнішня) водопровідна мережа; 11 – внутрішня водопровідна мережа; 12 – об'єкт водопостачання

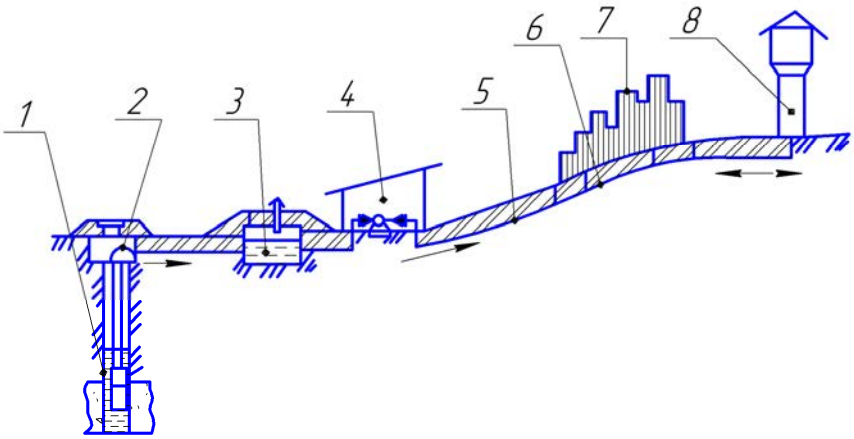


Рис. 4.73. Схема системи водопостачання з підземним джерелом води з контррезервуаром:
1 – підземні води; 2 – насосна установка першого водопідйому; 3 – резервуар чистої води; 4 – насосна станція другого водопідйому; 5 – водовід; 6 – водопровідна мережа; 7 – об'єкт водопостачання; 8 – водонапірна башта (контрезервуар).

На рисунку 4.74 наведена схема групового водопроводу, який забезпечує питною водою декілька населених пунктів.

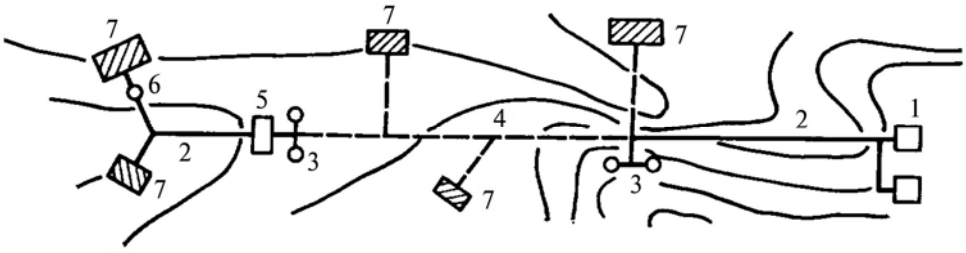


Рис. 4.74. Схема групового водопроводу:
1 – вузол головних споруд; 2 – нагнітальний напірний водовід; 3 – резервуари чистої води; 4 – самотічний напірний водовід; 5 – насосна станція підкачки; 6 – водонапірна башта; 7 – села

Джерелом води для групових водопроводів можуть бути як підземні, так і поверхневі води.

2. Норми водоспоживання

Для проектування систем водопостачання необхідно знати кількість споживаної води і режим її використання.

Кількість споживаної води встановлюється за чисельністю споживачів на підставі норм водоспоживання.

Норма водоспоживання q, л/доб, – це середня кількість води, яка використовується одним споживачем за добу або витрачається на одиницю продукції, що виробляється. Згідно з будівельними нормами і правилами, норма водоспоживання залежно від рівня благоустрою складає 125…350 л/доб на одного жителя; у тваринництві для дорослої великої рогатої худоби – 60…70 л/доб, для її молодняка – 20…30 л/доб; для дорослих свиней – 15…60 л/доб, для їхнього молодняка – 5…15 л/доб; для птиці – 1…2 л/доб. Норми водоспоживання наводяться в довідковій літературі.

3. Джерела водопостачання.

Водні ресурси – це запаси поверхневих і підземних вод певної території.

Отже, для водного господарства держави практичне значення мають ресурси поверхневих, в основному річкових, і підземних вод.

Поверхневі води. До поверхневих вод належать води каналів, річок, ставів, озер та водосховищ. Оскільки основними ресурсними водами в Україні є води річок, то про них і йтиметься нижче.

Середній річний стік річок України складає 87,1 км^3, з них доступними для використання вважаються 83,5 км^3.

В Україні нараховується більше 71 тис. струмків та річок загальною довжиною біля 248 тис. км. З них біля 63 тис. складають малі річки. Їхня загальна довжина дорівнює 136 тис. км. Більшість річок (95,9%) мають площу водозбору, яка не перевищує 50 км^2. Басейни річок площею 50-500 км^2 складають 3,5%, з площею більше 500 км^2 – тільки 0,6% [1].

Найбільшою річкою України є Дніпро, що протікає з півночі на південь і ділить територію країни на Правобережну та Лівобережну частини. Його водність складає 1663 м^3/с. Потім іде Дністер з водністю 274 м^3/с. До великих річок України належать також Сіверський Донець – водність 159 м^3/с, Південний Буг – водність 137 м^3/с. Річки Західний Буг, Тиса, Прут, Прип'ять, Десна і Псьол належать до середніх річок [2].

Підземні води. Це води, які розташовані нижче поверхні землі й містяться в пустотах гірських порід.

Балансові прогнозні ресурси підземних вод в Україні становлять 21 км^3/рік, або 57,4 млн м^3/доб. Середня забезпеченість прогнозних ресурсів підземних вод на 1 км^2 території складає 34,7 тис. м^3/рік, або 95 м^3/доб; на одного жителя – 416 м^3/рік, або 1,13 м^3/доб.

Сумарні експлуатаційні запаси підземних вод становлять 5,6 км^3/рік, або 15,3 млн м^3/доб, на одного жителя – 110 м^3/рік. Підземні води становлять 17% в загальному водоспоживанні країни і 54% – у господарсько-питному водопостачанні [2].

Для сільського господарства підземні води мають виключно важливе значення, оскільки вони є основним джерелом для водопостачання та частково – для зрошення. Підземні води діляться на ґрунтові й міжпластові.

Ґрунтові води – це води, які просмоктуються і накопичуються у верхньому водопроникному пласту, не прикритому зверху водонепроникним (водотривним) пластом (рис. 4.75). Ґрунтові води мають живлення по всій площі їх розповсюдження. Тому режим ґрунтових вод звичайно відрізняється непостійністю й у значній мірі залежить від кількості опадів на поверхні землі. Неглибокі ґрунтові води можуть легко забруднюватися рідинами, які просмоктуються зверху. Чим глибше розташовані ґрунтові води, тим вони менше забруднені і їхній режим менше залежить від атмосферних опадів.

При використанні ґрунтових вод для питного водопостачання необхідно забезпечити відповідний санітарно-технічний нагляд зони водозабору.

Міжпластові води – це води, які залягають у водоносному пласту, який у свою чергу розташований між водотривними пластами. На про-

тилежність ґрунтовим, міжпластові води частіше бувають напірними (*артезіанськими*), а тому вода в колодязях чи свердловинах, які прорізують міжпластовий напірний горизонт, піднімається і встановлюється на деякому рівні вище верхнього водотриву (покрівлі), що перекриває водоносний пласт (рис. 4.75). Іноді п'єзометричний рівень води може бути вище поверхні землі, тоді вода із свердловини буде самовиливатися (фонтанувати).

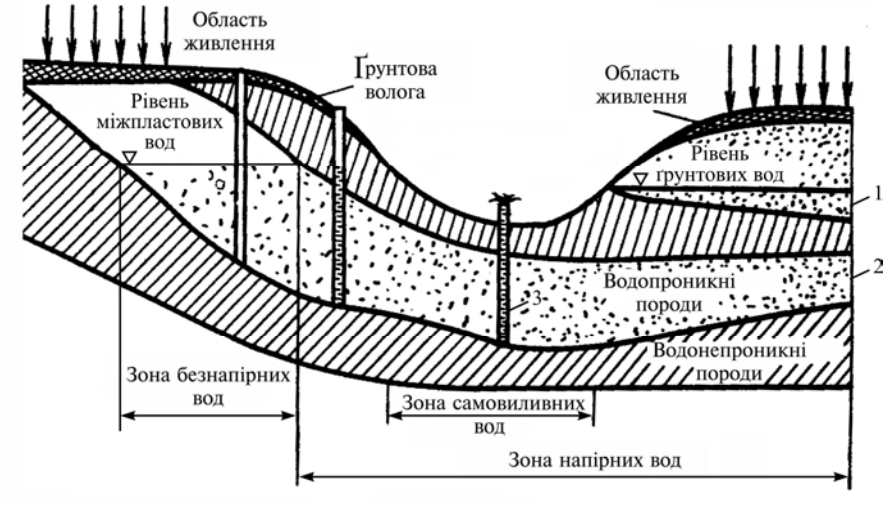


Рис. 4.75. Схема залягання підземних вод
1 – ґрунтові води; 2 – міжпластові води; 3 – артезіанська (самовиливна) свердловина

Області живлення артезіанських вод часто знаходяться на великих відстанях від місця їх використання, а тому режим міжпластових вод менше пов'язаний з умовами живлення водоносного пласта і більш постійний, ніж режим ґрунтових вод. Якість води і дебіт (витрата) залишаються більш-менш постійними по всій області розповсюдження міжпластового водоносного горизонту.

Процес надходження води в ґрунти можна розділити на два етапи: усмоктування, яке відбувається внаслідок дії капілярних, сорбційних і, частково, гравітаційних сил; фільтрація – рух води в пористому середовищі під дією гравітаційних сил.

Обидва ці процеси являють собою складні випадки руху води. Однак другий етап – фільтрація, внаслідок меншої кількості впливаючих факторів, вивчений більш детально, і для нього одержані досить точні розрахункові рекомендації.

За гідрогеологічними умовами залягання підземних вод територія України районується на 12 гідрогеологічних районів (рис. 4.76).

Міжпластові води добре захищені водотривними породами, які їх перекривають, від потрапляння забруднень з поверхні землі й звичайно бувають чистими в бактеріологічному відношенні, відносно прісні, їм властиві високі смакові якості.

У цілому водні ресурси України обмежені й нерівномірно розосереджені по її території.

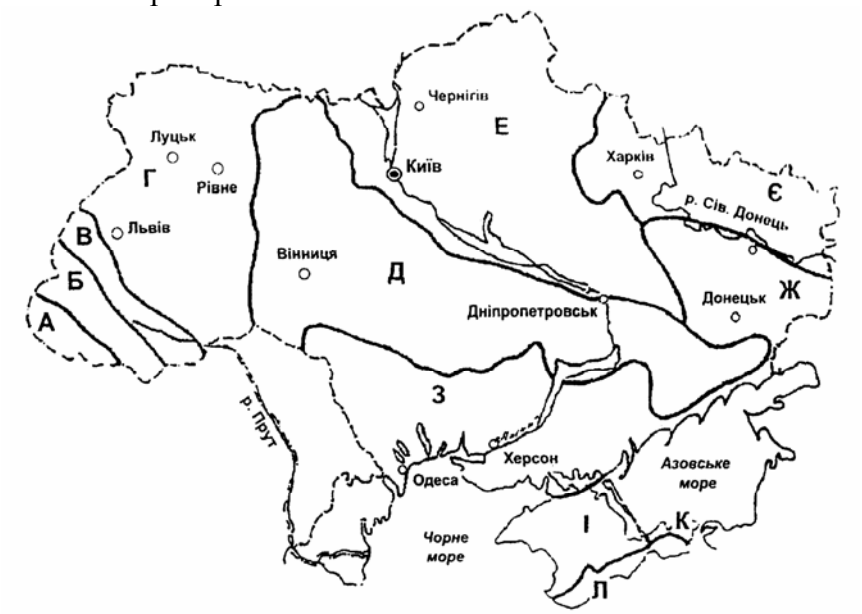


Рис. 4.76. Гідрогеологічні райони України:
А – Закарпатський артезіанський басейн; Б – Карпатська складчаста зона; В – Передкарпатський артезіанський басейн; Г – Волинсько-Подільський артезіанський басейн; Д – Український басейн тріщинних вод;Е – Дніпровський артезіанський басейн; Є – Донецько-Донський артезіанський басейн; Ж – Донецька гідрогеологічна складчаста зона; З – Причорноморський артезіанський басейн; І – Рівнинно-Кримський артезіанський басейн; К – Азово-Кубанський артезіанський басейн; Л – гідрологічна складчаста зона гірського Криму

4. Вимоги до якості води

У сільськогосподарському водопостачанні споживачам потрібна вода, яка відповідала б Державному стандарту України *«Вода питна»*.

Згідно з цим стандартом, вода характеризується органолептичними та хімічними і бактеріологічними властивостями, до яких стандартом встановлюються певні вимоги (допустимі норми). Розглянемо деякі з них.

1. Органолептичні властивості: *мутність* – це вміст у воді зважених речовин, допустиме значення – 1,5 мг/л. Визначається мутномірами або ваговим методом. *Прозорість* – здатність води пропускати

промені світла. Допустима норма – стандартний шрифт повинен читатися на відстані не менше як 30 см. *Цвітність* – це колір води. Виражається в градусах платино-кобальтової шкали, розділеної на 500°; допустима – 20°. До цього виду властивостей також належать смак і запах води та її температура.

2. Хімічні властивості: *загальна мінералізація* – це сумарна кількість мінеральних солей, розчинених у воді. Визначається за сухим залишком після випаровування при температурі 105…110°С; допустима – 1000 мг/л. *Жорсткість* обумовлена вмістом у воді солей кальцію й магнію. Допустима – 0,7 мг екв/л (1 мг екв/л відповідає вмісту в 1 л води 20,04 мг іонів кальцію, або 12,16 мг іонів магнію). *Водневий показник pH*; допустимий *pH* = 6,5…8,5.

3. Бактеріологічні властивості – це загальна кількість патогенних (хвороботворних) і сапрофітних бактерій, які містяться у воді. Допустимий загальний вміст – не більше 100 шт/л, кишкових паличок – 3 шт/л.

Стандартом регламентуються й інші властивості (показники) питної води.

Якщо вода із джерела не відповідає вимогам стандарту, то проводиться покращення її якості. Покращення якості води досягається шляхом її очищення та поліпшення хімічного складу.

5. Водозабірні споруди

Водозабірні споруди або водозабори призначені для забирання вод з джерела водопостачання.

В залежності від виду природного джерела, яке використовується для водопостачання, водозабірні споруди поділяють на дві групи: споруди для забирання поверхневих вод і споруди для забирання підземних вод.

Споруди для забирання поверхневих вод. Річкові водозабірні споруди улаштовують в місцях, де течія води повільна, глибина достатня для забирання води, а берег стійкий. Місце забирання води повинно бути погоджене з органами санітарного нагляду.

З урахуванням особливостей джерела і умов забирання води спорудження поділяють на берегові та руслові.

Водозаборні споруди берегового типу використовують при відносно крутих берегах і наявності глибин, які забезпечують умови забирання води. Їх розташовують на схилі берега з прийманням води безпосередньо з русла річки. Водоприймачі цих водозаборів бувають двох видів: роздільні (рис. 4.77, а) і суміщенні з насосною станцією I підйому (рис. 4.77, б).

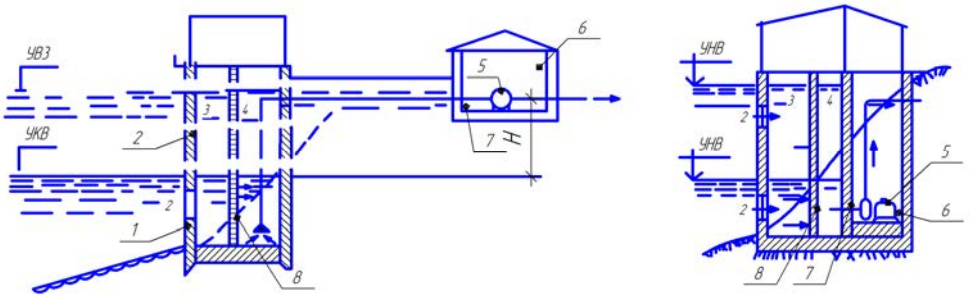


Рис. 4.77. Водоприймачі берегового типу:
а – роздільний; б – суміщений; 1 – водоприймальний колодязь; 2 – вхідні вікна; 3 – приймальна камера; 4 – всмоктувальна камера; 5 – насоси; 6 – машинний зал; 7 – всмоктувальні трубопроводи; 8 – сітки

Водоприймачі суміщеного типу складаються з водоприймального колодязя 1 з вхідними вікнами 2, які обладнані гратами для затримання відносно великих предметів. Водоприймальне відділення поділене стінкою на дві камери: приймальну 3 і всмоктуючу 4. У стінці є вікна 8 перекриті сітками з дрібними чарунками, призначеними для затримання планктону, водоростей, дрібного сміття тощо. Вода, яка пройшла через стінки, забирається насосами 5, що установлені в насосному залі 6, і через всмоктуючі труби 7 подається на очищення або до споживача.

Суміщення берегового сітчастого колодязя і насосної станції в одній споруді спрощує обслуговування водозабору, підвищує надійність його роботи і є практично необхідним у випадках використання насосів з малою висотою всмоктування.

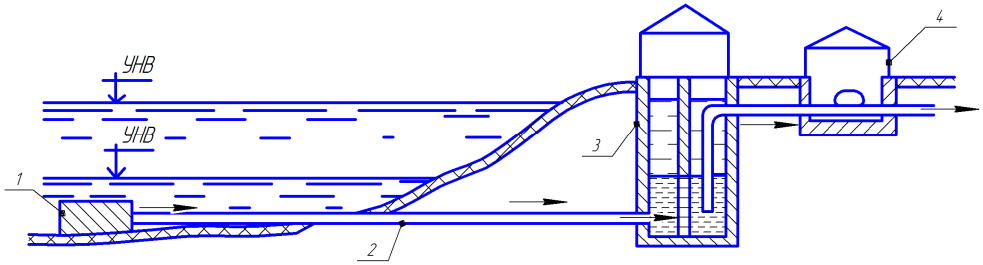


Рис. 4.78. Водоприймач руслового типу:
1 – оголовок; 2 – самопливна лінія; 3 – береговий колодязь; 4 – насосна станція.

Водозабірні споруди руслового типу (рис. 4.78) використовують при відносно положистих берегах, коли необхідні для збирання води глибини знаходяться на великій відстані від берега. Водозабір складається: з оголовка (водоприймального пристрою) 1, самопливних водоводів 2, берегового колодязя 3, і насосної станції 4.

Споруди для забирання підземних вод. Більша частина централізованих систем сільськогосподарського водопостачання використовує підземні води.

Склад споруд і схеми їх розташування при забиранні підземних вод залежать від глибини залягання водоносного пласта, його потужності, багатоводності, умов залягання, геологічної будови і гідравлічних характеристик, підземного потоку (його напору, швидкості і напряму руху). Крім того потрібно враховувати фізико-хімічні показники води, необхідність її підготовки і знезаражування, а також масштаби водоспоживання. Принципові схеми водозабірних вузлів показані на рисунку 4.79.

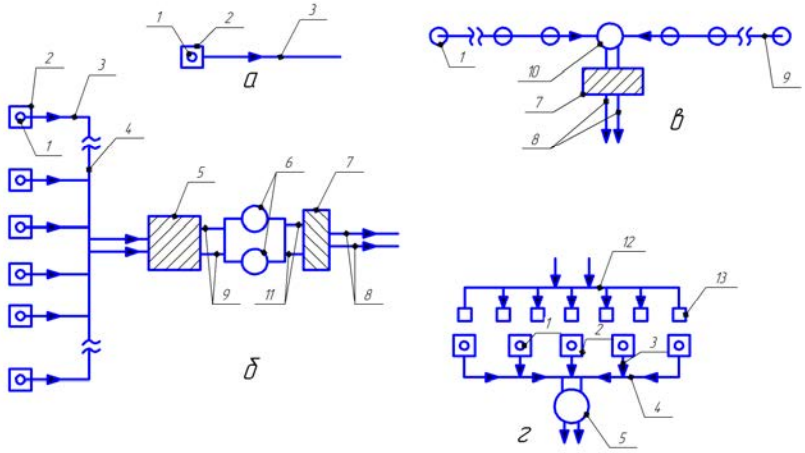


Рис. 4.79. Схеми водозабірних вузлів для приймання підземних вод: а – з насосною станцією 1-го підйому; б – з очисними спорудженнями і насосною станцією 2-го підйому; в – з водозбиральним резервуаром; г – зі штучними поповненням підземних вод; 1 – водоприймальна споруда; 2 – насосна станція (водопідйомний пристрій); 3 – напірні трубопроводи; 4 – збірний колектор; 5 – водопровідні очисні споруди; 6 – резервуари чистої води; 7 – насосна станція 2-го підйому; 8 – напірні водоводи; 9 – самопливні чи сифонні водоводи; 10 – водозбірний резервуар; 11 – всмоктуючі трубопроводи; 12 – напірний водовод сирої води; 13 – поглинаючі колодязі.

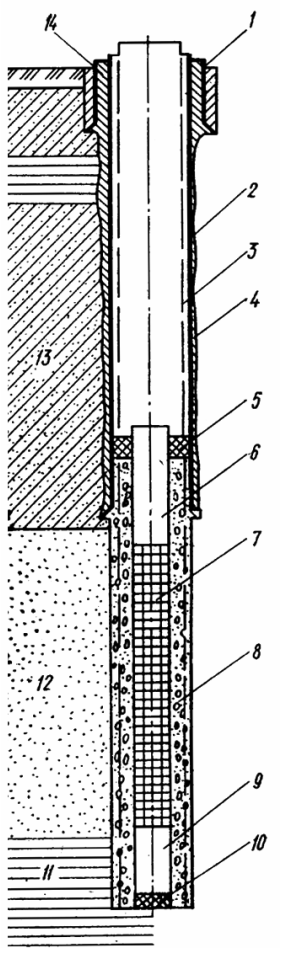
Самою загальною схемою водозабірного вузла по прийманню підземних вод є схема, що включає групу водоприймальних споруд, очисні споруди для їх обробки і знезаражування і подальшої подачі в мережу водоспоживачу (рис. 4.79, б).

У більшості випадків підземні води не потребують додаткового очищення і тому дуже часто використовують найпростішу схему з подачею води безпосередньо в мережу (рис. 4.79, а). Природно, в практиці зустрічаються і проміжні схеми, в яких виключені деякі споруди з загальної схеми, або додаються споруди до найпростішої схеми (рис. 4.79, в, г).

Для забирання підземних вод використовують три основних види споруд: вертикальні і горизонтальні водозабори і каптажі.

Водозабірні споруди можуть бути досконалими і недосконалими. Водозабори, які прорізають водоносний пласт повністю і досягають водонепроникного шару, називають досконалими. Ті водозабори, що прорізають водоносний пласт частково, називають недосконалими.

До вертикальних водозаборів відносяться бурові свердловини і шахтні колодязі.

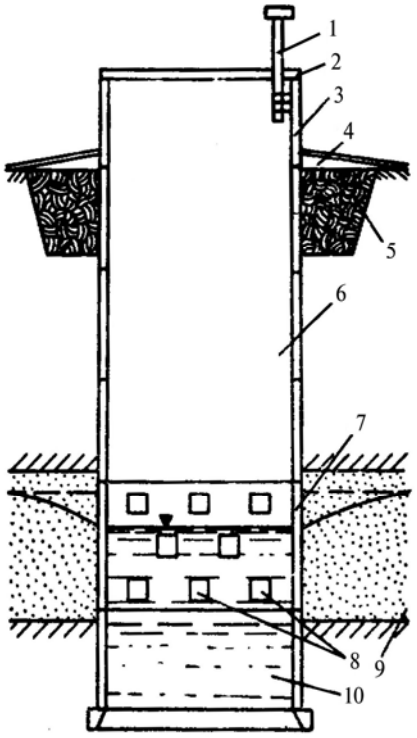


Свердловини (трубчасті колодязі) – найбільш розповсюджений тип водозабірних споруд підземних вод. Їх використовують при відносно глибокому заляганні (більше 30 метрів) водоносних пластів. Основними конструктивними частинами свердловини є кондуктор, технічна колона труб, експлуатаційна колона, захист цементний, водоприймальна частина (фільтр), відстійник, надфільтрова колона (рис. 4.80).

Кондуктор – першу колону обсадних труб – установлюють для запобігання попаданню в свердловину забруднених поверхневих вод. В межах водоносного горизонту розташовують фільтрувальну колону, яка складається з водоприймальної – фільтруючої – частини, над фільтрової труби і відстійника. Останній звичайно виконують з глухої труби довжиною 2...5 метрів.

Рис. 4.80. Схема трубчастого колодязя: 1 – кондуктор; 2 – експлуатаційна колона; 3 – технічна захисна колона; 4 – позатрубна цементація; 5 – сальник; 6 – надфільтрова колона; 7 – робоча частина фільтра (водоприймальна частина); 8 – піщано-гравійна обсипка фільтра; 9 – відстійник; 10 – дерев'яна пробка; 11 – водоупор; 12 – експлуатаційний водоносний пласт; 13 – слабопроникні породи; 14 – міжтрубна цементація

Експлуатаційний (внутрішній) діаметр колони труб, в якому встановлюють корпус насоса і кінцевий діаметр свердловини залежать від типу водопідйомного пристрою, конструкції водоприймальної частини свердловини, а також від необхідності її чищення.



Шахтні колодязі (рис. 4.81) використовують для забирання води з перших від поверхні водоносних пластів, що залягають на глибині до 30 метрів. На відміну від свердловин шахтні колодязі являють собою вертикальну виробку з великими розмірами поперечного перерізу (1...3 м). Вони призначені для водопостачання дрібних водоспоживачів – невеликих населених пунктів, польових станів, пасовищ, а також для індивідуального водопостачання.

Рис. 4.81. Схема шахтного колодязя: 1 – вентиляційна труба; 2 – кришка; 3 – оголовок; 4 – вимощення; 5 – глиняний замок; 6 – ствол; 7 – водоприймальна частина; 8 – водоприймальні вікна; 9 – водоносний пласт; 10 – зумпф (водозабірна частина)

Складається шахтний колодязь з водоприймальної частини 7, ствола 6 і надземної частини (оголовка) 3 (рис. 4.81). Часто для створення запасів води і її відстоювання він може мати водозбірну чи відстійну частину, вентиляційну трубу (1), яка виводиться над поверхнею землі не менше ніж на 2 метри.

Водоприймальною частиною шахтного колодязя в залежності від його конструкції, потужності водоносного пласта і властивостей водоносної породи може бути його дно, бокова поверхня або те і інше одночасно.

Будуються шахтні колодязі з цегли, каменю, дерева, бетону і залізобетону з таким розрахунком, щоб ствол і надземна частина були достатньо міцними і водонепроникними для запобігання потрапляння поверхневих вод і забруднених вод зони аерації.

Горизонтальні водозабори улаштовують в межах водоносного пласта на глибині 6...8 м. при незначній його потужності. Водозабір розташовують перпендикулярно до напряму руху ґрунтового потоку з похилом у бік збірного колодязя, звідкіля вода забирається насосами. (рис. 4.82).

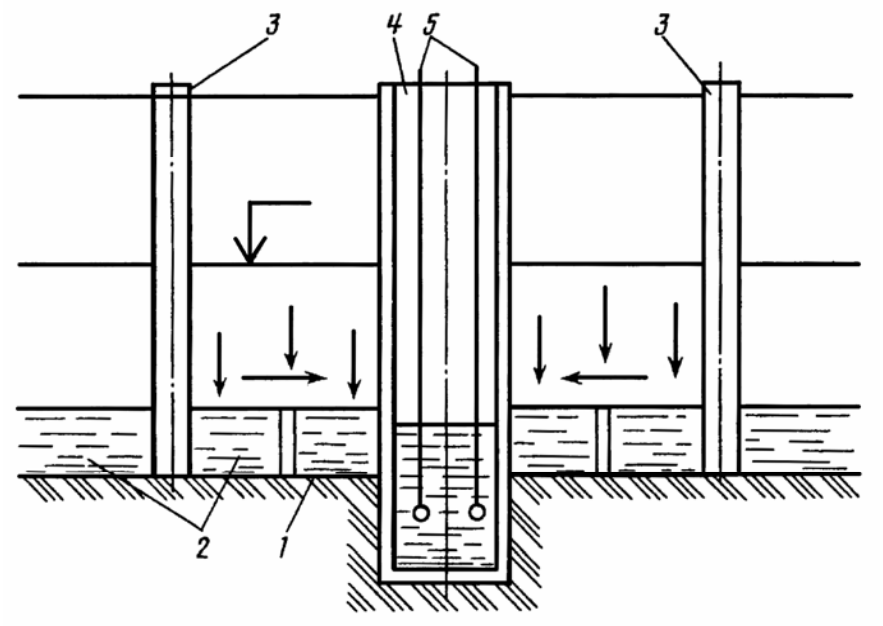
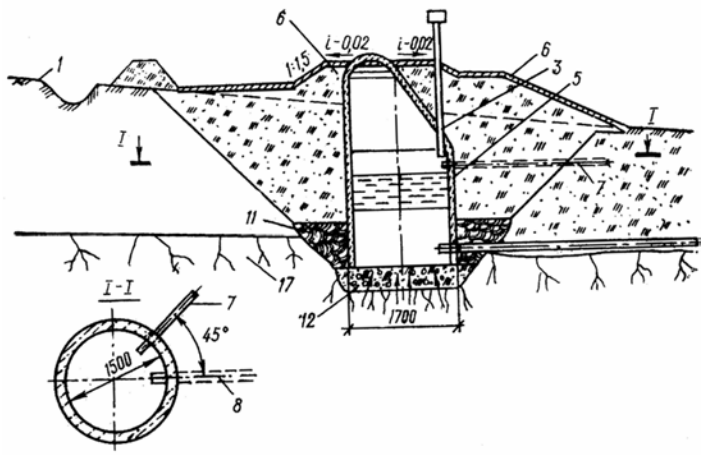


Рис. 4.82. Горизонтальний водозабір:
1 – водозабірна галерея; 2 – водоприймальні отвори; 3 – оглядовий колодязь;
4 – водозабірний колодязь; 5 – водопідйомні труби

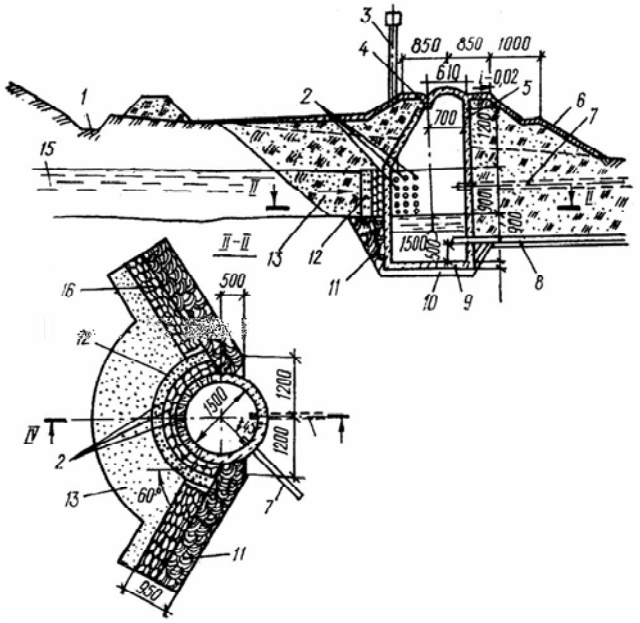
Для цих водозабірних споруд використовують перфоровані бетонні труби. Навколо труб роблять гравійно-піщану обсипку, яка запобігає попаданню у воду частинок ґрунту. При значній довжині водозаборів улаштовують оглядові колодязі, призначені для огляду, очищення і вентиляції трубопроводів.

Для приймання джерельних вод, що виходять на поверхню землі, будують спеціальні водозабірні споруди – каптажі. На відміну від інших водозаборів підземних вод каптажі створюють не тільки для приймання, але і для концентрованого збирання концентрованої води у вигляді джерел, які виходять на поверхню на значній території.

В залежності від типу джерела каптажні споруди (рис. 4.83) будують по двом принципово відмінним одна від одної схемам.



а)



б)

Рис. 4.83. Схеми каптажних споруд:
а – для приймання висхідних джерел; б – для приймання низхідних джерел; 1 – верхня водовідвідна канава; 2 – водоприймальні отвори каптажної камери; 3 – вентиляційна труба; 4 – глиняно-щебнева відмостка; 5 – залізобетонні кільця каптажної камери; 6 – дерен; 7 – переливна труба; 8 – витратна труба; 9 – залізобетонна плита днища каптажної камери; 10 – підстеляючий шар гравію; 11 – глиняний замок; 12 – гравійний зворотний фільтр; 13 – піщана засипка; 14 – водотривкий шар; 15 – водоносний шар; 16 – скеляста порода з вихідними джерелами

Споруди по каптажу висхідних джерел принципово однакові. Вони являють собою водозбірну камеру, призначену для приймання джерельної води і створення її об'єму, що потрібний для нормальної роботи водопідйомного обладнання (рис. 4.83, а). Вода в таких каптажах приймається тільки через дно, яке виконано у вигляді зворотного фільтра.

Каптажні споруди низхідних джерел – це водозбірні камери з боковою водоприймальною поверхнею, яка також виконується у вигляді зворотного фільтра (рис. 4.83, б).

Питання для самоконтролю до лекції і№10.

1. Що таке водні ресурси, як вони класифікуються
2. Охарактеризуйте водні ресурси України.
3. Що таке середньодобові норми водоспоживання?
4. Чим обумовлена нерівномірність споживання води?
5. Які вимоги пред'являються до якості води?
6. Що таке сільськогосподарське водопостачання?
7. Які джерела води використовуються для улаштування систем сільськогосподарського водопостачання?
8. Зобразіть схеми систем водопостачання залежно від джерела води
9. З яких елементів складаються системи водопостачання.

4.12. ЛЕКЦІЯ № 11. Об'ємні гідравлічні машини

Змістовий модуль 3
«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Об'ємні гідравлічні машини.

Мета. Ознайомитися з класифікацією і основними параметрами об'ємних гідравлічних машин. Ознайомитися з будовою і принципом дії об'ємних гідравлічних машин.

План лекції

1. Класифікація і основні параметри об'ємних гідравлічних машин.
2. Поршневі насоси, силові і моментні гідроциліндри.
3. Шестеренчасті насоси і гідромотори.
4. Пластинчасті насоси і гідромотори.
5. Радіально-поршневі гідромашини.
6. Роторні аксіально-поршневі гідромашини.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 207-221, 226-234, 242-250).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 170-182, 185-192, 199-205).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 177-202).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 141-166).
5. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 174-190).

Матеріал лекції

1. Класифікація і основні параметри об'ємних гідравлічних машин

Об'ємними називаються гідромашини (ГМ), в яких рідина переміщується шляхом періодичної зміни об'єму камери, яку вона займає, що періодично з'єднується з місцями входу і виходу рідини. Більшість об'ємних ГМ є обертовими й можуть працювати як у режимі насоса (Н), так і в режимі гідродвигуна (гідромотора) (М).

Об'ємний насос – це ГМ, призначена для перетворення механічної енергії руху на гідравлічну енергію потоку робочої рідини.

Об'ємний двигун – це ГМ, призначена для перетворення енергії потоку робочої рідини на енергію руху вихідної ланки.

Переміщення рідини в об'ємному насосі здійснюється шляхом витиснення її з робочої камери робочим органом. В якості робочих органів можуть бути поршні, плунжери, шестерні, гвинти, пластини і т. ін. За характером руху об'ємні гідромашини, в яких робочим органом є поршні, поділяються на зворотно-поступальні або обертально-поступальні.

Класифікація ГМ з урахуванням принципу витиснення рідини з робочих камер наведена на рисунку 4.84.

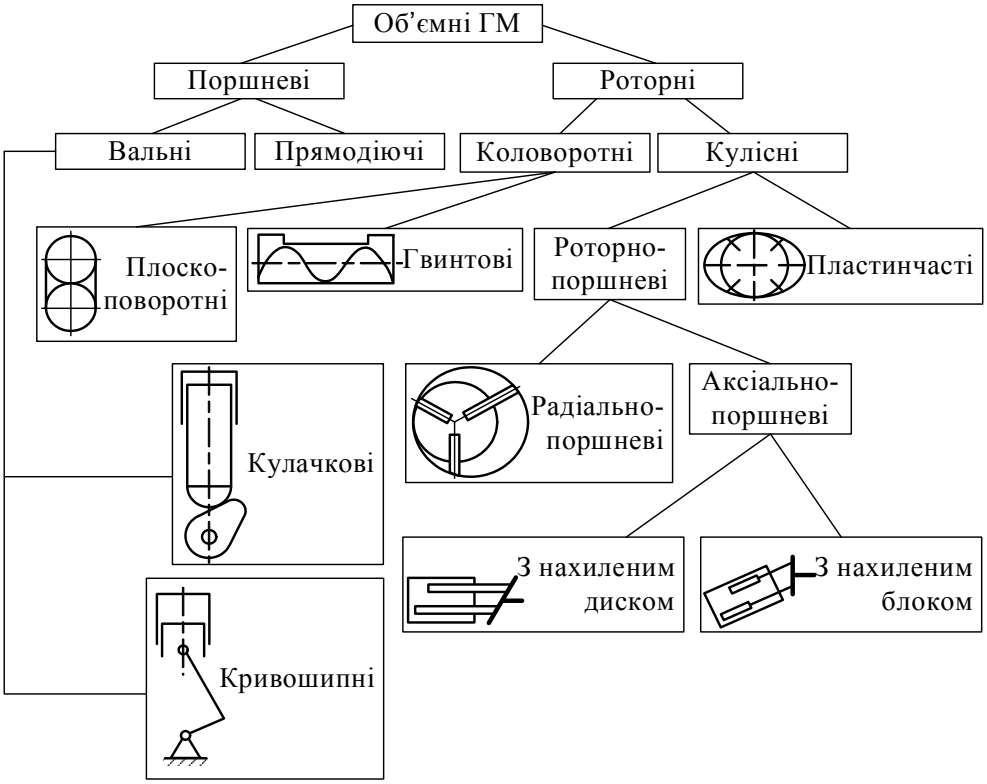


Рис. 4.84. Класифікація ГМ обертової дії

Основні відмінності об'ємних насосів від розглянутих раніше лопатевих полягають у наступному:

- подача об'ємного насоса здійснюється циклічно, а не рівномірним потоком, як у лопатевих насосах. Причому за кожен цикл робочого процесу подається порція, рівна робочому об'єму насоса;
- напірний трубопровід об'ємних насосів постійно відділений від усмоктувального відповідними пристроями;
- об'ємний насос має здатність самоусмоктування, тобто здатний створювати вакуум в усмоктувальній трубі;
- ідеальна подача не залежить від тиску, який створює насос;
- тиск, створюваний насосом, не залежить від швидкості руху робочого органа.

Основні параметри об'ємних гідравлічних машин. Середня подача за секунду об'ємних насосів (рис. 4.85, а) визначається за формулою:

$$Q = \eta_{\text{о н}} \frac{q_{\text{тн}} n_{\text{н}}}{60}, \tag{4.263}$$

де $q_{\text{т}}$ – робочий об'єм насоса, тобто об'єм рідини, що витісняється робочим органом за один цикл (поворот вала кривошипа в поршневих і ротора в роторних насосах); $n_{\text{н}}$ – число робочих циклів у хвилину; $\eta_{\text{о н}}$ – об'ємний ККД насоса.

Об'ємний ККД насоса дорівнює відношенню дійсної середньої подачі до ідеальної (теоретичної) середньої подачі:

$$\eta_{\text{о н}} = \frac{Q_{\text{д}}}{Q_{\text{т}}}, \text{ де } Q_{\text{т}} = Q_{\text{д}} + \Delta Q, \tag{4.264}$$

де ΔQ – об'ємні втрати в насосі (Н).

Для гідромотора (рис. 4.85, б) $Q_{\text{т}} = Q_{\text{д}} - \Delta Q$, тоді $\eta_{\text{ом}} = q_{\text{т}} n_{\text{м}} / Q_{\text{д}}$.

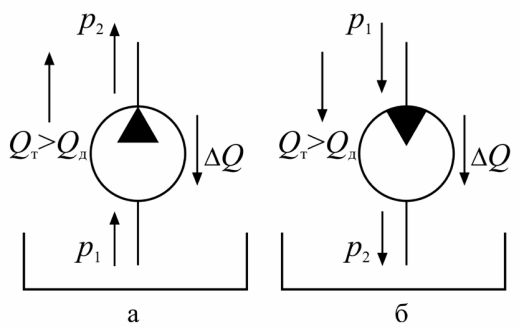


Рис. 4.85. Схема об'ємних витрат у ГМ: а – насос; б – гідромотор

В об'ємних насосах збільшенням кінетичної енергії звичайно зневажають, тому тиск насоса:

$$p_{\text{н}} = p_2 - p_1, \tag{4.265}$$

де p_2 і p_1 – відповідно тиск на виході і вході в насос.

Напір насоса:

$$H = \frac{p_{\text{н}}}{\rho g}. \tag{4.266}$$

Корисна потужність насоса:

$$N_{\text{к}} = Q_{\text{дн}} p_{\text{н}}. \tag{4.267}$$

Потужність насоса (споживана):

$$N = M_{\text{кр н}} \omega_{\text{н}}, \tag{4.268}$$

де $M_{\text{кр н}}$ – момент на валу насоса; $\omega_{\text{н}}$ – кутова швидкість вала насоса.

ККД насоса – це відношення корисної потужності до потужності, споживаної насосом:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{N_{\text{к}}}{N} = \frac{Q_{\text{дн}} p_{\text{н}}}{M_{\text{кр н}} \omega_{\text{н}}}. \qquad (4.269)$$

В об'ємних насосах, як і в лопатевих, розрізняють гідравлічний $\eta_{\text{г}}$, об'ємний $\eta_{\text{о}}$ і механічний $\eta_{\text{мех}}$ ККД.

Гідравлічний ККД враховує втрати енергії на подолання гідравлічних опорів у насосі:

$$\eta_{\text{г}} = \frac{p_2 - p_1}{p_{\text{ін}}} = \frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{ін}}}, \qquad (4.270)$$

де $p_{\text{ін}}$ – індикаторний тиск, створюваний у робочій камері насоса і відповідний теоретичному напору.

Об'ємний ККД враховує втрати, пов'язані з витоками рідини через зазори.

Механічний ККД враховує втрати на тертя в механізмах насоса:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N - \Delta N_{\text{мех}}}{N} = \frac{N_{\text{ін}}}{N}, \qquad (4.271)$$

де $N_{\text{ін}}$ – індикаторна потужність, що надається рідині в робочій камері і відповідає гідравлічній потужності в лопатевих насосах, $N_{\text{ін}} = Q_{\text{тн}} p_{\text{ін}}$.

Якщо залежність (3.13) помножити й розділити на $N_{\text{ін}}$, одержимо:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{дн}} p_{\text{н}}}{N} \frac{N_{\text{ін}}}{Q_{\text{тн}} p_{\text{н}}} = \frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{ін}}} \frac{Q_{\text{дн}}}{Q_{\text{тн}}} \frac{N_{\text{ін}}}{N} = \eta_{\text{г н}} \eta_{\text{о н}} \eta_{\text{мех н}}. \qquad (4.272)$$

Тобто ККД насоса (загальний) дорівнює добутку часток ККД – гідравлічного, об'ємного й механічного. Така ж залежність зберігається і для гідродвигуна.

Об'ємні гідродвигуни можуть класифікуватися тими ж показниками, що й об'ємні насоси, але з урахуванням властивостей їхньої обертовості, під якими розуміється придатність гідромашини для роботи як у режимі насоса, так і в режимі гідромотора.

Об'ємна ГМ, призначена для роботи як у режимі насоса, так і в режимі гідромотора, називається насосом-мотором. Будь-яка об'ємна ГМ (насос чи гідромотор) працює на принципі витиснення рідини. Її робочий орган захоплює в прийомні порожнині машини деякий об'єм рідини, що потім переміщується з робочим органом машини до нагнітальної порожнини, де рідина витісняється під деяким тиском з робочого органа в цю порожнину.

При обертанні вала насоса об'єм камер останнього змінюється, причому при робочому циклі цей об'єм зменшується, і рідина, що його заповнює, витискається в нагнітальну порожнину.

Для гідродвигуна об'єм камер (камери) при робочому ході збільшується, і рідина, що надійшла до нього із зовнішнього джерела, заповнює ці камери.

Основні параметри гідродвигуна – робочий об'єм $q_т$, витрата Q, перепад тиску Δp, крутильний момент $M_{кр}$, потужність N, а також об'ємний $\eta_о$ і механічний $\eta_{мех}$ ККД.

Робочий об'єм для гідромоторів поршневого типу буде дорівнювати:

$$q_т = FSiZ\,, \tag{4.273}$$

де F – площа поршня, м^2; S – хід поршня, м; i – число поршнів; Z – число циклів за один оберт.

Для гідроциліндрів $q_т = FS$, де S – хід поршня гідроциліндра; для гідромоторів зворотно-обертального типу $q_т = FS$, де S – хід пластини, обмірюваний по дузі, описаній її центром ваги.

Так само, як і роторний насос, гідромотор характеризується теоретичною витратою рідини за один оберт ротора:

$$Q_т = q_т n_м\,. \tag{4.274}$$

Перепад тиску на гідромоторі визначається різницею між тисками на вході й на виході:

$$\Delta p = p_1 - p_2\,. \tag{4.275}$$

Корисна потужність гідромотора дорівнює добутку крутильного моменту на його валу на кутову швидкість вала:

$$N_к = M_{кр}\omega\,. \tag{4.276}$$

Потужність, споживана гідромотором,

$$N = Q\Delta p\,. \tag{4.277}$$

Відношення $N_к/N$ визначає загальний ККД гідромотора, що дорівнює добутку трьох часток ККД, тобто:

$$\eta_м = N_к / N = \eta_{г\,м}\eta_{о\,м}\eta_{мех\,м}\,. \tag{6.278}$$

Переписавши вираз (4.278) у вигляді:

$$M_{кр}\omega = \Delta pQ\eta_м \tag{4.279}$$

і замінивши $\omega = 2\pi n$, одержимо вираз для крутильного моменту на валу гідромотора:

$$M_{кр} = 0{,}159\frac{\Delta pQ\eta_м}{n}\,. \tag{4.280}$$

У системі *СІ*:

$$N = Q\Delta p\,[\text{Вт}];\ M_{кр} = \frac{\Delta pQ}{\omega}\,[\text{Нм}],$$

де ω – кутова швидкість, с$^{-1}$; Q – витрата, м^3/с; Δp – перепад тиску, МПа.

2. Поршневі насоси, силові і моментні гідроциліндри

Поршневі гідромашини класифікують за такими ознаками: кратність дії, конструкція витискувача, кількість робочих циліндрів.

За кратністю дії машини поділяють на машини однократної (простої) і багатократної дії; за конструкцією витискувача – на поршневі, плунжерні, диференціальні, мембранні та інші; по кількості робочих циліндрів – на одно – і багатоциліндрові.

Поршневі насоси. Основними елементами поршневих насосів є робочий циліндр, поршень (плунжер) і розподільний пристрій, за допомогою якого циліндр навперемінно сполучається то з лінією усмоктування, то з лінією нагнітання.

На рисунку. 4.86 зображена принципова схема плунжерного насоса простої дії, на рисунку 4.87 – схема поршневого насоса подвійної дії, а на рисунку 4.88 – схема диференціального насоса.

У насоса простої дії при переміщенні поршня (плунжера) 2 вправо збільшується вільний об'єм циліндра 1 в результаті чого тиск в ньому падає і відкривається усмоктуючий клапан 3. Рідина з усмоктуючої лінії надходить до циліндра. При русі поршня (плунжера) вліво об'єм циліндра зменшується, тиск рідини підвищується, усмоктуючий клапан закривається, а напірний клапан 4 відкривається і рідина витискується в нагнітальну лінію. Таким чином, насос простої дії за один оберт кривошипного вала один раз усмоктує і один раз подає рідину в мережу. Робочий об'єм насоса простої дії визначається об'ємом циліндра між крайніми положеннями поршня (плунжера) в циліндрі:

$$q_н = \frac{\pi D^2}{4} h \qquad (4.281)$$

Тут D – діаметр поршня, $h = 2r$ – хід поршня; r – радіус кривошипа.

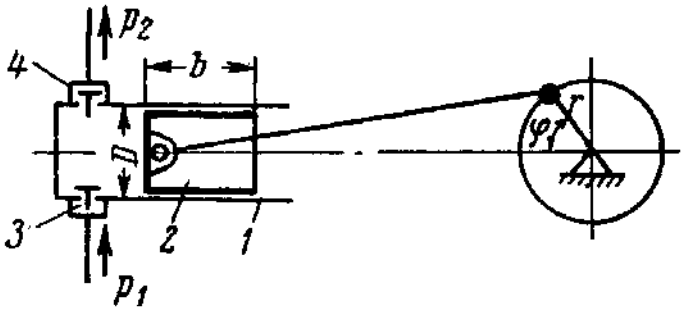


Рис. 4.86. Плунжерний насос однократної дії: 1 – циліндр; 2 – плунжер; 3 – усмоктувальний клапан; 4 – напірний клапан

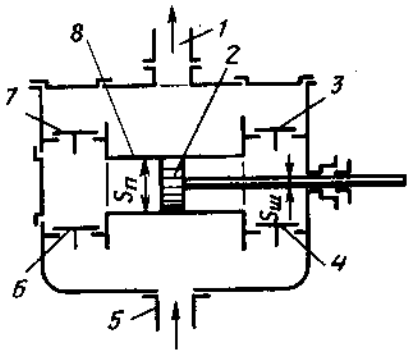


Рис. 4.87. Схема насоса подвійної дії: 1 і 5 – напірний і усмоктуючий патрубки; 2 – поршень; 3 і 7 – напірні клапани; 4 і 6 – усмоктуючі клапани; 8 – циліндр

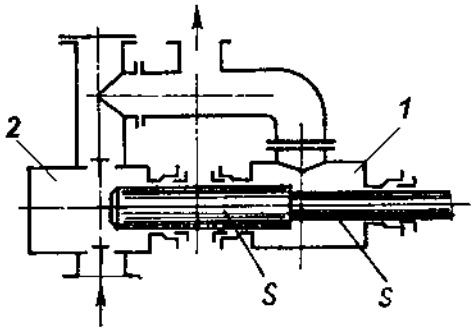


Рис. 4.88. Схема диференційного насосу: 1 – плунжерна камера; 2 – основна камера

Середня теоретична подача насоса визначається формулою:

$$Q_{н.т.} = q_н \cdot n = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \cdot n; \qquad (4.282)$$

в якій n – частота обертання кривошипа, або число подвійних ходів штока поршня в одиницю часу.

В насосах подвійної дії при ході поршня вправо відкриваються всмоктуючий 6 і нагнітальний 3 клапани, при цьому інші два клапани 4 і 7 закриті. Через клапан 6 рідина всмоктується, а через клапан 3 подається в нагнітальний трубопровід в об'ємі $Q_1 = \frac{\pi}{4}\left(2D^2 - d^2\right) \cdot h$. При ході поршня вліво через клапан 4 відбувається всмоктування рідини, а через клапан 7 – нагнітання. За цей хід в нагнітальну лінію поступає рідина в об'ємі $Q_1 = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot h$.

Середня теоретична подача насоса подвійної дії складає:

$$Q_{н.т.} = \frac{\pi}{4}\left(2D^2 - d^2\right) \cdot h \cdot n \qquad (4.283)$$

В цій формулі D – діаметр поршня, d – діаметр штока; h – хід поршня; n – число подвійних ходів штока в одиницю часу.

Права частина 1 диференціального насоса – це циліндр плунжерного насоса одинарної дії, а ліва – особлива камера 2, яка з'єднана з напірним трубопроводом. Середня теоретична подача диференціального насосу визначається за формулою (4.283).

Характерними для поршневих насосів величинами є відношення ходу поршня до його діаметра $\frac{h}{D}$ і середня швидкість поршня $\upsilon_{п.ср.} = \frac{h \cdot n}{30}$. Приймають $\frac{h}{D} = 0,8...2,0$; $\upsilon_{п.ср.} = 0,5...0,9\frac{м}{с}$.

При розрахунках дійсних параметрів роботи поршневих насосів значення частинних к.к.д. вибирають в таких межах $\eta_{н.о.} = 0,7...0,95$; $\eta_{н.т.} = 0,8...0,94$; $\eta_{н.м} = 0,9...0,95$.

Основним недоліком поршневих насосів є нерівномірність подачі. Так, наприклад, для одноциліндрового насоса однократної дії коефіцієнт нерівномірності складає 3,14%. Для зменшення пульсацій подачі використовують багатоциліндрові насоси з непарним числом робочих циліндрів.

Силові гідроциліндри. Силові гідроциліндри належать до об'ємних гідродвигунів і призначені для надання поступального і зворотно-поступального руху вихідній ланці (штоку). Внаслідок своєї конструкційної простоти і експлуатаційних переваг вони є найпоширенішими гідродвигунами в сучасних машинах з об'ємним гідроприводом. Конструктивно гідроциліндри поділяють на поршневі, плунжерні і телескопічні, а за принципом дії – на одно і двосторонньої дії (рис. 4.89).

Гідроциліндр односторонньої дії має шток з поршнем, або плунжер, які переміщуються силою тиску, рідини тільки в одну сторону. Зворотний хід штока чи плунжера здійснюється під силою зовнішньої пружини (рис 4.89, а, б, д, е). Гідроциліндр двосторонньої дії має поршень з одно або двостороннім штоком (рис. 4.89, в, г). Робоча рідина підводиться навперемінно в обидві робочі порожнини, і рух штока в прямому і зворотному напрямах здійснюються тиском рідини.

Порожнину гідроциліндра, в якій переміщується шток, називають штоковою, а порожнину , де шток відсутній – поршневою.

В залежності від того, яка порожнина гідроциліндра з'єднана в даний момент з напірною гідролінією, а яка з лінією зливу рідини, їх відповідно поділяють на робочу і зливну.

Без урахування втрат, зусилля, яке розвиває шток гідроциліндра визначають за співвідношенням:

$$F_ш = p_p \cdot S_e, \tag{4.284}$$

в якому p_p – тиск рідини в порожнині; S_e – ефективна площа поршня.

Теоретична швидкість переміщення поршня визначається за формулою:

$$\upsilon_{п.т.} = \frac{Q}{S_e} \tag{4.285}$$

де Q – витрата робочої рідини, що надходить в гідроциліндр.

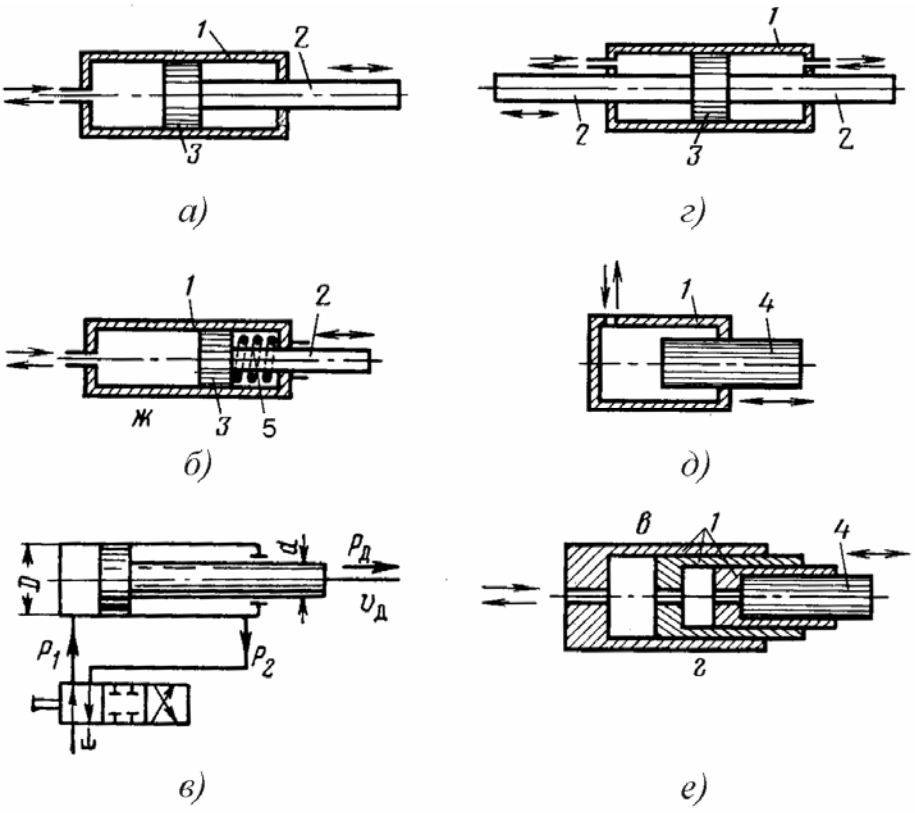


Рис. 4.89. Схеми гідроциліндрів: а, б – гідроциліндри односторонньої дії з одностороннім штоком; в – гідроциліндр двосторонньої дії з одностороннім штоком; г – гідроциліндр двосторонньої дії з двостороннім штоком; д – плунжерний; е – телескопічний гідроциліндр односторонньої дії

Ефективною площею поршня називають площу торця поршня, на яку діє тиск рідини. Так, з боку безштокової /поршневої / порожнини:

$$S_e = S_n = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ (}D\text{ – діаметр поршня)}, \tag{4.286}$$

з боку штокової:

$$S_e = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d_{шт}^2\right), \text{ (}d_{\text{шт}}\text{ – діаметр штока)}, \tag{4.287}$$

Якщо врахувати об'ємні втрати, то дійсна швидкість переміщення поршня:

$$\upsilon_n = \frac{Q \cdot \eta_o}{S_e}. \tag{4.288}$$

Тоді витрата рідини робочою порожниною гідро циліндра:

$$Q = \frac{\upsilon_n \cdot S_{e.p}}{\eta_o}, \tag{4.289}$$

а витрата рідини, що витікає зі зливної порожнини:

$$Q_{зл} = \upsilon_n \cdot S_{e.зл} \tag{4.290}$$

Для точного визначення величини зусилля на штоці гідроциліндра з урахуванням тертя, опору зливної лінії та інших протидіючих сил потрібно виходити з рівняння рівномірного прямолінійного руху поршня. В такому випадку дійсне зусилля, що розвиває шток гідроциліндра, визначається рівнянням:

$$F_{шт} = p_p \cdot S_e \cdot \eta_м - \Sigma F_{пр}, \tag{4.291}$$

де $\eta_м$ – механічний ККД гідроцилндра, $\Sigma F_{пр}$ – сумарна сила протидії з боку зливної порожнини.

В частинному випадку, коли враховується тертя і опір рідини в зливній порожнині, будемо мати:

$$F_{шт} = p_p \cdot S_e \cdot \eta_м - p_{зл} \cdot S_{e.зл} \tag{4.292}$$

В цій формулі $p_{зл}$ – тиск рідини в зливній порожнині; $S_{езл}$ – ефективна площа поршня з боку зливної порожнини.

Слід відзначити, що ККД гідроциліндрів визначається в основному механічними втратами енергії на тертя, оскільки $\eta_г \approx 1$; $\eta_o \approx 0,98...0,99$.

Моментні гідроциліндри або поворотні гідро двигуни. Моментні гідроциліндри або поворотні гідродвигуни (рис. 4.90) надають своїй вихідній ланці (валу) зворотно-поворотний рух необмежений кут.

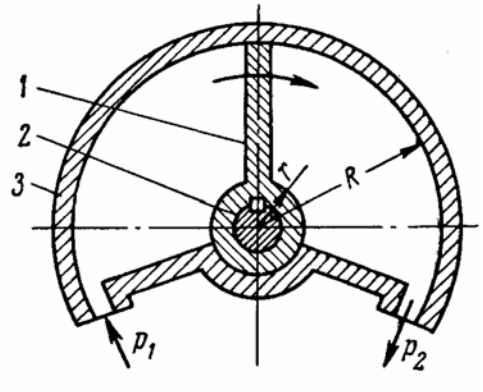


Рис. 4.90. Момент ний гідро циліндр:
1 – поворотна пластина;
2 – вихідний вал; 3 – циліндр;
p_1 – тиск в робочому положенні;
p_2 – тиск у зливній порожнині

В сучасній техніці поширені, в основному, пластинчасті поворотні гідродвигуни. Основними елементами пластинчастого поворотного гідро двигуна є корпус (циліндр) 3, в якому розміщена поворотна пластина 1, жорстко з'єднана з вихідним валом 2. Пластина ділить циліндр на дві порожнини, які по черзі з'єднуються з лінією високого тиску. Завдяки перепаду тисків в порожнинах циліндра пластина повертається разом з вихідним валом.

Витрату масла пластинчастим гідродвигуном з пластиною прямо кутної форми визначають за формулою:

$$Q = \frac{(R^2 - r^2) \cdot b \cdot \omega_д}{2 \cdot \eta_{д.о}}; \qquad (4.293)$$

де R – зовнішній радіус пластини, м; r – радіус втулки пластини, м; b – ширина пластини, *м;* $\omega_д$ – кутова швидкість вихідного вала, рад/с.

Корисний крутний момент на вихідному валу:

$$M_д = \frac{(p_р - p_{зв})(R^2 - r^2) \cdot b \cdot \eta_м}{2}. \qquad (4.294)$$

Тут $p_р$ – тиск масла в робочій порожнині; $p_{зв}$ – тиск масла у зливній порожнині.

Крутний момент, який можуть розвивати моментні гідро циліндри досягає 2000...3000 Н·м.

При розрахунках моментних гідроциліндрів можна приймати $\eta_{д.о} = 0,9...0,95$, $\eta_{д.г.} \approx 1,0$; $\eta_{д.м} \approx 0,8$.

Шестеренчасті насоси і гідромотори. Характерною особливістю шестеренчастих гідромашин є простота їх конструкції, незначні габарити і вага. Частіше вони використовуються як насоси і менш як гідромотори.

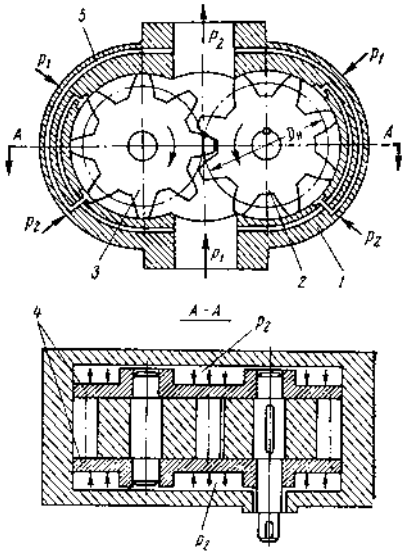


Рис. 4.91. Шестиренчата гідромашина: 1 – корпус; 2 – ведуча шестерня; 3 – ведена шестерня; 4 – торцеві диски; 5 – розвантажувальні канали

Найбільш поширений насос (рис. 4.91) із зовнішнім зачепленням складається із корпуса 1, де з невеликими торцевими і радіальними зазорами знаходяться зачеплені дві однакові шестерні, з яких 2 – ведуча і 3 – ведена. При обертанні шестерень, коли зуби виходять із западин, відбувається всмоктування рідини. Далі рідина, яка заповнила западини, переноситься по зовнішній дузі в напрямі обертання шестерень. Коли зуби входять в западини, об'єм камери зменшується і рідина витискується в нагнітальну лінію.

Процес подачі рідини шестеренчастим насосом складний порівняно з насосом інших конструкцій. Тому розрахункові формули для визначення подачі насоса або витрати рідини гідромотором дають похибку від 5 до 30 %.

Середнє значення подачі насоса (витрата рідини гідромотором) підраховують за формулою:

$$Q_{т.ср.} = 2\pi \cdot n \cdot b \cdot m^2 \cdot (z+1), \tag{4.295}$$

в якій n – частота обертання шестерні, b – ширина шестерні, m – модуль зачеплення, z – число зубів ведучої шестерні.

Ця формула для поширених конструкцій з кількістю зубів 8...15 і з точністю 2...3% характеризує середню розрахункову подачу (витрату).

Розрахункове значення крутного моменту знаходять за формулою:

$$M_т = \Delta p b m^2 (z+1), \tag{4.296}$$

де $\Delta p = p_{вх} - p_{вих}$ – перепад тиску, що спрацьовується в гідромоторі.

Розрахункова потужність насоса чи гідромотора:

$$N_{т} = 2\pi \cdot \Delta p \cdot n \cdot b \cdot m^2 \cdot (z+1) = \Delta p \cdot Q_{т.ср} \qquad (4.297)$$

У шестеренчастій гідромашині головну частину потужності, що втрачається, складають втрати на тертя. В середньому приймають $\eta_м = 0,7...0,85$.

4. Пластинчасті насоси і гідромотори

Пластинчасті гідромашини – це роторні гідромашини з рухомими елементами у вигляді ротора, який здійснює обертальний рух, і пластин (шиберів), що обертаються разом з ротором і в той же час здійснюють зворотно-поступальний рух в пазах ротора.

Пластинчасті гідромашини бувають однократної і багатократної дії, одноступінчасті і багатоступінчасті.

Гідромашина (насос або гідромотор) однократної дії (рис. 4.92) складається з ротора 1, вісь обертання якого, зміщена відносно осі статора 2 на величину ексцентриситету е. В пазах ротора встановлені пластини 3, які притискуються до внутрішньої поверхні статора або тиском рідини, або пружинами.

Для відокремлення усмоктуючої порожнини 5 від нагнітальної 6 в статорі передбачені ущільнювальні виступи I-II і III-IV. Ущільнення ротора з торців забезпечують диски 4.

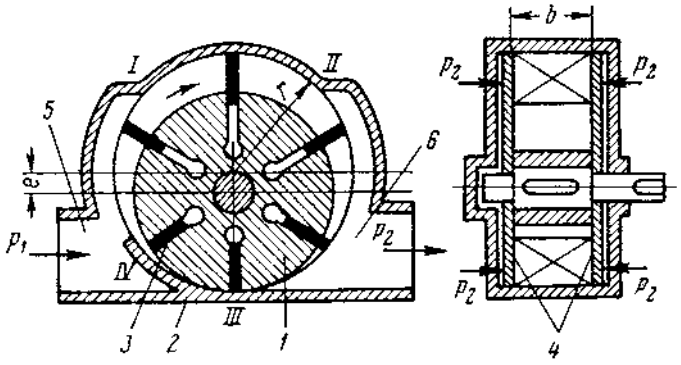


Рис. 4.92. Пластинчаста гідромашина:
1 – ротор; 2 – статор; 3 – пластина (шибер); 4 –диски ущільнювальні;
5 – вхідна порожнина; 6 – вихідна порожнина

Кожна камера за повний оберт бере участь в нагнітанні рідини один раз, і тому такий насос (гідромотор) називають насосом однократної (простої) дії.

Середня теоретична подача (витрата) гідромашини буде:

$$Q_{т} = 2ben(\pi D - z \cdot \delta) \qquad (4.298)$$

де b – ширина ротора; e – ексцентриситет; n – частота обертання ротора; D – діаметр розточки корпуса статора $(D = 2r)$; z – число пластин; δ – товщина пластини.

В практиці широко розповсюджені нерегульовані пластинчасті насоси двохкратної дії, перевагами яких є зрівноваженість радіальних сил тиску рідини на пластинчастий ротор, а також більший робочий об'єм і К.К.Д. Фактично насос двохкратної дії складається з двох насосів простої дії, які розміщені в одному корпусі.

Подача насоса двохкратної дії з радіальним розташуванням пластин визначається за формулою:

$$Q_{т} = 2bn(\pi(r^2_1 - r^2_2) - (r_1 - r_2)\delta z), \tag{4.299}$$

в якій, r_1 і r_2 – більший і менший радіуси статора.

Пластинчасті гідромашини використовують також як гідромотори, для чого в насосах потрібно передбачити механізм притиску пластин до статора в момент пуску мотора.

Середній крутний момент на валу гідромотора простої (однократної) дії знаходять з формули:

$$M_{т} = \frac{\Delta p Q_{т}}{2\pi n} = \frac{\Delta p}{\pi} be(\pi D - z\delta), \tag{4.300}$$

де Δp – перепад тиску, який спрацьовується в гідромоторі, Q_T – теоретична витрата гідромотора, n – частота обертання; M_T – теоретичний крутний момент.

Відповідно, теоретичний (розрахунковий) крутний момент гідромотора двохкратної дії буде дорівнювати:

$$M_{т} = \frac{\Delta pq}{2\pi} = \frac{\Delta pb}{\pi}\left((r^2_1 - r^2_2) - (r_1 - r_2)z\delta\right). \tag{4.301}$$

5. Радіально-поршневі гідромашини

Роторна радіально- поршнева гідромашина являє собою гідромашину (насос або гідромотор), в якій осі поршнів чи плунжерів перпендикулярні до осі обертання ротора або складають з нею кути більші за 45°.

На рисунку 4.93 зображена принципова схема радіально-поршневої гідромашини. Основними конструктивними елементами таких гідромашин є циліндровий блок 2, поршні 1, розподільний пристрій 3, напрямні обойми 4, канали 5 і 6, а також пристрій, за допомогою якого обойма 4 переміщується відносно осі блока 2 на величину ексцентриситету e. Роль розподільного пристрою виконує порожниста вісь з ущільнювальною перемичкою, на якій розміщений циліндричний блок, що обертається. При обертанні блока циліндри своїми каналами по

черзі з'єднуються з каналами всмоктуваннями 5 і нагнітання 6, розташованими в порожнистій осі. Якщо $e \neq 0$, то поршні обкочуються по обоймі і здійснюють в циліндрах зворотно – поступальний рух. При роботі гідромашини в режимі насоса руху поршнів від центра обертання до периферії відповідає процес всмоктування рідини, а рух поршнів до центра – процесу нагнітання; При роботі гідромашини в режимі мотора робочий хід супроводжується переміщенням поршнів від центра, а витиснення рідини – рухом поршнів до центра. Зміна величини і знаку ексцентриситету дозволяє змінювати величину подачі і напрям потоку рідини.

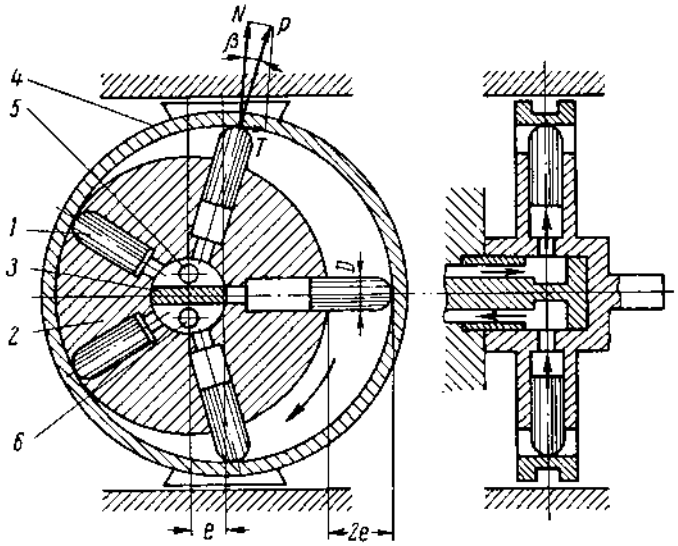


Рис. 4.93. Схема радіально-поршневої гідромашини:
1 – поршні; 2 – циліндровий блок; 3 – розподільчий пристрій; 4 – напрямна обойма; 5, 6 – канали підведення та відведення робочої рідини

Середня теоретична подача гідромашини:

$$Q_{\text{т}} = qn = \frac{\pi d^2}{4} h \cdot z \cdot n = \frac{\pi d^2}{2} e \cdot z \cdot n. \qquad (4.302)$$

Тут d – діаметр поршня; $h = 2e$ – хід поршня, який дорівнює подвійній величині ексцентриситету; z – число поршнів; n – частота обертання.

Середню теоретичну величину крутного моменту на валу радіального поршневого гідромотора визначають за формулою:

$$M_{\text{т}} = \frac{d^2}{4} \Delta p \cdot e \cdot z, \qquad (4.303)$$

де $\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад тиску, який спрацьовує мотор.

6. Роторні аксіально-поршневі гідромашини

Аксіальні роторно-поршневі гідромашини бувають з нахиленою шайбою (рис. 4.94, а) і з нахиленим блоком циліндрів (рис. 4.94, б). Вони складаються з циліндрового блоку 1, поршнів 2, розподільного пристрою 3, приводного валу 4 і пристрою для зміни кута α нахилу шайби або блока. Максимальне значення кута α = 20…30°.

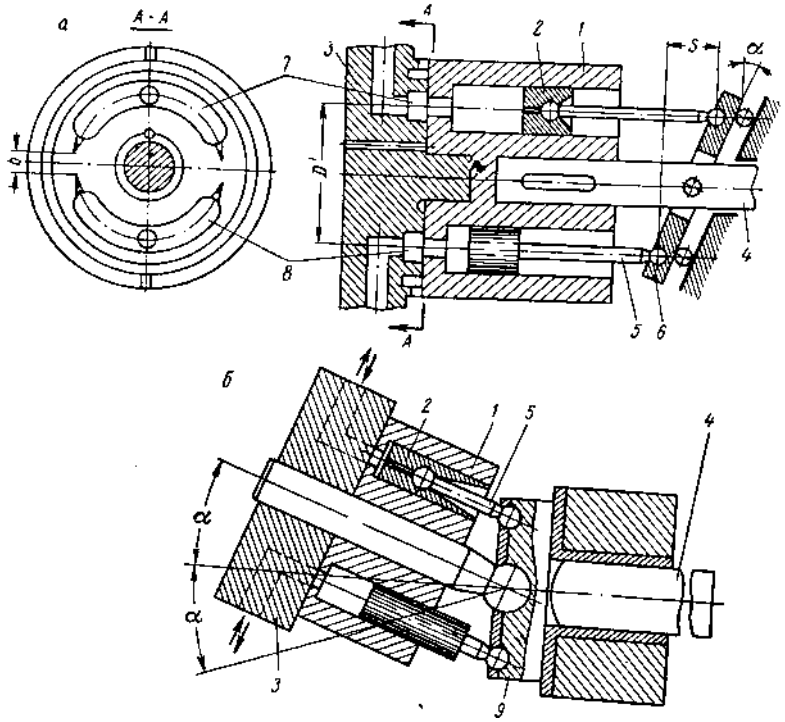


Рис. 4.94. Схеми аксіальних роторно-поршневих гідромашин: а – аксіальна роторно-поршнева гідромашина з похилою шайбою; б – аксіальна роторно-поршнева гідромашина з похилим циліндром; 1 – роторно-циліндровий блок; 2 – поршні; 3 – розподільчий пристрій; 4 – приводний вал; 5 – шатуни; 6 – похила шайба; 7, 8 – вікна, що з'єднують поршні з лініями високого і низького тиску; 9 – ведучий диск

При обертанні блока 1 поршні 2, зв'язані шатунами 5 з нахиленою шайбою 6 або ведучим диском 9, здійснюють зворотно-поступальний рух в циліндрах. При віддаленні від розподільного вузла 3 поршні здійснюють всмоктування (насос) або робочий хід (двигун), а при наближенні – нагнітання (насос) або робочий хід (двигун), а при наближенні – нагнітання (насос) чи холостий хід (двигун). Підвід рідини до циліндрів і відвід від них здійснюється через отвори в торці циліндрового блока, які по черзі з'єднуються з розподільними серповидними вікнами 7 і 8, що є в розподільнику 3.

Зміною кута α можна регулювати не тільки подачу, а і напрям потоку рідини в гідромашині.

Середня розрахункова подача (витрата) гідромашини:

$$Q_{\text{т}} = \frac{\pi d^2}{4} D_{б} \cdot z \cdot n \cdot tg\alpha \,, \tag{4.304}$$

де d – діаметр циліндричної камери (поршня); $D_{б}$ – діаметр кола на блоці, де розташовані осі циліндрів; z – число циліндрів; n – частота обертання вала машини.

При подачі рідини під тиском в циліндри блока машина буде працювати в режимі гідромотора. Середній крутний момент на вихідному валу розраховують за формулою:

$$M_{\text{т}_{\text{ср}}} = \Delta p \frac{d^2}{4} R_{б} \cdot z \cdot \sin\alpha = \Delta p \frac{d^2}{8} D_{б} \cdot z \cdot \sin\alpha \,, \tag{4.305}$$

в якій $\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад тиску, що спрацьовується в гідромашині.

Сучасна промисловість випускає роторно-поршневі насоси, що мають такі параметри: $n_{\text{ном}}$ = 950...3500 хв$^{-1}$, номінальний тиск $p_{\text{ном}}$ = 15...40 МПа, теоретична подача за один оберт вала (робочий об'єм) $q_{\text{т}}$ = (5...500)-10^{-6}м^3/об, об'ємний ККД $\eta_{\text{о}}$ = 0,97, повний ККД насоса $\eta_{\text{н}}$ = 0,82...0,93, гідромеханічний ККД можна знайти: $\eta_{\text{г мех}} = \frac{\eta_{\text{пов}}}{\eta_{\text{о}}}$.

Технічні характеристики аксіально-поршневих гідромашин представлені в довідковій літературі.

Питання для самоконтролю до лекції № 11.

1. Яке призначення об'ємного насоса і двигуна?
2. Як класифікуються об'ємні гідравлічні машини?
3. Якими технічними показниками характеризуються об'ємні гідравлічні машини ?
4. Улаштування і принцип дії поршневих гідравлічних машин?
5. Розкажіть порядок підбору об'ємних гідравлічних машин?
6. За якою формулою розраховується подача роторного насоса будь-якого типу?
7. Що таке пластинчасті об'ємні гідравлічні машини, яка їх будова?
8. Поясніть принцип роботи аксіальних роторно-поршневих гідромашини.
9. Які переваги й недоліки об'ємного гідропривода?
10. Що таке висота усмоктування і кавітація насосів?
11. За якими ознаками класифікуються силові гідравлічні циліндри?

4.13. ЛЕКЦІЯ № 12. Комплексна гідрофікація сільськогосподарської техніки

Змістовий модуль 3
«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Комплексна гідрофікація сільськогосподарської техніки.

Мета. Ознайомитися з класифікацією і типовими схемами об'ємних гідроприводів. Ознайомитися з методикою розрахунку об'ємного гідропривода. Ознайомитися з способами регулювання об'ємного гідроривода. Вивчити принцип дії і будову найбільше розповсюджених об'ємних гідроприводів.

План лекції

1. Класифікація і типові схеми об'ємних гідроприводів.
2. Регулювання об'ємного гідроривода.
3. Основні розрахунки об'ємного гідропривода.
4. Застосування об'ємного гідропривода в сільськогосподарській техніці.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 296-336).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 247-282).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 203-213).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 190-216).
5. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 174-190).

Матеріал лекції

Класифікація і типові схеми об'ємних гідроприводів

Під об'ємним розуміється такий гідропривод, основою якого є об'ємна гідропередача (ОГП). Як уже відзначалося, об'ємна гідропередача визначається як гідравлічна передача, складена з об'ємного насоса, об'ємного гідродвигуна, регулюючої, розподільчої і запобіжної апаратури й магістралей.

Об'ємні гідроприводи класифікуються за такими ознаками: за характером руху вихідної ланки – поступального, поворотного й обертального руху; за джерелом подачі робочого середовища – насосні, акумуляторні й магістральні; за циркуляцією робочого середовища – з розімкнутим і замкнутим потоком; за наявністю керування і типом керуючого пристрою – з дросельним, машинним (об'ємним), машинно-дросельними типами керування, з керуванням протитиском, з керуванням двигуном чи без керування.

За задачею керування гідроприводи з автоматичним керуванням класифікуються на стабілізуючі, програмні і слідкуючі.

У гідроприводах поступального руху об'ємний гідродвигун – це гідроциліндр, у гідроприводах поворотного руху – поворотний гідродвигун, а в гідроприводах обертального руху – відповідно гідромотор.

За джерелом подачі робочого середовища найбільше застосування в техніці одержали насосні гідроприводи, в яких робоча рідина від насоса надходить у гідродвигун. В інших типах гідроприводів робоча рідина в гідродвигун надходить або від пневмогідроакумулятора – акумуляторний гідропривод, або від загальної магістралі, яка живить кілька гідроприводів – магістральний гідропривод.

Насосний гідропривод, в якому робоча рідина від об'ємного гідродвигуна надходить у гідробак, називається гідроприводом з розімкнутим потоком. У гідроприводі із замкнутим потоком робоча рідина від об'ємного гідродвигуна надходить безпосередньо на вхід насоса.

Гідропривод з розімкнутим потоком звичайно використовується при невеликій частоті обертання чи швидкості переміщення робочого органа, а також при нереверсивній його роботі.

Там, де потрібно забезпечити реверсивний характер роботи і керування параметрами вихідної ланки, як правило, застосовують гідропривод із замкнутим потоком. При цьому внутрішні витоки робочої рідини в елементах гідропривода компенсуються спеціальним додатковим насосом.

Об'ємний гідропривод, в якого параметри руху вихідної ланки змінюються, називається керованим гідроприводом, і навпаки, якщо в об'ємному гідроприводі параметри руху, зокрема швидкість, не змінюються, то такий гідропривод прийнято вважати некерованим.

Гідравлічні схеми різних приводів виконуються відповідно до ДСТУ 2704-76. Види і типи схем і загальні вимоги до їхнього виконання регламентуються ДСТУ 2701-76. Найчастіше використовуються структурні і принципові схеми.

На структурній схемі (рис. 4.95, а) зображують суцільними лініями у вигляді прямокутників усі основні функціональні частини гідроагрегатів (елементи, пристрої і функціональні групи) і головні зв'язки між ними.

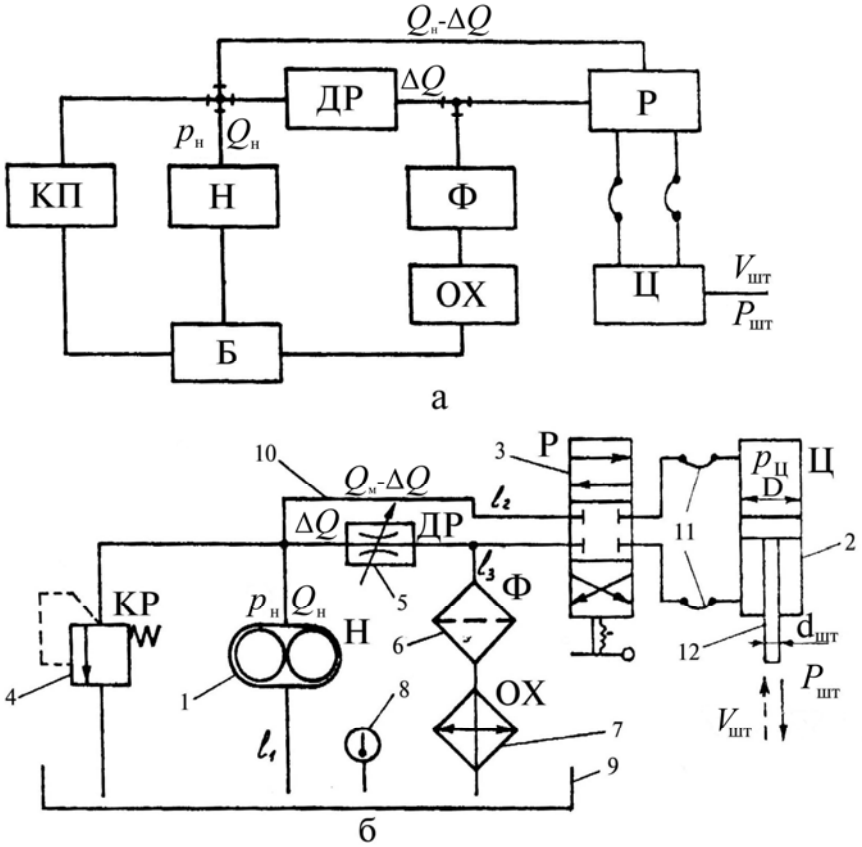


Рис. 4.95. Схеми гідроприводів зворотно-поступального руху: а – структурна; б – принципова

Найменування кожної функціональної частини агрегату, типи, позначення і функціональні залежності рекомендується вписувати в середину прямокутників у вигляді літерного позначення, що являє собою скорочене найменування елемента, складене з його початкових чи характерних букв.

Наприклад, апарат теплообмінний – АТ (охолоджувач – ОХ, підігрівач – ПО); насос – Н, насос пластинчастий – НП, насос радіально-поршневий – НР і т. ін.

На принциповій схемі (рис. 4.95, б) ці ж агрегати і пристрої зображують у вигляді умовних графічних позначень.

На структурній схемі (рис. 4.95, а) використані такі літерні позначення гідроагрегатів: Б – гідробак; Н – насос; КП – клапан запобіжний; ДР – гідродросель; Ф – фільтр; ОХ – охолоджувач; Ц – гідроциліндр.

На рисунку 4.95, б показана принципова схема гідропривода поступального руху, коли золотник трипозиційного розподільника 3 знаходиться в нейтральному положенні.

Робоча рідина з бака 9 шестеренним насосом 1 по трубопроводу (гідролінії) 10 подається в розподільник 3 і далі через фільтр 6 і теплообмінник 7 зливається в бак 9. При цьому циліндр 2 знаходиться в замкненому положенні. При преміщенні золотника розподільника 3 вгору чи вниз робоча рідина через нього і гнучкі шланги 11 буде надходити у поршневу чи штокову порожнину циліндра 2, і поршень зі штоком 12 (вихідна ланка) буде відповідно рухатись вниз зі швидкістю $V_{шт} = V_{з\,п}$ чи вгору $V'_{шт}$, а на вихідній ланці (шток 12) гідродвигуна буде реалізуватися зусилля $P_{шт}$. Якщо робоча рідина з гідродвигуна зливається в масляний бак, як на рисунку 4.95, б, то це гідропривод з розімкнутою циркуляцією. Якщо ж рідина від гідродвигуна надходить безпосередньо в усмоктувальний трубопровід насоса – це гідропривод із замкнутою циркуляцією.

Гідропривод, в якому $V_{з\,п}$ = const, називають нерегульованим, а якщо $V_{з\,п}$ перемінна – то регульованим.

Відповідно до вищевказаних визначень, на рисунку 4.95, б зображена гідравлічна схема гідропривода зворотно-поступального руху з розімкнутою циркуляцією і дросельним регулюванням швидкості вихідної ланки, в якій установлений запобіжний клапан.

На рисунку 4.96, а наведена принципова схема гідропривода з поворотним характером руху вихідної ланки з розімкнутою циркуляцією потоку, а на рисунку 4.96, б – принципова схема із замкнутою (закритою) циркуляцією потоку обертального руху, з об'ємним регулюванням насоса.

Від мотора M, яким може бути ДВЗ чи електродвигун, приводиться в обертальний рух $n_н$ вал регульованого насоса 7, що створює тиск $p_н$, забезпечує подачу $Q_н$ по гідролінії 3 або 4 до нерегульованого реверсивного гідромотора 2. При подачі рідини $Q_н$ з високим тиском $p_н$ по трубопроводу 3 (гідролінія високого тиску) вал гідромотора 2 (вихідна ланка) буде обертатися проти годинникової стрілки, а трубопровід 4 буде гідролінією низького тиску, в яку з бака 10 живильний насос 5 забезпечує подачу ΔQ через зворотний клапан 6 для компенсації втрат ΔQ робочої рідини з гідромашин.

Якщо робоча рідина $Q_н$ з високим тиском $p_н$ буде подаватися до гідромотора по трубопроводу 4 (гідролінія високого тиску), вал гідромотора 2 буде обертатися за годинниковою стрілкою, а трубопровід 3 стане гідролінією низького тиску, в яку буде подаватися ΔQ через зворотний клапан 7. При перенавантаженні вала гідромотора і підвищенні робочого тиску до $p_{max} = 1{,}25 p_н^{роб}$ робоча рідина буде скидатися, минаючи гідромотор, з гідролінії високого в гідролінію низького тиску відповідно через запобіжні клапани 8 чи 9.

На рисунку 4.96, в наведена принципова схема гідропривода з розімкнутою циркуляцією потоку, обертального руху, з об'ємним регулюванням гідромотора.

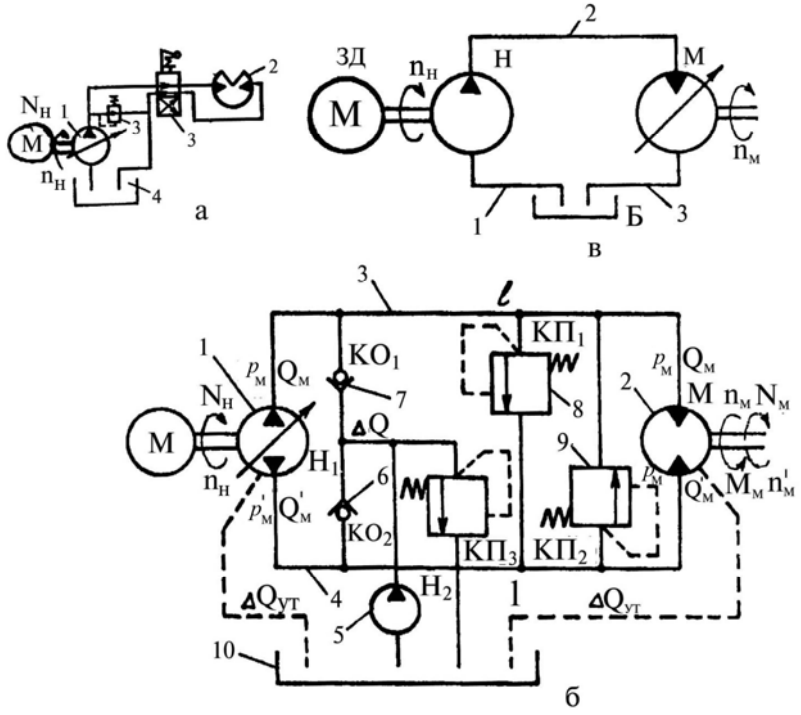


Рис. 4.96. Принципові схеми гідроприводів:
а – з поворотним характером руху вихідної ланки, з розімкнутою циркуляцією потоку; б – з обертальним характером руху вихідної ланки, замкнутою циркуляцією; в – з обертальним характером руху вихідної ланки, розімкнутою циркуляцією потоку й регульованим гідромотором

Схема потоку робочої рідини при роботі ОГП з регульованим гідромотором така: Н-2-М-3-Б-1-Н, де 1, 2, 3 – відповідно усмоктувальна, нагнітальна й зливальна гідролінії.

У цій схемі діапазон регулювання частоти обертання вала менше, ніж у схемі на рисунку 4.96, б. При цьому буде також відсутня можливість здійснення його гідравлічного реверса.

На збиральних комбайнах застосовують найбільш економну й зручну в експлуатації ОГП, виконану за схемою (рис. 4.96, б), з регульованим насосом і гідравлічним реверсом гідромотора.

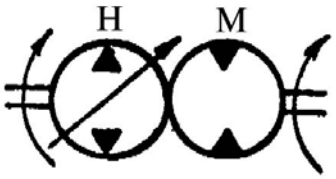


Рис. 4.97. Умовне графічне зображення нероздільного виконання ОГП

У верстатобудуванні й ряді інших галузей промисловості знайшли використання ОГП нероздільного виконання за схемою (рис. 4.97) – моноблочна ОГП. У моноблочній ОГП в одному корпусі змонтовані регульований аксіально-поршневий насос з похилим диском і нерегульований реверсивний аксіально-поршневий гідромотор, блоки циліндрів яких спираються з двох сторін на загальну опорну шайбу з клапанами керування і каналами, що з'єднують порожнини циліндрів.

2. Регулювання об'ємного гідропривода

У гідроприводах із дросельним регулюванням швидкість руху вихідних ланок гідродвигунів змінюється за допомогою регулюючих гідроагрегатів, а в гідроприводах з об'ємним – за допомогою регульованих гідромашин.

У стабілізуючому гідроприводі швидкість руху вихідної ланки гідродвигуна підтримується постійною, у програмному гідроприводі – змінюється за заданою програмою, а в слідкуючому гідроприводі – змінюється за визначеним законом у залежності від заданого впливу, величина якого заздалегідь невідома.

У сільськогосподарських машинах найбільше застосування знаходять гідроприводи з дросельним регулюванням, а в самохідних машинах з гідротрансмісією застосовуються гідропередачі з об'ємним регулюванням.

Дросельний спосіб регулювання швидкості через великі втрати потужності менш ефективний, особливо при експлуатації гідроприводів великої потужності. Однак гідравлічні схеми з дросельним регулюванням простіші і дешевші.

У гідроприводах із дросельним регулюванням застосовують переважно нерегульовані насоси, гідросхеми виконуються з розімкнутою

циркуляцією. Характерною для цього способу є нерівність $Q_н > Q_д$, тобто подача насоса $Q_н$ більша, ніж витрата робочої рідини $Q_д$ через гідродвигуни, і частина робочої рідини постійно зливається в бак, не виконавши ніякої корисної роботи.

При дросельному регулюванні можливі два принципово різні способи включення регулюючого дроселя: послідовно з гідродвигуном і паралельно гідродвигуну.

Послідовне включення регулюючого дроселя може бути здійснене в трьох варіантах: дросель включений на вході в гідродвигун, на виході з нього й на вході і виході одночасно (рис. 4.98). У наведених схемах нерегульований насос 1, гідродвигун-гідроциліндр 2 із двостороннім штоком, розподільник 3 двопозиційний на схемах (рис. 4.98, а, б), трипозиційний на схемі (рис. 4.98, в). Клапан 4 у цьому випадку є переливним. Дроселем 5 (чи дроселюючим розподільником можна регулювати швидкість переміщення поршня.

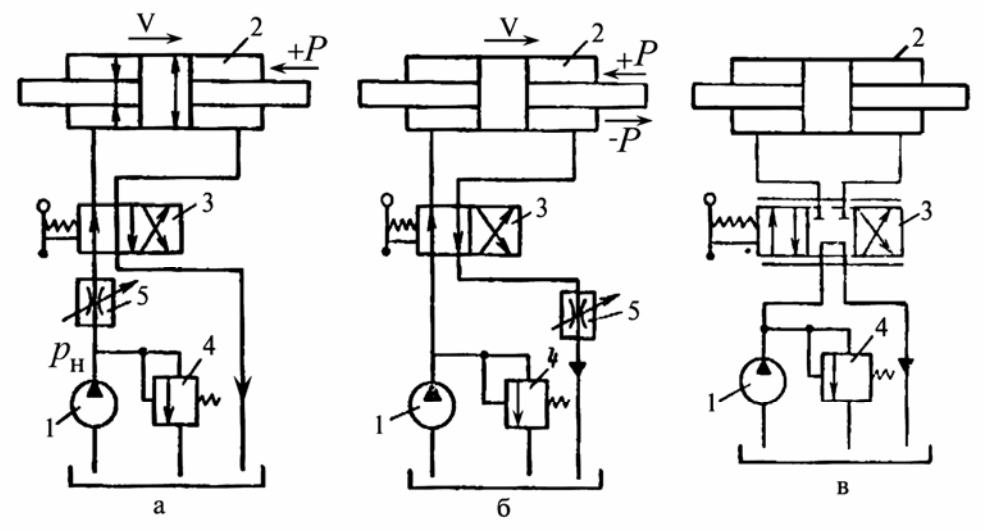


Рис. 4.98. Схеми гідроприводів з дросельним регулюванням:
а – дросель на вході; б – дросель на виході;
в – дроселювання в розподільнику на вході і виході

При повному відкритті дроселя швидкість поршня буде максимальна. При зменшенні відкриття тиск перед дроселем підвищується, клапан відкривається і пропускає частину рідини від насоса. Швидкість Vп поршня при цьому зменшується. При повному закритті дроселя вся рідина від насоса направляється через клапан на злив у бак, а швидкість поршня дорівнює нулю. При постійному відкритті дроселя й збільшенні подоланого навантаження, тобто сили P, тиск насоса зростає, витрата через клапан збільшується, а швидкість поршня зменшується.

Знайдемо залежність між швидкістю $V_{\text{п}}$ поршня й навантаженням P, зневажаючи всіма гідравлічними опорами, крім дроселя (чи вікон дроселюючого розподільника): $V_{\text{п}} = Q / S_{\text{п}}$, де Q – витрата рідини через гідроциліндр, дорівнює витраті через дросель:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{др}} = \mu S_{\text{др}} \sqrt{(2/\rho) p_{\text{др}}}\,, \tag{4.306}$$

де μ – коефіцієнт витрати; $S_{\text{др}}$ – площа прохідного отвору дроселя; $p_{\text{др}}$ – перепад тиску на дроселі:

$$p_{\text{др}} = p_{\text{н}} - p_{\text{ц}}\,, \tag{4.307}$$

де $p_{\text{ц}}$ – тиск у гідроциліндрі, обумовлений навантаженням і площею поршня:

$$p_{\text{ц}} = P / S_{\text{п}}\,, \tag{4.308}$$

де $S_{\text{п}}$ – ефективна площа поршня.

Гідродвигун, наприклад гідроциліндр, при розрахунку гідропривода можна розглядати як особливий місцевий гідравлічний опір, що викликає втрату тиску. Виражаючи його з урахуванням формул (4.306) – (4.308), будемо мати:

$$V_{\text{п}} = \mu (S_{\text{др}} / S_{\text{п}}) \sqrt{(2/\rho)\left[p_{\text{н}} - (P / S_{\text{п}})\right]}. \tag{4.309}$$

Швидкість $V_{\text{п}}$ при цьому не залежить від того, чи розташований дросель на вході в гідродвигун, чи на виході з нього.

Для симетричного дроселюючого золотникового розподільника і для гідроциліндра з двостороннім штоком витрати в робочих вікнах і перепади тиску в них однакові, тому для перепаду тиску на золотнику і $V_{\text{п}}$ будемо мати $\Delta p_{\text{др з}} = 0{,}5(p_{\text{н}} - p_{\text{з}})$:

$$V_{\text{П}} = \mu_{\text{др з}} (S_{\text{др з}} / S_{\text{п}}) \sqrt{(p_{\text{н}} - P / S_{\text{п}}) / \rho}\,. \tag{4.310}$$

Отже, при однакових навантаженнях P і швидкостях $V_{\text{п}}$:

$$\sqrt{2}\mu S_{\text{др}} = \mu_{\text{др з}} S_{\text{др з}}\,, \tag{4.311}$$

а при $\mu = \mu_{\text{др з}}$ $\sqrt{2} S_{\text{др}} = S_{\text{др з}}$, тобто площа кожного з робочих вікон дроселюючого золотника в $\sqrt{2}$ рази більше площі отвору дроселя.

Як видно з формул (4.309) і (4.310), залежність $V_{\text{п}} = f(P)$, тобто навантажувальна характеристика гідропривода при одночасному дроселюванні на вході і виході така ж, як і при одному дроселі на вході чи виході, і зображується спадаючою параболою (рис. 4.99). Кожна з парабол відповідає своєму ступеню відкриття дроселя:

$$\overline{S} = S_{\text{др}} / S_{\text{др max}}\,.$$

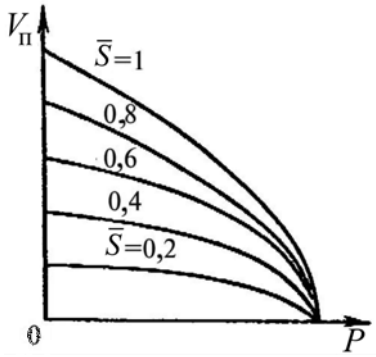


Рис. 4.99. Навантажувальні характеристики гідропривода при послідовному включені дроселя

Швидкість вихідної ланки при її регулюванні послідовно включеним дроселем пропорційна $\bar{S}$, і її максимальне значення виходить при $\bar{S}=1$. Максимальне навантаження P_{max}, при якому вихідна ланка гальмується ($V_п = 0$), від ступеня відкриття дроселя не залежить.

Стосовно втрат тиску і ККД при регулюванні послідовно включеним дроселем байдуже, де виконується дроселювання потоку: на вході в гідродвигун, на виході чи на вході і виході одночасно. Однак дроселювання потоку на виході має свої переваги. При цьому гідродвигун працює більш стійко, особливо при знакозмінному навантаженні. Мається можливість регулювання гідропривода при від'ємних навантаженнях, тобто при напрямку подоланої сили P у сторону переміщення поршня. Крім того, при установці дроселя в зливальній гідролінії тепло, що виділяється при дроселюванні потоку рідини, відводиться в бак без нагрівання гідродвигуна, як це має місце в схемі з дроселем на вході. У результаті гідродвигун працює в більш сприятливих умовах.

При використанні в якості гідродвигуна гідроциліндра з однобічним штоком варто мати на увазі, що витрата рідини Q у напірній лінії не дорівнює витраті Q' у зливальній лінії, тому що ефективна площа поршня з однієї сторони менша, ніж з іншої, на площу перерізу штока. При цьому можливі такі два випадки: шток працює на стискання (штовхаючий шток), і $Q' < Q$; шток працює на розтягання (тягнучий шток), і $Q' > Q$.

При дросельному регулюванні і будь-якому його включенні повний ККД гідропривода визначається як втратами енергії в насосі і гідродвигуні, так і втратами, обумовленими процесом керування. Через це доцільно ввести поняття ККД процесу керування $\eta_{п\,к}$, що являє собою відношення потужності потоку $N_г = p_г Q_г$, витраченої в гідродвигуні, до потужності потоку $N_{п\,н} = p_н Q_н$, що подається насосом, тобто:

$$\eta_{п\,к} = p_г Q_г /(p_н Q_н). \qquad (4.312)$$

Величина $\eta_{\text{п к}}$ оцінює втрати потужності на регулювання швидкості вихідної ланки гідропривода (ним же можна враховувати і втрати тиску в сполучаних трубопроводах).

Повний ККД гідропривода $\eta_{\text{гп}}$ дорівнює добутку ККД насоса на ККД процесу керування й на ККД гідродвигуна. Наприклад, при використанні гідроциліндра:

$$\eta_{\text{гп}} = \frac{P \cdot V_{\text{п}}}{N_{\text{п}}} = \frac{p_{\text{н}} Q_{\text{н}}}{N_{\text{н}}} \frac{p_{\text{г}} Q_{\text{г}} P V_{\text{п}}}{p_{\text{н}} Q_{\text{н}} p_{\text{г}} Q_{\text{г}}} = \eta_{\text{н}} \eta_{\text{пк}} \eta_{\text{г}} . \qquad (4.313)$$

У [8] викладений доказ того, що навіть при ККД насоса і гідродвигуна, рівних одиниці, ККД регульованого гідропривода з послідовним включенням дроселя не може бути більше 0,385.

Настільки низьке значення $\eta_{\text{п к}}$ пояснюється тим, що на оптимальному режимі роботи гідропривода тільки 58% подачі насоса направляється в гідродвигун (інша частина йде через клапан), і лише 2/3 тиску насоса використовується в гідродвигуні (інша губиться в дроселі), тобто втрати потужності відбуваються одночасно і в дроселі, і в клапані.

Варто мати на увазі, що загальний ККД гідропривода буде ще нижчим за рахунок втрат потужності в насосі і гідродвигуні.

Паралельне включення дроселя показане на схемі гідропривода (рис. 4.100). У точці М робоча рідина розгалужується: один потік через розподільник 2 направляється в гідроциліндр, а інший – у регулюючий дросель 3. Клапан 4 у цьому випадку є запобіжним. Він відкривається лише при надмірному підвищенні тиску в системі.

Швидкість $V_{\text{п}}$ вихідної ланки (штока гідроциліндра) регулюється зміною ступеня відкриття дроселя. Чим вона менша, тим більша частка подачі насоса направляється в гідроциліндр, і тим більша швидкість $V_{\text{п}}$. При повному закритті дроселя швидкість $V_{\text{п}}$ найбільша. При повному відкритті дроселя швидкість поршня зменшується до нуля чи до мінімального значення, у залежності від навантаження P.

Для паралельного включення дроселя, припускаючи, що втрати тиску в розподільнику і гідролініях відсутні, маємо:

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{г}} + Q_{\text{др}} ; \; p_{\text{н}} = p_{\text{г}} - p_{\text{др}} = P / S_{\text{п}} . \qquad (4.314)$$

Друге рівняння записане на підставі рівності втрат тиску в паралельних трубопроводах.

Швидкість поршня:

$$V_{\text{п}} = Q_{\text{г}} / S_{\text{п}} = \left(Q_{\text{н}} - Q_{\text{др}}\right) / S_{\text{п}} ; \qquad (4.315)$$

витрата через дросель:

$$Q_{\text{др}} = \mu S_{\text{др}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot p_{\text{др}}} = \mu S_{\text{др}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{P}{S_{\text{др}}}}\,. \qquad (4.316)$$

Після підстановки в рівняння (4.315) швидкості поршня рівняння (4.316) одержимо:

$$V_{\text{п}} = \frac{1}{S_{\text{п}}}\left(Q_{\text{н}} - \mu S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2}{\rho}\frac{P}{S_{\text{п}}}}\right). \qquad (4.317)$$

На рисунку 4.101 показані навантажувальні характеристики гідропривода при його регулюванні паралельно включеним дроселем, побудовані за формулою (4.317) для ряду постійних значень $\overline{S} = S_{\text{др}} / S_{\text{др max}}$.

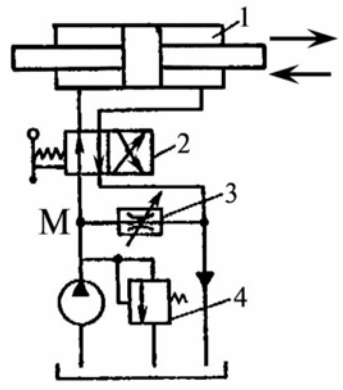


Рис. 4.100. Схема гідропривода з дросельним регулювуванням при рівнобіжному включенні дроселя

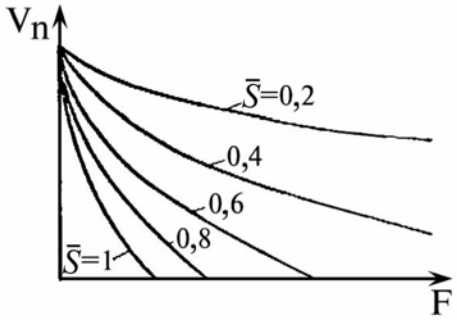


Рис. 4.101. Навантажувальні характеристики гідроприводу при рівнобіжному включені дроселя

На відміну від характеристик при послідовному включенні дроселя, вони мають протилежну кривизну і виходять з однієї точки, що відповідає $V_{\text{п max}}$ і $P = 0$. Навантаження $P_{\max}$, яке викликає гальмування вихідної ланки, зменшується зі збільшенням ступеня відкриття дроселя і при $S \to 0$ – $P_{\max} \to \infty$. При паралельному включенні дроселя виключається можливість регулювання при напрямку подоланої сили вздовж штока в бік його переміщення.

ККД гідропривода при паралельному включенні дроселя визначається так само, як і при послідовному включенні, – формулою (4.313), а при допущенні, що $\eta_{\text{н}} = \eta_{\text{г}} = 1$, він дорівнює ККД процесу керування $\eta_{\text{г п}} = \eta_{\text{п к}}$.

У [2] доведено, що ККД гідропривода при паралельному включенні дроселя визначається за формулою:

$$\eta_{\text{пк}} = 1 - \overline{S}\,. \qquad (4.318)$$

Об'ємне регулювання здійснюється при наявності в схемі гідропривода регульованого насоса чи гідродвигуна. Нерідко використовується регулювання як насосом, так і гідродвигуном.

Як регульовані насоси і гідромотори, одержали поширення роторно-поршневі і пластинчасті гідромашини.

Введемо в розгляд безрозмірний параметр e регулювання гідромашини, який дорівнює відношенню поточного значення робочого об'єму q_0^1 до максимального його значення q_0, тобто $e = q_0^1 / q_0$.

Регулювання зміною робочого об'єму насоса (рис. 4.103, а) полягає в плавній зміні швидкості руху вихідної ланки гідродвигуна шляхом зміни параметра $e_н$. Мінімальне його значення відповідає мінімальному робочому об'єму насоса і, отже, мінімальній швидкості вихідної ланки. Максимальної швидкості гідропривод досягатиме при $e_н = 1$, тобто при $q_{он}^1 = q_{он}$.

При закритому запобіжному клапані швидкість вихідної ланки гідропривода визначається розмірами машин, їхніми об'ємними ККД і змінюється пропорційно параметру регулювання, тобто для гідропривода поступального руху – за формулою:

$$V_п = e_н(q_{он} / S_п)n_н\eta_о, \tag{4.319}$$

для гідропривода обертального руху – за формулою:

$$n_г = (e_н q_{он} / q_{ог})n_н\eta_о, \tag{4.320}$$

де об'ємний ККД гідропривода $\eta_о = \eta_{он}\eta_{ог}$ є лінійно спадаючою функцією тиску в системі, тобто навантаження на вихідній ланці. Крім того, об'ємний ККД трохи зменшується зі зменшенням параметра $e_н$, тому що витрата рідини мало залежить від робочого об'єму, але ця витрата відноситься до ідеальної подачі насоса, що йде на спад зі зменшенням параметра $e_н$.

Таким чином, при постійному $e_н$ і збільшенні навантаження на вихідній ланці гідродвигуна швидкість цієї ланки трохи йде на спад через вплив втрат у насосі і гідродвигуні. Однак через те, що об'ємні ККД сучасних гідромашин досить високі, це зменшення швидкості вихідної ланки невелике.

При установці декількох значень $e_н$ = const навантажувальні характеристики гідропривода, тобто залежності $V_п$ від P для поступального руху поршня гідроциліндра чи $n_г$ від $M_{кр\,г}$ для обертального руху вала гідромотора мають вигляд, показаний на рисунку 4.102 (область ОЕВС).

При деякому граничному значенні навантаження (максимальному тиску в системі) спрацьовує запобіжний клапан або автомат зміни робочого об'єму насоса, і швидкість вихідної ланки круто зменшується до нуля (гілка ВС), тому що відбувається гальмування гідродвигуна під навантаженням.

Навантажувальні характеристики показують так зване осідання гідропривода, тобто зниження швидкості вихідної ланки, обумовлене навантаженням.

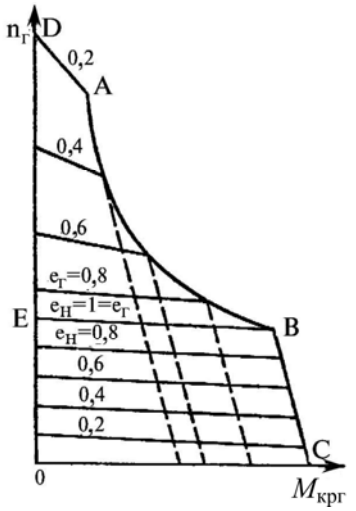


Рис. 4.102. Навантажувальні характеристики регульованого гідропривода

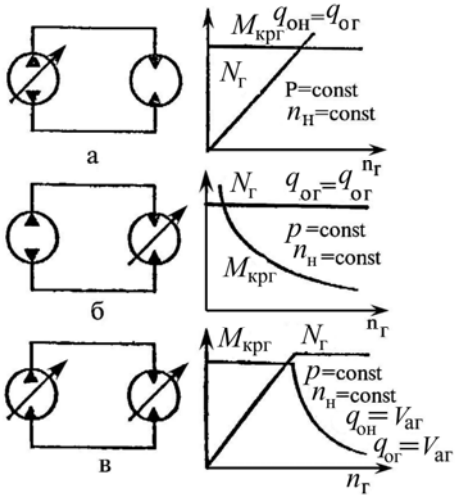


Рис. 4.103. Варіанти об'ємного регулювання гідропривода: а – регулювання насосом; б – регулювання гідромотором; в – регулювання насосом і гідромотором

При використанні гідромотора повне осідання гідропривода при закритому запобіжному клапані дорівнює відношенню частот обертання при граничному й нульовому навантаженнях і складає $e_{гп} = \eta_{он} \cdot \eta_{ог}$.

На цю величину при значних тисках відчутно впливає стискальність рідини.

Стискальність робочої рідини збільшує осідання гідропривода і тим більша, чим вищий тиск.

Регулювання зміною робочого об'єму гідронасоса відбувається при p = const і $n_н$ = const.

Потужність, що розвивається гідроприводом при постійному тиску в системі, зростає при регулюванні (збільшенні робочого об'єму) насоса. Швидкість вихідної ланки при цьому зростає, а зусилля на штоку гідроциліндра чи момент на валу гідромотора залишаються постійними (рис. 4.103, а).

Реверс гідродвигуна, тобто зміну напряму руху вихідної ланки гідропривода при регульованому насосі, можна здійснити двома способами: за допомогою гідророзподільників чи зміною напрямку подачі (реверсом подачі насоса). Другий спосіб можливий лише в гідроприводах із замкнутою циркуляцією рідини й здійснюється спочатку зменшенням робочого об'єму насоса до нуля, а потім – зміною знака ексцентриситету в шиберному й радіальному роторно-поршневому насосі чи зміною знака кута відхилення диска (блока) β в аксіальних роторно-поршневих насосах. При переході через нульовий робочий об'єм доводиться проходити зону нечутливості, на границях якої гідромотор зупиняється, тому що вся подача насоса йде на компенсацію втрат. Усередині цієї зони насос нездатний компенсувати втрати. Тому разом з частотою обертання гідромотора тиск у гідроприводі поступово зменшується до нуля.

Регулювання зміною робочого об'єму гідромотора можливе лише в гідроприводах обертального руху. Якщо насос працює при постійних частоті обертання і тиску, то регулювання гідропривода здійснюється при постійній потужності насоса (рис. 4.103, б).

При зменшенні робочого об'єму $q_г$ гідромотора від максимального його значення ($e_г = 1$) до мінімального ($e_г = e_{г\,min}$) частота обертання його вала $n_г$ буде збільшуватися. Крутильний момент $M_{кр\,г}$ на валу гідромотора через приблизну сталість потужності, яку він розвиває, рівну $N_г = M_{кр\,г}\omega_г$, буде йти на спад зворотно пропорційно $\omega_г$, тобто за гіперболічним законом. При такому регулюванні частота обертання гідромотора:

$$n_г = q_н n_н \eta_{он} \eta_{ог} / (e_г q_г) . \qquad (4.321)$$

При зменшенні робочого об'єму гідромотора й збільшенні моменту $M_{кр\,г}$ (тиску $p_г$) об'ємний ККД гідропривода $\eta_{огп} = \eta_{о\,н}\eta_{о\,г}$ зменшується. Тому навантажувальні характеристики гідропривода в цьому випадку (рис. 4.102, область ABED) зображуються лініями, нахил яких у бік осі абсцис зі зменшенням параметра $C_г$ збільшується. Крива AB обмежує область можливих режимів роботи, обумовлену настроюванням запобіжного клапана.

Як випливає з формули (4.321), при $e_г \to 0$ частота обертання гідромотора прагне до нескінченності. Допускати занадто малі значення робочого обєму гідромотора не можна. При цьому виникає спочатку нестійка робота, а потім і самогальмування гідромотора. Момент $M_{кр\,г}$, що розвивається гідромотором, при $q_г^{/} = a$ (рис. 4.104) стає рівним моменту тертя всередині його механізму, і останній зупиняється навіть при відсутності навантаження.

Найчастіше регулювання за допомогою гідромотора застосовується в системах, де регульованим також є й насос.

Регулювання зміною робочих об'ємів насоса і гідромотора (рис. 4.103, в) здійснюється з метою розширення діапазону регулювання гідропривода. Регулювання виконується послідовно. Якщо потрібно поступово збільшити швидкість обертання вала гідромотора до $n_{г\,max}$ (наприклад при зрушенні з місця й розгоні транспортного засобу), то регулювання виконується в такому порядку:

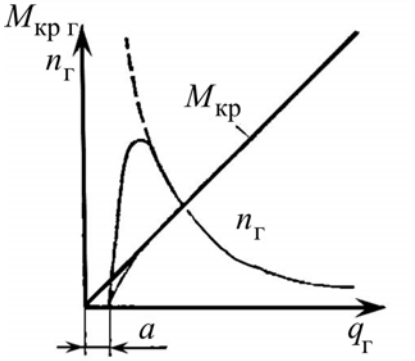


Рис. 4.104. Зона самогальмування гідромотора

1) насос встановлюють у положення нульового робочого об'єму, а гідромотор – у положення максимального, приводний двигун виводять на задану постійну частоту обертання;

2) робочий об'єм насоса поступово збільшують до максимального, унаслідок чого швидкість вихідної ланки зростає до значення, що відповідає номінальній потужності привода;

3) збільшують швидкість вихідної ланки зменшенням робочого об'єму гідромотора до мінімального значення, обумовленого початком хитливої роботи.

Перший етап розгону відбувається при постійному моменті $M_г$ і зростаючій потужності привода. Для другого характерне зменшення крутильного моменту і постійна потужність.

При закритих клапанах у загальному випадку об'ємного регулювання з рівняння $Q_н = Q_г$ одержимо:

$$n_г = \left[(e_н q_н)/(e_г q_г)\right] n_н \eta_{о\,н} \eta_{о\,г}. \qquad (4.322)$$

ККД об'ємного гідропривода з об'ємним регулюванням визначають так само, як і у випадку нерегульованого привода. На відміну від нерегульованого гідропривода, ККД гідромашин, крім тиску, частоти обертання і в'язкості, істотно залежать ще і від параметрів регулювання $e_н$ і $e_г$. Максимальний ККД гідропривода має місце в області максимальних робочих об'ємів насоса і гідромотора, тобто при $e_н = e_г = 1$.

Порівняння різних способів регулювання гідропривода, розглянутих раніше, – дросельного й об'ємного – доцільно провести за трьома показниками: за навантажувальними характеристиками, ККД і вартістю застосовуваних гідромашин і апаратури.

Найбільшу стабільність навантажувальної характеристики має гідропривод з об'ємним регулюванням. Значно гірше в цьому відношенні дросельне регулювання з послідовним включенням дроселя, ще гірше дросельне регулювання з паралельним включенням дроселя.

Найвищого ККД гідропривод досягає при об'ємному регулюванні, більш низького – при дросельному з паралельним включенням дроселя, і ще нижчого – при дросельному з послідовним його включенням.

Отже, за двома найважливішими показниками – навантажувальною характеристикою і ККД – кращу якість має гідропривод з об'ємним регулюванням. Однак при виборі способу регулювання гідропривода необхідно враховувати ще економічні показники.

Регульовані гідромашини – насоси і гідромотори – більш дорогі, ніж нерегульовані. Тому, використовуючи регульований гідропривод, ідуть на значні капітальні витрати, але зате завдяки більш високому ККД одержують економію в експлуатаційних витратах, тобто у вартості енерговитрат. У зв'язку з цим об'ємне регулювання гідропривода звичайно застосовують, коли істотними є енергетичні показники, наприклад для гідроприводів великої потужності і з тривалими режимами роботи. Гідроприводи з дросельним регулюванням і дешевими, наприклад шестеренними, насосами використовують звичайно в малопотужних системах, а також, коли режими роботи гідропривода короткочасні.

3. Основи розрахунку об'ємного гідропривода

Загальні відомості. До розрахунку гідропривода можна приступати при наявності:

- технічної характеристики і схеми машини, частиною якої повинний бути гідропривод;
- чіткого уявлення про призначення гідропривода і про вимоги, що до нього ставляться;
- вихідних параметрів гідропривода – зусилля на штоці гідроциліндра і швидкості руху виконавчого механізму з поступальним рухом, крутильного моменту і частоти обертання вихідного вала виконавчого механізму з обертальним рухом;
- принципової схеми гідропривода.

На першому етапі проводяться оцінка потужності і вибір типу гідропривода.

Оцінка необхідної потужності насосного агрегату виконується за допомогою формули $N_{\text{н}} \geq N / \eta$, де $N_{\text{н}}$ – потужність насосної станції, кВт;

N – потужність, необхідна для виконання технологічної операції за допомогою гідродвигуна; η – ККД гідропривода, що, як правило, складає 0,6...0,8.

Якщо необхідна потужність перевищує потужність насосного агрегату, встановленого на енергетичному засобі, то приймається обґрунтоване рішення про створення автономної насосної станції.

При проектуванні гідропривода задача зводиться до вибору типу й марки гідромашин, розподільчої й регулюючої апаратури, інших допоміжних елементів і розрахування діаметрів труб гідроліній.

У першу чергу необхідно виконати розрахунки, необхідні для вибору типу й марки гідродвигуна, тобто вихідної ланки.

Нерідко при проектуванні гідроприводів дані каталогів на гідроагрегати, у тому числі і гідромашини, можуть не задовольняти вимогам, що пред'являються до знову створюваного гідропривода.

У цьому випадку доводиться створювати новий гідроагрегат і освоювати його виробництво.

Вибір гідроциліндрів при проектуванні гідросистем здійснюється за відповідними каталогами чи галузевими стандартами. При виборі типу й марки гідроциліндра насамперед необхідно розрахувати його основні конструктивні параметри, зокрема внутрішній діаметр циліндра D і діаметр штока d.

Внутрішній діаметр циліндра визначається в залежності від значення й напрямку діючого навантаження. Рівняння рівноваги сил, що діють на поршень, можна записати в такому вигляді:

$$p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_{\text{шт}} = 0, \qquad (4.323)$$

де p_1, p_2 – тиск у порожнинах циліндра, з'єднаних відповідно з напірною й зливальною гідролініями, Па; S_1, S_2 – площа поршня з боку відповідно напірної й зливальної гідроліній, м^2; $F_{\text{шт}}$ – дійсне навантаження без урахування інерційних сил, Н. З урахуванням механічного ККД гідроциліндра $F_{\text{шт}} = P/\eta_{\text{мех}}$.

Для гідроциліндра з одностороннім штоком, що працює на стиск при виштовхуванні поршня, діаметр визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi\eta_{\text{мех}}(p_1 - p_2/\psi)}}, \qquad (4.324)$$

де P – задане робоче зусилля, кН; p_1, p_2 – тиск відповідно в напірній і зливальній порожнинах гідроциліндра, МПа; $\psi = \frac{S_1}{S_2} = \frac{D^2}{D^2 - d^2}$ –

відношення площ поршня з боку відповідно поршневої і штокової порожнин.

Якщо шток працює на розтягування при втягуванні поршня, то штокова порожнина з'єднана з напірною гідролінією, а поршнева – зі зливальною. Діаметр гідроциліндра в цьому випадку:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi\eta_{\text{мех}}(p_1/\psi - p_2)}}\,. \qquad (4.325)$$

Протитиск p_2 визначається гідравлічними втратами, що дорівнюють сумі втрат на лінійних і місцевих опорах трубопроводів і гідроапаратів, установлених на зливальній гідролінії. При розрахунку попередньо приймемо $p_1 = p_{\text{н}}$, p_2 = 0,3...0,5 МПа, а потім уточнимо прийнятий тиск після виконання гідравлічного розрахунку.

Якщо тиском зливу зневажити і вважати, що $p_2 \approx 0$, тоді розрахункове значення діаметра поршня одноштокового гідроциліндра при роботі штока на стиск можна визначити за спрощеною формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi p_1 \eta_{\text{мех}}}}\,, \qquad (4.326)$$

а при роботі штока на розтягування за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4P\psi}{\pi p_1 \eta_{\text{мех}}}}\,. \qquad (4.327)$$

Коефіцієнт відношення площ у залежності від виконання циліндра може приймати значення:

зі зменшеним діаметром штока – ψ = 1,25;

з нормальним діаметром штока – ψ = l,33;

зі збільшеним діаметром штока – ψ = l,6 [2].

Великі значення Ψ приймають для гідроциліндрів з великим ходом. Якщо необхідно забезпечити однакову швидкість при прямому й зворотному ході, то $\psi = 2$, і гідроциліндр підключають за диференціальною схемою. Значення Ψ можна також визначити в залежності від необхідного співвідношення швидкостей прямого й зворотного ходу:

$$c = V_{\text{п}}/V_{\text{зх}} = \frac{1}{\psi}, \qquad (7.328)$$

діаметр штока визначають зі співвідношення:

$$d = D\sqrt{1 - 1/\psi}\,. \qquad (4.329)$$

Для гідроциліндрів із двостороннім штоком $\psi = 1$.

Механічний ККД гідроциліндра залежить від типу застосовуваних ущільнень. Для гідроциліндрів з манжетними ущільненнями

$\eta_{мех}$ = 0,93...0,97, з гумовими ущільненнями й металевими кільцями $\eta_{мех}$ = 0,95...0,97 [2].

Розрахункові діаметри поршня і штока округлюємо до найближчого за стандартом значення: 10, 12, 16.20, 25, 32, 40, 50, 63.80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 мм (додатковий ряд, мм: 14, 18, 22, 28, 36, 45, 56, 70, 90, 110, 140, 180, 220, 280, 360, 450, 560, 710) – і уточнюємо величину тиску в поршневій або в штоковій порожнині гідроциліндра:

$$p_{ц} = \frac{4P}{\pi D^2}. \qquad (4.330)$$

За знайденим значенням D, d і $p_{ц}$ з урахуванням заданого ходу штока з каталогу вибираємо марку необхідного силового циліндра й записуємо його паспортні дані: D, d, $p_{ном}$, p_{max} і $\eta_{ц}$, $\eta_{г\,мех}$.[2].

Витрата масла на вході в гідроциліндр за умови забезпечення заданої швидкості визначається за формулою:

$$Q_{ц} = \frac{\pi D^2 V_{шт}}{4\eta_{оц}}, \qquad (4.331)$$

де $\eta_{оц} = \eta_{ц} / \eta_{г\,мех}$ – об'ємний ККД гідроциліндра.

Вибір насоса виконується за умови дотримання рівності $Q_{н} = Q_{ц}$ і $p_{н} = p_{ц} + \Sigma\Delta p_{утр}$, де $\Delta p_{утр}$ – втрати тиску при русі рідини від насоса до циліндра.

Для попереднього розрахунку можна прийняти:

$$\sum \Delta p_{утр} = 0{,}1 p_{ц}. \qquad (4.332)$$

Вибравши привод насоса, а також знаючи частоту обертання $n_{пр}$ його вала, приймаємо частоту обертання вала насоса рівну $n_{н} = n_{пр}$, обчислюємо необхідну його об'ємну постійну (подачу за один оберт):

$$q_{нр} = \frac{Q_{ц}}{n_{н}\eta_{он}}, \qquad (4.333)$$

де $\eta_{он}$ – об'ємний ККД насоса (попередньо для шестеренного насоса можна прийняти $\eta_{он}$ = 0,93).

За знайденим значенням $q_{нр}$ вибираємо за каталогом марку шестеренного насоса типу НШ, що має $q_{нт} \geq q_{нр}$ (з максимально можливим наближенням цих величин), і записуємо його технічні характеристики.

Фактична подача обраного шестеренного насоса типу НШ при частоті обертання його вала $n_{н}$ буде дорівнювати:

$$Q_{н} = n_{н} q_{нт} \eta_{он}. \qquad (4.334)$$

Якщо при виборі марки насоса довелося взяти насос, що має $q_{нт} > q_{нр}$, то, природно, одержимо $Q_н > Q_ц$. Це приведе до збільшення заданої швидкості руху штока. Щоб одержати $Q_н^I = Q_ц$, необхідно зменшити подачу насоса на величину $\Delta Q_н = Q_н - Q_ц$. Це можна здійснити або шляхом зменшення частоти обертання його вала за рахунок установки понижуючої передачі між валом насоса і валом привода, або при робочому ході поршня циліндра надлишок витрати $\Delta Q_н = (q_{нт} - q_{нр})\cdot n_н$ відвести з нагнітального трубопроводу через регульований дросель (рис. 4.95, поз. 5) і через зливальну гідролінію l_3 в масляний бак 9. Цей варіант рішення допускається, якщо $\Delta Q_н \le 0{,}2Q_н$, тому що при дроселюванні виникають втрати енергії (тиску), які перетворюються на теплову енергію, що знижує ККД гідрооб'ємної передачі.

Якщо при виборі насоса довелося взяти насос, що має $q_{нт} < q_{нр}$, то для одержання $Q_н = Q_ц$ необхідно підвищити частоту обертання вала насоса, поставивши між приводом і насосом підвищувальний редуктор з $i_{ред} = q_{нр}/q_{нт}$.

Вибір трубопроводів (гідроліній) виконується на основі розрахунку внутрішніх діаметрів і товщини стінок.

Діаметри усмоктувального $d_{ус\ р}$, нагнітального $d_{наг\ р}$ і зливального $d_{зл\ р}$ трубопроводів визначаються за формулою:

$$d_р = 1{,}13\sqrt{\frac{Q_р}{V_р}}, \qquad (4.335)$$

де $V_р$ – швидкість робочої рідини (рекомендується в розрахунках приймати для усмоктувальних l_1 гідроліній $V_р = 0{,}5...1{,}5$ м/с, для напірних l_2 – $V_р = 3...6$ м/с, для зливальних l_3 – $V_р = 1{,}4...2{,}2$ м/с); $Q_р$ – розрахункова витрата, в усмоктувальному – $Q_{ус\ р} = Q_н/\eta_{он}$ (теоретична подача насоса), у нагнітальному трубопроводі можна прийняти $Q_{наг\ р} = Q_ц$, у зливальному трубопроводі $Q_{зл\ р} = V_{шт}\cdot S$.

Отримані розрахункові значення діаметрів трубопроводів округлюються в бік збільшення до найближчого стандартного і вибирають з довідкової літератури.

Гідроагрегати (розподільники, клапани, дроселі, регулятори потоку) і допоміжні пристрої вибираються при забезпеченні заданих умов роботи й надійності гідропривода протягом установленого ресурсу.

Типорозміри запобіжного клапана, розподільника й регульованого дроселя підбираються за максимальним значенням тиску p_{max} і витрати Q_{max} у трубопроводі тієї гідролінії, в якій вони встановлені. У гідролінії на виході з насоса $p_{max} = 1{,}25p_ц$, у трубопроводі зливальної гідролінії можна приймати $p_{max} = 0{,}6$ МПа. При цьому з довідкової літератури

виписують значення номінальної витрати $Q_{\text{ном}}^{\text{га}}$, номінального тиску $p_{\text{ном}}^{\text{га}}$, внутрішніх витоків $\Delta Q_{\text{ном}}^{\text{га}}$ і втрати тиску $\Delta p_{\text{ном}}^{\text{га}}$. При виборі типорозміру гідроагрегату необхідно, щоб величини $p_{\text{ном}}^{\text{га}}$ і $Q_{\text{ном}}^{\text{га}}$ були рівні чи більше $p_{\max}$ і $Q_{\max}$ в трубопроводах гідроліній, в яких установлені ці гідроагрегати.

Вибір гідромотора базується на розрахунку основних його параметрів. Вихідні дані для вибору гідромотора – крутильний момент $M_{\text{кр м}}$ і частота обертання вихідного вала $n_{\text{м}}$. Якщо відношення $M_{\text{кр м}}/n_{\text{м}} > 10$, гідромотор вважається високомоментним, при $M_{\text{кр м}}/n_{\text{м}} < 10$ – низькомоментним. Гідромотор вибирають відповідно до технічної характеристики за каталогами.

При відомих параметрах робочого органа $M_{\text{кр ро}}$ і $n_{\text{ро}}$, що приводиться в дію валом гідромотора (вихідна ланка), приймаємо значення $M_{\text{кр м}} = M_{\text{кр ро}}$, $n_{\text{м}} = n_{\text{ро}}$ і знаходимо величину потужності на валу гідромотора:

$$N_{\text{м}} = M_{\text{кр м}} 2\pi n_{\text{м}}, \tag{4.336}$$

де $M_{\text{кр м}}$ – крутильний момент на валу гідромотора, Н·м; $n_{\text{м}}$ – частота обертання вала гідромотора, с^{-1}.

Потужність на валу гідромотора через його гідравлічні параметри дорівнює

$$N_{\text{м}} = \Delta p_{\text{м}} Q_{\text{м}} \eta_{\text{м}} = \Delta p_{\text{м}} q_{\text{мр}} n_{\text{м}} \eta_{\text{м}}. \tag{4.337}$$

Якщо порівняти ліві частини рівнянь (4.336) і (4.337), вирішуючи відносно $q_{\text{мр}}$, одержимо:

$$q_{\text{мр}} = \frac{2\pi M_{\text{кр м}}}{\Delta p_{\text{м}} \eta_{\text{м}}}, \tag{4.338}$$

де $q_{\text{мр}}$ – необхідна подача в гідромотор за один оберт його вала, $\text{м}^3/\text{об}$; $\Delta p_{\text{м}}$ – перепад тиску на гідромоторі, Па; $\eta_{\text{м}} = \eta_{\text{ом}} \cdot \eta_{\text{г мех}}$ – ККД гідромотора.

Задавшись типом гідромотора, можна спочатку прийняти $\Delta p_{\text{м}}$ рівним номінальному тиску $p_{\text{м}}^{\text{ном}}$ для конкретного типу гідромотора і з рівняння (4.338) знайти розрахункове значення $q_{\text{мр}}$. Знаючи $q_{\text{мр}}$, $p_{\text{м}}^{\text{ном}}$, $n_{\text{м}}$ і тип гідромотора, у каталозі вибираємо його марку і, приймаючи остаточні значення $q_{\text{мт}}$, $p_{\text{м}}^{\text{ном}}$, $n_{\text{м}}$, $\eta_{\text{м}}$, знаходимо витрату рідини через гідромотор:

$$Q_{\text{м}} = \frac{q_{\text{мт}} n_{\text{м}}}{\eta_{\text{ом}}}, \tag{4.339}$$

де $\eta_{\text{ом}}$ – об'ємний ККД гідромотора (за каталогом).

Вибір марки насоса. Витрату рідини $Q_м$ можна знайти через подачу насоса $Q_{нр}$:

$$Q_м = Q_{нр}\eta_{он} = q_{нр}n_н\eta_{он}\,. \qquad (4.340)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (4.339) і (4.340), вирішуючи відносно $q_{нр}$, одержимо:

$$q_{нр} = \frac{q_{мт}n_м}{n_н\eta_{он}\eta_{ом}}\,, \qquad (4.341)$$

де $q_{нр}$ – необхідна розрахункова подача насоса за один оберт його вала, м^3/об; $\eta_{он}$ – об'ємний ККД насоса.

Робочий тиск на виході з насоса можна знайти за формулою

$$p_{нр} = p_м + \Delta p_{утр}\,, \qquad (4.342)$$

де $\Delta p_{утр}$ – утрати тиску при русі рідини від насоса до гідромотора.

Знаючи $q_{нр}$, $p_н$, $n_н$ і задавшись типом гідронасоса з каталогу, вибираємо його марку і приймаємо остаточні значення $q_{нт}$, $p_н^{ном}$ і $n_н$.

4. Застосування об'ємного гідроприводу в сільськогосподарській техніці

У наш час у сільськогосподарському машинобудуванні широко впроваджуються гідрооб'ємні передачі. Багато років вже експлуатуються в сільському господарстві гідрофіковані машини, що випускаються серійно: косилка-плющилка самохідна КПС5-Г і пневматичні сівалки СУПН 8…12; самохідні комбайни: силосозбиральний КСК-100, кукурудзозбиральний КСКУ-6 «Херсонец-200», коренезбиральний РКС-6Б, зернозбиральний СК-10 «Ротор», «ДОН-1500» та ряд інших машин. Досвід експлуатації показав, що застосування гідрооб'ємних приводів замість механічних передач дозволяє підвищити продуктивність комбайнів і машинно-тракторних агрегатів (МТА) у різних географічних зонах землеробства на 20...45%.

Подальше впровадження об'ємних гідроприводів на сільськогосподарських машинах полягає в переході до комплексної гідрофікації сільськогосподарської техніки, включаючи як самохідні машини, так і МТА.

З великої різноманітності гідроприводів, застосовуваних на сільськогосподарській техніці, найбільш характерні:

- гідроприводи керування машинами і сільськогосподарськими агрегатами;
- гідрооб'ємні кермові механізми, гідропідтискні фрикційні механізми;
- гідроначіпні пристрої тракторів, гідрогальма і т. ін.

Гідроприводи робочих органів сільськогосподарських машин:

а) гідрооб'ємні приводи активних робочих органів обертального руху: ґрунтових фрез, валів причіпних збиральних машин, шнеків, дискових ножів, пилок і т. ін.;

б) гідрооб'ємні приводи робочих органів зворотно-поступального руху: ріжучих апаратів жниварок і косарок, вібраційних пристроїв сільськогосподарських машин і т. ін.

Гідрооб'ємні силові трансмісії (ГСТ) ходових систем комбайнів, тракторів та інших самохідних сільськогосподарських машин.

Гідропривод допоміжного призначення, що полегшує працю механізатора: гідрофікований гак, сервомеханізм муфти зчеплення та інші сервоприводи механізмів машин.

Для всіх перерахованих груп гідроприводів, крім ГСТ, характерним є те, що вони можуть бути автономними чи неавтономними. Використання неавтономних гідроприводів пов'язане з рішенням питання гідравлічного відбору потужності.

Роздільно-агрегатна гідросистема сучасних енергонасичених тракторів складається з уніфікованих вузлів і агрегатів.

Послідовність з'єднання гідроагрегатів тракторної гідросистеми показана на рисунку 4.105.

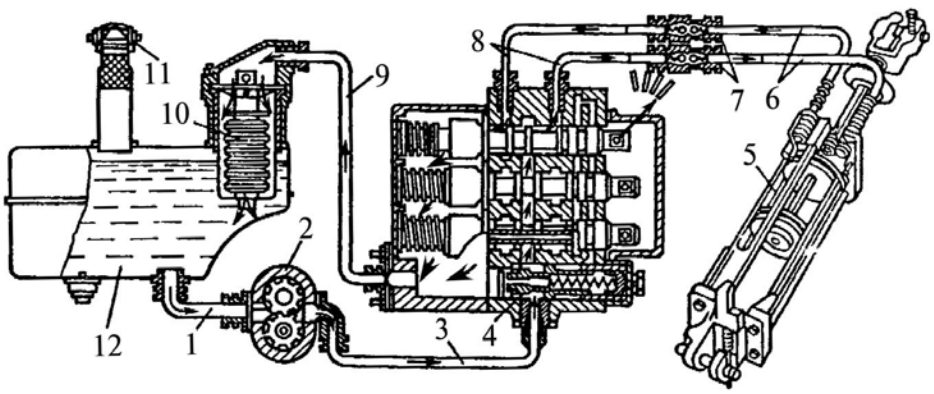


Рис. 4.105. Схема роздільно-агрегатної навісної гідросистеми трактора: 1, 3, 6, 8 і 9 – гідролінії; 2 – насос; 4 – гідророзподільник; 5 – гідроциліндр; 7 – запірні клапани; 10 і 11 – кондиціонери робочої рідини; 12 – робоча рідина

У процесі роботи гідросистеми насос, що приводиться в дію від двигуна трактора, усмоктує робочу рідину з бака й нагнітає її в гідророзподільник, який має, крім золотників керування, запобіжний клапан із сервокеруванням і перепускний клапан. При нейтральному положенні золотників робоча рідина, проходячи гідророзподільник, через

фільтр зливається в бак. При переміщенні золотника гідророзподільника в положення «Підйом» чи «Опускання» робоча рідина по трубопроводах надходить у поршневу чи штокову порожнину гідроциліндра начіпної системи, опускаючи чи піднімаючи робоче знаряддя. З іншої порожнини гідроциліндра робоча рідина надходить у гідророзподільник і зливається в бак.

На більшості тракторів, крім гідроциліндра начіпної системи, для агрегатування із сільськогосподарськими машинами гідророзподільник має ще два золотники для керування виносними гідродвигунами.

Крім цих гідроагрегатів, трактори обладнані також спеціальними гідравлічними пристроями: гідропідсилювачем руля, гідрозбільшувачем зчіпної ваги (колісні трактори) і сервоприводами керування агрегатами трансмісії (гусеничні трактори) та ін.

Неавтономний гідропривод активних робочих органів може бути розглянутий на прикладі гідропривода розкидувача мінеральних добрив, вапна і гіпсу КСА-3 (рис. 4.106).

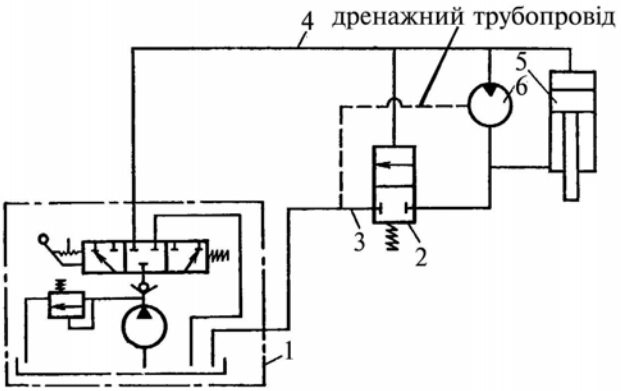


Рис. 4.106. Гідравлічна схема гідропривода розкидувача мінеральних добрив КСА-3: 1 – гідросистема автомобіля; 2 – клапан запірний: 3, 4 – гідролінії; 5 – гідроциліндр; 6 – гідромотор

Гідропривод причіпного розкидувача КСА-3 на автомобілі ЗІЛ-ММЗ-555 призначений для приведення в рух відцентрового розсіюючого диска і керування гідроциліндром включення привода транспортера, що подає добрива на відцентровий диск.

При включенні рукоятки гідророзподільника автомобіля робоча рідина від насоса по напірній магістралі 4 надходить до гідромотора 6, у штокову порожнину гідроциліндрів 5 і 6 напірного золотника 2. При цьому починається обертання відцентрового диска, включається привод транспортера, і зливальна магістраль від гідромотора з’єднується з баком автомобіля.

При відключенні подачі рідини напірний золотник 2 під дією пружини займає вихідне положення, і гідромотор 6 під дією інерційних сил диска починає нагнітати рідину в штокову порожнину гідроциліндра 5, відводячи його у вихідне положення й цим включаючи привод транспортера. Дренажні витоки відводяться в зливальний трубопровід.

Гідрооб'ємні силові трансмісії (ГСТ). До 1980 р. успішно пройшли випробування дослідних зразків колісних тракторів (МТЗ-80, Т40), самохідних шасі Т-16М і Ш-104М, а також різних марок самохідних комбайнів, обладнаних ГСТ для приведення в рух ходових систем машин.

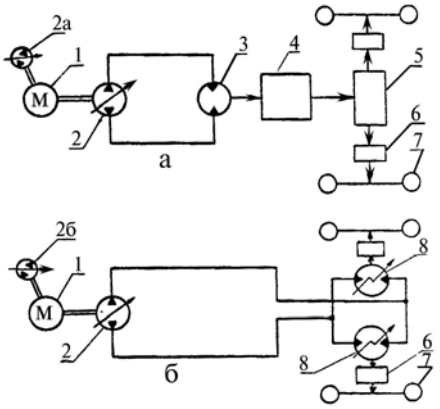


Рис. 4.107. Структурні схеми ГСТ: а – двох агрегатна; б – трьохагрегатна

Наприклад, трактор МТЗ-80, обладнаний ГСТ, у залежності від виконуваних операцій показав підвищення продуктивності МТА на 15...35%, хоча коефіцієнт корисної дії в ГСТ на 10...15% нижчий, ніж у механічної передачі. У самохідного шасі Ш-104М, створеного ХТЗ, тягове зусилля зросло в залежності від ґрунтових умов на 31...41%, що виявилося наслідком різкого зниження буксування коліс, які мають привод від гідромоторів. Крім того, з'явилася можливість роботи з одноосьовим причепом, що було недосяжно для серійної машини Ш-104М з механічною трансмісією. Невипадково в США всі садово-городні трактори і ряд інших міні-тракторів потужністю до 25 кВт випускають цілком гідрофікованими з широким шлейфом причіпних і начіпних гідрофікованих машин. ГСТ виготовляються за трьома схемами: двохагрегатні, трьохагрегатні і багатоагрегатні.

Найбільше поширення на сільськогосподарських машинах одержала двохагрегатна ГСТ, структурна схема (рис. 4.107, а). У цій схемі об'ємна гідравлічна передача (ОГП), що складається з насоса 2 і гідромотора 3, установлюється між валом двигуна 1 і вхідним валом КЗП 4. Далі крути-

льний момент через головну передачу 5, бортові редуктори 6 передається на ведучі колеса 7.

У трьохагрегатній ГСТ, зображеній на рисунку 4.107, б, установлюють гідромотори 8 зі ступінчастим регулюванням, вихідні вали яких відразу з'єднують з бортовими редукторами 6.

На самохідних комбайнах ГСТ застосовується в сполученні з гідроприводом активних робочих органів, тобто виконується комплексна гідрофікація сільськогосподарської машини із застосуванням багатоагрегатної об'ємної гідравлічної передачі (ОГП).

Для ГСТ тракторів класу від 6 до 30 кН з ГВП і комплексної гідрофікації самохідних зернозбиральних комбайнів досить мати чотири типорозміри насосів з робочим об'ємом $q_н = 16$, 40, 90, 125 см^3/об і три типорозміри гідромоторів $q_м = 40$, 90, 125 см^3/об.

Комплексна гідрофікація сільськогосподарської техніки дозволяє внести істотні якісні зміни в технологічні процеси виробництва:

- сполучати технологічні операції;
- оптимізувати режими роботи окремих робочих органів і машини в цілому;
- розширити застосування й удосконалити системи автоматичного водіння і керування роботою машинно-тракторного агрегату чи комбайна.

У результаті продуктивність, наприклад, комбайнів підвищується на 25...30%.

Основними причинами, що стримують комплексну гідрофікацію сільськогосподарської техніки, є:

- недостатня номенклатура гідромашин та інших гідроагрегатів, що випускаються промисловістю;
- недостатня довговічність гідромашин (3000...5000 мотогодин), що достатня для комбайнів, а для тракторів необхідно мати 7000...10000 мотогодин;
- мала потужність ГВП на тракторах, що серійно випускаються;
- висока вартість ГСТ у порівнянні з механічною трансмісією;
- недостатня підготовленість ремонтної бази в господарствах і низька культура експлуатації гідромашин, особливо в частині забезпечення ГСТ необхідними марками масел і підтримки їхньої чистоти.

Для прикладу розглянемо найбільше використовувану гідрооб'ємну силову трансмісію ГСТ-90. На сучасних самохідних комбайнах, що випускаються серійно, встановлюється уніфікована двохагрегатна гідрооб'ємна силова трансмісія ГСТ-90, яка виготовляється за

схемою згідно з рисунку 4.107. Можливість уніфікації її застосування на мобільних сільськогосподарських машинах різного класу – від косилки-плющилки КПС-5М до зернозбиральних комбайнів СК-10 «Дон-Ротор», «Дон-1500» – забезпечується за рахунок конструкції, а також зміни передаточних чисел КЗП (поз. 4), головної передачі (поз. 5) і бортових редукторів (поз. 6).

Гідравлічна схема ГСТ-90 наведена на рисунку 4.108. Гідропривод ГСТ-90 містить у собі: бак 1 з датчиком дистанційного термометра 2, фільтром 3 і вакуумметром 5; теплообмінник 4; реверсивний регульований насос 6 з гідроапаратурою керування; нерегульований гідромотор 7 із клапанною коробкою; зливальну гідролінію 8; напірні гідролінії 9 і 9а високого чи низького тиску попеременно з гнучкими шлангами 10; гідролінії всмоктувальну 11 і дренажну 12.

Тяговий насос 6.1 і гідромотор 7.1, аксіально-плунжерні з похилим диском, мають такі основні параметри: $p_{ном}$ = 22 МПа і p_{max} = 35 МПа, $n_{ном}$ = 1500 хв$^{-1}$ і n_{max} = 2590 хв$^{-1}$; робочий об'єм: насоса $q_н$ = 0...90 см^3/об, мотора $q_м$ = 91 см^3/об; потужність насоса – 46 кВт.

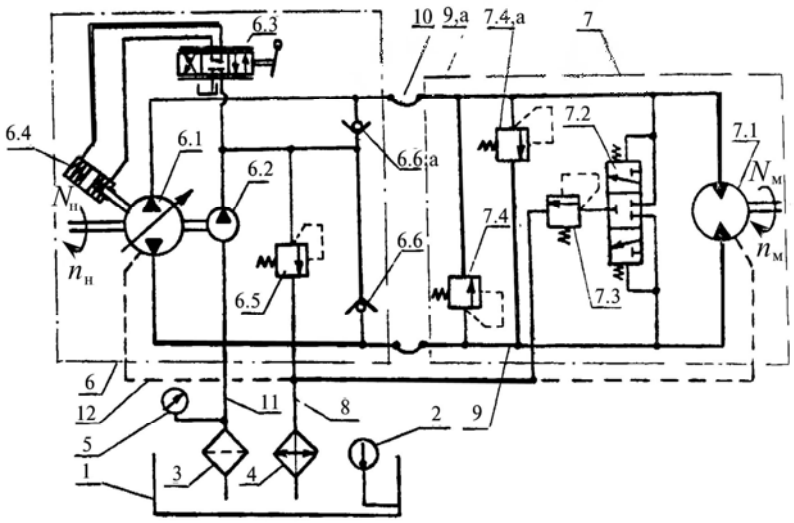


Рис. 4.108. Схема гідравлічна принципова трансмісії ГСТ-90

Від вала тягового насоса 6.1 приводиться допоміжний шестеренний насос 6.2 із запобіжним клапаном 6.5, відрегульованим на тиск 1,5...1,8 МПа. Допоміжний насос обслуговує системи: керування, охолодження, очищення масла і підживлення гідроліній низького тиску, заповнення витоку робочої рідини з насоса 6.1 і гідромотора 7.7 і підтримки тиску на виході з гідромотора і вході в насос у межах 1,3...1,5 МПа.

Надійна робота гідропривода ГСТ-90 можлива при ретельному дотриманні таких ***основних правил експлуатації і технічного обслуговування***:

- температура робочої рідини повинна бути в межах 50...80°С;
- вакуум за фільтром 3 повинний бути не більше 0,025 МПа, для чого фільтруючий елемент необхідно змінювати після перших 10, а потім через 50, 100 і 500, а далі через кожні 1000 мотогодин роботи ГСТ чи при показанні вакуумметра 5, відмітки 0,025 МПа при температурі масла (45±5)°С;
- як робочу рідину застосовувати тільки мінеральні масла марок А, ЭШ і МГЕ-46 (МГ-30У);
- заміну робочої рідини робити спочатку через 500, а потім регулярно через 2000 мотогодин;
- буксирувати сільськогосподарську машину, обладнану ГСТ, допускається тільки при роз'єднаному зв'язку гідромотора з ходовою частиною (тобто КЗП у нейтральному положенні).

Відмовлення в роботі ГСТ-90 найчастіше відбуваються через неполадки в роботі клапанів і золотників, розташованих у насосах і гідромоторі ГСТ-90. Найбільш характерні відмовлення в роботі ГСТ-90 зі вказівкою на можливі причини такі:

1. Після запуску ДВЗ комбайн не рухається ні вперед, ні назад.

Причини: у КЗП включена нейтральна передача, недостатня кількість масла в баці 1; інтенсивне піноутворення масла (наявність вологи в маслі); засмічений фільтр 3 (показання вакуумметра 5 більше 0,25 МПа); засмітився запобіжний клапан 6.5 насоса 6.2 чи підпірний переливний клапан 7.3 у гідромоторі 7. У результаті цього величина тиску підживлення зменшилася, що недостатньо для роботи циліндрів 6.4, повороту похилої шайби насоса 6.1; несправність у приводі золотника розподільника 6.3 чи в самому розподільнику.

2. При працюючому ДВЗ комбайн рухається тільки в одну сторону (вперед чи назад).

Причини: у гідромоторі засмітився запобіжний клапан 7.4, а (робоча рідина іде в гідролінію низького тиску, минаючи гідромотор); золотник шунтуючого клапана 7.2 заклинює у верхньому чи в нижньому положенні, у результаті чого робоча рідина з гідролінії високого тиску, минаючи гідромотор, може зливатися в бак 1 через переливний клапан 7.3.

3. Зменшилася робоча швидкість комбайна (особливо при подоланні підйомів) або температура масла перевищує 80°С.

Причини: збільшилися витоки рідини в гідромашинах за рахунок зносу опорної п'яти ротора насоса 6.1 чи гідромотора 7 (тиск у дрена-

жній лінії 12 збільшується: $p_{дрен} > 12$ МПа, температура робочої рідини $t_{р\,р} < 80$ °С); мають місце витоки робочої рідини через запобіжний клапан 7.4, а при робочому тиску $p_{роб} \leq p_{ном}$ 22 МПа (тиск у дренажній лінії 12 зберігається в припустимих межах $p_{дрен} \leq 0{,}25$ МПа, а температура робочої рідини зростає і стає $t_{р\,р} > 80$ °С).

Питання для самоконтролю до лекції №12.

1. За яким ознаками класифікуються об'ємні гідроприводи?
2. Які існують способи регулювання об'ємного гідропривода?
3. За якою формулою изначається ККД гідропривода?
4. Які є варіанти об'ємного регулювання гідропривода?
5. Які дані необхідні для розрахунку об'ємного гідропривода?
6. За якою формулою визначається діаметр гідролінії?
7. За якою формулою визначається потужність на валу гідромотора?
8. Які найбільш характерні гідроприводи, застосовуються на сільськогосподарській техніці?
9. Що є основними причинами, що стримують комплексну гідрофікацію сільськогосподарської техніки
10. Який принцип дії гідрооб'ємної силової трансмісії ГСТ-90?
11. Які причини винекнення несправностей ГСТ-90?

4.14. ЛЕКЦІЯ № 13. Гідроенергетичні і вітроенергетичні установки

Змістовий модуль 3

«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Гідро і вітроенергетичні установки.

Мета. Ознайомитися з основами теорії гідроенергетичних і вітроенергетичних установок. Вивчити основні способи створення нопору для роботи гідроенергетичних установок. Ознайомитися з конструкцією, принципом дії і правилами експлуатації гідроенергетичних і вітроенергетичних установок.

План лекції

1. Гідроенергетичні установки.
   1.1. Енергія води та її природа. Потужність потоку води.
   1.2. Способи створення напору.
   1.3. Греблеві гідровузли і гідроелектростанції.
   1.4. Експлуатація гідроенергетичних установок.
2. Вітроенергетичні установки.

2.1. Вітер як джерело енергії.
2.2. Конструкція і принцип дії вітроенергетичних установок.
2.3. Класифікація, технічні показники й елементи правил експлуатації вітродвигунів.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 412-443).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 339-365).

Матеріал лекції

1. Гідроенергетичні установки

1.1. Енергія води та її природа. Потужність потоку води

Енергія води є відновлювальним і екологічно чистим джерелом енергії. Кожен водний потік є носієм цілком визначеної кількості енергії.

Під впливом сонця на земній кулі відбувається безперервний круговорот води: вода, яка знаходиться в ґрунтах, річках, морях, океанах, випаровується, а потім у вигляді опадів – дощу чи снігу – знову повертається на земну поверхню.

На земній поверхні, під дією сили тяжіння, вода стікає в понижені місця рельєфу, створюючи струмки, річки, які несуть воду в озера, моря й океани. Таким чином, енергія водотоків є різновидом сонячної енергії, вона практично невичерпна і постійно відновлюється. Цілком природно обернути цю енергію на користь людині. Найбільш ефективно енергію водотоків можна використати для вироблення електроенергії. Здійснюється це за допомогою спеціальних установок, які називаються ***гідроенергетичними установками***. У сільській енергетиці для отримання електричної енергії можуть бути використані малі та середні річки, іригаційні та обводнювальні канали.

Енергія будь-якого потоку води витрачається на подолання внутрішніх і зовнішніх сил опору, на розмив русла і транспортування продуктів розмиву вниз за течією. Кінетична енергія водотоку нерівномірно розподіляється по його довжині – у верхів'ях, де нахили дна більші, вона більша, у середній частині, де нахили менші, вона також менша, а на кінцевій ділянці (перед впаданням у водоймища), де нахили зовсім незначні, водотік має ще меншу кінетичну енергію, тут можливі відкладення продуктів розмиву русла.

Потужність потоку води на ділянці АВ (рис. 4.109) встановимо, скориставшись рівнянням Бернуллі для питомої енергії, тобто енергії тієї маси води, вага якої дорівнює 1 Н (одному ньютону). Згідно з законом збереження, енергія у створі В дорівнює сумі енергії у створі А та втраченої енергії на ділянці АВ.

Рівняння Бернуллі для цієї ділянки має вигляд

$$z_{\text{A}} + \frac{p_{\text{A}}}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_{\text{A}} V_{\text{A}}^2}{2g} = z_{\text{B}} + \frac{p_{\text{B}}}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_{\text{B}} V_{\text{B}}^2}{2g} + e_{\text{AB}}, \qquad (4.343)$$

де z_{A} і z_{B} – висоти точок центрів тяжіння перерізів потоку у створах А і В над довільною площиною порівняння 0-0, м; p_{A} і p_{B} – тиск у центрах тяжіння перерізів А і В, Па; ρ – густина води, кг/м^3; V_{A} і V_{B} – середня швидкість руху води у створах А і В, м/с; α_{A} і α_{B} – коефіцієнти нерівномірності розподілу швидкостей у перерізах А і В, α = 1,03…1,1.

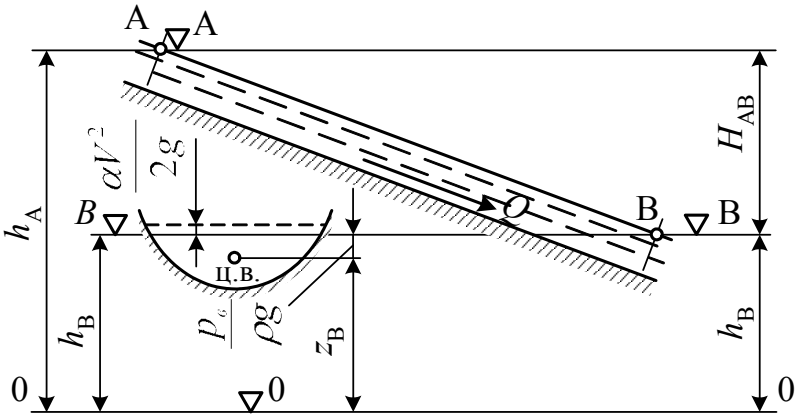


Рис. 4.109. Схема до виведення формули потужності потоку води

Величини z визначають питому потенціальну енергію положення, $p/(\rho g)$ – питому потенціальну енергію тиску, $z+p/(\rho g) = e$ – питома сумарна потенціальна енергія, постійна для всіх точок перерізу, оскільки при збільшенні z на таке ж значення зменшиться $p/(\rho g)$ (рис. 4.109). Це дозволяє оцінювати потенціальну енергію в перерізі по висотному розташуванню точок його вільної поверхні, де $p/(\rho g) = 0$ і $e = h$ (h – висота розташування точок вільної поверхні відносно площини порівняння 0-0).

Величини $\alpha V^2/(2g)$ визначають питому кінетичну енергію в перерізах. Перевіривши розмірності, легко впевнитися, що всі члени рівняння (4.343) вимірюються в метрах.

Перепишемо рівняння (4.343) для вільної поверхні води, враховуючи, що $p/(\rho g) = 0$:

$$h_{\text{A}} + \frac{\alpha_{\text{A}} V_{\text{A}}^2}{2g} = h_{\text{B}} + \frac{\alpha_{\text{B}}^2 V_{\text{B}}^2}{2g} + e_{\text{AB}}. \quad (4.344)$$

Звідси:

$$e_{\text{AB}} = h_{\text{A}} - h_{\text{B}} + \frac{\alpha_{\text{A}}^2 V_{\text{A}}^2}{2g} - \frac{\alpha_{\text{B}} V_{\text{B}}^2}{2g}. \quad (4.345)$$

Різниця кінетичних енергій у перерізах А і В, а саме: $\alpha_{\text{A}} V_{\text{A}}^2/(2g) - \alpha_{\text{B}} V_{\text{B}}^2/(2g)$, у природних умовах невелика, і нею можна знехтувати.

Тоді:

$$e_{\text{AB}} = h_{\text{A}} - h_{\text{B}} = H_{\text{AB}}, \quad (4.346)$$

де H_{AB} – перепад рівнів води на ділянці між перерізами А і В.

Якщо в якості площини порівняння прийняти рівень моря чи нульову відмітку $\nabla 0$, то $h_{\text{A}} = \nabla\text{A}$; $h_{\text{B}} = \nabla\text{B}$; $e_{\text{AB}} = \nabla\text{A} - \nabla\text{B} = H_{\text{AB}}$. При визначенні повної енергії потоку води необхідно врахувати водність потоку, яка визначається витратою води Q, м^3/с. За деякий проміжок часу t на ділянку АВ через створ А ввійде об'єм води $Q \cdot t$ і такий же об'єм вийде через створ В. Вага цього об'єму складе $Q \cdot t \cdot \rho g$, а повна енергія, Дж, яка виділиться на ділянці АВ, визначиться залежністю:

$$E_{\text{AB}} = Q \cdot H_{\text{AB}} \cdot \rho \cdot g \cdot t. \quad (4.347)$$

Потужність потоку N_{AB}, тобто енергія, яка виділяється за секунду, визначається залежністю:

$$N_{\text{AB}} = \frac{E_{\text{AB}}}{t} = Q \cdot H_{\text{AB}} \cdot \rho \cdot g. \quad (4.348)$$

Розмірність N_{AB} у формулі буде:

$$\text{м} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}. \quad (4.349)$$

Ват – дуже мала одиниця, а тому в енергетиці застосовуються більш великі кратні одиниці потужності – кіловат (1 кВт = 1000 Вт) і мегават (1 МВт = 1000 кВт = 10^6 Вт). Виразивши N_{AB} у кіловатах і ввівши числові значення прискорення вільного падіння g = 9,81 м/с^2 та ρ = 1000 кг/м^3, отримаємо:

$$N_{\text{AB}} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{\text{AB}}. \quad (4.350)$$

У виробничих умовах енергію прийнято вимірювати в кіловат-годинах (1 кВт·год = 3600 Дж). Позначивши через T відрізок часу, який розглядається, енергія в кіловат-годинах визначиться залежністю:

$$E_{\text{AB}} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{\text{AB}} \cdot T. \quad (4.351)$$

Зокрема енергія, яка виділяється потоком за рік, T = 8760 год, визначиться залежністю:

$$E_{\text{АВ}}^{\text{річ}} = 85936 \cdot Q \cdot H_{\text{АВ}}. \qquad (4.352)$$

Формули (4.350) і (4.352) застосовуються для підрахунку гідроенергетичного потенціалу потоку води при його середній багаторічній витраті.

1.2. Способи створення напору

У природних умовах енергія річок розосереджена по всій їхній довжині, і використати її практично неможливо. Для того, щоб використати енергію води, необхідно в певному місці зосередити перепад ділянки річки в одному створі й одержати в ньому напір H та сконцентрувати певний запас води об'ємом W. Досягається це за допомогою штучних гідротехнічних споруд. Встановивши у вищеназваному створі турбіни і пропускаючи через них воду витратою Q під напором H, отримаємо певну потужність N.

Існують два основні способи створення напору: греблевий і деріваційний.

Греблевий спосіб. Полягає в тому, що в кінці ділянки річки, яка планується до використання (рис. 4.110, створ В), річка перегороджується греблею, яка створює підпір води, що розповсюджується до початку ділянки (рис. 4.110, створ А), при цьому перепад H_{AB} зосереджується у створі В, а перед греблею утворюється водосховище, тобто штучна водойма, утворювана підпірною спорудою.

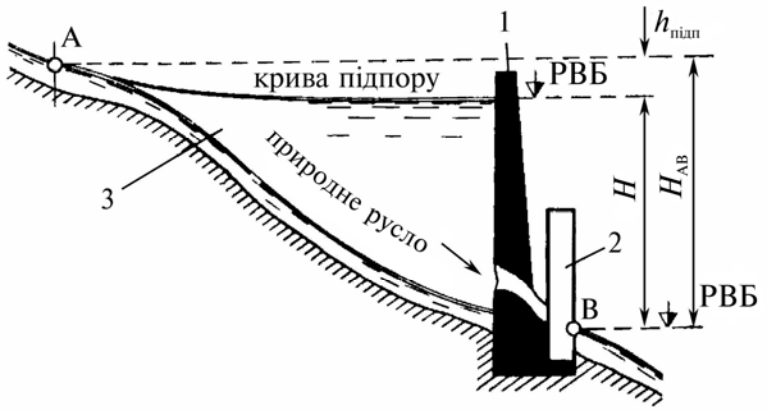


Рис. 4.110. Схема греблевого способу створення напору:
1 – гребля; 2 – будівля ГЕС; 3 – водосховище

Різниця рівнів води у верхньому й нижньому б'єфах називається статичним напором:

$$H = \nabla\text{РВБ} - \nabla\text{РНБ}, \qquad (4.353)$$

де ∇РВБ і ∇РНБ – рівень відповідно верхнього й нижнього б'єфів (рис. 4.110).

Статичний напір H дещо менший за перепад рівнів H_{AB}, оскільки поверхня води у верхньому б'єфі не горизонтальна, а має ввігнуту форму, яка називається кривою підпору. Втрати напору (рис. 4.110) $h_{підп} = H_{AB} - H$ ідуть на переміщення води у верхньому б'єфі. У створі В будується гідроелектростанція, через турбіни якої під напором H пропускається вода, і таким чином виробляється електроенергія. Побудувати греблю, яка б дозволяла використати весь перепад річки від гирла (місця впадіння річки в море і т. д.) до її верхів'я неможливо, оскільки для цього потрібна великої висоти гребля, і це призвело б до великих затоплень територій. Тому річка звичайно розбивається на декілька ділянок по довжині, і в кінці кожної з них будується гребля, підпір від якої розповсюджується до вищерозташованої греблі.

Сукупність гідровузлів, розташованих на одній річці, називається ***каскадом***, а кожна окрема ділянка з гідроелектростанцією на ній – ***ступенем каскаду*** (рис. 4.111).

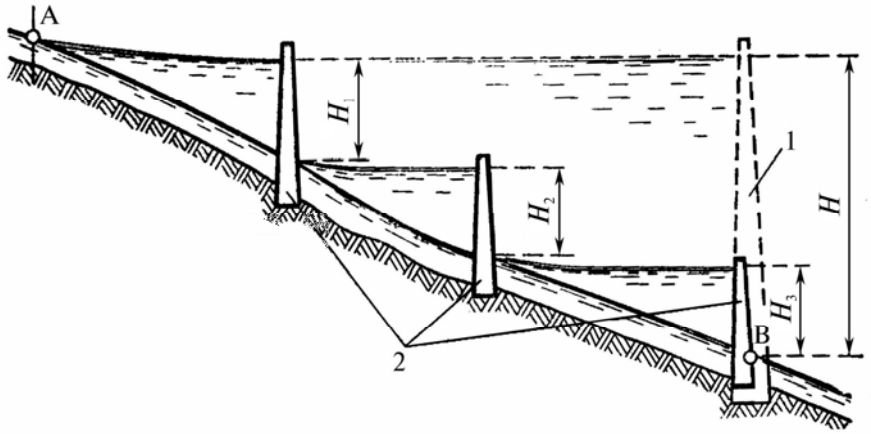


Рис. 4.111. Схема каскаду гідровузлів:
1 – гребля при одноступеневій схемі; 2 – ступені каскаду

Деріваційний спосіб. Він полягає в тому, що на початку ділянки (рис. 4.112, створ А) вода відводиться з природного русла в штучне водоймище (напірний басейн) за допомогою деривації – каналу чи тунелю.

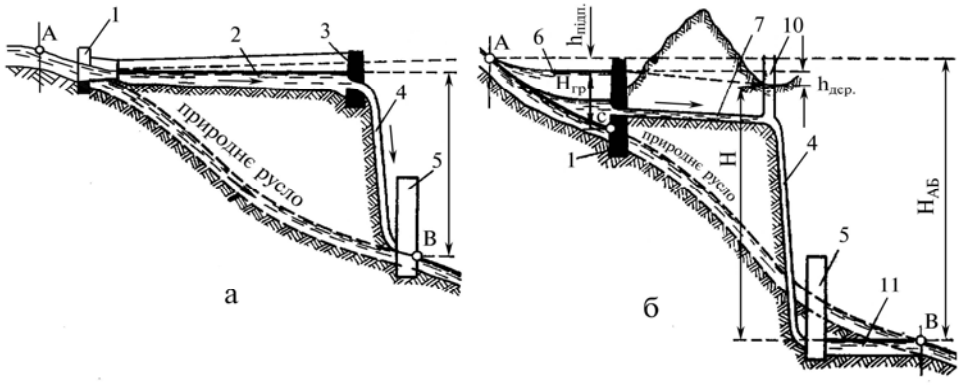


Рис. 4.112. Схеми деріваційних гідровузлів:
а – з деріваційним каналом; б – з деріваційним тунелем; 1 – гребля (підпірна споруда); 2 – підвідний деріваційний канал; 3 – напірний басейн; 4 – турбінний водовід; 5 – будівля ГЕС; 6 – водосховище; 7 – напірний деріваційний водовід (тунель); 10 – зрівнювальний резервуар; 11 – відвідний деріваційний водовід

Напір утворюється за рахунок різниці похилів деріваційного водоводу і природного русла річки.

Застосовується деріваційний спосіб на гірських річках з невеликою витратою води й зі значними похилами їхнього дна. Оскільки в умовах України цей спосіб застосовується рідко (у наявності є тільки дві деріваційні гідроелектростанції), то розгляд його обмежимо наведенням технічного рисунка деріваційної гідроелектростанції (рис. 4.113).

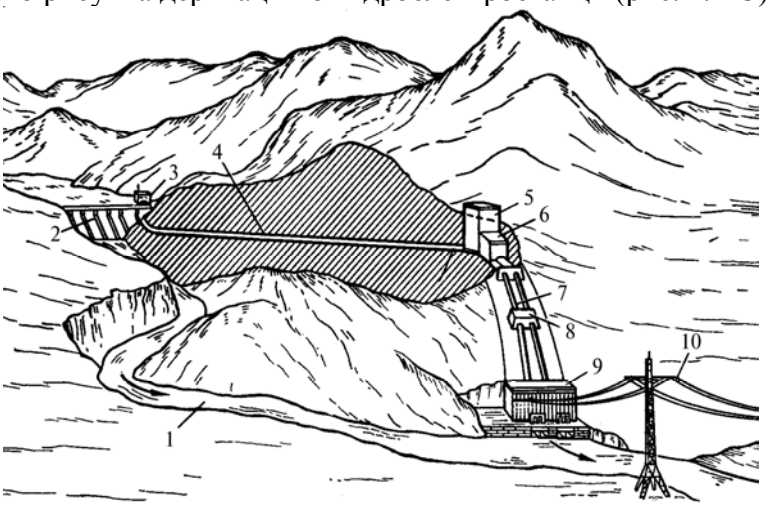


Рис. 4.113. Гідровузол деріваційної ГЕС:
1 – русло річки; 2 – гребля; 3 – водоприймач; 4 – деріваційний тунель (напірна деріваційна); 5 – зрівнювальний резервуар; 6 – розвилка водоводів; 7 – турбінні водоводи; 8 – опора водоводів; 9 – будівля ГЕС; 10 – лінія електропередачі.

1.3. Греблеві гідровузли і гідроелектростанції

Греблеві гідровузли – це вузли з греблевим способом створення напору. Вони використовуються на рівнинних річках як з вузькою, так і широкою заплавами і є основними в сільській гідроенергетиці.

Гідровузол – це комплекс гідротехнічних споруд, об'єднаних за своїм розташуванням і призначенням. До їхнього складу входять греблі та водопропускні споруди. Тут розглядаються гідровузли, призначені для вироблення електроенергії, які у своєму складі мають гідроелектростанції (ГЕС).

Залежно від місця розташування ГЕС у складі гідровузла, вони поділяються на гідровузли з русловим і пригреблевим розташуванням ГЕС.

У гідровузлах з ***русловим розташуванням ГЕС*** остання входить до складу напірного фронту гідровузла, тобто розміщується у створі греблі і є її частиною (рис. 4.114; 4.115, а).

Такі гідровузли улаштовуються при наявності широкої заплави, при якій є можливість будівлю ГЕС розмістити заодно з греблею.

У гідровузлах з ***пригреблевим розташуванням ГЕС*** остання розташовується нижче греблі (у нижньому б'єфі), а вода на турбіни подається турбінними водоводами, прокладеними від верхнього б'єфа під греблею або в її тілі (рис. 4.115, б; 4.116).

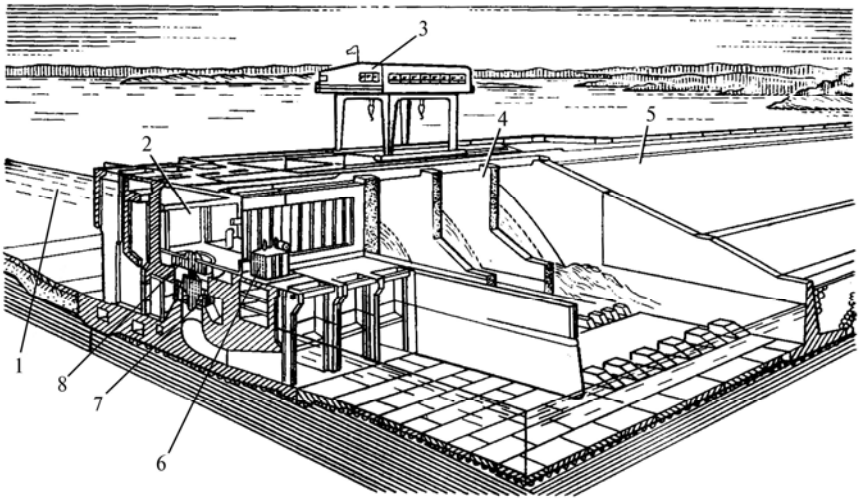


Рис. 4.114. Греблевий гідровузол з русловим розташуванням ГЕС: 1 – водосховище; 2 – будівля ГЕС; 3 – козловий вантажопідйомний кран; 4 – водозливна частина греблі; 5 – глуха частина греблі; 6 – трансформатор; 7 – турбіна; 8 – генератор

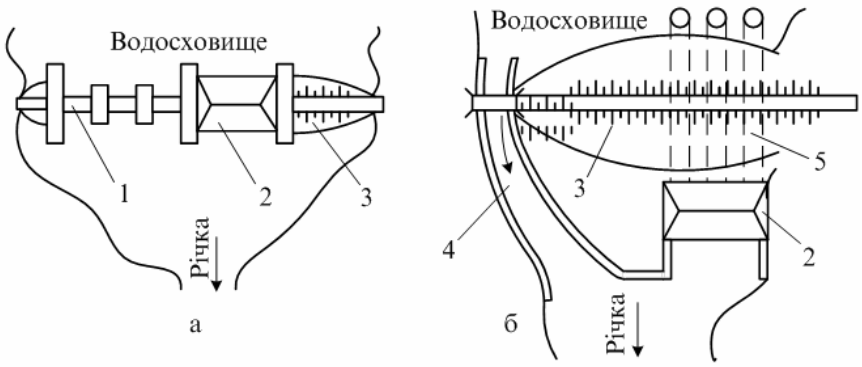


Рис. 4.115. План греблевих гідровузлів з ГЕС:
а – з русловим розташуванням ГЕС; б – з пригреблевим розташуванням ГЕС:
1 – водозливна (бетонна) частина греблі; 2 – будівля ГЕС; 3 – земляна частина греблі; 4 – поверхневий (відкритий) водоскид; 5 – турбінні водоводи

Застосовується цей тип гідровузлів у випадках, коли річка має вузьке русло і вузьку заплаву, тобто коли розмістити будівлю ГЕС у створі греблі неможливо через відсутність місця для неї. Підпірний фронт таких гідровузлів утворюється бетонними водозливною і станційною частинами греблі (рис. 4.116) і глухою її частиною.

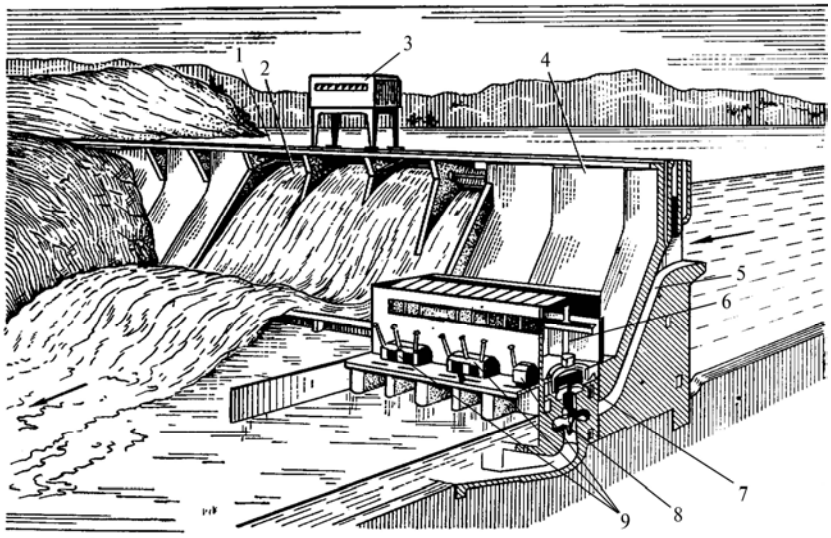


Рис. 4.116. Греблевий гідровузол з пригреблевим розташуванням ГЕС:
1 – водосховище; 2 – водозливна частина греблі; 3 – козловий вантажопідйомний кран; 4 – станційна частина греблі; 5 – турбінний водовід; 6 – будівля ГЕС; 7 – генератор; 8 – турбіна; 9 – трансформатори

Греблі – це гідротехнічні споруди, які перегороджують русло й заплаву річки чи інших водотоків з метою утворення водосховища або підняття рівня води для створення її напору.

Греблі можуть бути земляними, кам'яноземляними і бетонними. У вузлах сільських ГЕС застосовуються переважно земляні або кам'яноземляні греблі (рис. 4.117).

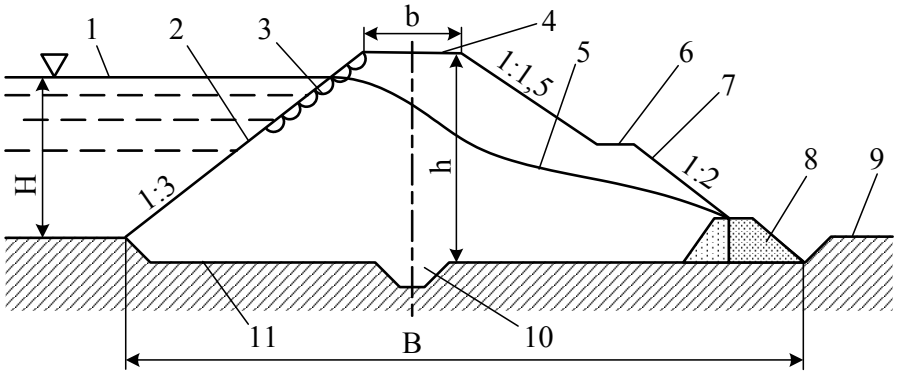


Рис. 4.117. Поперечний переріз земляної греблі:
1 – верхній б'єф; 2 – верховий (мокрий) схил; 3 – кріплення камінням хвилеударної зони; 4 – гребінь; 5 – лінія насичення (депресії); 6 – берма; 7 – низовий (сухий) схил; 8 – дренажна призма; 9 – нижній б'єф; 10 – зуб; 11 – підошва греблі; b – ширина греблі зверху; h – висота греблі; B – ширина греблі знизу; 1:3, 1:1, 5, 1:2 – закладення схилів; H – глибина води у водосховищі

Зображена на рисунку 4.117 гребля є так званою глухою, оскільки через неї недопустиме переливання води. У поперечному перерізі земляні та кам'яноземляні греблі мають форму нерівнобічної трапеції. Верховий (мокрий) схил (рис. 4.117) робиться більш пологим, ніж низовий, бо він майже по всій поверхні торкається води, що може викликати зсув ґрунту. У зоні дії хвильових явищ, для запобігання розмиву, він кріпиться камінням. Низовий схил закріплюється посівом багаторічних трав. Якщо він довгий (широкий), то для запобігання великим поздовжнім потокам природних вод, які можуть викликати його розмиви, на низовому схилі робиться берма. Для того, щоб лінія насичення (депресії) не виклинювалася на поверхню низового схилу і не викликала виносу частинок ґрунту з тіла греблі, у його нижній частині робиться дренажна призма зі зворотним фільтром (пісок – гравій – щебінь – каміння). Якщо основа під греблею водопроникна на невелику глибину, то в ній робиться зуб, якщо цього недостатньо, він доповнюється шунтом – металевою чи дерев'яною стінкою. Робиться шунт шляхом забивання в ґрунт металевих пластин чи дерев'яних брусів на розрахункову глибину.

Якщо ґрунт, з якого робиться гребля, легко водопроникний, то для зменшення фільтрації води через її тіло в ній улаштовується діафрагма,

або ядро, у вигляді вертикальної стінки вздовж всієї довжини греблі. По гребню греблі будується дорога, яка з боків огороджується надолобнями. Висота греблі сільських гідровузлів 3…12 м.

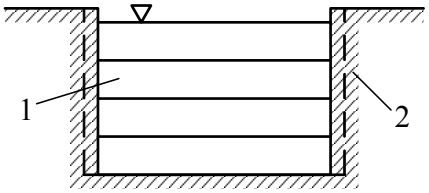


Рис. 4.118. Схема шлюзу: 1 – щит; 2 – бетонний береговий стояк

Водопропускні споруди – це споруди, через які пропускається зайва вода або спорожнюються водосховища. У відповідності до цього вони діляться на водоскидні і водовипускні споруди.

Водоскидні споруди служать для скидання зайвої води в нижній б'єф. Зайвою вода буває під час повеней і паводків. Значення витрати води, яка скидається через водоскидні споруди, визначається на підставі гідрологічних розрахунків, залежно від величини стоку та площі водозбору.

За конструкцією водоскидні споруди можуть бути відкритими й закритими.

Прикладом відкритих водоскидів можуть бути шлюзи із затворами (рис. 4.118) або поверхневі водоскиди у вигляді обвідних каналів (рис. 4.115). Шлюзи являють собою отвір у греблі, який перекривається щитами, що утримуються в пазах, зроблених у берегових стояках (рис. 4.118). Вони ж можуть виконувати і функцію водовипускних споруд, про що йтиметься нижче.

Закритими водоскидними спорудами є баштові водоскиди (рис. 4.119). У них гребінь кільцевого водозливу розташовується на відмітці нормального підпертого горизонту.

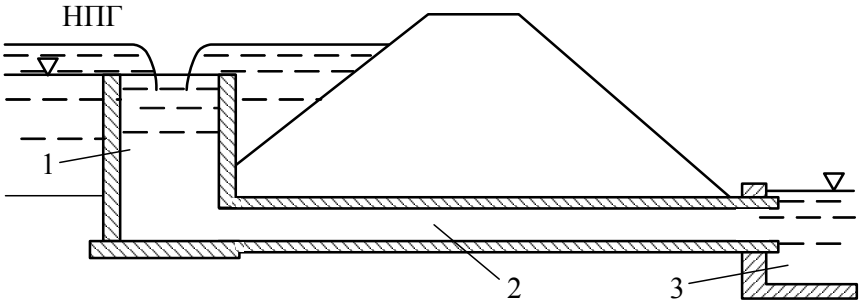


Рис. 4.119. Схема баштового водоскиду: 1 – башта з кільцевим водозливом (приймальний колодязь); 2 – труба; 3 – водобійний колодязь (заспокоювач).

Водовипускні споруди служать для періодичного спорожнення водосховища при ремонті греблі або очищенні водосховища від наносів. Прикладами їх є шлюзи (рис. 4.118), якщо на шлюзі повністю видалити щити, донні трубчасті водовипуски із затвором на початку або в кінці труби-водовипуску (рис. 4.120).

Розмір отвору чи діаметр труби водовипусків визначають часом, протягом якого необхідно спорожнити водосховище.

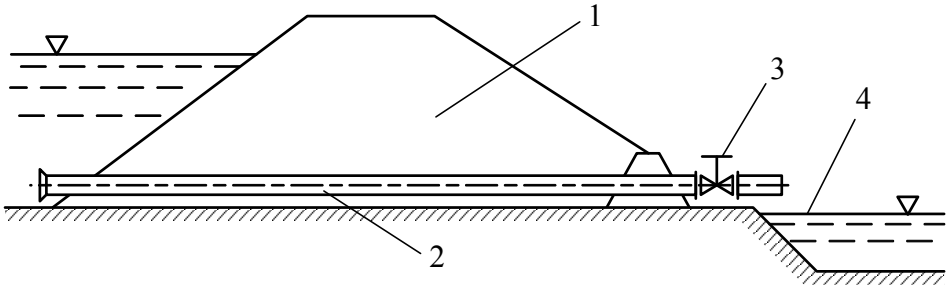


Рис. 4.120. Схема донного трубчастого водовипуску з напірною трубою:
1 – гребля; 2 – водовипускна труба;
3 – затвор; 4 – водобійний колодязь

Гідроелектростанції

Принцип роботи гідроелектростанцій, їхня потужність і вироблення електроенергії. У природних умовах енергія води на ділянці річки АВ швидко зменшується при її русі від створу А до створу В, розсіваючись вздовж русла (рис. 4.121).

Після створення напору описаними вище способами енергія води у верхньому б'єфі кінцевого створу В майже така, як і у створі А, а в нижньому б'єфі створу В вона приблизно така, як і в природному стані. Сконцентрована у створі В гідроенергія потоку перетворюється на механічну енергію за допомогою гідромеханічного обладнання гідроелектростанції.

Гідроелектростанція (ГЕС) – це комплекс гідротехнічних споруд і обладнання для перетворення енергії води на електричну (рис. 4.122). З верхнього б'єфа вода через водоприймач 1 і турбінний водовід 2 підводиться до турбін 3. Пройшовши проточну частину турбін і віддавши енергію, вода відводиться в нижній б'єф.

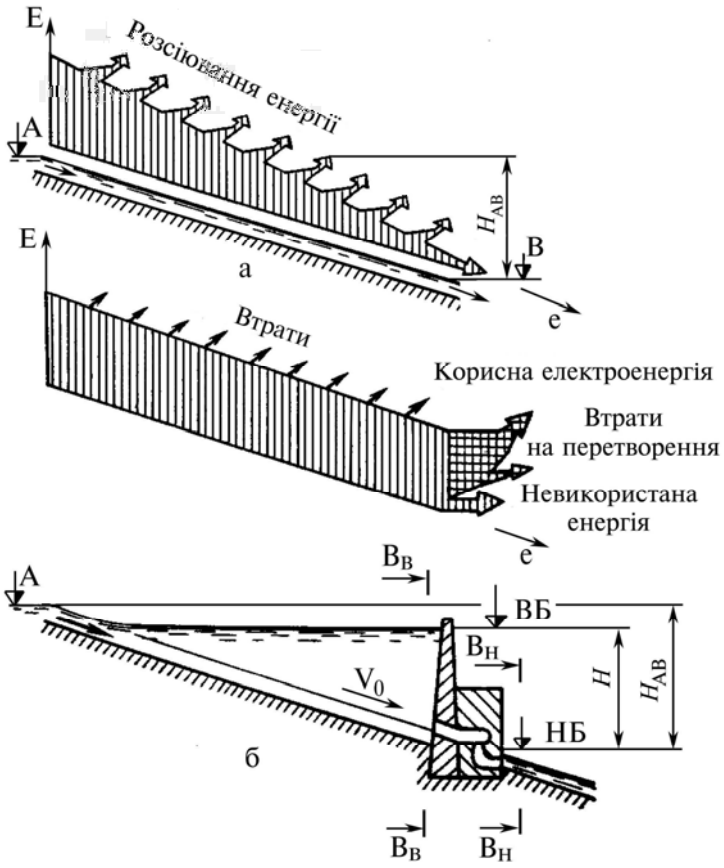


Рис. 4.121. Діаграма енергії водного потоку:
а – у природному стані; б – після спорудження ГЕС;
в – схема гідровузла з ГЕС

Турбіна обертає ротор електрогенератора 4, і в його статорі 5 виробляється електричний струм. По шинах 6 струм подається на підвищувальний трансформатор 7, далі на розподільчий пристрій 8 і під високою напругою надходить до ліній електропередачі 9, направляючись до споживачів електроенергії. Потужність ГЕС, згідно з рівнянням (4.350), визначиться залежністю:

$$N = 9{,}81 \cdot Q \cdot H, \qquad (4.354)$$

де Q – витрата води; H – напір на ГЕС.

Оскільки при перетворенні енергії води неминучі її втрати, то не вся потужність, вирахувана за залежністю (4.354), перетворюється на корисну електричну потужність. Втрати енергії враховуються введенням сумарного коефіцієнта корисної дії ГЕС η, яким враховуються

втрати енергії у водоприймачі, турбінних водоводах, у турбіні і генераторі. Тоді корисну електричну потужність на виводах ГЕС можна знайти за залежністю:

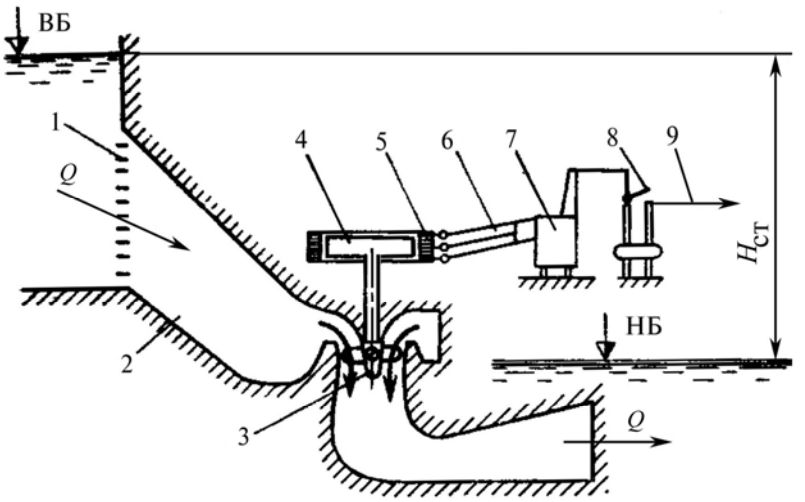


Рис. 4.122. Технологічна схема гідроелектростанції

$$N = 9{,}81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \,. \tag{4.355}$$

Враховуючи, що сумарний $\eta \approx 0{,}87$, для приблизних розрахунків можна прийняти:

$$N = 8{,}5 \cdot Q \cdot H \,. \tag{4.356}$$

Вироблення електроенергії E (кВт·год) за період роботи ГЕС T визначається за залежністю:

$$E = N \cdot T = 8{,}5 \cdot Q \cdot H \cdot T \,. \tag{4.357}$$

Будівлі ГЕС служать для розташування в них основного гідромеханічного, електротехнічного, а також допоміжного обладнання. Гідромеханічне обладнання – це гідротурбіни, а електротехнічне – електрогенератори. Турбіни і генератори між собою з'єднуються одним валом. Будівля ГЕС є основною спорудою гідровузла з ГЕС і ділиться на два пояси – нижній і верхній. У нижньому поясі розташовується гідромеханічне обладнання – турбіни, турбінні камери і відсмоктувальні трубопроводи, а у верхньому – електрогенератори, регулятори, пульт керування та інше електротехнічне і допоміжне обладнання (рис. 4.123).

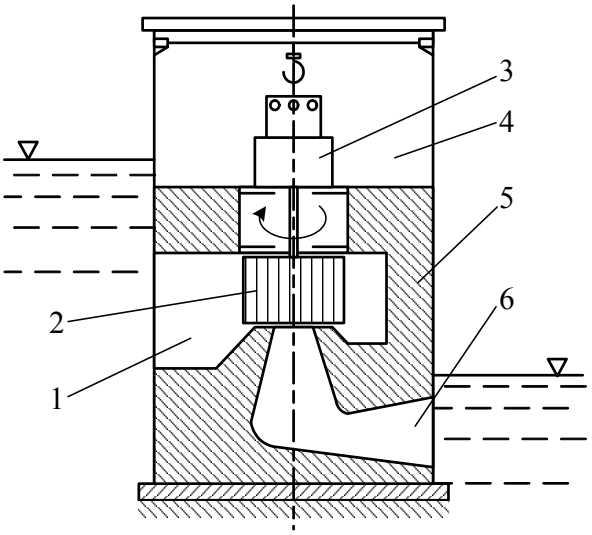


Рис. 4.123. Схема будівлі руслової ГЕС:
1 – спіральна підвідна камера; 2 – радіально-осьова турбіна; 3 – електрогенератор; 4 – верхній пояс; 5 – нижній пояс; 6 – відсмоктуюча труба

Нижня частина (пояс) будівлі ГЕС робиться із залізобетону, верхня – з кам'яних матеріалів, цегли та збірного залізобетону.

До допоміжного обладнання належать: масляне господарство, технічне водопостачання, система осушення проточної частини гідроагрегатів, система вентиляції, вантажопідйомне обладнання і т. ін.

1.4. Експлуатація гідроенергетичних установок

Основне завдання експлуатації гідроенергоустановок полягає в забезпеченні високої надійності вироблення електричної енергії згідно з потребами споживачів. Гідроенергоустановки – це об'єкти з дуже високим рівнем механізації й автоматизації технологічних процесів, а тому їхня експлуатація вимагає порівняно невеликої кількості експлуатаційного персоналу. Кількісний склад експлуатаційного персоналу встановлюється штатним коефіцієнтом, тобто кількістю штатних одиниць, яка приходиться на 1 МВт установленої потужності, він становить приблизно 0,2…0,3.

Експлуатацію гідроенергоустановок слід здійснювати згідно з «Правилами технічної експлуатації електростанцій» (ПТЕ).

Експлуатаційний персонал гідроенергоустановок зобов'язаний піклуватися про економність роботи електростанцій. Для цього необхідно забезпечувати режими, при яких турбіни мають найвищий ККД, підтримувати найбільші можливі напори води, не допускати її втрат, не допускати засмічування сміттєзатримуючих решіток і, як наслідок, втрат напору на них, забезпечувати оптимальні режими експлуатації водосховища.

Важливою задачею експлуатації ГЕС є підтримання в працездатному стані споруд і обладнання гідровузла. Основою надійної роботи обладнання є планово-попереджувальні профілактичні ремонти, які слід проводити згідно з графіком.

При запуску турбіни після ремонтів та технічних оглядів і доглядів необхідно перевіряти її стан, перевіряти відсутність сторонніх предметів у всьому водовідному каналі-водоприймачі, турбінному водоводі, турбіні, відсмоктувальній трубі. Необхідно приділяти увагу захисту механічного обладнання та металевих конструкцій гідровузла від корозії.

Головним документом, який регламентує експлуатацію гідротурбіни, є інструкція заводу-виробника. На її основі, з урахуванням місцевих умов, розробляється робоча інструкція, призначена для виконання експлуатаційним персоналом.

Дуже важливим положенням при експлуатації ГЕС є обов'язкова передача зміни між попереднім і заступаючим на зміну черговим, з обов'язковим документальним оформленням цієї норми.

Черговий, який заступає на зміну, зобов'язаний особисто оглянути станцію і впевнитися в якісності її роботи, ознайомитись з неполадками, які мали місце в попередній зміні. Черговий по станції протягом зміни зобов'язаний слідкувати за її роботою, звертати увагу на появу ненормальних шумів, ударів, струсів і т. д.

Тільки ретельне дотримання всіх вимог якісної експлуатації гідроенергоустановок може забезпечити високоефективну їхню роботу.

2. Вітроенергетичні установки

2.1. Вітер як джерело енергії

Енергія вітру, як і енергія води, є відновлювальним природним видом енергії. У світовій практиці енергія вітру широко використовується в господарській діяльності, широко вона використовувалась і в нашій державі в 50-70-і роки XX ст.

Використовується енергія вітру за допомогою вітросилових установок, які ще називаються вітродвигунами.

Особливо ефективним і доцільним використання енергії вітру є в сільському господарстві, де багато розосереджених об'єктів, віддалених від ліній електропередач, саме на них і доцільно застосовувати вітроустановки.

Вітер – це переміщення повітряних мас. Причиною його є перепад тисків, обумовлений різницею в балансі сонячного випромінювання, яке діє на великі площі різних територій.

Основними характеристиками вітру є його швидкість і напрямок. Швидкість вітру є його основною енергетичною характеристикою й означає відстань, яку проходить повітряний потік за одиницю часу,

м/с. У часі швидкість вітру завжди непостійна, вона може змінюватися навіть протягом незначних часових відрізків на значну величину. Тому на практиці використовується поняття середньої швидкості вітру як середньої арифметичної величини з декількох вимірювань її значення, здійснюваних через певні проміжки часу.

Середня швидкість, отримана як середнє арифметичне значення з декількох вимірювань, зроблених протягом години, називається середньогодинною швидкістю вітру. Склавши середньогодинні швидкості за добу й розділивши на 24 години, отримаємо середньодобову швидкість вітру.

Аналогічно знаходяться середньомісячна і середньорічна швидкості. Вимірюються характеристики вітру флюгерами й анемометрами.

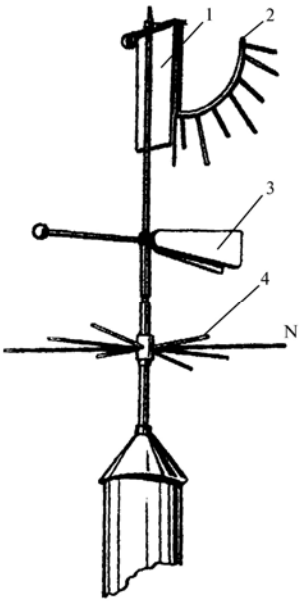


Рис. 4.124. Схема флюгера: 1 – пластина; 2 – дуга зі штифтами; 3 – дволопатева флюгерка; 4 – штифти сторін світу; N – астрономічна північ

Флюгери вимірюють швидкість і напрямок вітру, вони встановлюються на висоті 10 м над поверхнею землі (рис. 4.124). Приймачем швидкості вітру є металева пластина вагою 200 г або 800 г, яка вільно гойдається на горизонтальній осі. Пластина переміщується вздовж дуги, на якій закріплені 8 штифтів, за положенням її відносно штифтів і визначається швидкість вітру. Штифти нумеруються від 0 до 7, нульовий і парні штифти, тобто 0, 2, 4, 6 – довгі, а непарні 1, 3, 5, 7 – короткі.

Кожному штифту відповідає певна швидкість вітру, яка встановлюється за таблицею. Наприклад, при положенні пластини вагою 200 г між штифтами 0 і 1 швидкість вітру складає 1 м/с, на штифті 7 швидкість вітру – 20 м/с.

Приймачем напрямку вітру є дволопатева флюгерка з противагою, яка обертається на вертикальній осі вздовж восьми штифтів, що показують напрямки сторін світу.

Анемометрами вимірюється швидкість вітру від 1 до 20 м/с за період до 10 хв. Елементом, яким сприймається вітер, є вертушка з чотирма напівкулями (чашечками) (рис. 4.125).

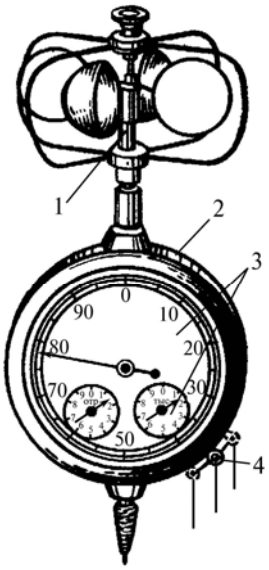


Рис. 4.125. Схема чашечкового анемометра: 1 – вертушка з чашечками; 2 – корпус; 3 – шкали обертів; 4 – пусковий механізм

Обертання вертушки перетворюється на переміщення стрілок, які показують швидкість вітру. Системні спостереження за швидкістю й напрямками вітру проводяться на метеорологічних станціях.

Вітровий режим у конкретному пункті чи районі ілюструється діаграмою, яка називається ***розою вітрів***. Вона будується таким чином: через загальний центр проводяться прямі лінії, напрямлені згідно зі сторонами світу (рис. 4.126). Вертикальна лінія позначає Південь – Північ (низ – Південь, Пд; верх – Північ, Пн), горизонтальна – Захід – Схід (зліва – Захід, З; справа – Схід, С). Нахилені лінії позначають відповідно Південний Схід Пд-С і Північний Захід Пн-З (Пд-С – Пн-З) та Південний Захід Пд-З і Північний Схід Пн-С (Пд-З – Пн-С). Вздовж ліній діаграми від центра відкладаються відрізки, які відповідають, у певному масштабі, повторності напрямків вітру в процентах. Кінці всіх відрізків з'єднуються прямими лініями (рис. 4.126).

Багатокутник, який буде отриманий після цього, дає наочне уявлення про переважний напрямок вітрів у цьому пункті. Усередині першого багатокутника іноді будується другий, який характеризує середню швидкість вітру з відповідним напрямком за певний період (5...10 років).

Повітряний потік, як і будь-яке тіло, що рухається, володіє енергією руху, або кінетичною енергією, яка тим більша, чим вища швидкість його руху. З фізики відомо, що тіло, яке рухається зі швидкістю V, м/с, і має масу M, кг, володіє кінетичною енергією, яку математично можна виразити залежністю:

$$E = \frac{MV^2}{2}. \tag{4.358}$$

Позначимо через F площу поперечного перерізу повітряного потоку, енергію якого можна перетворити на механічну, тоді кількість маси повітря, яке протікає за одиницю часу через цей переріз зі швидкістю V, знайдемо таким чином.

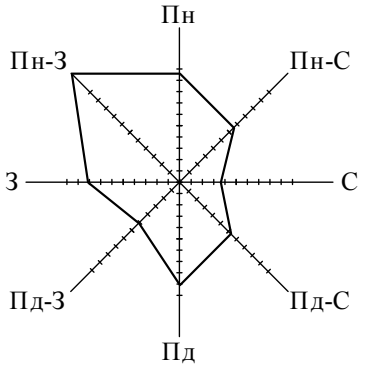


Рис. 4.126. Діаграма «Роза вітрів»

Об'єм повітря W, який проходить через переріз F за одну секунду, буде:

$$W = V \cdot F. \tag{4.359}$$

Помноживши цей об'єм на питому вагу повітря γ, отримаємо його вагу:

$$G = \gamma \cdot V \cdot F. \tag{4.360}$$

Секундну масу тіла отримаємо, розділивши формулу (4.359) на прискорення вільного падіння g:

$$M = \frac{G}{g} = \frac{\gamma \cdot V \cdot F}{g}. \tag{4.361}$$

Оскільки γ/g є густиною повітря ρ, то

$$M = \rho \cdot V \cdot F. \tag{4.362}$$

Підставивши значення M у формулу енергії (4.358), отримаємо:

$$E = \frac{MV^2}{2} = \frac{\rho \cdot V \cdot F \cdot V^2}{2} = \frac{\rho \cdot V^3 \cdot F}{2} \text{ Вт}. \tag{4.363}$$

Цей вираз характеризує кількість енергії вітру, яка протікає за секунду через переріз F. Права частина формули (4.363) показує, що енергія потоку вітру змінюється пропорційно третьому степеню швидкості та величині його перерізу.

Таким чином, за формулою (4.363) можна вирахувати потенціальну енергію потоку вітру.

2.2. Конструкція і принцип дії вітроенергетичних установок (вітродвигунів)

Вітродвигуни – це пристрої, призначені для перетворення енергії вітру на механічну енергію. Основним робочим органом вітродвигунів є ***вітроколесо***. За конструкцією вітроколеса бувають лопатеві, карусельні, роторні, барабанні (рис. 4.127).

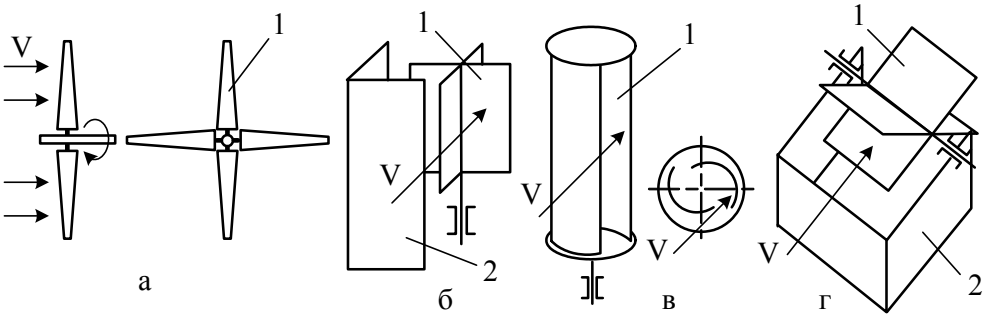


Рис. 4.127. Схеми вітроколіс:
а – лопатеве; б – карусельне; в – роторне; г – барабанне;
1 – вітроколесо; 2 – ширма

Найбільш розповсюджені вітродвигуни з лопатевими (крильчастими) колесами, які складаються з окремих лопатей (рис. 4.127, а).

Комплекс, до складу якого входять вітродвигун і допоміжне обладнання, є ***вітроенергетичною установкою***.

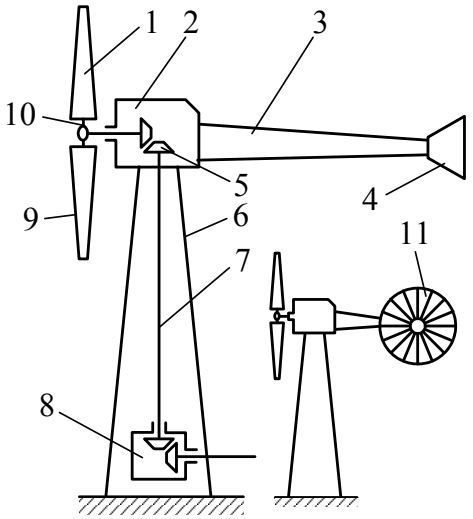


Рис. 4.128. Принципова схема лопатевого вітродвигуна:
1 – вітроколесо; 2 – головка; 3 – ферма хвоста; 4 – хвіст; 5 – верхній передаточний механізм; 6 – башта; 7 – вертикальний вал; 8 – нижній редуктор;
9 – лопать; 10 – мах; 11 – віндрозний механізм

Лопатеві вітродвигуни складаються з таких основних частин і вузлів: вітроколеса, головки, хвоста, башти, приводної лебідки або нижнього редуктора, генератора чи іншого механізму, який приводиться в дію вітродвигуном, віндрозного механізму, механізму регулювання частоти обертання вітроколеса (рис. 4.128).

Вітроколесо – це основний робочий орган, який сприймає енергію потоку вітру і перетворює її на обертову енергію. Вітроколесо складається з лопатей, розташованих по радіусах. Лопаті кріпляться до махів, а махи закріплюються на валу.

Принцип дії вітроколеса, тобто умови, що викликають його обертання відносно вала (осі), полягає в наступному. Лопаті вітроколеса відносно своєї осі повернуті на певний кут по відношенню до його площини, а тому вектор сили тиску потоку вітру на лопать розкладається на дві складові, одна з яких і змушує лопать відштовхуватися в напрямку, протилежному її дії. Тобто лопать відштовхується під дією сили реакції однієї зі складових сили тиску повітря на неї.

Головка являє собою опору, на якій монтується вал вітроколеса, верхній передаточний механізм та пристрій для регулювання частоти обертання вітроколеса. Вона вільно обертається навколо вертикальної осі.

Хвіст – це ферма із закріпленим на ній щитом (оперенням). Хвіст призначений для виведення вітроколеса в положення, перпендикулярне до напрямку вітру (на вітер), і застосовується на вітродвигунах потужністю до 10 кВт. На більш потужних вітродвигунах для цієї ж мети, тобто виведення вітроколеса на вітер, застосовуються віндрозні механізми.

Віндрозний механізм складається з двох багатолопатевих вітроколіс (віндроз), площини обертання яких розташовані перпендикулярно до площини обертання основного вітроколеса (рис. 4.128). При перпендикулярному положенні основного вітроколеса до напрямку вітру віндрозні вітроколеса стоять ребрами лопатей до нього й не обертаються. При боковому вітрі віндрози починають обертатися і за допомогою спеціального механізму повертають головку до нормального (перпендикулярного) положення основного вітроколеса стосовно напрямку вітру. Після чого віндрози встановлюються ребрами лопатей до вітру і зупиняються.

Башта служить для винесення вітроколеса на висоту, де не проявляється вплив наземних перешкод (будівель, дерев) на прямолінійність руху повітряних потоків (вітру). Башта робиться у вигляді металевої тричи чотиригранної ферми або трубчастою.

Передаточний механізм (верхній і нижній) служить для передачі обертів вітроколеса машині, яку приводить вітродвигун. Він не завжди має конструкцію, яка показана на рис. 4.128. Наприклад, передача обертів від вітроколеса може здійснюватися безпосередньо валу електрогенератора (вітроколесо насаджене на вал електрогенератора) або через редуктор, розташований у головці вітродвигуна.

Регулятори частоти обертання вітроколеса служать для автоматичного обмеження або регулювання частоти обертання вітроколеса при великих швидкостях вітру. Розглянемо деякі способи досягнення цього.

Спосіб повертання лопатей або їхніх частин відносно своєї осі. Застосовується на великих вітродвигунах і досягається повертанням лопатей відцентровими вантажиками (рис. 4.129).

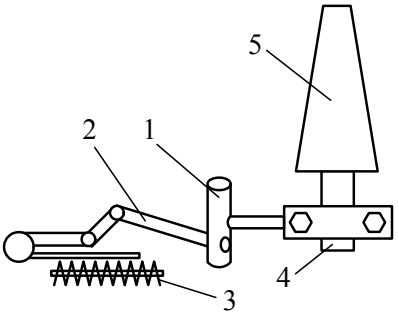


Рис. 4.129. Схема регулятора частоти обертання вітроколеса поворотом лопатей вантажниками: 1 – вантажик; 2 шатун; 3 – пружина; 4 – мах; 5 – лопать

Отже, при збільшенні частоти обертання основного вітроколеса вантажик під дією відцентрової сили повертає лопать відносно осі в напрямку установки її перпендикулярно вітру, внаслідок чого і зменшується частота обертання вітроколеса. Повернення лопатей у попереднє положення здійснюється пружиною. Аналогічним цьому способу є повертання частини крила, в яку також вмонтовується механізм регулювання, що працює за принципом використання відцентрової сили при збільшенні частоти обертання вітроколеса.

Спосіб ексцентричного розташування осі вітроколеса відносно осі обертання головки. Цей спосіб полягає в тому, що при великій частоті обертання вітроколеса, за рахунок ексцентриситету посадки осі, воно виводиться з-під вітру, у попереднє положення повертається пружиною (рис. 4.130).

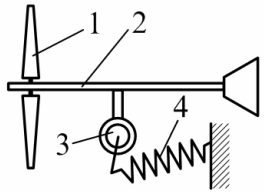


Рис. 4.130. Схема регулювання частоти обертання вітроколеса ексцентричною посадкою його осі: 1 – вітроколесо; 2 – вісь обертання вітроколеса; 3 – вісь обертання головки; 4 – пружина

Спосіб виведення вітроколеса з-під вітру боковою лопатою полягає в тому, що при зростанні швидкості вітру відповідно зростає сила тиску його на лопату, яка повертає вітроколесо, таким чином виводячи його з-під вітру (рис. 4.131).

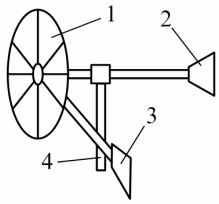


Рис. 4.131. Схема регулювання частоти обертання боковою лопатою:
1 – вітроколесо; 2 – хвіст; 3 – бокова лопата;4 – башта

2.3. Класифікація, технічні показники й елементи правил експлуатації вітродвигунів

За призначенням вітродвигуни поділяються: на вітроелектричні; вітроводопідйомні; універсальні та вітряні млини.

Вітроелектричні – це вітродвигуни, в яких енергія вітру безпосередньо перетворюється на електричну енергію. Саме цього типу вітродвигуни мають сучасне розповсюдження, і виготовляються вони конструкторським бюро «Південне» (м. Дніпропетровськ). На рисунку 4.132 показаний агрегат вітроелектричний АВЕ-250 (250 – потужність, кВт) виробництва цього підприємства.

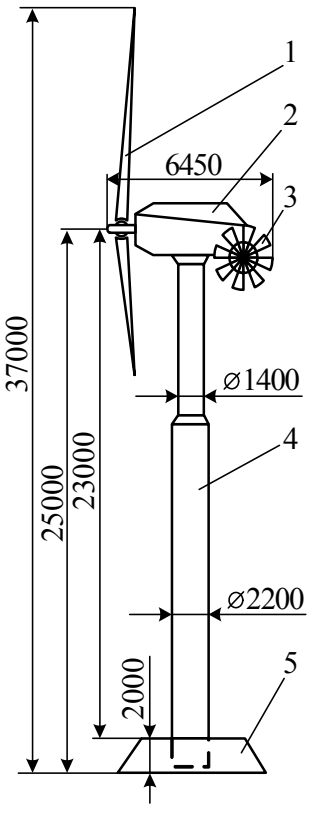


Рис. 4.132. Агрегат вітроелектричний АВЕ-250:
1 – вітроколесо з трьома лопатями; 2 – головка;
3 – віндрозне вітроколесо (2 шт.); 4 – башта
(2 секції); 5 – фундамент

На тому ж підприємстві випускається вітроелектричний агрегат потужністю 500 кВт – АВЕ-500 (рис. 4.133, а).

Він має такі технічні показники: робочий діапазон швидкостей вітру 4…25 м/с (номінальна – 13,6 м/с); діаметр вітроколеса – 34 м; кількість лопатей – 3; частота обертання вітроколеса – 37,5 $хв^{-1}$; висота вітроагрегату – 48,5 м; висота башти – 29,2 м; діаметр біля основи – 3,2 м, біля вершини – 1,7 м; кількість генераторів – 2 шт.; частота обертання ротора генератора – 1500 $хв^{-1}$.

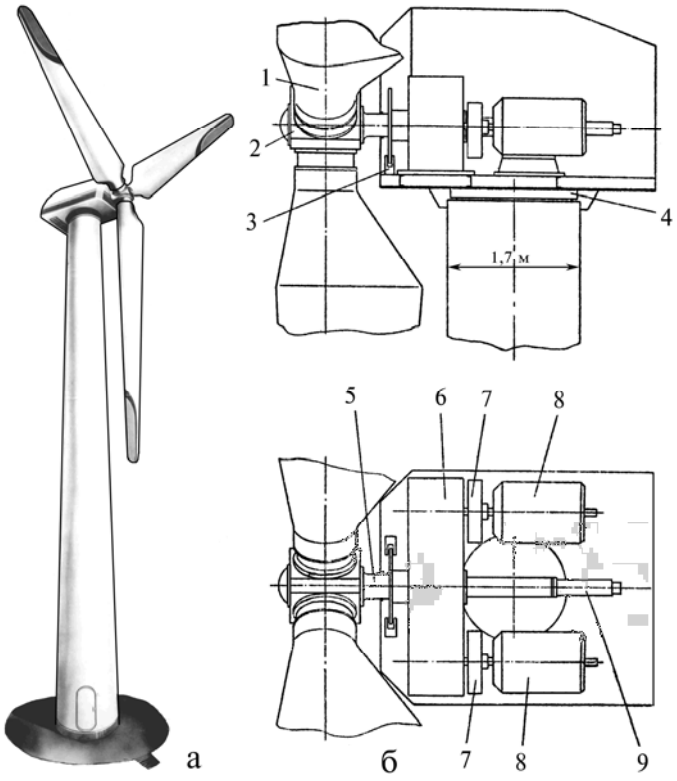


Рис. 4.133. Агрегат вітроелектричний АВЕ-500:
а – загальний вигляд; б – вміст головки агрегату: 1 – лопать; 2 – ступиця; 3 – гальмо вітроколеса; 4 – поворотний круг; 5 – вал; 6 – редуктор; 7 – гальмовий пристрій; 8 – генератор; 9 – пристрій повертання лопатей

На рисунку 4.133, б наводиться схема обладнання і пристроїв, розташованих у головці вітродвигуна АВЕ-500.

Вітроводопідйомні – це установки, які безпосередньо приводять у дію водопідйомні насоси. Використовуються для підняття підземних вод (рис. 4.134).

Універсальні вітроустановки призначені для безпосереднього приводу в дію різних технічних машин та пристроїв згідно з господарськими потребами.

Вітряні млини призначені для переробки зерна на борошно (рис. 4.135).

За кількістю лопатей у вітроколесі вітродвигуни діляться на дві групи: ***малолопатеві*** (швидкохідні) з кількістю лопатей 2, 3 або 4 (рис. 4.133) і ***багатолопатеві*** (тихохідні) з кількістю лопатей 5…24 (рис. 4.136).

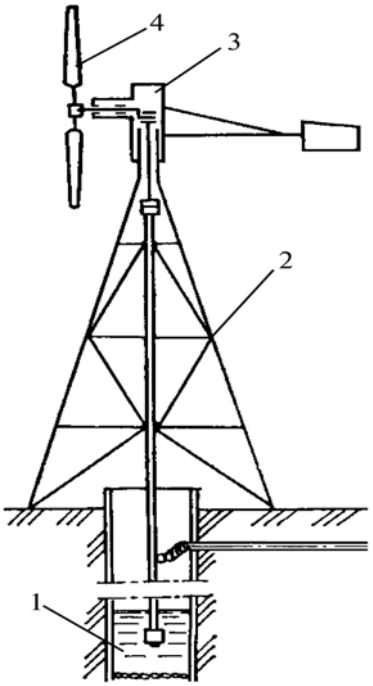


Рис. 4.134. Вітроводопідйомна установка: 1 – колодязь; 2 – башта; 3 – головка; 4 – вітроколесо

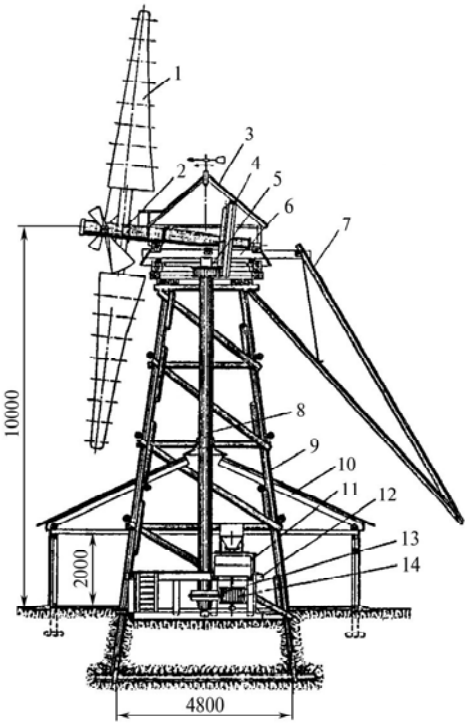


Рис. 4.135. Вітряний млин: 1 – вітроколесо; 2 – головний вал; 3 – шатро; 4 – ведуче колесо; 5 – цівкова шестерня; 6 – рама шатра; 7 – водило; 8 – вертикальний вал; 9 – башта; 10 – будівля млина; 11 – жорно; 12 – рама підставки; 13 – ведуче колесо нижньої передачі; 14 – цівкова шестерня

Серед усіх вищеназваних технічних показників вітродвигунів найважливішим показником є їхня потужність, оскільки за необхідною потужністю ведеться конструювання вітродвигунів.

Потужність вітродвигуна можна встановити на підставі формули (4.363), якщо врахувати, що на механічну енергію вітродвигун перетворює лише частину енергії потоку вітру з перерізом F.

Формула потужності вітродвигуна має такий вигляд:

$$N = \frac{\rho \cdot V^3 \cdot F \cdot \eta}{2}, \qquad (4.364)$$

де ρ – густина повітря, $\rho = 1{,}25$ кг/м^3; V – номінальна швидкість вітру; F – площа круга, який описує вітроколесо діаметром D, $F = \pi D^2/4$; η – коефіцієнт використання енергії вітру, для сільських вітроустановок він становить 0,4...0,5.

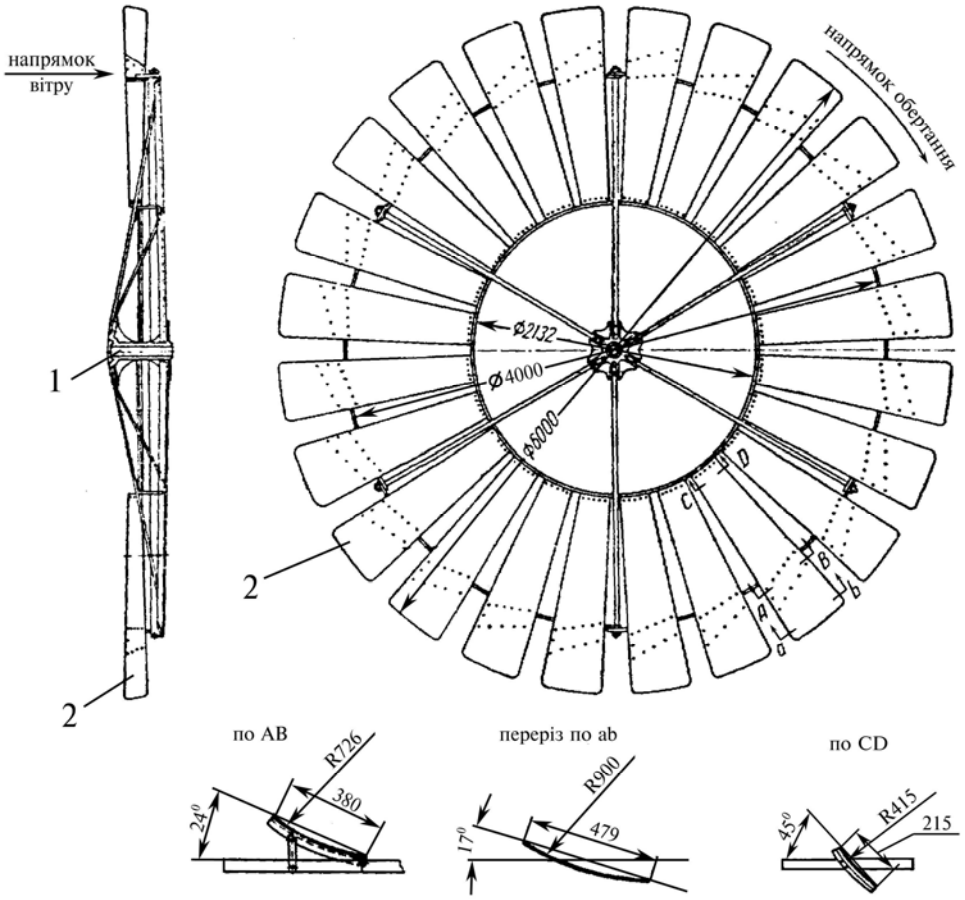


Рис. 4.136. Конструкція вітроколеса тихохідного двигуна ТВ-5:
1 – втулка; 2 – лопать

При ***експлуатації вітроустановок*** слід керуватися такими основними положеннями. Задачею їхньої експлуатації є забезпечення надійності роботи. Використання вітроенергетичних установок повинне здійснюватися спеціальним експлуатаційним персоналом. Вітроенергоустановки слід експлуатувати за інструкціями, першоджерелом для розробки яких є інструкція заводу-виробника, до якої додаються виробничі та місцеві умови використання вітродвигуна. Основними вимогами при експлуатації вітроенергоустановок є: щоденний, і особливо перед запуском, огляд вітроенергоустановки на предмет справності вузлів і деталей як самої установки, так і машини, яку вона приводить у дію; регулярне змащування вузлів тертя; своєчасне підтягування кріплень, які послабилися; недопустимість експлуатації вітродвигунів з поламаними лопатями; очищення в зимовий період криги і снігу з шестерень та інших вуз-

лів; заборона доступу до вітроустановок сторонніх осіб; фарбування вітроустановки не рідше, ніж один раз через три роки експлуатації.

При експлуатації вітроустановок слід забезпечити безпечні методи і технології для життєдіяльності експлуатаційного персоналу з урахуванням того, що вітроустановки є висотними спорудами.

Питання для самоконтролю до лекції №13

1. Охарактеризуйте енергію води.
2. Що таке вузол гідротехнічних споруд ГЕС, які його складники?
3. Що таке греблеві гідровузли, які види їх існують залежно від місця розташування ГЕС, які споруди входять до їхнього складу?
4. Що таке водопропускні споруди, які види їх існують?
5. Що таке деривaційні гідровузли і як вони побудовані?
6. Що таке гідроелектростанція?
7. Наведіть основні правила експлуатації гідротенергетичних установок.
8. Охарактеризуйте енергію вітру.
9. Що таке вітроенергетичні установки (вітродвигуни)? Як вони класифікуються, для чого призначені?
10. Поясніть призначення окремих вузлів лопатевої вітроустановки, принцип роботи й регулювання. Як визначається потужність вітродвигуна?
11. Охарактеризуйте сучасні вітроустановки.
12. Наведіть основні правила експлуатації вітродвигунів.

4.15. ЛЕКЦІЯ № 14. Зовнішні та внутрішні водопровідні мережі

Змістовий модуль 3

«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Зовнішні та внутрішні водопровідні мережі.

Мета. Ознайомитися з методикою гідравлічного розрахуноку водопровідних мереж. Ознайомитися з методикою визначення розрахункових витрат для населеного пункту. Вивчити будову безбаштових пневматичних, водонапірних споруд і резервуарів.Ознайомитися з існуючими зрошуальними системами.

План лекції

1. Основи гідравлічного розрахуноку водопровідних мереж.
2. Визначення розрахункових витрат для населеного пункту.
3. Призначення, будова і розрахунок об’єму водонапірних споруд.
4. Призначення, будова і розрахунок об’єму резервуарів.
5. Призначення будова і типи безбаштових пневматичних споруд.
6. Основні елементи систем зрошення.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 474-477, 491-503).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 393-395, 407-417).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 238-254, 298-320).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 274-280, 347-356).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 95-102, 129-134).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 191-207).

Матеріал лекції

1. Основи гідравлічного розрахунку водопровідних мереж

Гідравлічний розрахунок водопровідних мереж виконують з метою визначення втрат напору в них і діаметрів труб окремих ділянок мережі. Втрати напору необхідно знати для визначення висоти водонапірної башти і потрібного напору насосних станцій. Водопровідна мережа повинна бути розрахована на випадки найбільшого водоспоживання і моменту пожежі, яка співпадає за часом з годиною максимального водоспоживання.

При визначенні діаметрів труб ділянок мережі потрібно знати розрахункові витрати води для цих ділянок, тобто кількість води, яка буде проходити через них в розрахункові періоди роботи системи.

Гідравлічний розрахунок мережі на практиці виконують за спрощеною умовною схемою, при якій водовідбір великих водоспоживачів (промислові і сільськогосподарські підприємства, подача води в ємності, пожежні відбори та ін.) ураховують у вигляді зосереджених відборів у відповідних точках мережі (так звані вузлові точки). Тоді сумарний відбір іншими споживачами на одиницю довжини мережі визначається з такого виразу: $q_n = \frac{Q - \sum Q_{зос.}}{\Sigma l_k} = \frac{\sum Q_{шл.}}{\Sigma l_к}$, (4.365)

де Q – повна витрата води споживачами в даний розрахунковий момент; $\Sigma Q_{зос.}$ – сума відборів води великими споживачами; $\Sigma l_к$ – довжина всіх ліній водопровідної мережі; $\Sigma Q_{шл.}$ – сумарна шляхова витрата води.

Загальний відбір води з кожної ділянки мережі (шляхова витрата):

$$Q_{шлк} = q_n \cdot l_k . \tag{4.366}$$

де $l_к$ – довжина к-ї ділянки мережі.

Для перевірки правильності визначення шляхових і зосереджених витрат по всій мережі може бути використано співвідношення:

$$Q = \Sigma Q_{шл.} + \Sigma Q_{зос.} \tag{4.367}$$

Розрахункову вузлову витрату будь-якої вузлової точки визначають як суму фактичної зосередженої витрати, що відбирається безпосередньо у вузлі, і півсуми шляхових витрат всіх ділянок, які примикають до даної вузлової точки:

$$Q_к = Q_{зос.к.} + \frac{1}{2}\sum_1^n Q_{шл.к.} , \tag{4.368}$$

де n – кількість розрахункових ділянок, що примикають до $к$-го вузла.

Діаметри труб окремих ділянок мережі визначають за формулою:

$$d_к = \sqrt{\frac{4Q_к}{\pi \upsilon_к}} . \tag{4.369}$$

де $Q_к$ – розрахункова витрата води через к-ту ділянку; $\upsilon_к$ – швидкість руху води в трубопроводі $к$-ї ділянки.

Швидкість руху води безпосередньо впливає на такі показники як вартість електроенергії, труб, роботи по їх укладанню та ін.

Орієнтовно найбільш економічними швидкостями є швидкості в межах 0,5...2,0 м/с. Причому менші значення швидкостей приймають для труб малого діаметра, а більші – для труб великого діаметру.

Мінімальний діаметр труб водопроводу, який об'єднаний з протипожежним, в населених пунктах і промислових підприємствах повинен бути не менше 100мм., а в сільських населених пунктах – не менше 75 мм.

Визначення втрат напору в мережі. Оскільки, як правило, протяжність водопровідної мережі будь-якого об'єкта водопостачання досить значна, основними при розрахунку мережі уважають втрати напору на гідравлічне тертя в трубах по довжині. Як відомо, ці втрати можуть бути визначені за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\upsilon^2}{2g} . \tag{4.370}$$

Але для розрахунків водопровідних систем зручніше користуватися модифікацією цієї формули, в якій швидкість замінено на витрату:

$$h_l = K\frac{Q^n}{d^m}l \tag{4.371}$$

де K – коефіцієнт, що зв'язаний з коефіцієнтом гідравлічного тертя λ співвідношенням:

$$K = \frac{8\lambda}{g\pi^2}, \tag{4.372}$$

де Q – витрата води; n і m – показники степеня.

В інженерній практиці прийнято визначати втрати напору на одиницю довжини безрозмірною величиною – гідравлічним уклоном $i = \frac{h_l}{l}$. Тоді повні втрати напору для лінії будь-якої довжини:

$$h_l = i \cdot l. \tag{4.373}$$

Величину гідравлічного уклону і розраховують за таким формулами:

а) залізобетонні а також ненові стальні і чавунні труби при швидкості руху води $\upsilon > 1{,}2$ м/с.

$$i = 0{,}001735\frac{Q^2}{d^{5{,}3}}; \tag{4.374}$$

при швидкості руху води $\upsilon < 1{,}2$м/с;

$$i = \frac{0{,}00148}{d^{5{,}3}}\left(1+\frac{0{,}876}{\upsilon}\right)^{0{,}3}\cdot Q^2; \tag{4.375}$$

б) азбестоцементні труби:

$$i = \frac{0{,}00091}{d^{5{,}19}}\left(1+\frac{3{,}51}{\upsilon}\right)^{0{,}19}\cdot Q^2; \tag{4.376}$$

в) пластмасові труби:

$$i = 0{,}00105\frac{Q^{1{,}774}}{d^{4{,}774}}, \tag{4.377}$$

де d – розрахунковий внутрішній діаметр труб, м.; Q – витрата води, м^3/с; υ – швидкість руху води, м/с.

Значне поширення набули спеціальні таблиці, графіки і номограми для визначення втрат напору. Наприклад, таблиці, складені Ф.А. Шевелевим, дають величини втрат напору на одиницю довжини трубопроводу (і або 1000і) для всіх стандартних діаметрів труб різних типів в широкому діапазоні витрат і відповідних цим витратам швидкостей.

Гідравлічний розрахунок розгалужених мереж виконується досить просто, якщо відомі витрати води в вузлах мережі. В такому випадку

спочатку обчислюють розрахункові витрати, потім призначають діаметри (з урахуванням економічних факторів) ліній мережі, після чого можуть бути визначені втрати напору на кожній ділянці .

Загальна втрата напору по обраному напряму може бути знайдена по формулі:

$$h_l = \sum_1^n l_k \cdot i_k , \qquad (4.378)$$

як сума втрат напору в послідовно з'єднаних ділянках трубопроводів.

При розрахунках кільцевих мереж користуються такими законами:

1. Сума витрат води, що надходить до даного вузла, дорівнює сумі вузлового відбору з нього і витрат, які витікають з вузла. Це означає, що алгебраїчна сума витрат, що надходять у вузол (береться зі знаком плюс), і витрат, що витікають з вузла (беруться зі знаком мінус), повинна дорівнювати нулю.

2. В кожному замкненому колі мережі, утвореному лініями мережі, сума втрат напору на ділянках, де вода рухається за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі втрат напору на ділянках, де рух води напрямлений проти годинникової стрілки, тобто алгебраїчна сума втрат напору в кільці дорівнює нулю.

Існує багато методів розрахунку кільцевих мереж. Виконання таких розрахунків – трудомістка задача, і при значній кількості кілець її розв'язують за допомогою ЕОМ і аналогових пристроїв.

Розрахунок висоти водонапірної башти і потрібного напору насосів. Висоту водонапірної башти або конррезервуара і напір насосів, які подають воду в мережу, визначають при найбільш несприятливих умовах (режимах) її роботи. Башта повинна мати таку висоту, щоб можна було забезпечити необхідні вільні напори в критичних (диктуючих) точках мережі, а напір насосів визначають з розрахунку подачі води в бак башти в баштових системах водопостачання чи забезпечення необхідного напору в найбільш високорозташованих і віддалених від насосної станції точках мережі – в безбаштових.

На схемі водопроводу рисунку 4.137. диктуючою є точка *А* з геодезичною (відмітка відносно поверхні землі)відміткою $Z_А$. Водонапірна башта розташована в точці *Б* з геодезичною відміткою $Z_Б$. Висота водонапірної башти (до дна бака, який встановлено на башті):

$$H_б = H_в + \sum_Б^A h_l + (Z_A - Z_Б), \qquad (4.379)$$

де $H_в$ – вільний напір в диктуючій точці при максимальному водозаборі;

$\sum_{Б}^{A} h_l$ – сума втрат напору в мережі при максимальному водозаборі на ділянці від водонапірної башти до диктуючої точки А.

Напір насосної станції II підйому визначають з рівняння:

$$H_н = H_б + H_р + \Sigma h_н + Z_Б - Z_р, \qquad (4.380)$$

де $H_р$ – максимальна глибина води в резервуарі (баку) башти; $\Sigma h_н$ – втрата напору в водоводах і водопровідної мережі від насосної станції до башти; $Z_р$ – геодезична відмітка насосної станції (рис. 4.137).

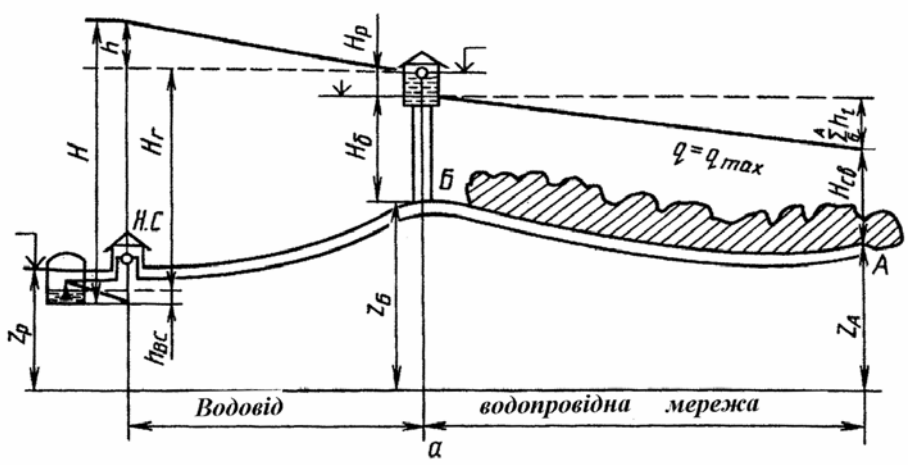


Рис. 4.137. Схема роботи водопроводу при господарсько-питному водоспоживанні

2. Визначення розрахункових витрат для населеного пункту

Для того, щоб система водопостачання працювала надійно, її розраховують по максимальній добовій витраті $Q_{доб.\ max.}$

Відхилення максимальної добової витрати від середньодобової характеризується коефіцієнтом добової нерівномірності $K_{доб.max,}$ який дорівнює відношенню максимальної добової витрати до середньодобової.

Іноді при розрахунках систем водопостачання потрібно знати мінімальну добову витрату $Q_{доб.min.}$ В цьому випадку вводять коефіцієнт нерівномірності $K_{доб.min.}$, який оцінює відхилення $Q_{доб.min.}$ від середньодобової витрати.

Таким чином, розрахункові добові витрати визначають за формулами:

$$Q_{доб.max.} = K_{доб.max} \cdot Q_{доб.ср.},$$
$$Q_{доб.min} = K_{доб.min} \cdot Q_{доб.ср.}, \qquad (4.381)$$

Коефіцієнти нерівномірності, які враховують побут населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будівель, приймаються рівними: $K_{доб.\max} = 1{,}1...1{,}3$; $K_{доб.\min} = 0{,}7...0{,}9$.

Велике значення для визначення розрахункових витрат води має урахування можливих максимальних годинних витрат $Q_{год.max.}$ Максимальна годинна витрата за добу найбільшого водоспоживання визначає найбільше можливе навантаження мережі за розрахунковий рік. При мінімальній годинній витраті протягом доби в мережі будуть виникати найбільші напори. Нарешті, середня година витрата може використовуватися для оцінки витрат енергії на подачу води. Ці годинні витрати визначають із формул:

$$Q_{год.\min} = \frac{K_{год.\min} \cdot Q_{доб.\min}}{24};\ Q_{год.ср} = \frac{Q_{доб.ср}}{24}. \qquad (4.382)$$

Коефіцієнти годинної нерівномірності $K_{год.\max} = Q_{год.\max} / Q_{год.ср}$ і $K_{год.\min} = Q_{год.\min} / Q_{год.ср}$ визначають з залежностей, рекомендованих СНіП:

$$K_{год.\max} = \alpha_{\max} \cdot \beta_{\max};$$
$$K_{год.\min} = \alpha_{\min} \cdot \beta_{\min,} \qquad (4.383)$$

в яких α – коефіцієнт, що ураховує ступінь благоустрою будівель, режим роботи підприємств та інші місцеві умови, приймається: α_{max}=1,2...1,4 і α_{min}= 0,4...0,6; β – коефіцієнт, що ураховує кількість мешканців населеного пункту, має такі значення:

Значення коефіцієнтів β в залежності від кількості мешканців населеного пункту

Кількість мешканців в населеному пункті (тис.чол)	1	1,5	2,5	4	6	10	20	50	100	300
β_{max}	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05
β_{min}	0,1	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	0,4	0,6	0,7	0,85

3. Призначення, будова і розрахунок об'єму водонапірних споруд

Напірно-регулюючі споруди призначені для регулювання витрати води, вирівнювання напорів у мережі і підвищення надійності роботи систем водопостачання. До них належать водонапірні башти, резервуари і гідропневматичні установки.

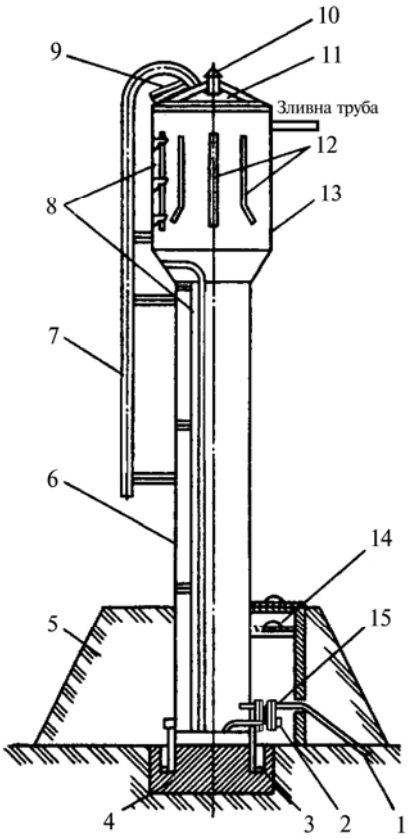


Рис. 4.138. Водонапірна башта конструкції інженера Рожновського: 1 – подавально-відвідна труба; 2 – грязьовий (спорожню вальний) патрубок; 3 – анкерні болти; 4 – фундамент; 5 – земляна обсипка; 6 – стовбур; 7 – зовнішні сходи; 8 – внутрішні сходи; 9 – люк; 10 – вентиляційна труба з блискавковідводом; 11 – кришка бака; 12 – льодоутримувачі; 13 – бак; 14 – оглядовий колодязь; 15 – засувка

Водонапірні башти. Це напірно-регулюючі споруди, в яких бак розташований на штучній опорі і піднімається над поверхнею землі. Розташовують водонапірні башти в місці з найвищою відміткою поверхні землі на початку, у центрі або в кінці водопровідної мережі, але якнайближче до неї. Навколо башти робиться зона санітарної охорони радіусом 15 м. Найбільш розповсюдженими є металеві башти-колони заводського виготовлення конструкції інженера Рожновського (рис. 4.138). Вони мають висоту 12, 15 і 18 м і об'єм бака 15, 25 і 50 м^3. Основними складовими частинами башти є стовбур і розташований на ньому бак. Вода в башту подається і забирається з неї трубопроводом, приєднаним до нижньої частини стовбура (нижнє живлення). При заповненні башти водою надлишок її, до відключення насоса, витікає по переливній трубі і падає на землю біля башти.

Висота водонапірної башти $H_б$ визначається після гідравлічного розрахунку водопровідної мережі і визначення диктуючої точки за формулою:

$$H_б = H_{д\,т} + \sum h_в + (z_д - z_б), \qquad (4.384)$$

де $H_{д\,т}$ – вільний напір в диктуючій точці; $\sum h_в$ – сума втрат напору води на шляху від башти до диктуючої точки; $z_д$ – відмітка поверхні землі в диктуючій точці; $z_б$ – відмітка поверхні землі в місці розташування башти.

Диктуючою називається точка в системі водопостачання, в яку найскладніше подати воду.

Регулюючий об'єм бака водонапірної башти $V_б$ визначається за залежністю:

$$V_б = Q_н / 4 \cdot n_{доп}, \quad (4.385)$$

де $Q_н$ – подача насоса, м^3/год, у годину максимального водоспоживання; $n_{доп}$ – допустима кількість включень насоса на годину, 2…6.

Споживання води в населеному пункті протягом доби відбувається нерівномірно: то помітно зростає, то значно зменшується. Для узгодження роботи насосних станцій з нерівномірним режимом витрат води в системі водопостачання передбачені спеціальні водонапірні споруди.

Загальний об'єм резервуара водонапірної башти визначають по формулі:

$$V = V_р + V_{пож} \quad (4.386)$$

де $V_р$ – робочий або регулюючий об'єм резервуара, $м^3$;

$V_{пож}$ – об'єм води, необхідний для тушіння пожежі, $м^3$; $V_{пож} = 6\,м^3$

Регулювальна місткість бака залежить від величини максимальної добової потреби води, характеру її витрачання в різні години доби та режиму роботи насосної станції.

Мінімальна місткість резервуара $V_{p\min}$ визначається по формулі:

$$V_{p\min} = V_{рп} + V_{рк}, \quad (4.387)$$

де $V_{рп}, V_{рк}$ – регулювальні запаси, що забезпечують споживання води відповідно від початку доби до включення насосної станції, а також після зупинки її до кінця доби, $м^3$.

Щоб забезпечити запас води, який виключив би можливість спорожнення резервуара бака у пікові години, регулювальну місткість необхідно збільшити на 2-3%:

$$V_р = 1{,}02 V_{p\min} \quad (4.388)$$

Розрахунковий загальний об'єм резервуара водонапірної споруди округлюють до найближчого за стандартом і вибираємо необхідну марку башти з довілкової літератури.

4. Призначення, будова і розрахунок об'єму резервуарів

Резервуари – це споруди, призначені для зберігання господарських, протипожежних, технологічних і аварійних запасів води.

Вони класифікуються: за призначенням – запасні, регулюючі, запасно-регулюючі; за висотним розташуванням – напірні і безнапірні; за формою в плані – круглі і прямокутні; за степенем заглиблення – неза-

глиблені, напівзаглиблені й заглиблені; за видом матеріалу – залізобетонні, металеві, бетонні і кам'яні.

Запасні резервуари є одним з елементів систем водопостачання, що забезпечує високу надійність їхньої роботи. Для забезпечення більш рівномірної роботи насосних станцій улаштовуються регулюючі резервуари. Іноді функції перших і других виконують запасно-регулюючі резервуари.

Для підведення і відведення води резервуари обладнуються трубопроводами, а також переливними і зливними трубами. У безнапірних резервуарах при насосних станціях замість відповідних труб застосовуються усмоктувальні труби насосів. Уся водопровідна арматура для управління роботою резервуарів може розміщуватися за їх межами в спеціальному розташованому поряд колодязі. На рисунку 4.139 показаний напівзаглиблений залізобетонний резервуар, їхня місткість може становити 50…20000 м^3, а розмір у плані від 3×6 м до 66 м, висота – 1,8…4,8 м [2].

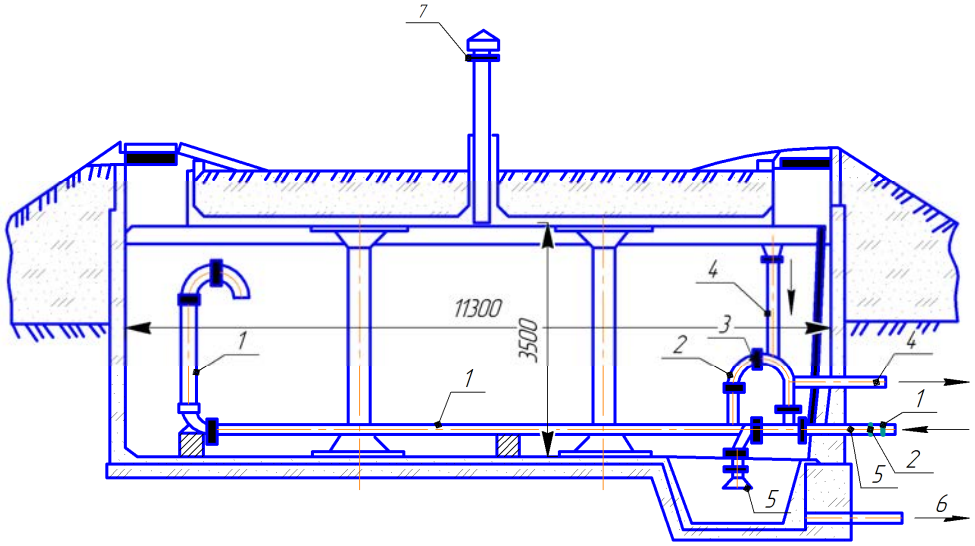


Рис. 4.139. Напівзаглиблений залізобетонний резервуар:
1 – подавальна труба; 2, 5 – усмоктувальна труба; 3 – отвір на сифоні;
4 – переливна труба; 6 – спускна грязьова труба; 7 – вентиляційна труба.

Вони можуть бути круглими в горизонтальній або вертикальній площинах та прямокутними. Найчастіше використовуються закриті зверху, але можуть бути і відкритими. Резервуари буають заглибленими в землю, напівзаглибленими або наземними. Для того щоб запобіг-

ти прогріванню води влітку, промерзанню взимку, резервуари обваловують місцевим грунтом. При високих рівнях ґрунтових вод резервуари роблять наземними. Резервуари будують із залізобетону, буту, металу тощо. Найчастіше використовують залізобетонні, при чому вони можуть бути як із монолітного, так і з збірного залізобетону рисунку 4.139.

При очисних станціях будують резервуари чистої води. Принципову схему обладнання такого резервуара зображено на рисунку 4.140. Корпус резервуара напівзаглиблений у землю і обвалований ґрунтом 5. Для того щоб можна було спускатися в резервуар, для обслуговуючого персоналу роблять кілька лазів. Вентиляційні труби забезпечують вентиляцію простору над поверхнею води. Нині такі труби обладнують ще спеціальними всмоктувальними фільтрами для очищення повітря від радіоактивного та інших забруднень. В резервуарі між позначками z_3 і z_2 зберігається непорушний пожежний запас, а між z_1 і z_2 – регулювальний і об'єм на власні потреби. Максимальний рівень води в резервуарі z_h як правило, перевищує позначку землі на 0,5.– 1,0 м, що забезпечує можливу фільтрацію з резервуара в ґрунт (а не навпаки) і сприяє збереженню високої якості води. Щоб вода в резервуарі не застоювалась, слід передбачити перемішування її. Для цього воду подають (трубопровід 2) з одного боку, а відбирають (трубопроводи 8, 9) з іншого.

На трубопроводі відбирання води на господарські потреби обов'язково треба передбачити пристрій для збереження непорушності пожежного запасу. Для цього використовують колодязь 7. Колодязь відкритий зверху, а позначка його верху перебуває на рівні пожежного запасу z_2. Тому коли при відбиранні води рівень зменшується до позначки z_2 вода не потраплятиме до колодязя 7 і не надходитиме в трубопровід 8. Для забирання пожежного запасу на рівні дна резервуара передбачається трубопровід 9, до якого підключають пожежні насоси. З переповненням резервуара залишки води перетікають трубопроводом 6 у каналізацію. Періодично резервуари миють і дезінфікують. Брудну від миття і дезінфікуючого розчину воду відводять трубопроводом 10. Для того щоб брудна вода повністю видалялася з резервуара, дно його має нахил у бік приямка. На всіх трубопроводах установлюють засувки, виведені або в окремі колодязі, або в загальну камеру керування роботою резервуара.

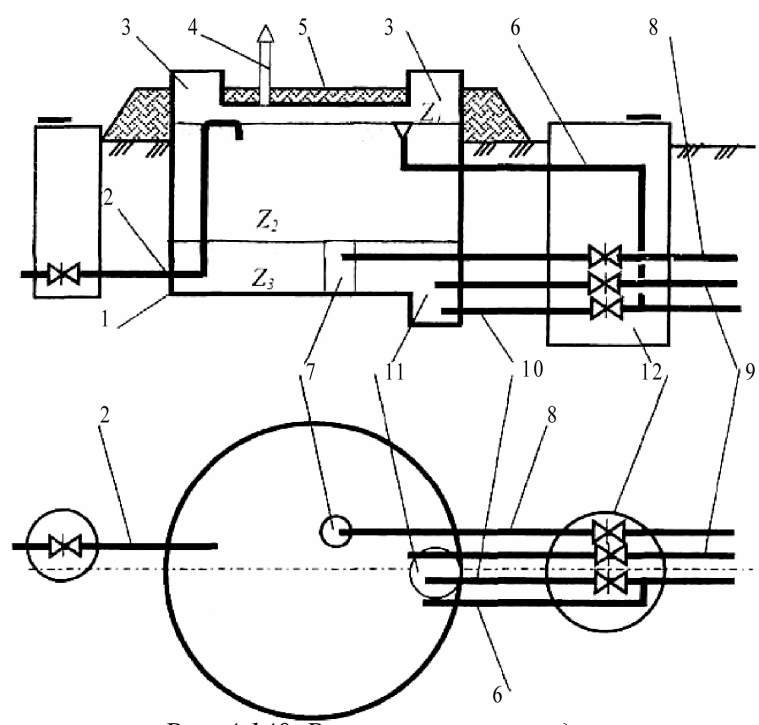


Рис. 4.140. Резервуар чистої води:
1 – корпус резервуара; 2 – подавальний трубопровід; 3 – оглядові колодязі (лази); 4 – вентиляційна труба; 5 – обвалування; 6 – переливна труба; 7 – колодязь для забезпечення непорушності пожежного запасу; 8 – трубопровід для відбирання води для господарських потреб; 9 – трубопровід для відбирання води на пожежні потреби; 10 – грязевідвідна труба; 11 – приямок; 12 – камера переключень

Непорушність пожежного запасу забезпечують (крім уже вказаного методу) установленням на трубопроводі 8 замість колодязя сифона, нижній зріз якого розміщують трохи вище дна, а перегин на рівні z_2. У вищій точці сифона роблять отвір діаметром 20…30 мм. Вода сифоном забирається з дна і подається трубопроводом 8. Це забезпечує обмін усього об'єму води, навіть пожежного. Коли рівень води доходить до отвору, повітря всмоктується в сифон, порушує вакуум, і вода не потрапляє в трубопровід 8. Непорушності пожежного запасу можна досягти автоматизацією насосної станції. З цією метою в резервуарі встановлюють датчики, і коли рівень води знижується до позначки z_2, господдарські насоси відключаються і не всмоктують воду трубопроводом 8.

Щоб запобігти переповненню резервуара, на подавальному трубопроводі на рівні максимальної позначки встановлюють поплавковий

клапан. Скидний трубопровід обов'язково підключають до каналізації через гідравлічний затвор, зворотний клапан і решітки. Його можна підключати до відкритої канави з розривом струменя.

У резервуарах із водою для питних потреб горловина люка повинна бути вищою за рівень засипки не менш ніж на 0,7 м. Висота засипки може бути 0,5; 0,7; 1,0 м. Зараз практично всі резервуари забезпечуються покажчиками рівня і пристроями для передавання цих даних на насосні станції і диспетчерські пункти.

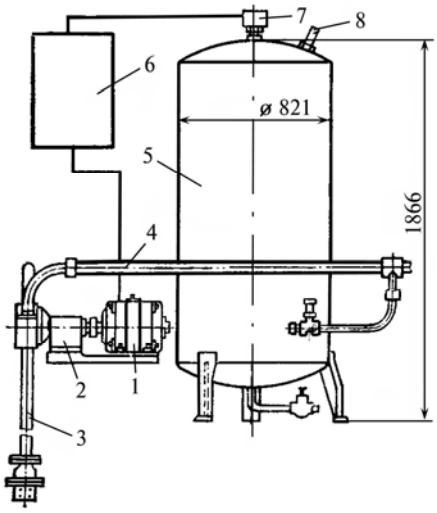
Для забезпечення надійності роботи потрібно не менше двох резервуарів, що дає змогу виключати на ремонт, миття та дезінфекцію один із резервуарів. Резервуари можуть бути різних розмірів, проте пожежний запас повинен розподілятися між ними рівномірно. Повна місткість резервуарів чистої води визначається за формулою:

$$V = V_{pe2} + V_{en} + V_{пож} \qquad (4.389)$$

де V_{pe2} – регулювальний об'єм, який визначається суміщенням графіка подавання води в резервуар від очисної станції і графіка роботи насосної станції II підняття: V_{en} – об'єм води на власні потреби очисної станції (він дорівнює 3… 14% кількості води, поданої споживачам); $V_{пож}$ – тригодинний пожежний запас, м.

5.Призначення будова і типи безбаштових пневматичних споруд

Гідропневматичні установки застосовуються для регулювання подачі води в будівлі, а також замість водонапірних башт. Тобто вони виконують ту саму роль, що й водонапірні башти. Потрібний напір у водопровідній мережі гідропневматичними установками забезпечується тиском стисненого повітря на водну поверхню в герметично закритих сталевих резервуарах-баках.



На рисунку 4.141 показана схема пневматичної напірно-регулюючої установки.

Гідропневматичні установки поділяють на установки змінного та постійного тиску.

Рис. 4.141. Схема пневматичної напірно-регулюючої установки: 1 – електродвигун; 2 – насос; 3 – усмоктувальна труба; 4 – нагнітальний трубопровід; 5 – повітряно-водяний бак; 6 – станція автоматичного управління; 7 – реле тиску; 8 – запобіжний клапан

Установка зі змінним тиском може мати два баки (рис. 4.142): один для повітря (2), другий – для води (4). Баки з'єднані трубопроводом 3. Бак для води підключено до мережі трубопроводом. У момент пуску установки компресор нагнітає повітря в бак 2, трубопроводом 3 воно потрапляє в бак 4 і заповнює обидва баки. В години, коли насосна станція II підняття подає води більше, ніж цього потребує споживач (тобто споживання з мережі менше), залишки води потрапляють трубопроводом 7 у бак 4. Одночасно повітря з цього бака витискується трубопроводом 3 у бак 2, тиск повітря збільшується.

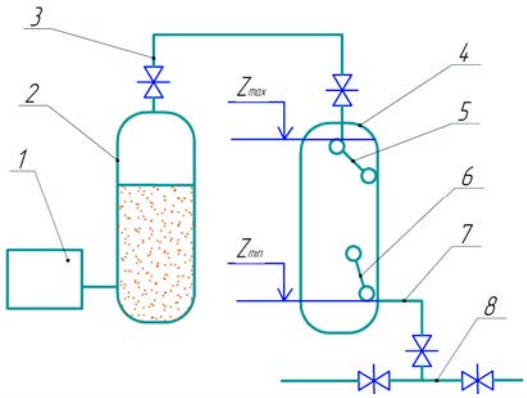


Рис. 4.142. Гідропневматична установка зі змінним тиском: 1 – компресор; 2 – бак для повітря; 3 – з'єднувальний трубопровід; 4 – бак для води; 5 – повітряний клапан; 6 – водяний клапан; 7 – трубопровід подавання води; 8 – водопровідна мережа

Коли рівень води в баці 4 дійде до позначки z_{max}, тиск повітря стане максимальним – p_{max}, клапан *5* закриється, отже, вода не потраплятиме у трубопровід 3 і бак 2. Якщо споживання води з мережі зросте й перевищуватиме подавання води в мережу, то стиснене повітря з бака 2 почне перетікати по трубопроводу 3 у бак 4 і витискати з бака 4 воду В трубопровід 7 і в мережу. Рівень води в баці 4 поступово почне зменшуватись, одночасно зменшуватиметься і тиск повітря; коли рівень води дійде до позначки z_{mm} тиск повітря стане мінімальним клапан 6 закриється і не випускатиме повітря в мережу. Таким чином, вода то надходить в установку, то витікає з неї, а тиск повітря іо збільшується, то зменшується. Тому установки називають установками змінного тиску.

Часто такі установки працюють з автоматичними включеннями і відключеннями насосів в кількості $n = 2…6$ протягом години.

Повітря може частково розчинятися у воді або надходити через нещільні з'єднання. Тому компресор періодично поповнює бак 2 повітрям.

В ***установках постійного тиску*** на трубопроводі 3 ставлять редукційний клапан, який пропускає повітря тільки з повітряного бака у водяний під постійним тиском P_{max}. Крім того, у вищій точці водяного бака встановлюють запобіжний клапан, який під час підняття рівня в баці 4 випускає із нього повітря, тобто в баці 2 є постійний тиск повіт-

ря, що діє на поверхню води. Як правило, компресор діє постійно, що призводить до перевитрат електроенергії. Установки постійного тиску застосовують тільки на промислових підприємствах, де є устаткування з постійним тиском води.

У невеличких чи локальних водопроводах гідропневматичні установки компонують із насосними станціями над свердловинами. Останнім часом такі установки виконують з одним баком, в якому об'єднано водяний (нижня частина) і повітряний (верхня частина) баки. Між ними встановлюють еластичну гумову оболонку, яка запобігає безпосередньому контакту води і повітря.

6. Основні елементи систем зрошення

Зрошувальна система **–** це водогосподарське підприємство, яке складається з водозабірної споруди, магістральних і внутрішньогосподарських каналів чи трубопроводів, гідротехнічних споруд, насосних станцій, водорозподільної мережі, засобів поливу сільськогосподарських культур та експлуатаційних дільниць з експлуатаційним персоналом на чолі з управлінням зрошувальної системи. Підпорядковані зрошувальні системи Державному комітету України з питань водного господарства і меліорації та обласним управлінням з цих питань. Прикладами зрошувальних систем є Каховська зрошувальна система, розташована в Херсонській та Запорізькій областях, Північнорогачицька зрошувальна система, яка охоплює Михайлівський, Веселівський і Василівський райони Запорізької області. Зрозуміло, що вищесказане стосується великих державних систем.

Аналізуючи схему зрошувальної системи (рис. 4.143), слід відзначити, що джерелом води для зрошення в більшості випадків є поверхневі води. Тобто води річок. Для забирання їх у береговій зоні улаштовується водозабірна споруда 2 у вигляді залізобетонного оголовка або затвора, яка забезпечує управління надходженням води до насосної станції та її очищення. Забирається вода із джерела і подається в систему головною насосною станцією (ГНС). Спочатку вода надходить у напірний басейн 5, звідки по магістральному каналу (МК) надходить до відкритих господарських каналів та насосних станцій підкачки (НСП), останні подають воду до дощувальної техніки (дощувальних машин (ДМ)). Дощувальними машинами «Фрегат» і «Дніпро» вода з підземних трубопроводів забирається через гідранти, тобто стояки зі стальних труб, які постають над поверхнею землі. Машини «Кубань» та ДДА-100 МА забирають воду з відкритих каналів – зрошувачів. Для управління роботою системи на ній робляться, у випадку закритої ме-

режі, засувки, а на відкритих каналах – гідротехнічні затвори. Показана на рисунку 4.143 ПНС (перекачуюча насосна станція) призначена для підняття води на більш високі відмітки поверхні землі й робиться на магістральних або великих міжгосподарських каналах.

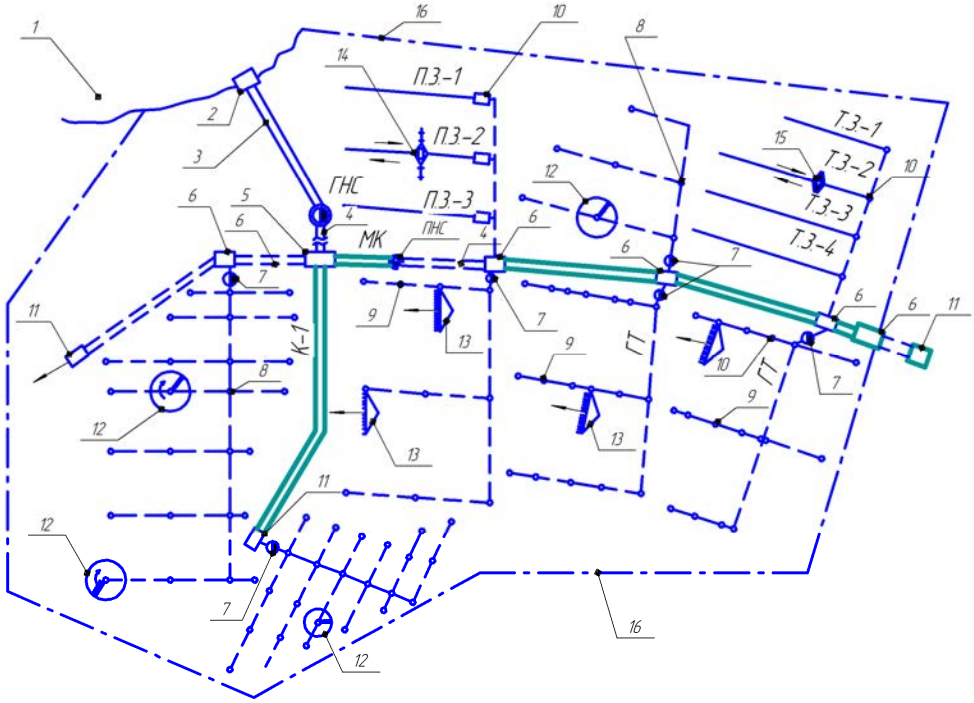


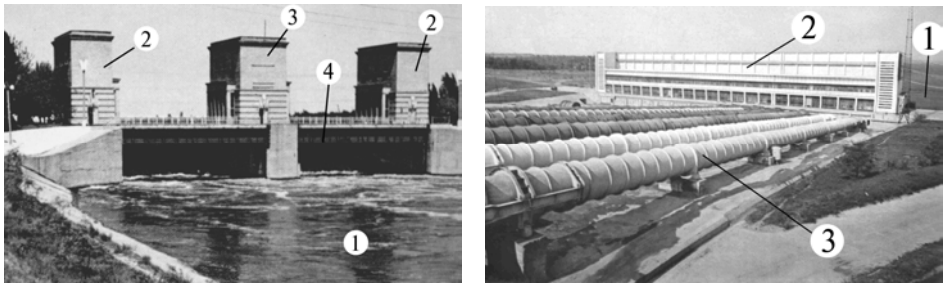
Рис. 4.143. Схема зрошувальної системи:
1 – джерело води (водосховище чи річка); 2 – водозабірна споруда; 3 – водопідвідний канал або трубопровід; 4 – напірний трубопровід; 5 – приймальний (напірний) басейн; 6 – регулюючий басейн; 7 – насосна станція підкачки (НСП); 8 – оглядові колодязі з засувками; 9 – гідранти; 10 – водовипуски у відкриті канали чи тимчасові зрошувачі; 11 – кінцеві водоскиди; 12 – дощувальні машини «Фрегат»; 13 – дощувальні машини «Дніпро»; 14 – дощувальні машини «Кубань»; 15 – дощувальні машини ДДА-100 МА; 16 – межі валової площі зрошувальної системи; ГНС – головна насосна станція; МК – магістральний канал; К-1 – відкритий польовий канал; П.З.-1 і т. д. – постійні зрошувачі для ДМ «Кубань»; Т.З.-1 і т. д. – тимчасові зрошувачі для дощувальних машин ДДА-100 МА; ПНС – перекачуюча насосна станція

У випадках невеликих зрошувальних ділянок внутрішньогосподарського значення вода забирається невеликими насосними станціями чи установками і подається по каналах чи трубопроводах на зрошувані поля.

Джерела води, водозабірні споруди та магістральні канали (трубопроводи). Основним джерелом води для зрошення є поверхневі води – води струмків, річок і т. ін. Все ж для зрошення невеликих ділянок застосовуються і підземні води. Джерело води повинно бути надійним, а мінералізація її не повинна перевищувати 1…12 г/л.

Забір води для зрошення з поверхневих джерел здійснюється двома способами – самотічним і механізованим.

Самотічним способом вода здебільшого забирається з водосховищ за умови, якщо це дозволяють відмітки відповідних рівнів води у водосховищі, тобто якщо рівні води забезпечують керування над рівнем води у відповідному магістральному каналі. Водозабірною спорудою у цьому випадку, як правило, виступають затвори, основним конструктивним елементом яких є берегові стояки, бики (опорна частина) та засоби перекриття отворів – плоскі щити, балки, сегменти та інші види (рис. 4.144, а).



а *б*

Рис. 4.144. Водозабірні вузли самотічного й механізованого водозаборів: а – головна самотічна водозабірна споруда Північно-Кримського маг каналу (вид з боку Каховського водосховища): 1 – джерело води (Каховське водосховище); 2 – берегові стояки; 3 – бик (проміжний стояк); 4 – плоский щит; б – вузол головної насосної станції (ГНС) Каховської зрошувальної системи (механізований водозабір): 1 – джерело води (Каховське водосховище), нижній б'єф; 2 – будівля ГНС; 3 – напірні трубопроводи

При механізованому водозаборі вода з джерела забирається за допомогою насосної станції або насосної установки. На рисунку 4.144, б показаний вузол механізованого водозабору.

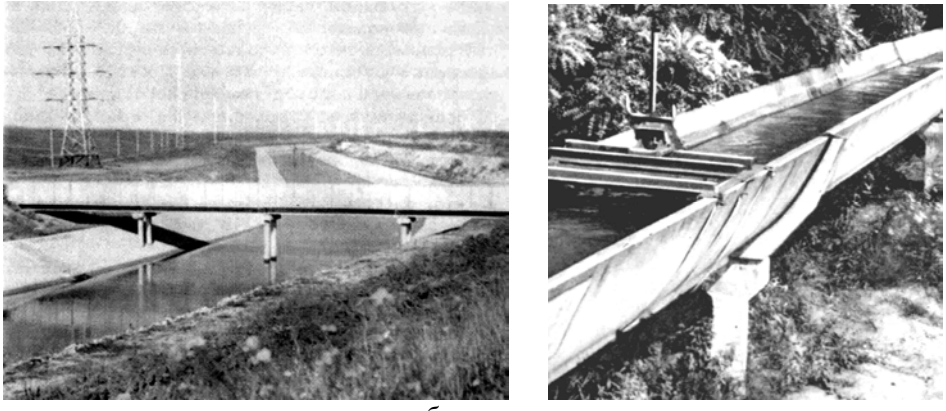
Магістральні канали – це відкриті штучні русла (водоводи) з трапецеїдальною формою поперечного перерізу, призначені для транспортування води від джерела до місць її відбору безпосередньо на зрошення (рис. 4.145).

У багатьох випадках вода насосною станцією подається в ***магістральний трубопровід*** (МТ), з якого потім і розподіляється між господарствами чи зрошуваними ділянками. Улаштовуються МТ переважно із залізобетонних або стальних труб діаметром від 500 мм і більше.



Рис. 4.145. Загальний вигляд Каховського магістрального каналу

Міжгосподарська, внутрішньогосподарська та зрошувальна розподільча мережа. Міжгосподарська мережа – це канали, трубопроводи чи лотки, якими вода з магістральних водоводів подається в господарства. Міжгосподарські канали мають трапецеїдальну форму поперечного перерізу, наприклад міжгосподарський розподілювач Р-8 (Р – розподілювач, 8 – номер розподілювача за загальним рахунком вздовж магканалу). На рисунку 4.146 показані фрагменти міжгосподарських каналів.



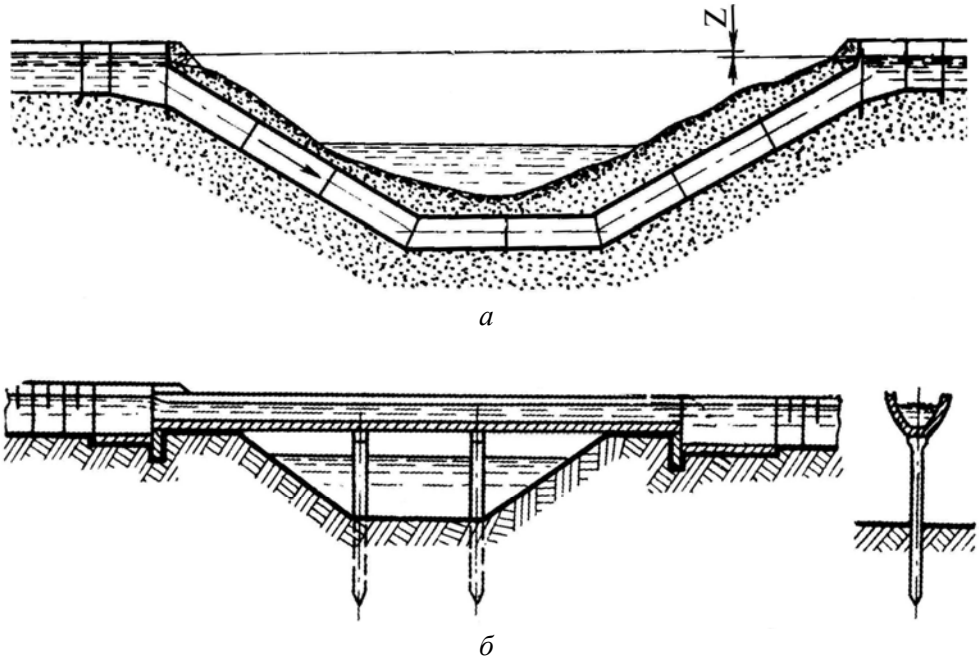
а *б*

Рис. 4.146. Розподільчі міжгосподарські канали на Північно-Кримській зрошувальній системі: а – міжгосподарський канал (на передньому плані видно акведук); б – лотковий розподілювач

Гідротехнічні споруди на зрошувальних каналах. Це пристрої (споруди), призначені для забезпечення транспортування води через природні чи штучні перешкоди, а також для забезпечення управління роботою зрошувальної мережі.

Вони поділяються на провідні, сполучальні, скидні та регулюючі (підпірні).

Провідні споруди призначені для транспортування води через природні перешкоди (балки, річки та ін.). До них належать дюкери, акведуки і, рідше, тунелі (рис. 4.147).



а

б

Рис. 4.147. Схеми провідних споруд:
а – дюкер; б – акведук; Z – перепад рівнів води перед дюкером і після нього
Як видно з рис. 4.143, дюкер – це труба, а акведук – це відкритий лоток, як правило, залізобетонний.

Сполучальні споруди призначені для переведення потоку води на нижчі відмітки на відносно короткій ділянці. До них належать бистротоки, ступеневі перепади і консольні скиди (рис. 4.148).

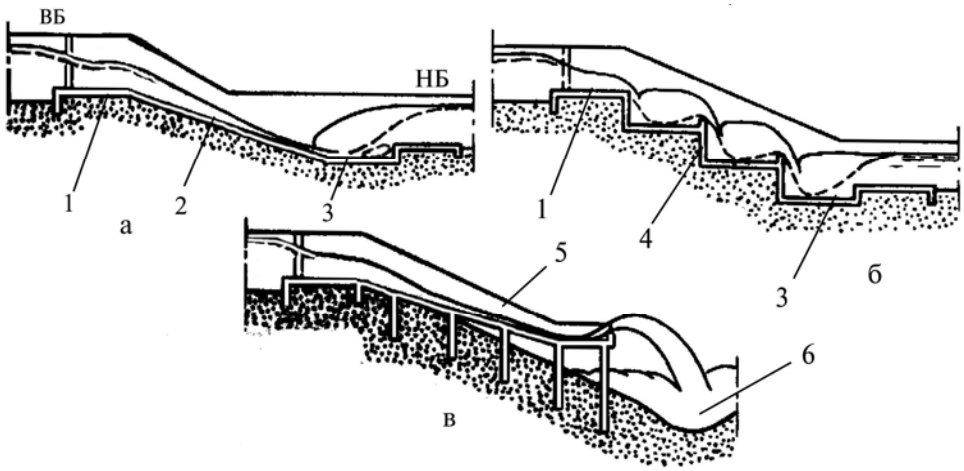
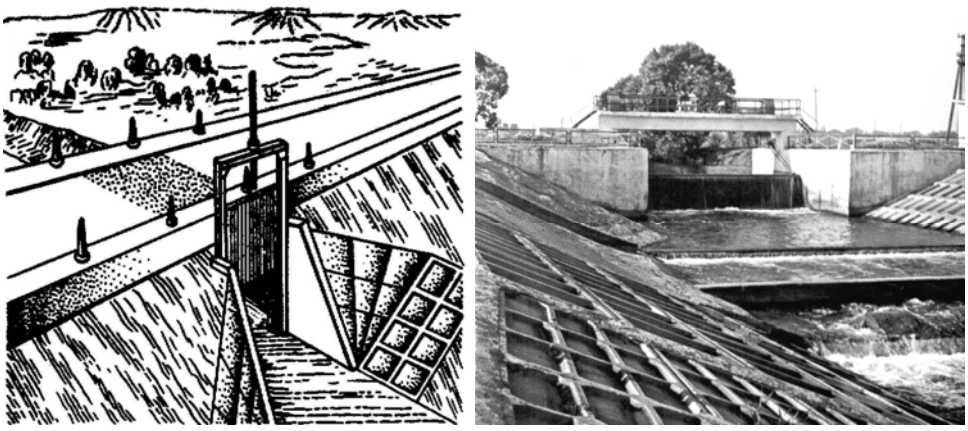


Рис. 4.148. Схеми сполучальних споруд:
а – бистротік; б – ступеневий перепад; в – консольний скид; 1 – вхідний оголовок; 2 – бистротік; 3 – водобійний колодязь; 4 – ступені перепаду; 5 – консоль скиду; 6 – вирва розливу

Скидні споруди призначені для спорожнення каналів та скидання з них зайвої води (рис. 4.148, в).

Регулюючі (підпірні) споруди призначені для регулювання витрат води та її рівнів у каналах. Здебільшого це стінки з отворами, які перекриваються щитом (рис. 4.149).



а *б*

Рис. 4.149. Регулюючі (підпірні або перегороджуючі) споруди, які улаштовуються на каналах:
а – регулююча (підпірна) споруда; б – автоматизований шлюз-регулятор

Зрошувальні насосні станції. Насосні станції на зрошувальних системах, як уже відзначалося, поділяються на головні насосні станції (ГНС), перекачуючі (ПНС) і насосні станції підкачки (НСП).

ГНС призначаються для забору води з джерела і підняття її в напірний басейн, з якого вона надходить у магістральний канал (рис. 4.144, 4.145).

Можливі варіанти, коли вода ГНС подається в магістральний трубопровід. Великі головні насосні станції комплектуються в основному осьовими насосами, менші – відцентровими.

Перекачуючі насосні станції (ПНС) призначені для підняття води з нижчих відміток до вищих на тому ж каналі. Приклади ПНС – насосна станція на Приазовському магканалі (у районі сіл Аннівка та Тернівка Якимівського району Запорізької області), насосна станція № 7 на Красногвардійській гілці Північно-Кримського каналу (рис. 4.150).

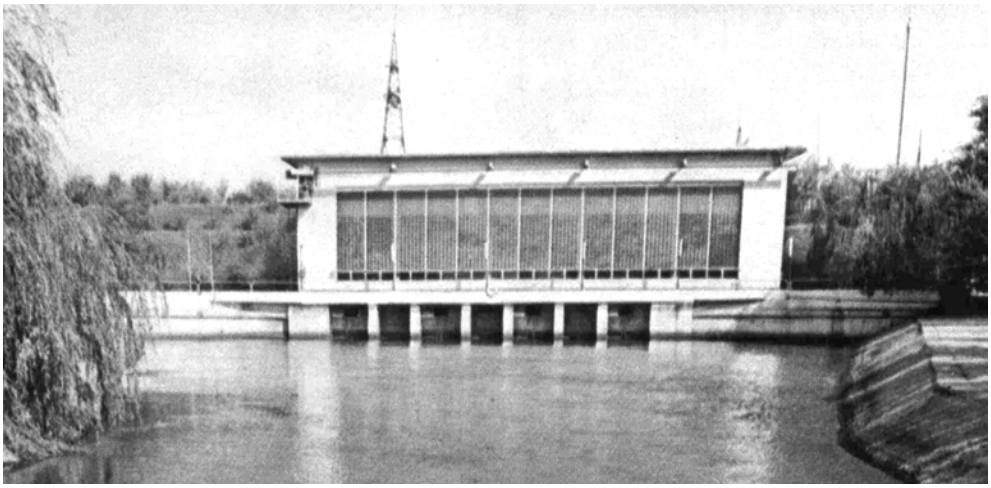
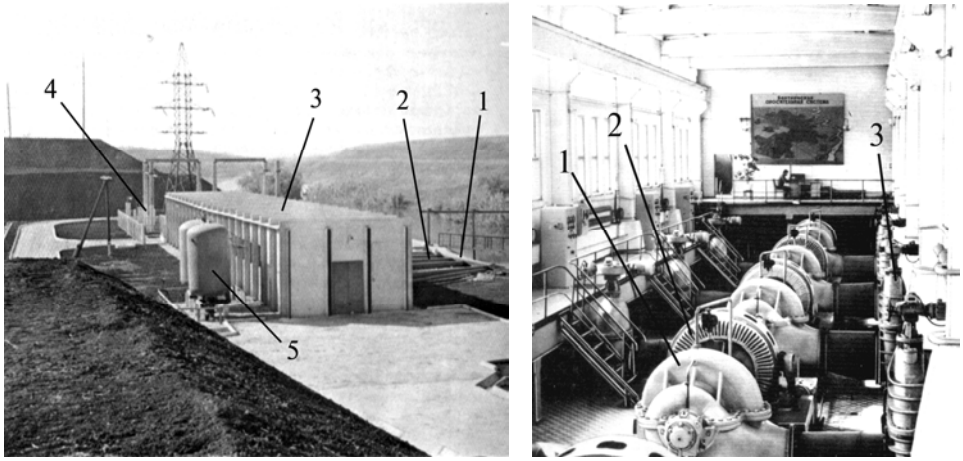


Рис. 4.150. Перекачуюча насосна станція № 7 на Красногвардійській гілці Північно-Кримського каналу

Насосні станції підкачки (НСП) (рис. 4.151) є останнім ступенем у ланцюгу подачі води і призначені для її подачі безпосередньо на зрошувані поля. Комплектуються такі насосні станції переважно відцентровими насосами типу «Д».



а *б*

Рис. 4.151. Насосна станція підкачки (НСП):
а – загальний вигляд насосної станції підкачки НСП (Північно-Рогачицька зрошувальна система, Веселівський р-н Запорізької обл.): 1 – приймальна частина (оголовки, сміттєзатримуючі касети та ін.), 2 – усмоктувальні трубопроводи, 3 – будівля насосної станції, 4 – трансформаторна підстанція, 5 – система запобігання гідроударам;
б – машинний зал насосної станції: 1 – відцентрові насоси типу «Д»; 2 – електродвигуни; 3 – засувки з електроприводом

На рисунку 4.152 наведений поздовжній розріз зрошувальної насосної станції.

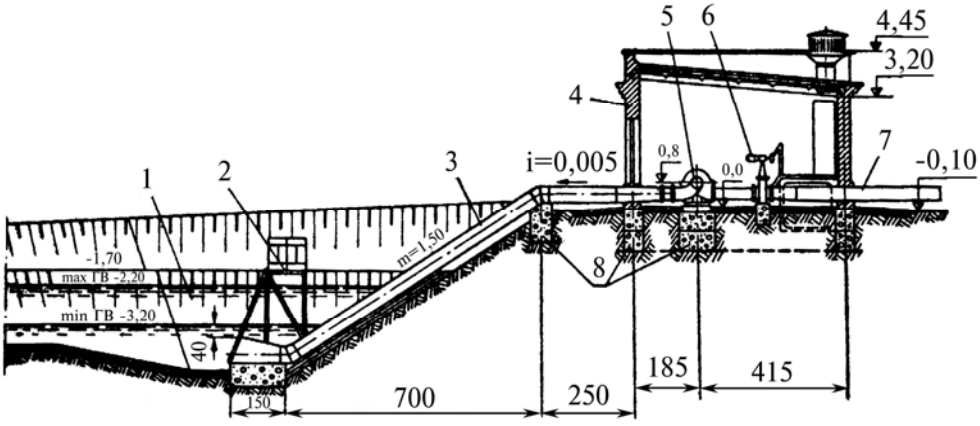


Рис. 4.152. Поздовжній розріз зрошувальної насосної станції:
1 – аванкамера (ківш); 2 – службовий місток; 3 – усмоктувальний трубопровід; 4 – будівля насосної станції; 5 – насос (тип «Д»); 6 – засувка; 7 – напірний трубопровід; 8 – фундаменти

Для подачі води при зрошенні порівняно невеликих або тимчасово зрошуваних ділянок застосовуються пересувні (на колісному ходу або на рамі-санях) насосні станції (рис. 4.153).

При проектуванні зрошувальних насосних станцій їхні технічні показники (подача й напір) визначаються таким чином.

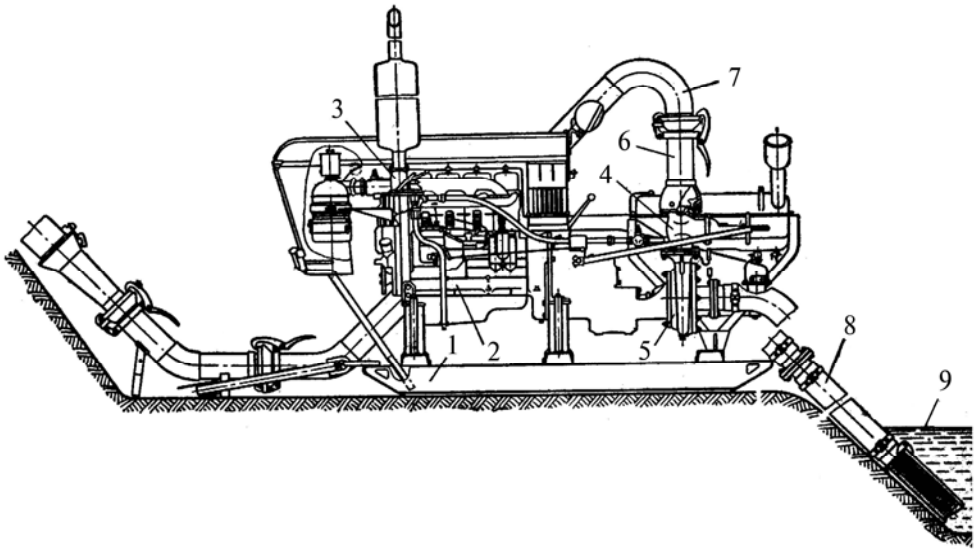


Рис. 4.153. Пересувна (на рамі-санях) насосна станція СНП-25/60: 1 – рама; 2 – двигун; 3 – вакуумсистема заповнення насоса водою; 4 – засувка; 5 – насос-редуктор; 6 – зворотний клапан з патрубком; 7 – напірне коліно; 8 – усмоктувальний трубопровід; 9 – джерело води

Подача зрошувальної насосної станції визначається з міркувань, що на зрошуваній ділянці одночасно можуть працювати 75…80% дощувальних машин від їхньої загальної кількості на цій ділянці і визначається за формулою:

$$Q_{\text{н ст}} = (0{,}75...0{,}8)qn\,, \tag{4.390}$$

де q – витрата води однією дощувальною машиною; n – кількість дощувальних машин на зрошуваній ділянці.

Напір насосної станції визначається за формулою:

$$H = H_{\text{віл}} + H_{\text{г}} + h_{\text{в}}\,, \tag{4.391}$$

де $H_{\text{віл}}$ – вільний напір на гідранті чи водовипуску; $H_{\text{г}}$ – геометрична висота підняття води; $h_{\text{в}}$ – втрати напору в трубопроводі.

Елементи експлуатації зрошувальних систем. Використання зрошувальних систем здійснюється експлуатаційним персоналом відповідних організацій. Завданням експлуатації зрошувальних систем є

забезпечення їхньої надійної роботи та недопущення негативного впливу зрошення на навколишнє середовище.

Державні зрошувальні системи експлуатуються організаціями Держкомітету України з питань водного господарства та меліорації. Зрошувальні ділянки господарств експлуатуються експлуатаційним персоналом, який входить до складу цих господарств.

Основним питанням експлуатації зрошувальних систем є реалізація планів водокористування, якими визначаються об'єми забору води з джерела і календарний розподіл її в самих господарствах і між господарствами-водоспоживачами. Планування водокористування розпочинається з господарств. Поливи сільськогосподарських культур здійснюються згідно з оперативним графіком поливів.

Другим важливим питанням експлуатації зрошувальних систем є забезпечення поточних, капітальних і аварійних ремонтів. При використанні зрошувальних систем періодично проводиться очистка каналів і гідротехнічних споруд.

Гідромеханічне обладнання насосних станцій, поливна техніка й інше обладнання експлуатуються згідно з інструкціями заводів-виготовлювачів, з урахуванням конкретних умов використання цього обладнання.

Техніко-економічні показники зрошувальних систем. Основними технічними показниками, які характеризують зрошувальну систему, є такі.

Валова площа системи F, **га,** – це площа, у межах якої розташована зрошувальна система.

Площа брутто $F_{бр}$**, га,** – це площа, яка включає, крім зрошуваної площі, території, зайняті дорогами, лісосмугами, каналами та ін.

Площа нетто $F_{нт}$**, га,** – це тільки зрошувана площа.

Коефіцієнт земельного використання КЗВ – це відношення площі нетто $F_{нт}$ до площі брутто $F_{бр}$, тобто $КЗВ = F_{нт}/F_{бр}$.

Коефіцієнт корисної дії ККД – це відношення корисно використаної води $V_{кор}$ до об'єму її, який забирається в систему $V_{о}$, тобто $ККД = V_{кор}/ V_{о}$.

Капіталовкладення К**, грн.,** – це вартість будівництва системи. Визначається кошторисом і включає вартість усіх матеріалів та робіт по будівництву системи.

Вартість одного гектара зрошення $B_з$**, грн/га,** – це капіталовкладення $К$, поділені на площу нетто $F_{нт}$, тобто $B_з = К/F_{нт}$.

Крім названих, є ще ряд інших техніко-економічних показників зрошувальних систем, які через обмежені можливості тут не розглядаються детально, – це річні експлуатаційні затрати, собівартість одного кубічного метра води, встановлена потужність гідросилового обладнання та ін.

Питання для самоконтролю до лекції №14.

1. Поясніть порядок гідравлічного розрахуноку водопровідних мереж.
2. За яких умов вибирається висота водонапірної башти і напір насосної установки?
3. Вкажіть формули за якими визначаються витрати для населеного пункту?
4. Що таке водонапірна башта, для чого вона призначена?
5. За якою формулою визначається регулюючий об'єм бака водонапірної башти?
6. Для чого призначенні напірні резервуари і як вони класифікуються?
7. Яка будова пневматичної напірно-регулюючої установки?
8. Що таке зрошувальна система?
9. Які є способи забору води для зрошення. Поясніть їх суть?
10. З яких основних елементів складається зрошувадьна система?
11. Вкажіть основні технічні показники, які характеризують зрошувальну систему?

4.16. ЛЕКЦІЯ № 15. Основи гідромеханізації

Змістовий модуль 3
«ОСНОВИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ»

Тема: Основи гідромеханізації.

Мета. Ознайомитися з класифікацією гідротропневмотранспорту. Ознайомитися з методикою розрахунку гідротропневмотранспорту. Ознайомитися з основами гідромеліорації Вивчити будову і види зрошувальної техніки. Ознайомитися з сучасними технологіями та розробками з механізації зрошення. Ознайомитися з методикою розрахунку продуктивності роботи поливних машин.

План лекції

1. Гідро пневмотранспорт.
   1.1 Основні відомості і класифікація.
   1.2. Напірний і безнапірний гідро пневмотранспорт.
   1.3. Основні методи розрахунку гідротропневмотранспорту.
2. Основи гідромеліорації.
3. Механізація зрошення (поливів)
4. Сучасні технології та розробки з механізації зрошення.
5. Розрахунок продуктивності роботи поливних машин.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 395-408, 488-490, 503-521).

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 404-406, 418-431).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 254-268).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 269-316, 369-396).
5. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 207-254).

Матеріал лекції
1. Гідропневмотранспорт
1.1 Основні відомості і класифікація

Висока концентрація і спеціалізація виробництва в агропромисловому комплексі вимагають нового рішення механізації і автоматизації технологічних процесів, особливо у області транспортування різних матеріалів. Так, наприклад, на свинокомплексі по вирощуванню і відгодівлі 108 тис. голів щорічно транспортують і роздають до 600 т рідких кормів і видаляють до 1 млн. $м^3$ гнойових стоків (при гідрозмивному способі прибирання гною). Таке завдання з найбільш економічними показниками може вирішити тільки гідропневмотранспорт. Його переваги – безперервність процесу, високий коефіцієнт експлуатаційної надійності, простота конструкції, збереження матеріалу, що транспортується, гігієнічність, зручність експлуатації і можливість автоматизації процесів.

Гідропневмотранспорт – це комплекс пристроїв і устаткування, призначених для переміщення продуктів сільськогосподарського виробництва і матеріалів за допомогою рідини, або повітря.

У сільськогосподарському виробництві гідропневмотранспорт використовують:

- для приготування і транспортування рідких кормів на тваринницьких підприємствах, транспортування гною усередині будівель і до місць переробки, зберігання або використання;
- для транспортування сипких матеріалів, наприклад зерна, мінеральних добрив.

Гідропневмотранспорт дозволяє повністю перейти на комплексну механізацію навантажувально-розвантажувальних робіт майже всіх матеріалів сільськогосподарського виробництва.

Крім того, гідропневмотранспорт попутно дозволяє провести ряд технологічних процесів: охолоджування, підсушування, зволоження і очищення від домішок і бруду.

Класифікація гідропневмотранспортних установок. Гідропневмотранспортні установки підрозділяють на напірні і безнапірні.

Якщо технологічний процес достатньо забезпечений водою, а трубопровід має належний ухил, то застосовують простіші і дешеві безнапірні установки. Для роздачі кормів, замінників цілісного молока у зв'язку з складністю гідравічних ліній застосовують напірні установки. Для прибирання гною з тваринницьких приміщень і подальшого транспортування його на місце зберігання або на поля зрошування застосовують комбіновані установки.

Загальна класифікація гідропневмотранспортних установок приведена на рисунку 4.154, [1].

Пневматичні установки за способом створення різниці тиску діляться на установки всмоктуючого, нагнітального і змішаного типів. Вони можуть бути стаціонарні і мобільні. Стаціонарні використовують для видалення гною, транспортування молока, приготування і роздачі кормових сумішей на зерноскладах; мобільні – для перевантаження зерна, сіна, соломи, силосу і інш.

По величині напору установки, діляться на низьконапірні з тиском до 0,5 МПа, середньонапірні – з тиском від 0,5 до 1 МПа і високонапірні – з тиском вище 1 МПа.

За способом створення напору їх ділять на насосні, компресорні, насосно-компресорні і гідростатичні.

Залежно від гідравлічної схеми роботи гідропневмотранспортних установок вони діляться на прості і складні.

Безнапірні установки застосовуються при видаленні гною з приміщень, а також при міжопераційних переміщеннях зерна в аеролотках.

Гідравлічні безнапірні установки можна розділити на системи прямого змиву, рециркуляційні і змивні.

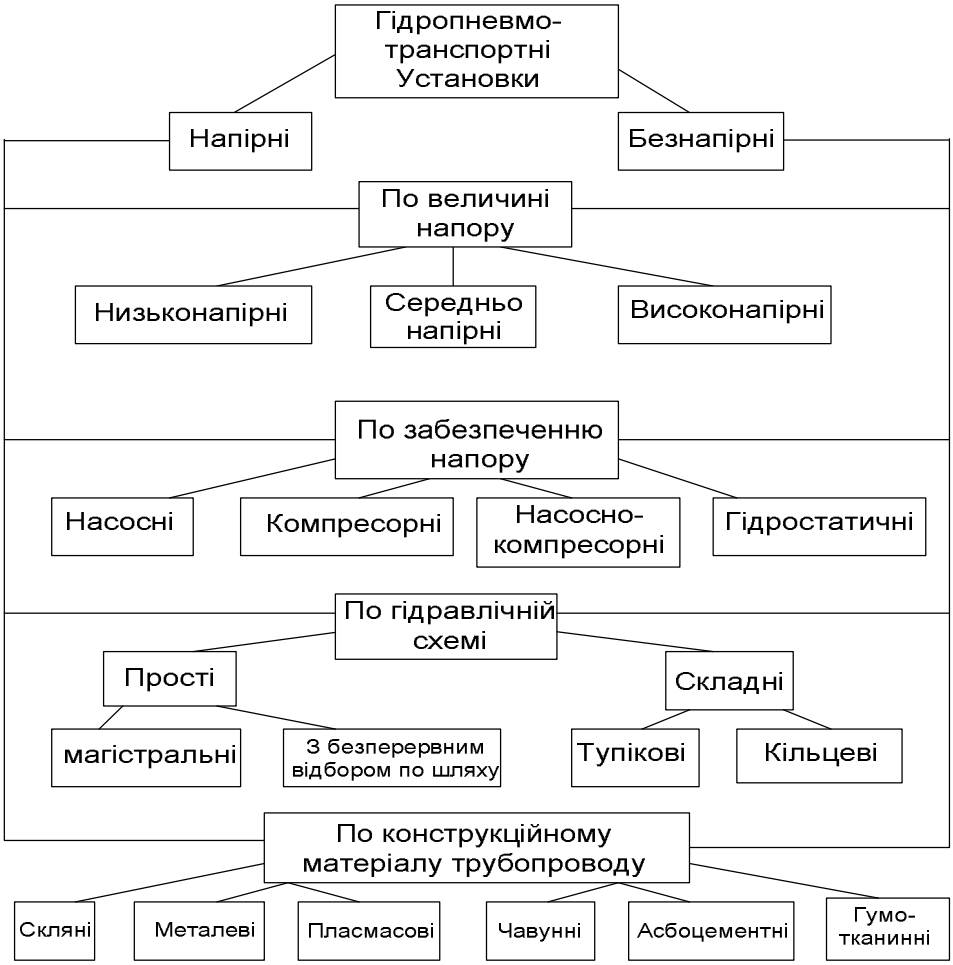


Рис. 4.154. Загальна класифікація гідропневмотранспортних установок

Кормопроводи можуть бути сталеві, пластмасові, керамічні, азбестоцементні і скляні; гноєпроводи – чавунні, азбестоцементні, керамічні, пластмасові, сталеві і гумовотканинні.

1.2. Напірний і безнапірний гідропневмотранспорт

Напірним гідропневмотранспортом називається такий транспорт, коли гідравлічна суміш переміщається під тиском. Переміщення гідросумішей може відбуватися в горизонтальній і вертикальній площинах по складній криволінійній траєкторії. Напірний гідро пневмотранспорт ділиться на компресорний, насосно-компресорний, насосно-напірний і насосно-всмоктуючий.

Безнапірний рух здійснюється переважно по відкритих лотках і металевих жолобах під дією сил тяжіння.

У сільськогосподарському виробництві безнапірний гідротранспорт, наприклад, застосовується при очищенні від гною тваринницьких приміщень. Гідравлічні безнапірні установки можна розділити на системи прямого змиву, рециркуляційні і самотічні.

До безнапірного пневмотранспорту відносяться аерожолоби, де за допомогою вентилятора створюється потік повітря, яке за допомогою спеціальної решітки прямує в шар зерна (або іншого сипкого матеріалу) і переводить останній в псевдо-зріджений стан. Транспортування сипкого матеріалу в цьому стані відбувається за рахунок сил тяжіння у бік нахилу аерожолоба.

Характеристика роботи напірного і безнапірного гідротранспорту – критична швидкість.

Критичною швидкістю називається така швидкість руху гідросуміші, при якій велика частина твердої фази, що міститься в потоці, повністю переміщається, не осідаючи на дні трубопроводу. Для нормальної роботи напірного гідротранспорту необхідно, щоб швидкість руху суміші була рівна або дещо перевищувала критичну. При проектуванні безнапірного гідротранспорту основний параметр - це нахил дна, який повинен забезпечити таку швидкість гідросуміші, щоб грубі частинки не випадали на дно (не замулювали).

Після визначення нахилу необхідно обчислити швидкість і порівняти її з критичної. Нахил лотка (жолоба) збільшують до отримання рівності $V_{кр} = V$.

1.3. Основні методи розрахунку гідротропневмотранспорту

Основні розрахункові параметри гідротропневмотранспортної системи - діаметр труб, товщина стінки і їх матеріал. У безпосередньому зв'язку з діаметром труб знаходяться втрати тиску (напору).

Діаметр трубопроводу для транспортування гідросуміші знаходиться з рівняння нерозривності потоку $Q = \omega \cdot V = const$, якщо в нього підставити значення площі поперечного перерізу $\omega = \pi d^2/4$, то отримаємо:

$$d = 0{,}13\sqrt{\frac{Q_p}{V_e}}, \qquad (4.392)$$

де Q_p – розрахункова витрата гідросуміші на даній ділянці;

V_e – економічно доцільна швидкість руху рідини.

З великими швидкостями руху транспортувати гідросуміш економічно недоцільно, так як будуть великі втрати напору.

Середня швидкість транспортування суміші визначається техніко-економічними розрахунками з умови $V_{кр} < V < 2$ м/с, де $V_{кр} = 0{,}6...0{,}8$ м/с – швидкість самоочищення труб [1].

Для знаходження значення критичної швидкості при русі гідросуміші в літературі запропоновано безліч емпіричних формул і залежностей, що різною мірою задовольняють практиці.

При практичних розрахунках частіше всього значення критичної швидкості визначають по формулі:

$$V_{кр} = 1{,}25\sqrt{\tau_0 / \rho g} \qquad (4.393)$$

де τ_0, – гранична напруга зрушення гідросуміші, Па; вибирається з довідкової літератури;

ρ – густина гідросуміші,кг/м^3

Визначивши критичну швидкість і порівнявши її з середньою швидкістю потоку V, встановлюють характер режиму: при $V < V_{кр}$ – режим ламінарний, при $V > V_{кр}$ – режим турбулентний.

По знайденому значенню діаметру вибирається стандартний діаметр трубопроводу, уточнюється швидкість руху гідросуміш і робиться перевірка виконання умови ($V_{кр} < V < 2$ м/с)

При розрахунку втрат тиску керуються наступними міркуваннями:

- гідравлічні опори при транспортуванні кормових сумішей пропорційні об'ємній витраті або швидкості;
- при однаковій об'ємній витраті втрати тиску зростають із зменшенням діаметру трубопроводу; збільшення втрат тиску випереджає зменшення площі поперечного перетину трубопроводу;
- зниження вартості трубопроводу (за рахунок зменшення діаметру) викликає підвищення втрат тиску.

Тиск, який необхідно створити на початку трубопроводу, щоб забезпечити задану подачу гідротропневмотранспортної установки, обчислюють по залежності:

$$P_{н.у.} = (\Delta_к - \Delta_н)\rho g + \Delta p \qquad (4.394)$$

де $\Delta_к, \Delta_н$ – відповідно відмітки центрів тяжіння початкового і кінцевого перетину трубопроводу; Δp – загальні втрати тиску в гідромережі, Па.

2. Основи гідромеліорації

Термін «*меліорація*» (від лат. melioratio) означає покращення. ***Гідромеліорація*** належить до сільськогосподарських меліорацій і призначена для регулювання (покращення) водно-повітряного режиму ґрунтів

з метою високоефективного використання земель. Таким чином, гідромеліорація – це водна меліорація і, впливаючи в основному на водний режим ґрунту, вона впливає на його повітряний, тепловий, мікробіологічний режим і в кінцевому рахунку на родючість ґрунтів. Покращення водно-повітряного режиму ґрунтів, тобто гідромеліорація, здійснюється двома способами (двома її видами) – зрошенням і осушенням земель.

Зрошення сільськогосподарських культур – це штучне поповнення недостачі природної вологи в ґрунтах для забезпечення високих і сталих врожаїв сільськогосподарських культур. Застосовується зрошення на територіях, де середня багаторічна кількість опадів не перевищує 400 мм на рік, тобто в зоні недостатнього та нестійкого природного зволоження. Зрошення сільськогосподарських культур характеризується режимом зрошення.

Режим зрошення – це строки і норми поливів сільськогосподарських культур.

Основними технічними показниками зрошення є зрошувальна та поливна норми.

***Зрошувальна норма M*, м^3/га,** – кількість зрошувальної води, яка подається на один зрошуваний гектар за весь період поливу (вегетації) сільськогосподарських культур, і виразити її можна такою залежністю:

$$M = m \cdot n, \tag{4.395}$$

де m – поливна норма, м^3/га;

n – кількість поливів за весь період зрошення (n = 2…5).

Зрошувальна норма складає від 2,5 до 25 тис. м^3/га, останнє число – це зрошувальна норма для рису.

Поливна норма *m*, м^3/га, – це кількість зрошувальної води, яка подається на один зрошуваний гектар за один полив. Її можна визначити за залежністю

$$m = 100H\alpha(\gamma_0 - \gamma_1), \tag{4.396}$$

де H – активний шар ґрунту, тобто глибина розповсюдження кореневої системи, отже, глибина, на яку слід промочити ґрунт, м. Глибина промочування для більшості сільськогосподарських культур складає 0,25…0,8 м;

α – середня щільність активного шару ґрунту, т/м^3;

γ_0 – оптимальна вологість активного шару ґрунту, у процентах від маси сухого ґрунту, відповідає 90…100% найменшої вологоємності;

γ_1 – вологість активного шару ґрунту перед поливом, у процентах від маси сухого ґрунту. Величина поливних норм коливається в межах 400…1200 м^3/га [2].

Строки поливів встановлюються декількома методами: у відповідності з фазами росту й розвитку рослин; на підставі візуальних спостережень за станом ґрунту й зовнішнього вигляду рослин; на підставі даних дорадчої системи. Останній метод є найбільш досконалими і полягає у тому, що строк і норма чергового поливу встановлюються за даними електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), для чого в неї вводяться відомості про фактичний стан вологості ґрунту на певну дату, фактичні та прогнозні дані про стан природних опадів, а також дані про фази росту й розвитку рослин.

Як приклад – для озимих кількість поливів складає 2…4, і проводяться вони у фазах початку трубкування, виколошування й наливу зерна.

Найбільш розповсюдженими способами поливу сільськогосподарських культур є дощування і поверхневий полив, менш розповсюдженими є внутрішньоґрунтове, краплинне та дрібнодисперсне.

Дощування – це спосіб поливу, при якому зрошувальна вода розосереджується по полю у вигляді штучного дощу. Здійснюється воно за допомогою дощувальних установок та дощувальних машин (ДМ).

Застосовується дощування для поливу всіх сільськогосподарських культур. Цей спосіб поливу має ряд переваг, а також і недоліків. Позитивним у цьому способі є високий рівень механізації й навіть автоматизації поливів, можливість застосування його на площах без обмеження похилу поверхні поля і багато інших переваг. Та все ж цей спосіб має й недоліки – це, по-перше, велика енергоємність його, руйнування структури поверхневого шару ґрунту з утворенням ґрунтової корки по всій поверхні зрошуваного поля, втрати води на випарювання в повітрі з дощової хмари (до 18…20%) [2].

Поверхневий полив – це спосіб поливу, при якому зрошувальна вода розосереджується по полю по поливних борознах або смугах. Це стародавній спосіб поливу, хоча він малорозповсюджений.

Поливні борозни – це V-подібні вирізи в ґрунті, рухаючись по яких, поливна вода всмоктується в ґрунт.

Застосовується такий полив для просапних культур, у міжряддях яких борозни нарізаються культиваторами, обладнаними борознорізами (аричниками) (рис. 4.155). Полив по борознах застосовується на ділянках з похилом 0,02…0,03. Перевагою цього виду поливу є те, що під шаром води знаходиться тільки 20…30% поверхні ґрунту, а решта залишається в пухкому стані. Недолік поливу по борознах – він майже не механізований.

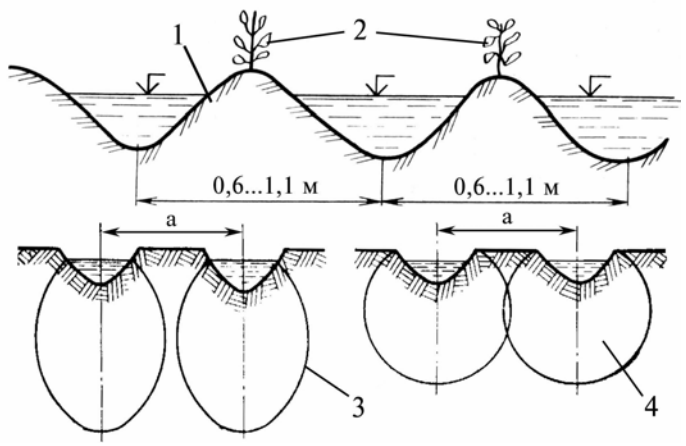


Рис. 4.155. Схема поливних борозен та контурів зволоження ґрунту при поливі:
1 – поливна борозна; 2 – рослини; 3 – контур зволоження на легких ґрунтах; 4 – контур зволоження на середніх і важких ґрунтах

3. Механізація зрошення (поливів)

Механізація поверхневих поливів. Насамперед слід відзначити, що поверхневий полив відносно мало механізований, що і є певним стримуючим фактором щодо його розповсюдження.

При поверхневому поливі тимчасові зрошувачі, якими вода подається до поливних борозен, нарізаються та зарівнюються каналокопачами-зарівнювачами КЗУ-0,3 (рис. 4.156), а поливні борозни нарізаються культиваторами-рослинопідживлювачами навісними КРН-4,2, де 4,2 – ширина захвату, м (рис. 4.157).

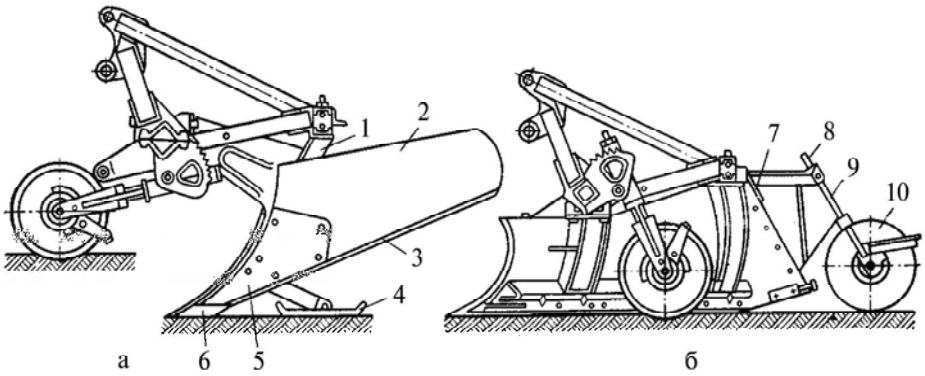


Рис. 4.156. Універсальний каналокопач-зарівнювач (КЗУ-0,3):
а – з канавокопачем, б – із зарівнювачем каналів: 1 – стійка; 2 – відвал; 3 – ніж; 4 – опорна лижа; 5 – груди; 6 – леміш; 7 – розрівнююча дошка; 8 – стійка котка; 9 – втулка; 10 – коток

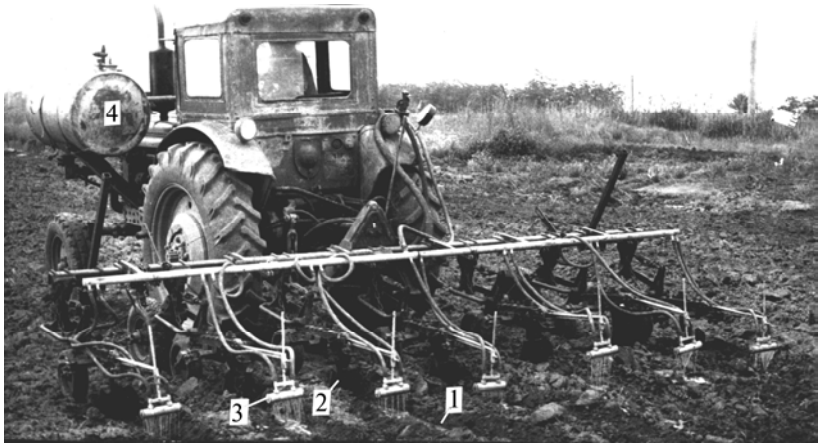


Рис. 4.157. Нарізка поливних борозен культиватором КРН-4,2 з внесенням розчину мінеральних добрив: 1 – поливна борозна; 2 – борозновик (борозноутворювач); 3 – реконструйований розпилювач мінеральних добрив; 4 – бак підкормлювача-обприскувача універсального (ПОУ)

При поливі по борознах (для подачі води в борозни) застосовуються засоби «малої механізації» – сифони чи трубки (рис. 4.158, 4.159).

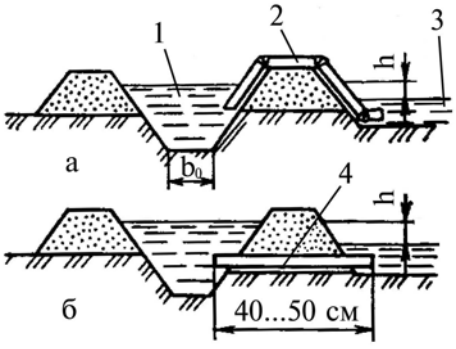


Рис. 4.158. Подача води в поливні борозни сифонами і трубками: а – за допомогою переносних сифонів: 1 – тимчасовий зрошувач; 2 – переносний сифон; 3 – поливна борозна; h – напір; b0 – ширина тимчасового зрошувача по дну; б – за допомогою водовипускних трубок: 4 – поливна трубка

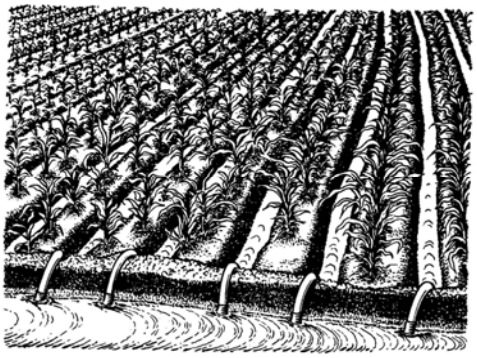


Рис. 4.159. Полив кукурудзи по борознах з подачею води в них сифонами

Механізація поливу дощуванням. Полив дощуванням здійснюється за допомогою спеціальних машин, які називаються дощувальними

(ДМ), або стаціонарних установок. Слід відзначити, що цей спосіб поливу повністю механізований, що і є однією з найважливіших підстав для його широкого застосування.

Дощувальні установки і дощувальні машини певним чином класифікуються. За характером руху (роботи) вони поділяються на машини фронтальної дії: ДДА-100 МА, «Дніпро», «Кубань», «Волжанка» та ін. – і машини обертової дії – «Фрегат». За шириною смуги поливу вони поділяються на широкозахватні: «Дніпро», «Кубань», «Фрегат», «Волжанка» – та вузькозахватні: ДДА-100 МА, ДДН-70 і ДДН-100. За конструкцією машини вони поділяються на самохідні: «Дніпро», «Кубань», «Фрегат», «Волжанка» – та навісні: ДДА-100 МА, ДДН-70 і ДДН-100. Залежно від дальності польоту струмини води дощувальні машини поділяються на короткоструминні – з дальністю польоту струмини до 10 м – ДДА-100 МА, середньоструминні – з дальністю польоту струмини 20…25 м: «Дніпро», «Кубань», «Фрегат», «Волжанка», розбірно-переносні установки типу КІ-50 та ін. – і далекоструминні – з дальністю польоту струмини більше 40…70 м: ДДН-70 та ДДН-100. За технологією поливу вони поділяться на позиційні: «Дніпро», ДДН-70, ДДН-100 – і такі, що поливають у русі: «Фрегат», «Кубань», ДДА-100 МА. Є й інші види класифікації дощувальних машин, установок та систем.

Стаціонарні (розбірно-переносні) дощувальні установки. Це комплекти обладнання, які забезпечують полив сільськогосподарських культур на порівняно невеликих ділянках і які не обладнані засобом пересування, а з позиції на позицію переносяться вручну (робітниками-поливальниками). До них належать комплекти пересувного поливного обладнання КІ-50 «Радуга», «Сигма» та ін.

Комплект іригаційний КІ-50. Це переносний комплект гідравлічного обладнання, призначений для поливу всіх сільськогосподарських культур на ділянках площею до 50 га. Полив сільськогосподарських культур ним здійснюється позиційно, тобто після поливу на одній позиції обладнання демонтується і переноситься на іншу. КІ-50 складається з магістрального, двох розподільних і чотирьох робочих трубопроводів (рис. 4.160), на яких встановлено шістнадцять дощувальних апаратів «Роса-3». Вода подається пересувною насосною станцією СНП-50/80. КІ-50 комплектується пристроєм для внесення мінеральних добрив (підживлювачем).

Магістральний трубопровід призначений для подачі води в розподільчі трубопроводи, довжина його – 891 м, з них 610 м мають діаметр 150 мм, а 281 м – діаметр 125 мм.

Комплект іригаційний характеризується такими технічними показниками: напір насосної станції – 80 м; витрата води – 47,2 л/с; площа, яку обслуговує комплект за сезон, – 50 га; продуктивність за годину чистої роботи при нормі поливу 300 м^3/га – 0,547 га; середня інтенсивність дощу – 0,28 мм/хв; час роботи на одній позиції при нормі поливу 300 м^3/га – 1 год. 30 хв.; кількість одночасно працюючих апаратів – 8 шт.; відстань між апаратами – 36 м; відстань між позиціями робочого трубопроводу – 36 м; маса комплекту – 7,75 т; режим роботи – світловий день; обслуговуючий персонал: поливальників – 2, мотористів – 1.

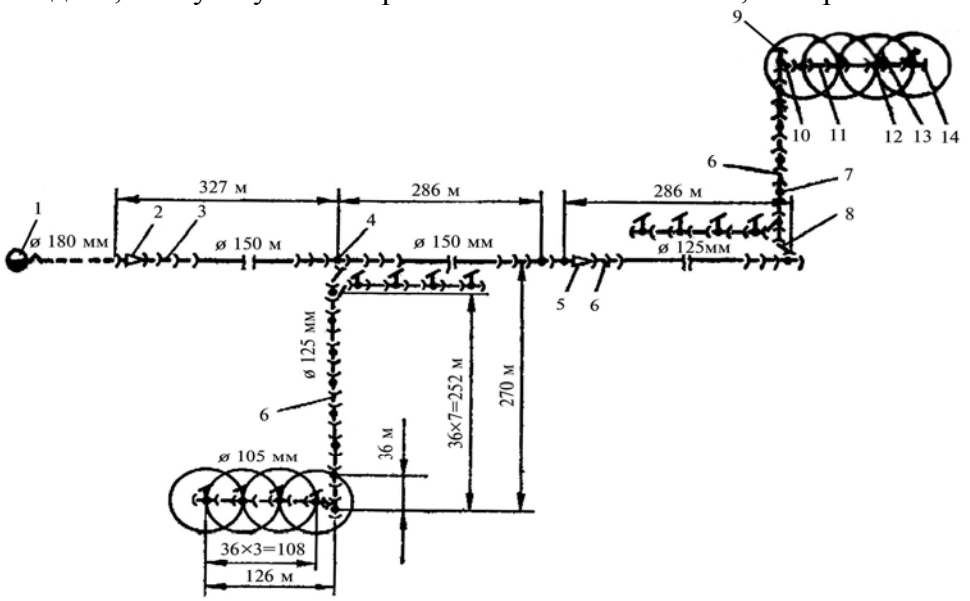


Рис. 4.160. Схема комплекту іригаційного КІ-50:
1 – насосна станція; 2 – перехідник; 3 – магістральний трубопровід; 4 і 7 – труби-гідранти; 5 – перехідник з гідрантом; 6 – розподільчий трубопровід; 8 і 10 – приєднувальні патрубки; 9 і 14 – заглушки; 11 – робочий трубопровід; 12 – труба-стійка; 13 – дощувальний апарат

Вузькозахватні дощувальні машини. До них належать дощувальні машини ДДА-100 МА, ДДН-70 та ДДН-100.

Дощувальний двоконсольний агрегат **ДДА-100 МА.** Агрегат ДДА-100 МА призначений для поливу всіх сільськогосподарських культур. Це металева ферма, яка навішується на трактор ДТ-75 (рис. 4.161). Полив сільськогосподарських культур ним здійснюється при русі агрегату вздовж каналу (тимчасового зрошувача). Вода з каналу забирається навішеною на ньому ж насосною установкою з консольним відцентровим насосом і розосереджується по трубопроводу до

дощувальних насадок. Основними вузлами машини є: трактор, двоконсольна лінія, вакуумне обладнання (для зарядки насоса перед його пуском), гідропривод та гідропідживлювач.

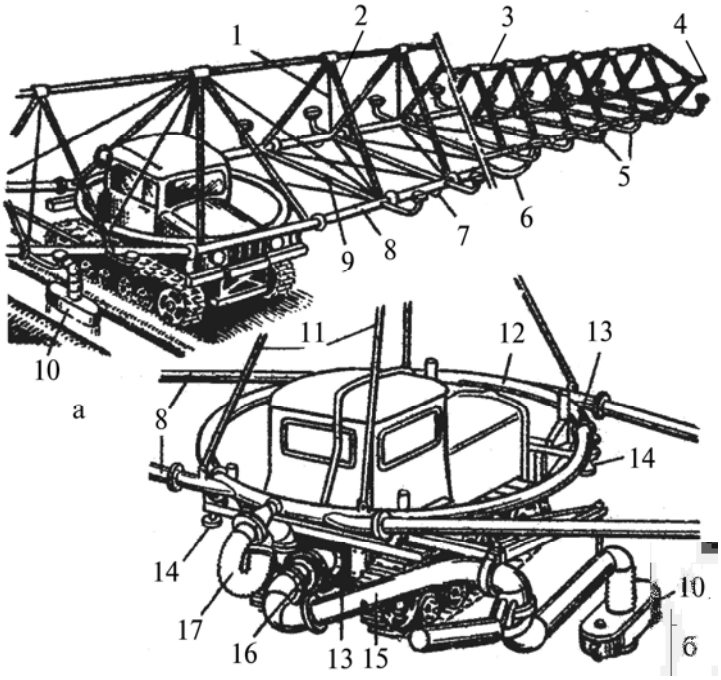


Рис. 4.161. Дощувальний двоконсольний агрегат ДДА-100 МА: а – загальний вигляд; б – центральна частина; 1 – розкос; 2 – стійка; 3 – пруток; 4 – кінцева дощувальна насадка; 5 – дефлекторна насадка (рядова) з відкрилком; 6 – опорна дуга; 7 – зливний клапан; 8 – водопровідна труба; 9 – розтяжка; 10 – усмоктувальний пристрій із сміттєзатримуючою сіткою та зворотним клапаном; 11 – центральні стійки; 12 – поворотний круг; 13 – передня й задня балки; 14 – передній і задній гідроциліндри підняття ферми; 15 – усмоктувальна лінія; 16 – насосна установка; 17 – напірний шланг

Агрегат характеризується такими технічними показниками: витрата води – 130 л/с; водозабір – з тимчасових зрошувачів; напір насоса – 37 м; шар води за один прохід машини – 5 мм; продуктивність за одну годину чистої роботи – 1,66 га; ширина захвату – 120 м; швидкість руху агрегату: вперед – 0,94 км/год; назад – 0,575 км/год; система керування консолями – гідравлічна (об'ємний гідропривод); кількість гідроциліндрів у системі керування фермою – 4, у системі керування усмоктувальною лінією (опускання-підняття) – 1; площа, яку обслуговує агрегат за сезон, – 130-140 га; маса агрегату без трактора – 4,24 т, з трактором – 10,79 т; кількість обслуговуючого персоналу – 2 робітники.

В якості дощеутворювачів на агрегаті застосовуються дефлекторні насадки, прохідний отвір яких (діаметр сопла) змінюється (збільшується) у напрямку від трактора до кінця ферми.

На агрегаті встановлюється 28 насадок з діаметром сопла 12 мм, 16 – з діаметром 13 мм, 8 – з діаметром 14 мм і 2 (кінцеві) – з діаметром 22 мм. Тобто всього на агрегаті встановлено 54 дефлекторні насадки. Витрата води однією насадкою складає 2,3 л/с, а кінцевих – 5 л/с. Поворотом відкрилка можна змінювати напрямок струмини води вгору чи вниз (останнє при вітрі зі швидкістю більше 3 м/с). Для спорожнення трубопроводу від води на дев'ятій панелі зроблений зливний клапан. Для запобігання можливим ударам ферми об землю на консолях агрегату зроблені опорні дуги.

Дальноструминний дощувач навісний ДДН-70. Ця машина призначена для поливу всіх сільськогосподарських культур та садів. Вона складається з дальноструминного дощувального апарата з механічним обертанням ствола, відцентрового насоса, водоміра, усмоктувальної лінії та гідропідживлювача. Все це обладнання навішується на трактор Т-75 або ДТ-75 (рис. 4.162).

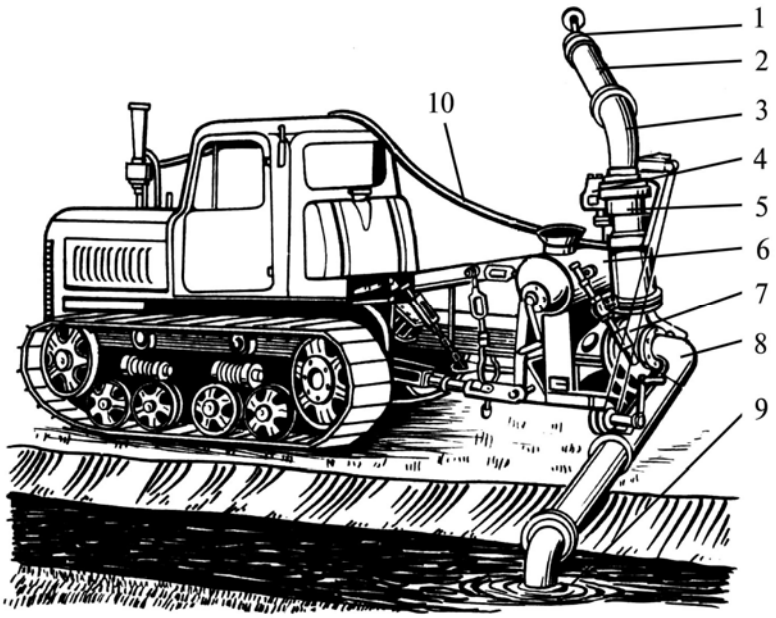


Рис. 4.162. Дальноструминний дощувач навісний ДДН-70:
1 – сопло; 2 – ствол; 3 – коліно; 4 – водомір; 5 – механізм повороту; 6 – гідропідживлювач; 7 – навісний відцентровий насос; 8 – усмоктувальна лінія; 9 – тимчасовий зрошувач (канал); 10 – вакуумна система заповнення насоса перед пуском

Машина працює позиційно з відстанню між позиціями при поливі по кругу 100 м, а при поливі по сектору – 60 м. При вітрі до 2…2,6 м/с полив здійснюється по кругу, при більшій швидкості вітру – по сектору.

Водозабір машина здійснює з відкритого тимчасового зрошувача (земляного каналу) або з гідрантів закритої трубопровідної мережі (без навісного насоса). Витрата води – 65 л/с, напір насоса – 50…55 м, радіус дії машини – 70 м. За сезон машина обслуговує 60…70 га зрошуваної площі.

Дальноструминний дощувач навісний ДДН-100. За призначенням і конструкцією ДДН-100 аналогічний ДДН-70, але навішується на більш потужний трактор Т-150, відповідно має і більш потужний насос (рис. 4.163).

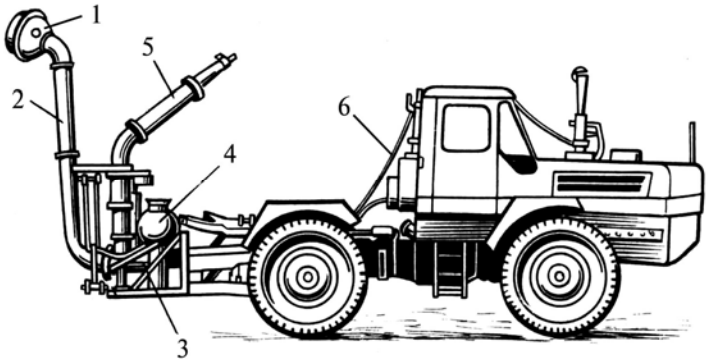


Рис. 4.163. Дальноструминний дощувач навісний ДДН-100:
1 – водоприймальний пристрій; 2 – усмоктувальна лінія; 3 – навісний відцентровий насос; 4 – гідропідживлювач; 5 – дощувальний апарат;
6 – вакуумсистема

Витрата води цією машиною складає 100 л/с, напір насоса – 80…85 м, радіус дії – 85 м. Відстань між позиціями при поливі по кругу складає 145…150 м, а по сектору – 80 м.

Широкозахватні дощувальні машини. До них належать дощувальні машини «Дніпро», «Кубань», «Фрегат» та «Волжанка».

Дощувальна машина «Дніпро». Це широкозахватна багатоопорна електрифікована дощувальна машина фронтальної дії (дощувач фронтальний ДФ-120). Вона призначена для поливу всіх сільськогосподарських культур і навіть низькорослих садів. Полив здійснює позиційно, з відбиранням води із гідрантів закритої зрошувальної мережі, розташованих на відстані 54 м один від одного. Складається з водопровідного трубопроводу діаметром 180 мм, довжиною 448 м, встановленого на 17 рухомих візках велосипедного типу, на яких розташовані електрич-

ні мотор-редуктори, що й приводить у рух машину при її переміщенні з позиції на позицію (рис. 4.164).

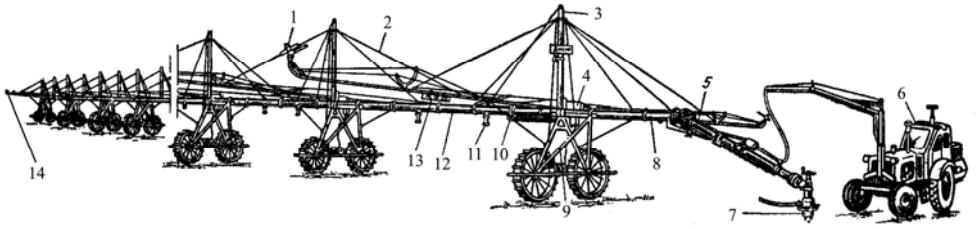


Рис. 4.164. Дощувальна машина «Дніпро» ДФ-120:
1 – середньоструминний дощувальний апарат «Роса-3» з відкрилком;
2 – система розкріплюючих тросів; 3 – ферма; 4 – електропривод; 5 – трубопровід приєднання машини до гідранта; 6 – пересувна електростанція;
7 – гідрант; 8 – опорна труба; 9 – опорний візок; 10 – драбина (підвішена);
11 – щілиновидний клапан; 12 – з'єднувальна труба; 13 – вузол кріплення відкрилків; 14 – заглушка з'єднувального трубопроводу

Машина характеризується такими основними технічними показниками: витрата води – 120 л/с; напір на гідранті – 45 м; водозабір – з гідрантів закритої зрошувальної мережі; інтенсивність дощу – 0,3 мм/хв; ширина захвату – 460 м; кількість дощувальних апаратів – 34 шт.; привод опорних візків – електричний; потужність електродвигуна мотор-редуктора – 1,1 кВт; обслуговування – один оператор-тракторист на 4 машини; висота водопровідного трубопроводу над поверхнею поля (кліренс машини) – 2,1 м. Сезонне навантаження на машину – 90…140 га зрошуваних земель.

Дощувальна машина «Фрегат». Це широкозахватна багатоопорна дощувальна машина обертової дії, призначена для поливу всіх сільськогосподарських культур. Полив здійснює в русі, обертаючись навколо нерухомої опори (рис. 4.165).

Водопровідний трубопровід машини виготовлений зі стальних труб діаметром 176 мм на перших семи прольотах і 152 мм – на останніх. На ньому встановлені середньоструминні дощувальні апарати 4-х типорозмірів (залежно від кількості сопел і їхнього діаметра). Всього на машині встановлені 50 апаратів і один кінцевий. Самохідні А-подібні опори (візки) приводяться в рух гідроприводом, встановленим на кожній опорі. В якості робочої рідини використовується та ж зрошувальна вода, яка надходить до гідроциліндрів з водопровідного трубопроводу при напорі 50…70 м.

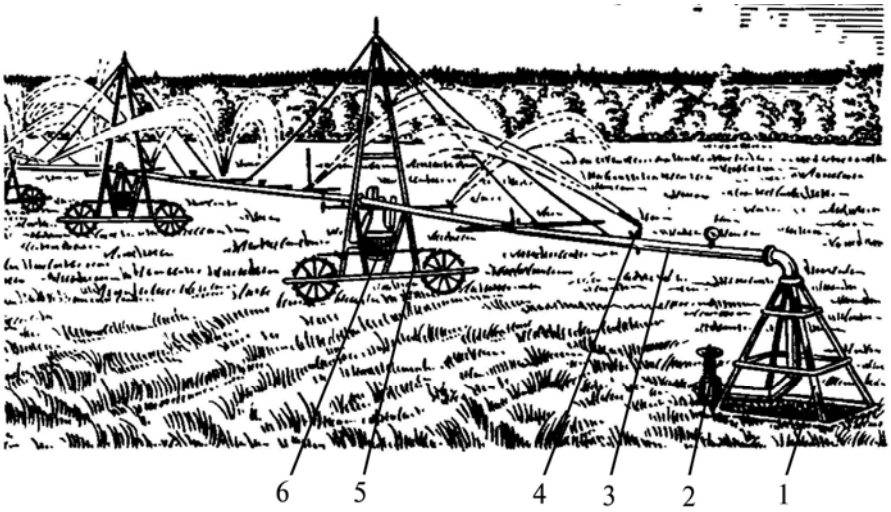


Рис. 4.165. Дощувальна машина «Фрегат»:
1 – нерухома опора; 2 – гідрант; 3 – водопровідний трубопровід;
4 – дощувальний апарат; 5 – А-подібний колісний візок;
6 – гідропривод руху колісних візків

Вода «Фрегатом» забирається із закритої зрошувальної мережі через гідрант, біля якого встановлюється нерухома опора. Довжина машини складає 450 м при 16 візках, але її можна й зменшувати, зменшуючи кількість візків. «Фрегат» забезпечує поливну норму від 240 до 1250 $м^3$/га. Витрата води машиною складає 72 л/с. «Фрегат» може працювати на одній позиції, тоді сезонна площа, яку він обслуговує, складає 71 га. При роботі на двох чи більше позиціях сезонна площа буде пропорційно більшою. Одночасно з поливом машиною можуть вноситися добрива.

4. Сучасні технології та розробки з механізації зрошення

Особливістю сучасного періоду у сфері зрошення сільськогосподарських культур є перехід аграрного комплексу до великих та дрібних фермерських господарств, а відповідно до цього необхідні й нові технології зрошення. На цей час науково-дослідними установами гідромеліоративного спрямування не припиняється пошук таких технологій і засобів механізації зрошення сільськогосподарських культур і вдосконалення зрошувальних систем.

Краплинне зрошення є перспективним способом зрошення садів, виноградників та овочевих культур.

Краплинне зрошення – це спосіб поливу, при якому вода невеликими дозами подається безпосередньо до кореневищної системи рослин із наземних трубопроводів за допомогою гнучких поливних трубок (краплинних стрічок) через отвори (крапельниці) улаштовані в них.

Поливні трубки можуть прокладатися у середині ґрунту або на його поверхні.

Крапельниці на поливних трубках улаштовуються через 10…30 см і уявляють собою отвори незначної величини з уповільненим витіканнями через них води. Поливні трубки виготовляються із поліетиленової плівки з одночасним улаштуванням в їх стінках крапельниць. Поставляються поливні трубки в бухтах. Існує багато видів поливних трубок (стрічок) залежно від їх призначення і це треба враховувати при їх використанні.

Витрата води однією крапельницею, залежно від типу поливної трубки, коливається в межах 0,5…2,6 л / год., робочий тиск – 5,5...10 КПа.

Для запобігання засмічування крапельниць вода в системах краплинного зрошення фільтрується із застосуванням сітчастих, дискових або пісчано-гравійних фільтрів.

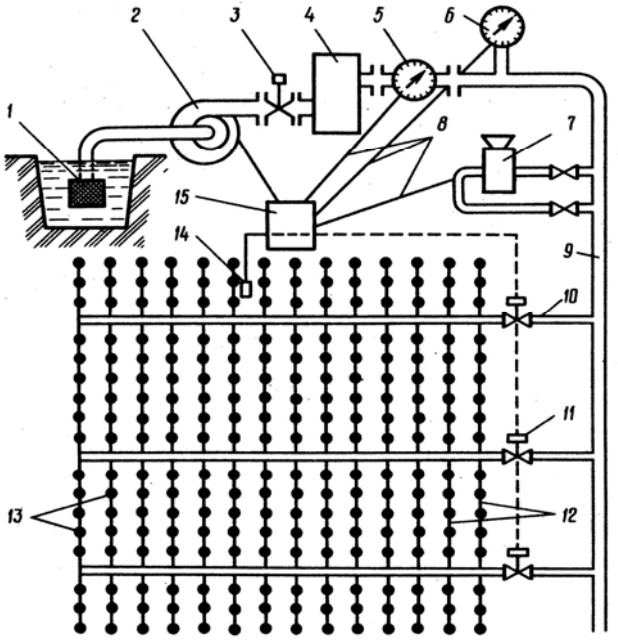


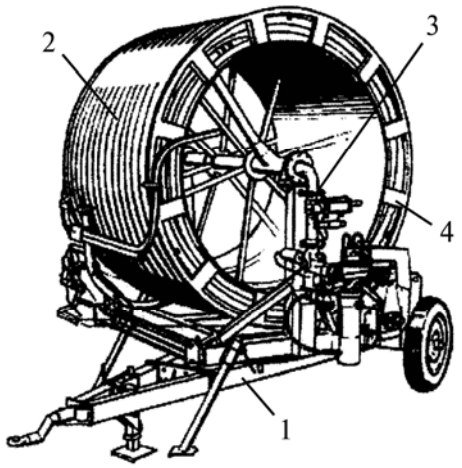
Рис. 4.166. Схема системи краплинного зрошення овочевих культур: 1 – водоприймальний пристрій (сміттєзатримуюча сітка і зворотній клапан); 2 – насос; 3 – засувка; 4 – фільтр; 5 – водомір; 6 – манометр; 7 – пристрій для приготування і подачі добрив в трубопровідну мережу; 8 – лінії керування; 9 – магістральний трубопровід; 10 – розподільний трубопровід; 11 – засовка; 12 – поливні трубки; 13 – крапельниці; 14 – датчик управління режимом зрошення 15 – пульт керування.

Застосовуються краплинне зрошення для поливу садів, виноградників, а останнім часом воно стало широко застосовуватися і для поливу овочевих культур. В останньому випадку поливні трубки прокладаються в міжряддях овочевих культур по поверхні ґрунту.

На рисунку 4.166 наводиться схема улаштування системи краплинного зрошення.

Для визначення строків поливу і величини поливної норми, залежно від виду культури, фази її розвитку і погодних умов, застосовуються різні методи. Для автоматизованого управління поливами застосовуються програматори, які дозволяють регулювати режими поливів.

Краплинне зрошення є найбільш ефективним, мобільним і сучасним видом зрошення. При ньому забезпечується економія води на 50…70% в порівнянні з традиційними способами зрошення, одночасне внесення (з поливною водою) добрив та засобів захисту рослин, воно має і інші переваги.



Що стосується сучасних розробок з механізації зрошення, то підприємством «Техносервіс», розроблена мобільна дощувальна установка МДУ-75 (рис. 4.167). Установка складається з одноосьового шасі, на якому розташована поворотна площадка з котушкою для намотування шланга. Полив здійснюється дощувальною консоллю, до якої вода подається по шлангу.

Рис. 4.167. Мобільна дощувальна установка МДУ75: 1 – шасі; 2 – шланг; 3 – опорна поворотна площадка; 4 – котушка

При поливі котушка обертається за допомогою гідропривода, при цьому на неї намотується шланг, який пересуває штатив з дощувальною консоллю. Забір води здійснюється з гідрантів. Довжина шланга – 280 м, діаметр – 75 мм. Витрата води – біля 30 $м^3$/ га. Сезонне навантаження на одну установку – 10 га. Транспортується установка тракторами Т-16 або Т-25.

5. Розрахунок продуктивності роботи поливних машин

Для ефективної експлуатації зрошуваної ділянки необхідно знати основні показники роботи дощувальних машин: годинну, змінну, добову продуктивність і сезонний виробіток, добову поливну норму, видавану машиною, тривалість поливу на одній позиції для машин «Дніпро» і повного оберту машин «Фрегат».

Продуктивність дощувальної машини за годину чистої роботи F, га, визначається за формулою:

$$F = \frac{3{,}6 \cdot Q_{м}}{m \cdot K}, \qquad (4.397)$$

де $Q_м$ – витрата дощувальної машини, л/с; m – поливна норма, м^3/га;

K – коефіцієнт, що враховує втрати води на випаровування, приймається рівним 1,05...1,3.

Продуктивність за зміну $F_{зм}$, га, визначається за формулою:

$$F_{зм} = \frac{3{,}6 \cdot T \cdot Q_м \cdot K_{зм}}{m \cdot K}, \quad (4.398)$$

де T – тривалість зміни, год;

$K_{зм}$ – коефіцієнт використання робочого часу зміни, приймається у відповідності з технічною характеристикою машини.

Добова продуктивність машини $F_{доб}$, га, визначається за формулою:

$$F_{доб} = \frac{86{,}4 \cdot Q_м \cdot K_{доб}}{m \cdot K}, \quad (4.399)$$

де $K_{доб}$ – коефіцієнт використання робочого часу доби, приймається у відповідності до технічної характеристики машини.

Сезонний виробіток дощувальної машини $F_{сез}$, га, визначається за формулою:

$$F_{сез} = \frac{86{,}4 \cdot Q_м \cdot T_з \cdot K_{доб} \cdot K_{сез}}{M_{ср} \cdot K}, \quad (4.400)$$

де $T_з$ – тривалість зрошувального періоду, приймається в межах 110...120 діб;

$K_{сез}$ – коефіцієнт, що враховує використання машини протягом зрошувального періоду, приймається рівним 0,8...0,9;

$M_{ср}$ – середня зрошувальна норма для культур сівозміни, м^3/га. Якщо машиною зрошується одна культура, то в розрахунок приймається зрошувальна норма для цієї культури.

Добова поливна норма м^3/(га·добу), видавана машиною, визначається за залежністю:

$$m_{доб} = \frac{m}{T}, \quad (4.401)$$

де T – тривалість поливу, кількість діб.

Тривалість роботи машини на одній позиції $T_{поз}$, год, визначається за залежністю:

$$T_{поз} = \frac{m \cdot F_{поз}}{3{,}6 \cdot Q_м \cdot \beta}, \quad (4.402)$$

де $F_{поз}$ – площа, що поливається з однієї позиції, га;

β – коефіцієнт, що враховує втрати води на випаровування у зоні дощової хмари, приймається рівним 0,78...0,98.

Тривалість повного оберту ДМ «Фрегат» $T_{об}$, год, визначається за залежністю:

$$T_{об} = \frac{t_{min} \cdot m}{m_{min} \cdot \beta \cdot K_{доб} \cdot K_{м}}, \quad (4.403)$$

де t_{min} – тривалість одного повного оберту машини при мінімальній поливній нормі, приймається за технічною характеристикою машини, год;

m_{min} – мінімальна поливна норма при мінімальній тривалості одного повного оберту машини, приймається за технічною характеристикою машини, м^3/га;

$K_м$ – коефіцієнт, що враховує втрати часу через метеоумови, приймається рівним 0,8...0,9.

Питання для самоконтролю до лекції № 15

1. Що таке гідропневмотранспорт?
2. Де в сільськогосподарському виробництві використовується гідропневмотранспорт?
3. Дайте класифікацію гідропневмотранспорту.
4. Яким параметром характеризується робота напірного і безнапірного гідротранспорту?
5. Дайте визначення критичної швидкості руху гідросуміші?
6. За якою формулою визначається критична швидкость руху гідросуміші?
7. Якими міркуваннями керуються при розрахунку втрат тиску при транспортуванні кормових сумішей?
8. Щотаке гідромеліорація?
9. Що таке зрошення і режим зрошення сільськогосподарських культур?
10. Які способи поливу сільськогосподарських культур застосовуються при зрошенні?
11. Пиедіть класифікацію дощувальних машин?
12. Охарактеризуйте дощувальну техніку, яка застосовується для поливу сільськогосподарських культур.
13. Поясніть техніко-економічні показники зрошувальних систем.
14. Які перспективні способи зрошування вам відомі.
15. Що таке крапельне зрошування?
16. Що входить до складу системи крапельного зрошування?
17. Які головні переваги крапельного зрошування при його використанні для сільськогосподарського виробництва?
18. Які головні параметри визначаються при гідравлічному розрахунку системи крапельного зрошування?
19. За якими формулами розраховується продуктивність роботи поливних машин?

Література до розділу

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с.
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с.
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
8. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.В. Некрасов; – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
9. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення / В.О. Орлов, А.М. Зощук; – Рівне, 2002. – 203 с.
10. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація / В.С. Кравченко; – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
11. Алексеев Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев; – М.: ИНФРА – М, 2004. – 154 с.
12. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський; – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
13. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В. Яковлева; – М.: Колос, 1992. – 287 с.
14. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров – К.: – Вища школа, 1987. – 208 с.
15. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 2009. – 1011 с. – (Словники України).
17. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / С.М. Срібнюк; – Київ Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
18. Сайт http://www.techgidravlika.ru
19. Сайт http://www.twirpx.com
20. Сайт www.hydraulics.at.ua

Розділ 5. ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

5.1. Методика проведення лабораторних занять

Проведення експериментів при викладанні гідравліки дозволяє реалізувати принцип наочності, який є однією з головних передумов ефективного засвоєння знань. Лабораторні роботи містять суттєві можливості для активізації пізнавальної діяльності студентів забезпечують усвідомлене сприйняття матеріалу, розвивають творче мислення та ініціативу.

Під час виконання лабораторних робіт студенти спостерігають гідравлічні явища в різних умовах, виявляють їх закономірності, порівнюють їх з теоретичним матеріалом, знайомляться з технічними засобами та методами вимірювання різних величин. Найперша задача викладача полягає у тому, щоби органічно поєднати лабораторний практикум з теоретичними та практичними заняттями, так підібрати тематику лабораторних робіт, щоби їх виконання допомогло студентам детальніше ознайомитись з питаннями, що розглядаються на лекціях

Виходячи з вище означеного, організацію лабораторного практикуму необхідно здійснювати у відповідності з такими основними вимогами.

Експериментальні роботи повинні чітко ілюструвати прояви та застосування законів, явищ і процесів, які вивчаються у теоретичній частині дисципліни.

Під час виконання лабораторних робіт студенти мають ознайомитись з науковими методами пізнання, переконатись у можливості застосування законів гідравліки у різних галузях.

На лабораторних заняттях слід створити умови для розвитку теоретичного і практичного мислення студентів, навчити їх розуміти реальну суть теоретичних положень та законів.

Лабораторний практикум необхідно розглядати як форму закріплення знань і спосіб поєднання в єдине ціле інформації аудиторних занять з тією, яку студент набуває в процесі систематичної самостійної роботи з підручниками, посібниками та іншими літературними джерелами при підготовці до лабораторних занять.

Лабораторні роботи повинні знайомити студентів з методами експериментальних досліджень, методикою вимірювань та визначення похибок, формувати досвід і навички використання приладів та обладнання.

Робота з установками повинна розвивати у студентів конструкторські здібності, спостережливість, увагу, витримку, уяву, логічне мис-

лення. Крім того, лабораторні заняття мають сприяти розвитку у студентів культури колективної та індивідуальної роботи.

Організація лабораторних занять і форма звіту повинні надавати можливість викладачеві систематично контролювати та оцінювати рівень знань, уміння та навички студентів щодо практичного використання законів гідравліки.

Для відповідності зазначеним вимогам при організації та проведенні лабораторних занять слід дотримуватись таких основних правил.

1. Успішне виконання лабораторних робіт зумовлюється, в першу чергу, наявністю спеціальної лабораторії та її матеріальним і методичним забезпеченням. Тому наповнення, структура та технічне оформлення лабораторії повинне повністю відповідати запланованій тематиці робіт. Крім того, матеріально-технічну та методичну базу лабораторії необхідно щороку хоча б частково поновлювати з урахуванням тих змін, що відбуваються у галузі, для якої проводиться підготовка спеціалістів.
2. Одним з найбільш відповідальних моментів є вибір тематики лабораторних робіт. Тематика повинна охоплювати найбільш важливі та важкі для вивчення розділи дисципліни, сприяти їх повному засвоєнню. Якщо в учбовому закладі є внутрішня спеціалізація, то тематика лабораторних робіт повинна різнитись і враховувати особливості кожної спеціалізації.
3. Перед початком лабораторного практикуму слід провести відповідну організаційно-методичну роботу по підготовці лабораторії до занять, зокрема:
   3.1. розділити прийняту тематику лабораторних робіт на цикли у відповідності з етапами проходження програмного матеріалу;
   3.2. доцільно при можливості забезпечити зв’язок між окремими роботами циклу, тобто використання результатів попередньої роботи для виконання наступної;
   3.3. виділити в лабораторії робочі місця для кожної роботи і оформити їх належним чином;
   3.4. при організації практикуму необхідно дотримуватись загальновідомих правил культури експериментування (зручність робочих місць, відсутність факторів, що відвертають увагу, створення безпечних умов, технічна естетика та ін.);
   3.5. для свідомого виконання лабораторної роботи (особливо при жорсткому обмеженні часу) до кожної лабораторної роботи слід розробити методичні вказівки або журнали (протоколи) лабораторних робіт;

3.6. з цією ж метою до кожної лабораторної роботи бажано мати планшет або картку, які розташовуються безпосередньо біля відповідної лабораторної установки;

3.7. на стіні лабораторії необхідно встановити стенд зі схемою розташування робочих місць, графіком виконання лабораторних робіт, інструкцією з техніки безпеки;

3.8. на кожному занятті разом з викладачем повинен бути присутнім лаборант або учбовий майстер. До їх обов'язків входить надання допомоги студентам у настройці обладнання, нагляд за правильним виконанням роботи та точним дотриманням правил техніки безпеки.

Лабораторна робота може проводитись у вигляді занять різних форм:

а) *фронтально*, коли всі студенти академічної групи одночасно виконують одну й ту саму роботу;

б) *циклічно*, коли всі роботи розділяють на цикли у відповідності з етапами проходження тем на інших аудиторних заняттях. Лабораторні роботи у межах одного циклу підбирають таким чином, щоби вони відображали зміст однієї крупної теми або розділу, причому завдання кожного циклу поступово ускладнюються;

в) *тематично*, коли студенти виконують передбачені графіком роботи з різних тем;

г) *комбіновано,* коли в залежності від можливостей приміщення лабораторії та її обладнання роботи з різних тем проводяться у вигляді однієї з розглянутих форм.

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт повинні містити такі обов'язкові елементи: тему роботи; мету роботи; перелік обладнання та матеріалів; теоретичну частину (тобто положення теорії, необхідні для проведення роботи, включно із схемами, графіками, формулами), порядок виконання роботи (тобто послідовність дій по проведенню експериментів); методику обробки експериментальних даних, форму таблиці для запису результатів, перелік контрольних питань (на які студент повинен знати відповіді при захисті роботи), а також список літератури, де висвітленні питання , що розглядаються на лабораторному занятті. При необхідності до складу вказівок включають довідкову інформацію (значення різних коефіцієнтів та ін.), необхідну для виконання відповідних розрахунків.

Слід зазначити, що занадто детальні інструкції щодо теоретичних основ та методики виконання роботи часто формалізують її проведення, знижують творчі можливості виконавців. Тому, в залежності від підготовки студентів, можна підготувати варіант методичних вказівок

з менш детальними інструкціями, що націлить студентів на самостійний пошук необхідної інформації. З цією ж метою замість методичних вказівок припускається розробити їх спрощений варіант – *протоколи лабораторних робіт*, які містять лише мету роботи, порядок її виконання, методику обробки експериментальних даних та форму таблиці для запису результатів. Практика показує, що роздрукування таких протоколів для індивідуального користування кожним студентом дозволяє суттєво скоротити витрати часу на виконання робіт.

Основні етапи роботи студентів в лабораторії такі:

Співбесіда з викладачем, у процесі якої перевіряється підготовленість студента до виконання роботи. Вона проводиться на початку заняття. Студент представляє викладачу конспект, відповідає на ряд питань і за умови правильних відповідей одержує допуск до роботи. У даному випадку перевірку знань доцільно проводити за допомогою тестів, причому до кожного тестового завдання слід включити принаймні 4 питання: два теоретичних і два практичних при тривалості підготовки відповідей максимум 10-15 хвилин (загалом на всі питання). Перевірка правильності відповідей здійснюється або машинним способом, або за допомогою спеціального шифру чи трафаретного планшета. Якщо при співбесіді чи за результатами тестування з'ясується, що студент до роботи не підготувався, то він до її виконання не допускається.

Проведення експерименту – сама відповідальна частина роботи. Одержані у процесі експериментів результати замірів заносяться у спеціально заготовлені таблиці встановленої для кожної роботи форми.

Обробка результатів дослідів полягає у підстановці експериментальних даних у формули, проведення відповідних розрахунків (у т.ч. похибок вимірювань), аналіз одержаних результатів, побудова заданих графіків, формулювання висновків, остаточне оформлення звіту про роботу.

Захист звіту проводиться приблизно за такою схемою. Студент розказує теорію роботи; при цьому він повинен вміти формулювати відповідні закони, знати потрібні формули та визначення величин, що вимірюються у дослідах, розуміти їх фізичний зміст. Потім студент повинен пояснити будову і принцип роботи установки. Дати характеристику приладів, пояснити хід виконання досліджень. На завершення студенту задається одне або декілька контрольних питань з наведеного у методичних вказівках переліку. Якщо студент успішно справився з усіма етапами захисту, йому виставляється відповідна оцінка або відмітка про зарахування роботи. До наступної лабораторної роботи студент допускається лише за умови виконання та захисту попередньої роботи.

Слід звернути увагу на те, що обсяг контрольних запитань залежить від того, яка передбачена остаточна форма контролю знань по завершенні курсу. Якщо в учбовому закладі введений іспит з гідравліки, то контрольні запитання складаються суто по змісту лабораторної роботи. Якщо ж навчальний процес завершується заліком, то у перелік контрольних запитань слід обов'язково включати питання, які стосуються даної тематики, але на поточній лабораторній роботі не розглядались.

5.2. Методичні вказівки для проведення лабораторних занять

5.2.1. Лабораторне заняття № 1. Прилади для вимірювання тиску

Тема заняття: Прилади для вимірювання тиску

Мета заняття: Вивчення принципів вимірювання гідростатичного тиску різними приладами: п'єзометром, ртутним і пружинним манометрами. Навчитися користуватися співвідношеннями між одиницями тиску в системі СІ, МКГСС, а також позасистемними одиницями.

Зміст заняття:

1. Ознайомитись з теоретичними положеннями.
2. Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки для вимірювання гідростатичного тиску.
3. Ознайомитись з методикою виконання дослідів та обробки результатів.
4. Виконати досліди.
5. Зняти покази і записати їх в таблицю.
6. Оформити звіт про виконану роботу.
7. Знати відповіді на контрольні питання.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Установка для вимірювання гідростатичного тиску, пружинний манометр, п'єзометр, мірний інструмент.

Теоретична частина

Напруження, що виникає всередині об'єму рідини в стані рівноваги, називається *гідростатичним тиском*. Гідростатичний тиск завжди діє по внутрішній нормалі до площини, тобто перпендикулярно до поверхні тіла. Розрізняють тиск атмосферний, абсолютний і надлишковий.

Якщо тиск відраховують від нуля, то його називають *абсолютним* або *повним*, а якщо від атмосферного тиску – *надлишковим* (*манометричним*).

Відповідно, *абсолютний* тиск:

$$p_{абс} = p_0 + p_{над.} \qquad (5.1)$$

надлишковий тиск:

$$p_{над.} = p_{абс} - p_{атм}. \qquad (5.2)$$

Якщо абсолютний тиск менший, ніж атмосферний, то значення надлишкового вийде від'ємним. Такий тиск називають *вауумметричним.*

В системі СІ тиск вимірюється в паскалях (Па) і представляє собою силу в 1 Н, рівномірно розподілену по нормальній до неї поверхні площею 1 м^2.

1 Па = 1 Н/м^2 = 10^{-3} кПа = 10^{-6} МПа = 10^{-9} ГПа.

Крім того, в техніці тиск часто вимірюють у фізичних (атм.) і технічних (ат.) атмосферах.

1 ат. = 1 кгс/см^2 = 735 мм рт. ст. = 10 м вод. ст. = 98066 Па (Н/м^2) (0,1 кг/м^2) = 98,066 кПа ≈ 0,1 МПа = 0,98066 бар.

1 атм. = 1,0332 ат. = 1,0332 кгс/см^2 = 760 мм рт. ст. =10,332 м вод. ст. = = 101325 Па (Н/м^2) (0,1 кг/м^2) = 101,325 кПа = 0,101325 МПа = = 1,01325 бар.

1 мм рт. ст. = 133,322 Па 1 мм вод. ст. = 10,806 Па 1 бар = 100 кПа = = 0,1 МПа

Прилади для вимірювання гідростатичного тиску, які бувають рідинні, механічні, електричні, комбіновані, мають загальну назву *манометри*.

За призначенням вони поділяються на *барометри*, призначені для вимірювання атмосферного тиску; *вакуумметри*, що вимірюють розрідження газу відносно атмосферного тиску, *іманометри*, що вимірюють тиск вищий заатмосферний.

Механічні прилади набули найбільшого поширення, оскільки вони характеризуються наступними перевагами: простота пристрою і використання, портативність, універсальність, практично необмежений діапазон вимірювання, починаючи від декількох кПа і до сотень МПа.

За типом пружних елементів, вживаних для вимірювання тиску, механічні прилади розділяються на пружинні, мембранні і сильфонні.

Пружинні прилади з'явилися на двісті років пізніше ніж рідинні (1846-1848 рр.). Основною деталлю пружинних манометрів є порожниста трубка, з поперечним перетином у вигляді овалу або еліпса. По імені автора одного з перших манометрів така трубка називається ще трубкою Бурдона. Один кінець трубки (рис. 5.1) закінчується ніпелем з різьбленням для підключення до посудини, в якій вимірюється тиск, а другою запаяний. Вільний запаяний кінець трубчастої пружини за допомогою тяги шарнірно з'єднується із зубчатим сектором, що знаходиться в зачепленні з маленькою шестернею (трубкою). На вісь трибки насаджена стрілка, яка вказівним кінцем підходить до шкали, нанесеної на циферблаті.

Якщо манометр приєднати до порожнини з надмірним тиском, то сили тиску в трубці декілька розпрямляють її, вільний кінець трубки при цьому переміщується, тяга повертає зубчатий сектор і що знаходиться з ним в зачепленні трибку. По положенню стрілки на шкалі судять про величину вимірюваного тиску.

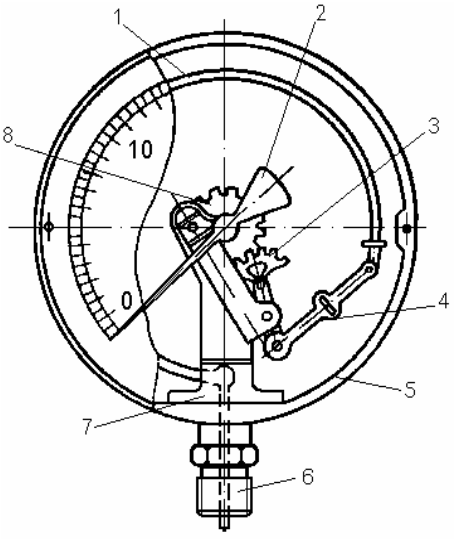


Рис. 5.1. Манометр з одновитковою трубчастою пружиною:
1 – трубчаста пружина; 2 – стрілка; 3 – зубчатий сектор; 4 – тяга; 5 – корпус манометра; 6 – ніпель; 7 – підстава манометра; 8 – трибка.

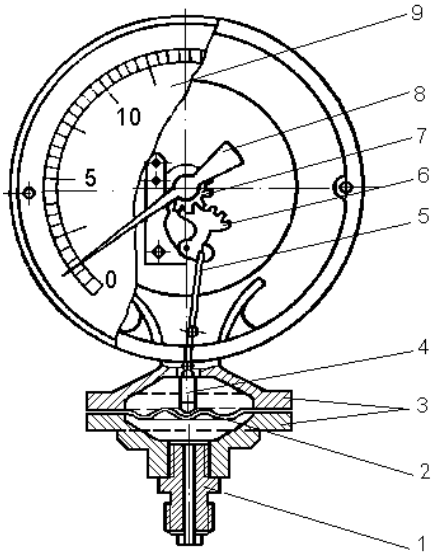


Рис. 5.2. Манометр з пластинчастою мембраною:
1 – ніпель; 2 – мембрана; 3 – фланці; 4 – стрижень; 5 – тяга; 6 – сектор; 7 – трибка; 8 – стрілка; 9 – шкала.

Як пружні елементи в манометрах часто застосовують мембрани або мембранні коробки. На нижньому фланці манометра (рис. 5.2) є ніпель, для підключення до посудини, в якій вимірюється тиск. Верхній фланець складає одне ціле з корпусом манометра. Між фланцями знаходиться гофрована мембрана. Фланці щільно стягнуті болтами. У центрі мембрани закріплена стійка, шарнірно сполучена із зубчатим сектором передавального механізму. По величині деформації мембрани судять про тиск. Мембрани для вимірювання різного тиску відрізняються завтовшки, діаметром, видом матеріалу і так далі. Межі вимірюваного тиску для мембранних манометрів обмежені і складають від 20 кПа до 30 МПа. Мембранні манометри використовують при вимірюванні тиску у високов'язких середовищах, оскільки прямий і широкий канал в ніпелі забезпечує вільніший прохід рідини, чим в трубчастому манометрі. Для вимірювань в хімічно агресивних

середовищах нижню сторону мембрани покривають тонкою плівкою захисного матеріалу.

Принцип дії мембранного манометра дозволяє використовувати його і для вимірювання розрідження. Якщо мембранний манометр приєднати до порожнини з розрідженням, то мембрана, випробовуючи атмосферний тиск зовні, прогинатиметься всередину, що викликає поворот стрілки убік, зворотну в порівнянні з манометром.

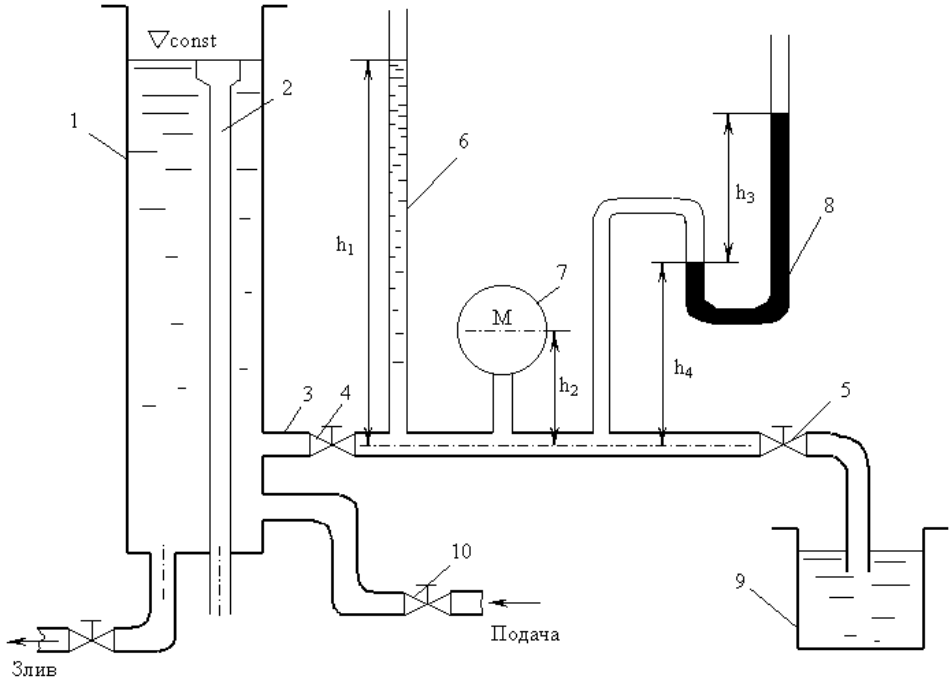


Рис. 5.3. Схема лабораторної установки для вимірювання гідростатичного тиску:
1 – напірний резервуар; 2 – обмежувач рівня; 3 – горизонтальний трубопровід; 4, 5, 10 – крани; 6 – п'єзометр; 7 – пружинний манометр; 8 – ртутний манометр; 9 – мірний бачок.

Порядок виконання роботи

До початку експерименту всі крани закрити (рис. 5.3).

Відкрити кран 10, вода з водопровідної мережі почне поступати в напірний резервуар 1 до обмежувача рівня 2, після відкриття кранів 4 і 5 на горизонтальному трубопроводі 3 вода почне поступати в мірний бачок 9. Через деякий час закрити крани 5 і 10 та провести заміри надлишкового тиску в трубопроводі при допомозі п'єзометра 6, пружинного манометра 7, ртутного манометра 8.

Таблиця 5.1

Результати досліджень і розрахунків

№ п/п	Показники	Одиниця вимірювання	№ досліду	
			1	2
1	Діаметр труби	м		
2	Відстань до манометра h_2	м		
3	Покази п'єзометра h_1	м вод. ст.		
4	Покази манометра	кгс/см^2		
5	Тиск по п'єзометру	Па		
6	Тиск по манометру	Па		

Обробка результатів експерименту

1. Розрахувати надлишковий гідростатичний тиск в горизонтальному трубопроводі по показах п'єзометра:

$$p' = \rho_в \cdot g \cdot h_1 \qquad (5.3)$$

Похибка по п'єзометру 1 см = 98 Па.

2. Розрахувати надлишковий гідростатичний тиск в горизонтальному трубопроводі по показах пружинного манометра:

$$p' = p_{ман.} + \rho_в \cdot g \cdot h_2 \qquad (5.4)$$

Похибка по манометру 0,02 кгс/см^2 = 1960 Па.

3. Розрахувати надлишковий гідростатичний тиск в горизонтальному трубопроводі по показах ртутного манометра:

$$p = \rho_{рт} \cdot g \cdot h_3 + \rho_в \cdot g \cdot h_4 . \qquad (5.5)$$

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;

- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину.
2. Виконати ескіз лабораторної установки.
3. Заповнити таблицю результатів замірів і виконати розрахунки
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні запитання

1. Сформулювати, що таке гідростатичний тиск.
2. Назвати основні властивості гідростатичного тиску.
3. Види тиску.
4. Прилади для вимірювання гідростатичного тиску, їх будова.
5. Записати основне рівняння гідростатики, його геометрична інтерпретація.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 13-33).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 13-30).

3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10-17).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 14-22).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 13-25).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 7-15).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 7-53).

5.2.2. Лабораторне заняття № 2. Дослідження режимів руху рідини

Тема заняття: Дослідження режимів руху рідини.
Мета заняття: Навчитись визначати дослідним шляхом режими руху рідини в напірному трубопроводі.

Зміст заняття

1. Ознайомитись з теоретичними положеннями.
2. Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки для дослідження режимів руху рідини.
3. Ознайомитись з методикою визначення режимів руху рідини.
4. Виконати досліди, пропускаючи воду по трубопроводу.
5. Визначити візуально режими руху води, вкраплюючи в трубопровід підфарбовану рідину.
6. Зняти відповідні заміри при протіканні води та підфарбованої рідини по трубопроводу в момент переходу з ламінарного в турбулентний режим.
7. Занести дані замірів в таблицю і виконати необхідні розрахунки.
8 Оформити звіт про виконану роботу.
9. Знати відповіді на контрольні питання.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, лабораторна установка, мірний посуд, лінійка вимірювальна, підфарбована рідина.

Теоретична частина

Англійський вчений О. Рейнольдс 1883 року остаточно довів, що режим (характер) руху рідини може бути принципово різним.

Основою лабораторної установки Рейнольдса є скляна труба, в яку з бака поступає рідина. В її потік, через тоненьку трубочку подається підфарбована в інший колір, ніж вода, рідина. Для виключення впливу архімедової сили підфарбована рідина має таку ж саму щільність, як і вода, що протікає по скляній трубі.

Спостерігаючи за переміщенням підфарбованої рідини, можна говорити про режим руху води, яка протікає по трубопроводу.

В результаті таких спостережень було встановлено, що при малих швидкостях потоку струминка підфарбованої рідини рухається паралельно стінкам труби, не змішуючись з рідиною, яка її оточує. Це дозволяє зробити висновок, що в даних умовах частки рідини рухаються по прямолінійних траєкторіях, створюючи як би окремі шари або трубочки рідини. Такий режим називається ламінарним.

Якщо поступово збільшувати швидкість потоку рідини в скляній трубі, то можна помітити, що, починаючи з деякої швидкості, підфарбована струминка рідини приймає форму хвилястої лінії, а потім в струминці з'являються розриви і вона втрачає чітку форму. Цей режим називається перехідним або нестійким.

При подальшому збільшенні швидкості, починаючи з деякого моменту, підфарбована рідина швидко переміщається, рівномірно підфарбовуючи весь потік рідини в скляній трубі. Це говорить про те, що в даному випадку частки рідини, крім основного напряму вздовж труби, рухаються ще й хаотично в інших напрямках. При цьому місцева миттєва швидкість в потоці безперервно змінюється по величині і напрямку, тобто спостерігається пульсація швидкості. Такий режим називається турбулентним.

Відповідно турбулентний рух, на відміну від ламінарного, є по своїй природі рухом несталим, навіть в тому випадку, коли це відбувається при незмінному в часі напорі. Рух часток при турбулентному режимі нагадує тепловий рух молекул газу. В результаті перемішування часток рідини при турбулентному режимі значно збільшуються гідравлічні опори, покращуються умови тепловіддачі. Тому вірне визначення режиму руху рідини має велике значення при вирішенні інженерних задач.

Робити висновок про режим руху рідини в трубах на основі лабораторних досліджень внаслідок їх трудомісткості в більшості випадків недоцільно, тому вид режиму визначають за допомогою критерію Рейнольда по формулі:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{\nu} = \frac{4\upsilon R}{\nu}, \qquad (5.6)$$

де v – середня швидкість, яка визначається з рівняння нерозривності потоку, м/с;

$$Q = vS = \text{const}, \tag{5.7}$$

де Q – витрата рідини, м^3/с.;

d – діаметр трубопроводу, м;

υ – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м^2/с.;

S – площа поперечного перерізу потоку рідини, м^2;

R – гідравлічний радіус потоку (у випадку безнапірного руху, тобто руху рідини під дією сили тяжіння, при якому потік обмежений твердими поверхнями з трьох сторін), м.

По своїй фізичній природі критерій Рейнольдса являє собою відношення сил інерції до сил в'язкості (його можна також розглядати як відношення кінетичної енергії потоку рідини до роботи сил опору).

При малих числах **Re** характер руху визначається силами в'язкості, які перечать виникненню і розвитку пульсацій. В результаті в потоці підтримується ламінарний режим.

При більших числах **Re** зростають пульсації швидкостей і зв'язані з ними інерційні сили настільки, що в'язкість більше не може служити перешкодою хаотичному руху часток рідини, тобто в потоці буде мати місце турбулентний режим.

В трубах круглого перерізу в середньому при **Re < 2300** (нижнє критичне число) має місце стійкий ламінарний режим руху, а при **Re > 4000** (верхнє критичне число) – стійкий турбулентний режим. Якщо **2300 < Re < 4000**, то спостерігається нестійкий (перехідний) режим. При цьому в потоці виникають пульсації, які поступово затухають, тобто на окремих ділянках потоку ламінарний і турбулентний режими змінюють один одного. Для безнапірного потоку $\mathbf{Re_{кр} = 580}$.

Приведені в літературних джерелах величини критичних чисел справедливі тільки для середніх умов, які частіше зустрічаються на практиці. Наприклад, в потоках з підвищеною жорсткістю стінок труб турбулізація наступає при менших значеннях **Re**. Навпаки, відсутність зовнішніх вібрацій, плавне звуження потоку сприяє збереженню ламінарного режиму при більших числах **Re** (в лабораторних умовах вдавалось досягти ламінарного режиму при **Re = 150000**, однак при цьому досить маленька зміна руху переводить режим в турбулентний).

Як в природі, так і техніці має місце в основному турбулентний режим руху рідини. Ламінарний режим спостерігається при русі рідин підвищеної в'язкості (нафти, бітуму, мазуту, змащувальних мастил та ін.), а також при русі рідин в трубах малого діаметру (капілярах, порах ґрунту).

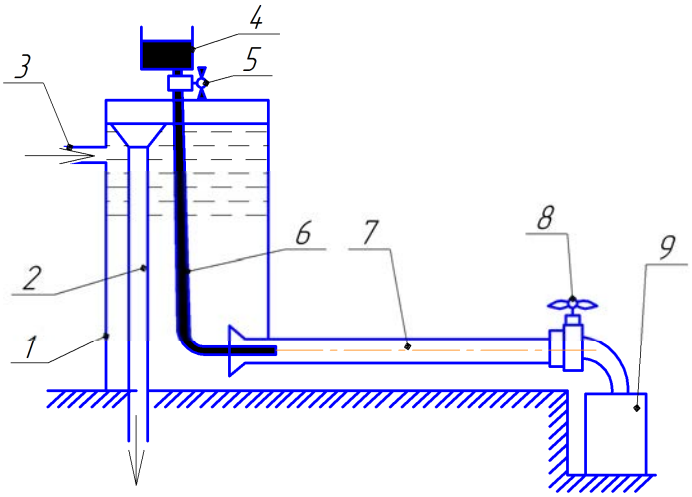


Рис. 5.4. Схема лабораторної установки Рейнольдса:
1 – напірний бак; 2 – зливна труба; 3 – підвід води; 4 – бачок з підфарбованою рідиною; 5 – кран; 6 – трубка-капіляр; 7 – скляна труба; 8 – регулювальний кран; 9 – мірний бак.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити кран підводу води 3 і заповнити бак до рівня горловини зливної трубки 2 (рис. 5.4).
2. Не закриваючи кран підводу води 3, відкрити регулювальний кран 8.
3. Відкрити кран 5 бачка з підфарбованою рідиною.
4. Поступово відкриваючи кран 8, досягти моменту, коли в скляній трубі прямолінійна струминка підфарбованої рідини перетвориться в хвилясту лінію, після чого закрити кран 5.
5. В мірний бак 9, до поверхні рівня рідини встановити мірну лінійку і зафіксувати секундоміром час, на протязі якого рідина підніметься на одну поділку лінійки.
6. Повторити дослід кілька разів при різних положеннях відкриття крана.
7. Заміряти і записати температуру рідини при проведенні дослідів.
8. Закрити кран 3 підводу води, відкрити кран 8 і злити воду з мірного бака 9 в зливний канал.
9. Занести дані в таблицю і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів дослідів

1. Кінематичний коефіцієнт в’язкості υ визначається за допомогою таблиць довідкової літератури в залежності від температури (таблиця 5.3).

2. Витрата рідини визначається за формулою:

$$Q = V / t = an / t , \qquad (5.8)$$

де t – час кожного з дослідів, с;

V – об'єм рідини, що витікає на протязі часу t;

n – кількість затоплених поділок мірної лінійки;

a – ціна поділки мірної лінійки.

3. Середня швидкість рідини в скляній трубі визначається за формулою:

$$v = Q / S = 4Q / \pi d^2 , \qquad (5.9)$$

де S – площа поперечного перерізу труби, м^2.

4. Число Рейнольдса визначається за формулою:

$$\mathrm{Re} = \frac{vd}{\nu} , \qquad (5.10)$$

де υ – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

5. Порівняти розраховане число Рейнольдса з критичним, зробити висновки про режими руху рідини у виконаних дослідах.
6. Заносимо дані в таблицю 5.2, і виконуємо розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Таблиця 5.2

Дані про результати замірів та розрахунків

Назва показників	**Од. вимі-**	**Досліди**		
		1	2	3
Діаметр труби, *d*	м			
Площа поперечного перерізу, *S*	м^2			
Об'єм рідини в мірному баку, *V*	м^3			
Тривалість досліду, *t*	с			
Витрата рідини, *Q*	м^3/с			
Температура рідини, *t*°	t°C			
Середня швидкість рідини, *v*	м/с			
Кінематичний коефіцієнт в'язкості, *H*	м^2/с			
Число Рейнольдса, *Re*				
Режим руху рідини				

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;

- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину.
2. Виконати ескіз лабораторної установки.
3. Заповнити таблицю результатів замірів і виконати розрахунки
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Які бувають режими руху рідини і чим вони відрізняються один від одного?
2. З якою метою визначають режими руху рідини?
3. За якими параметрами визначаються режими руху рідини?

4. Як розраховуються витрата рідини, швидкість руху рідини, число Рейнольда?
5. Які фактори впливають на зміну величини числа Рейнольдса при одному і тому ж режимі руху рідини?

Додаток 1

Таблиця 5.3

Кінематична в'язкість води

***t*, °C**	**ν,Ст ($см^2/с$)**	***t*, ^{0}C**	**ν,Ст ($см^2/с$)**	***t*, °C**	**ν,Ст ($см^2/с$)**
0	0,0178	14	0,0118	40	0,0065
2	0,0167	16	0,0112	45	0,0060
4	0,0157	18	0,0106	50	0,0055
6	0,0147	20	0,0101	60	0,0048
8	0,0139	25	0,0090	70	0,0042
10	0,0131	30	0,0080	80	0,0035
12	0,0124	35	0,0072	90	0,0032

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 66-73, 78-93).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 55-61, 66-78).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 63-84).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 52-77).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 50-64).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 33-43).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 73-77, 86-102).

5.2.3. Лабораторне заняття № 3. Дослідження рівняння Бернуллі

Тема заняття: дослідження рівняння Бернуллі.

Мета заняття: користуючись напірним трубопроводом змінного перерізу, прослідкувати за показами динамічних і п'єзометричних трубок перехід енергії потоку з потенціальної в кінетичну у відповідності з рівнянням Бернуллі.

Зміст заняття

1. Ознайомитись з теоретичними положеннями.
2. Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки для дослідження рівняння Бернуллі.
3. Ознайомитись з методикою виконання дослідів та обробки результатів.
4. Виконати досліди, пропускаючи воду по трубопроводу змінного перерізу.
5. Зняти покази рівнів води в напірних та п'єзометричних трубках при протіканні її по трубопроводу.
6. Занести дані замірів в таблицю і виконати необхідні розрахунки.
7. Оформити звіт про виконану роботу.
8. Знати відповіді на контрольні питання.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, лабораторна установка, мірний посуд, лінійка вимірювальна, секундомір.

Теоретична частина

Дійсним членом Російської Академії наук Даніїлом Бернуллі 1738 року було виведене рівняння, яке встановлює залежність між швидкістю і тиском в різних перерізах потоку рідини.

Кожна рухома частка рідини володіє механічною (потенціальною і кінетичною) енергією. Оскільки кількість цієї енергії залежить від величини самої частки, то при гідравлічних розрахунках для зручності порівняння результатів прийнято розглядати механічну енергію часток рідини одиничної ваги, тобто енергію, яка приходиться на одиницю сили ваги, що діє на рідину. Цю енергію називають питомою енергією або повним гідродинамічним напором Н, який визначається як відношення механічної енергії даної частки до її ваги і, відповідно, розмірність напору може бути представлена в одиницях довжини Дж/Н = Н·м/Н = м.

Тому з точки зору геометричних уявлень повний гідродинамічний напір $H_{гд}$ являє собою висоту, на яку може бути піднята частка рідини. На графіках $H_{гд}$ (рис. 5.5) прийнято показувати у вигляді вертикального відрізка відповідної висоти.

Співвідношення різних видів питомої механічної енергії в середньому для часток, що проходять шлях між поперечними перерізами слабодеформованого стійкого потоку реальної рідини (крапельної), в гідравліці представляється рівнянням Бернуллі, яке виражає закон збереження енергії:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v^2}{2g} = z_2 + \frac{p^2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{BT1-2} \qquad (5.11)$$

або,

$$H_1 = H_2 + h_{BT1\text{-}2} \qquad (5.12)$$

де p – тиск в центрі ваги відповідного перерізу;

γ – об'ємна вага рідини;

v – середня швидкість потоку у відповідному поперечному перерізі;

g – прискорення сили ваги;

α – коефіцієнт кінетичної енергії (коефіцієнт Коріоліса), який залежить від форми епюри швидкостей потоку.

Кінетична енергія всього потоку рідини в даному перерізі, підрахована по значенню середньої швидкості, є меншою фактичної, тому вводиться поправочний коефіцієнт. В рівномірному потоці рідини, що рухається по круглих трубах, при ламінарному режимі $\alpha = 2$, а при турбулентному можна приймати в середньому $\alpha = 1{,}1$.

В цьому рівнянні індекс означає номер поперечного перерізу потоку (прийнято збільшувати індекс по напрямку течії рідини), до якого відноситься величина, що розглядається.

Складові рівнянь (5.11) і (5.12) мають наступну назву і фізичний зміст:

z – положення, або геометрична висота між площиною порівняння і центром ваги перерізу;

p/γ – п'єзометричний тиск, або п'єзометрична висота між центром ваги перерізу і п'єзометричною лінією (рівнем рідини в п'єзометрі);

$z + p/\gamma = Hn$ – потенціальна енергія, або п'єзометрична висота між площиною порівняння і п'єзометричною лінією (рівнем рідини в п'єзометрі).

$\alpha v^2/2g = H_к$ кінетична (динамічна) енергія, або висота між п'єзометричною і напірною лінією (проведеною вверх від рівня рідини в п'єзометрі);

H_1 – повна механічна енергія, або висота між площиною порівняння і напірною лінією (верхнім кінцем відрізка, що являє собою суму потенціального і швидкісного напору);

$h_{BT1\text{-}2}$ – втрати питомої механічної енергії, рівні питомій роботі сил опору на даній ділянці потоку, або висота, рівна різниці повних напорів у відповідних перерізах.

Якщо розглянути рівняння Бернуллі, виконавши його графічне зображення, то можна бачити, що під час руху потоку рідини енергія не витрачається, а залишається величиною постійною.

Рівняння Бернуллі встановлює зв'язок між швидкостями і тисками в різних перерізах потоку, а також між висотними положеннями рухомих часток рідини.

З графіка видно, що в поперечних перерізах 1-1 і 2-2 по вертикалях відкладені в заданому масштабі значення членів, які входять в рівняння. Так, по вертикалі, що проходить через точку А, відкладені значення z_1, p_1/γ, $v_1^2/2g$, а по вертикалі, що проходить через точку В – значення z_2, p_2/γ, $v_2^2/2g$. Сума цих трьох величин являє собою повну питому енергію потоку рідини відносно площини порівняння ОО і називається гідродинамічним напором $H_{гд}$.

Для елементарної струминки гідродинамічний напір на відстані l залишається незмінним і тому лінія c, c_1, що з'єднує вершини відрізків, буде горизонтальною.

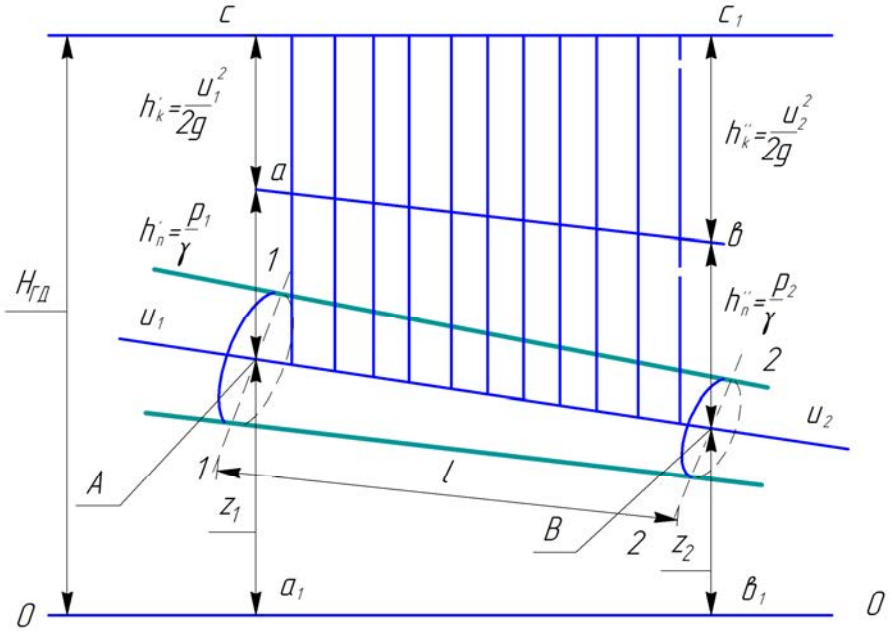


Рис. 5.5. Графічне зображення рівняння Бернуллі

Для потоку реальної рідини ця лінія прийме вигляд c_1, c_1', тобто буде опущена з боку перерізу 2-2 на величину втрат напору по довжині $h_{ВТ1\text{-}2}$. Ця лінія називається лінією повної питомої енергії, або напірною лінією. Лінія ab являє собою п'єзометричну лінію, або лінію тиску, а лінія AB – лінію геометричних висот (рис. 5.5).

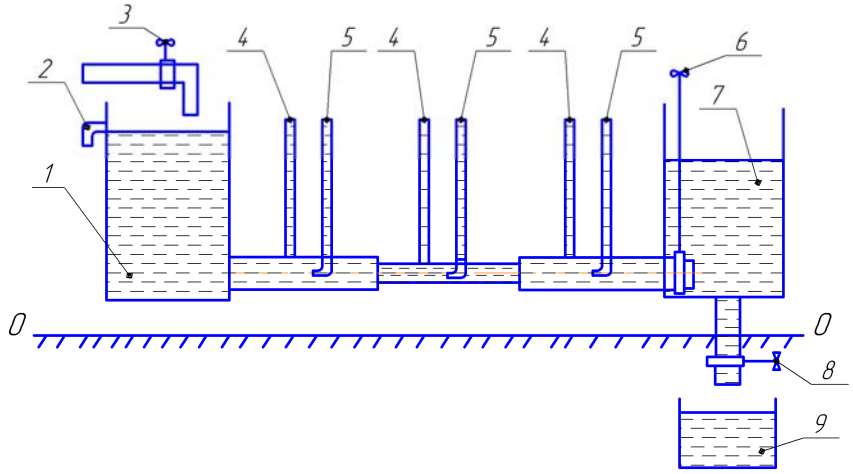


Рис. 5.6. Схема лабораторної установки для дослідження рівняння Бернуллі: 1 – напірний бак; 2 – зливна труба; 3 – кран підводу води; 4 – п'єзометричні трубки; 5 – напірні (динамічні) трубки; 6 – кран проміжного бака; 7 – проміжний бак; 8 – зливний кран; 9 – мірний бак.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити кран 3 і заповнити бак 1 до рівня зливної труби 2 (рис. 5.6).
2. Відкрити кран 6 і заповнити бак 7 на 2/3 його об'єму.
3. Відкрити кран 8 бака 7 і через 3...5 секунд зафіксувати покази п'єзометричних 4 і динамічних 5 трубок.
4. Одночасно з фіксуванням показів трубок опустити мірну лінійку до дзеркала води в баку 9 і зафіксувати час, на протязі якого рівень підніметься на одну, дві або три поділки.
5. Закрити всі крани і, повторюючи пункти 1, 2, 3, 4 порядку виконання роботи, виконати дослід кілька разів, відкриваючи більше або менше крани лабораторної установки.
6. Закрити кран 3 і злити воду з лабораторної установки в зливний бак.
7. Занести дані в таблицю і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів дослідів

1. Витрата рідини визначається за формулою:

$$Q = V/t = an/t, \qquad (5.13)$$

де t – час виконання досліду, с.;
V – об'єм води, що витікає на протязі часу t;
n – кількість затоплених поділок;
a – ціна поділки мірної лінійки.

2. Середню швидкість потоку в кожному поперечному перерізі визначаємо за формулою:

$$v = Q/S = 4Q/\pi d^2, \qquad (5.14)$$

де S – площа поперечного перерізу відповідного діаметра труб d_1, d_2, d_3.

3. Швидкісний напір $v^2/2g$ визначається як різниця між показами п'єзометричних і динамічних трубок.
4. Величина осьової швидкості в кожному перерізі визначається за формулою:

$$v_0 = \sqrt{2g\Delta h}, \qquad (5.15)$$

де Δh – різниця між рівнями п'єзометричних і динамічних трубок в поперечних перерізах.

За отриманими даними $z + p/\gamma$ і $z + p/\gamma + v^2/2g$ будуються відповідно п'єзометрична і лінія питомої енергії потоку.

Втрати енергії між перерізами визначають як різницю:

$$h_{BT1\text{-}2} = (z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g) - (Z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g) \qquad (5.16)$$

Таблиця 5.4

Дані про результати замірів та розрахунків

Показники	Од. виміру	Перерізи								
		I			II			III		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Діаметр перерізу, d	см									
2. Площа перерізу, S	$см^2$									
3. Покази п'єзометричних трубок	см									
4. Покази динамічних трубок	см									
5. Швидкісний напір	см									
6. Осьова швидкість струминки, v_0	м/с									
7. Об'єм води в мірному баку, V	$см^3$									
8. Тривалість досліду, t	с									
9. Витрата води, Q	$см^3/с$									
10.Середня швидкість, v	м/с									
11. Втрати напору, h	м									

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину.
2. Виконати ескіз лабораторної установки.
3. Заповнити таблицю результатів замірів і виконати розрахунки
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Записати рівняння Бернуллі і пояснити всі його складові.
2. Записати рівняння і пояснити його фізичну інтерпретацію (закон збереження енергії).
3. Пояснити геометричну інтерпретацію рівняння Бернуллі.
4. Як визначається осьова швидкість струминки рідини в поперечному перерізі.
5. Як визначається витрата рідини і швидкість руху.
6. Як визначаються втрати напору.
7. Як будуються п'єзометрична і лінія повної питомої енергії потоку.
8. Що таке гідродинамічний напір?

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 47-64).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 40-54).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 48-62).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 34-52).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 34-45).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 4-10).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 77-86).

5.2.4. Лабораторне заняття № 4. Дослідження втрат напору по довжині трубопроводу

Тема заняття: Дослідження втрат напору по довжині трубопроводу

Мета заняття: Навчитись визначати дослідним шляхом величину втрат напору по довжині трубопроводу, розраховувати, коефіцієнт гідравлічного тертя, коефіцієнт Дарсі при різних швидкостях руху рідини і порівняти його з теоретичними значеннями

Зміст заняття

1. Ознайомитись з лабораторною установкою для дослідження втрат напору по довжині.
2. Заповнити бак лабораторної установки водою при кімнатній температурі.
3. Провести досліди, пропускаючи воду по трубопроводу.
4. Зняти відповідні заміри за допомогою п'єзометричних трубок.
5. Занести дані в таблицю і обробити їх.
6. Оформити звіт про виконану роботу.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, насосна установка, лабораторна установка, мірне відро, лінійка вимірювальна, електронно-обчислювальна машина, секундомір.

Теоретична частина

При русі рідини виникають сили гідравлічного удару (тертя) які гальмують рух.

Розрізняють в'язкісні і інерційні опори.

В'язкісні опори виникають внаслідок наявності в рідині властивостей протистояти при русі дотичним зусиллям, тобто силам в'язкості. Вони проявляють свою дію в основному при ламінарному режимі.

При турбулентному режимі руху, крім в'язкісних, виникають інерційні опори, які викликаються утворенням вихрів і перемішування, шарів рідини. Із збільшенням числа Рейнольдса вплив інерційних опорів зростає і при розвитому турбулентному режимі руху вони стають переважаючими.

На подолання сил опору витрачається частина механічної, енергії рідини (перетворюється в теплову енергію). Питома механічна енергія витрачається при цьому називається втратою напору.

Втрати напору на ділянці рівномірного потоку називаються втратами напору по довжині.

Експериментальне визначення цих втрат проводиться на лабораторній установці (рис. 5.7).

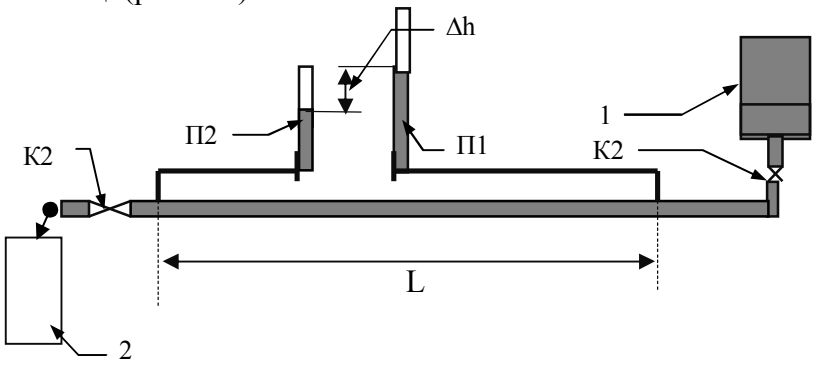


Рис. 5.7. Схема лабораторної установки для визначення втрат напору по довжині трубопроводу

До складу лабораторної установки входять напірний бак 1, пряма труба постійного діаметру з краном К2 наприкінці, замірного баку 2 та п'єзометра, трубки якого $П_1$ і $П_2$ підключені відповідно до початку та закінчення труби, покази котрих використовуються для визначення втрат напору по довжині.

Визначення швидкості руху рідини, що протікає через ділянку труби базується на об'ємному методі, де розхід рідини визначається шляхом заповнення мірного відра за певний проміжок часу за формулою:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{5.17}$$

де Q – витрата рідини;

V – об'єм рідини;

t – час наповнення об'єму V.

Основним виразом для визначення втрат напору по довжині являється формула Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\partial} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \tag{5.18}$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі);

l – залікова довжина ділянки труби;

d – діаметр труби;

V – середня швидкість потоку.

Швидкість, з якою рухається потік рідини через живий переріз залікової ділянки труби, визначається за формулою:

$$V = \frac{Q}{S} \tag{5.19}$$

де S – площа живого перерізу труби.

В формулі (5.18) коефіцієнт кінетичної енергії входить в величину гідравлічного тертя.

Коефіцієнт λ залежить від режиму руху рідини, відносної шорсткості Δ, а також від форми виступів шорсткості. При розрахунках величина λ визначається за допомогою графіків або відповідних таблиць і формул.

Для труб круглого перерізу відносна шорсткість рівна:

$$\Delta = \frac{\Delta}{d} \tag{5.20}$$

де Δ – характерна висота виступів шорсткості (абсолютна шорсткість). Замість відносної шорсткості часто використовується обернена їй величина – відносна гладкість d/Δ

Абсолютна шорсткість називається також еквівалентною шорсткістю. Вона як правило знаходиться по довідниках (див. додаток 1).

У більшості технічних труб виступи шорсткості неоднакові по висоті і по формі, розміщені нерівномірно. Така шорсткість називається різнозернистою, неоднорідною натуральною.

З метою забезпечення можливості інженерних розрахунків труб, які випускає промисловість (з натуральною шорсткістю) проводились дослідження втрат напору по довжині П.І. Нікурадзе в 1923 р., Кольбруком в 1938 р. і Г.А. Муріним в 1948 р.

Оскільки результати досліджень Кольбрука і Муріна співпадають то достатньо розглядати графік Муріна (див. дод. 3).

I. Зона ламінарного режиму руху (на графіку Муріна не показана) $0 < \mathrm{Re} < 2320$. Потік плавно огинає виступи шорсткості. Коефіцієнт λ не залежить від шорсткості стінок і визначається за формулою Пуазейля

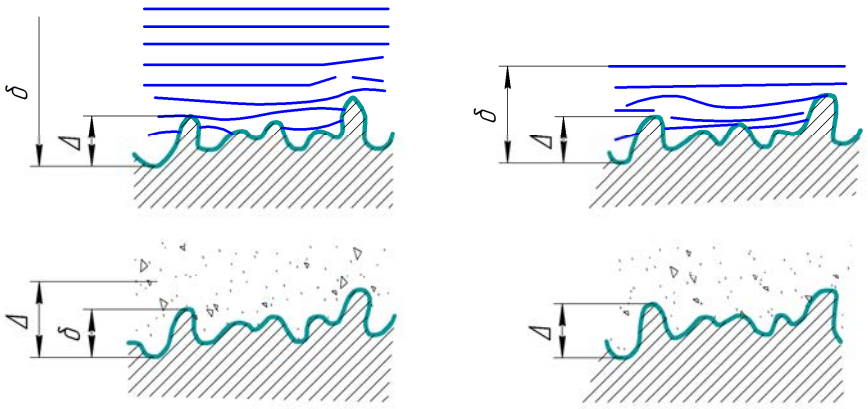


Рис. 5.8. Схема протікання рідини біля стінок труби в різних зонах опору

II. Зона перехідного режиму руху (на графіку Муріна не показана) $2320 < \mathrm{Re} < 4000$.

Виступи шорсткості покриті ламінарним шаром. Опір визначається в основному силами в'язкості. Залежність коефіцієнта λ від R і шорсткості стає невизначена. Потік при цьому режимі є несталим і малопридатним для використання в техніці, особливо в системах управління і автоматики.

Для сталого турбулентного режиму рідини існують ще три зони опору показані тільки на графіку Муріна.

I. (III). Зона гладкостінного опору (гідравлічно-гладких труб) $4000 < \mathrm{Re} < {}^{10}\!/\!_{\Delta}$

Режим руху в середині потоку турбулентний, але виступи шорсткості що покриті ламінарним шаром. Опір руху визначається в основному силами в'язкості біля стінок і інерційними опорами в ядрі потоку. Коефіцієнт λ залежить тільки від величини Re. Втрати напору пропорційні $V^{1,75}$.

II. (IV). Зона нерозвинутого турбулентного режиму руху, або доквадратичного опору, або знову ж перехідна в самому турбулентному режимі (в технічних трубах при нерівномірній шорсткості втрати напору пропорційні V^m де $1{,}75 < \mathrm{m} < 2$ або ${}^{10}\!/\!_{\Delta} < \mathrm{Re} < {}^{500}\!/\!_{\Delta}$

Товщина ламінарного опору стає меншою виступів шорсткості, тому за ними утворюються місцеві завихрювання. Коефіцієнт λ в цій зоні залежить не тільки від Re, а й від шорсткості.

III. (V). Зона розвинутого турбулентного режиму руху, або квадратичного опору (втрати пропорційні V^2)

$$\mathrm{Re} > \frac{500}{\bar{\Delta}} \tag{5.21}$$

Ламінарний пристінний шар практично зникає; вихри заповнюють всі впадини між виступами. Опір визначається в основному інерційними силами. Коефіцієнт λ залежить тільки від шорсткості.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити кран К2 і зафіксувати за допомогою мірної лінійки та секундоміру час, протягом якого у замірний бак 2 перетече наперед зумовлена кількість води.
2. Одночасно із цим через 2...3 секунди після відкриття крана К2 записати покази п'єзометричних трубок П1 і П2.
3. Повторити дослід ще два рази, змінюючи кожен раз перед замірами ступінь відкриття крану К2.
4. Закрити кран к2 і залити воду з лабораторної установки.
5. Занести дані в таблицю 5.5 і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів дослідів

1. Заміряти і записати в таблицю 5.5 основні показники:
   - покази п'єзометрів в початковому і кінцевому перерізах:
   $$H = \mathrm{Z} + \frac{\mathrm{P}}{\gamma}; \tag{5.22}$$
   - покази витратоміра;
   - температуру води.
2. Визначити і записати в таблицю 5.5:
   - витрату води, Q;
   - втрати напору, $h = H_n - H_к$;
   - середню швидкість:
   $$V = \frac{Q}{S}; \tag{5.23}$$
   - швидкісний напір $V/2g$;
   - дослідну величину коефіцієнта гідравлічного тертя $\lambda_д$ з допомогою формули Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\partial} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}; \qquad (5.24)$$

- значення критерію Рейнольдса, $\mathrm{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}$, де коефіцієнт кінематичної в'язкості ν визначити з таблиці (див. дод. 2) в залежності від температури води;
- відносну гладкість d/Δ (величину абсолютної еквівалентної шорсткості Δ взяти з додаткового матеріалу (див. дод. 1);
- довідкове значення коефіцієнта гідравлічного тертя λ (див. дод. 3);
- на графіку Муріна (додаток 3) знайти точку, координати якої знайдені з досліду Rei λ_{∂}, визначити для даних досліду відносну гладкість $\left(d/\Delta g\right)$ і вирахувати відповідну абсолютну шорсткість Δg;
- знайдену з досліду абсолютну еквівалентну шорсткість порівняти з довідковими даними Δ (дод. 1) і встановити відповідний характер граничної поверхні труби.

Таблиця 5.5

Дані про результати замірів та розрахунків

Назва показників	Од. виміру	Досліди		
		1	2	3
1. Матеріал труби	сталь			
2. Внутрішній діаметр, *d*	см			
3. Площа поперечного перерізу, *S*	$см^2$			
4. Висота виступів шорсткості, Δ	см			
5. Відстань між п'єзометрами, *l*	см			
6. Покази п'єзометра, H_n	см			
7. Покази п'єзометра, $H_к$	см			
8. Втрати напору по довжині, факт	см			
9. Об'єм води в мірному баку, *V*	$см^3$			
10. Час наповнення бака, *t*	с			
11. Витрата води, *Q*	$см^3/с$			
12. Середня швидкість, *v*	см/с			
13. Коефіцієнт з досліду, λ_{∂}				
14. Температура води, $t\ ^0C$				
15. Кінематичний коефіцієнт в'язкості, *υ*	$см^2/с$			
16. Число Рейнольдса, Re				
17. Режим руху рідини				
18. Коефіцієнтза формулою				
19. Втрати напору по довжині трубопроводу				

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину роботи
2. Зробити ескіз лабораторної установки.
3. Виконати розрахунки і заповнити таблицю.
4. Знати відповіді на контрольні питання.
5. Контрольні питання
6. Які опори виникають при русі рідини?

7. На що затрачується механічна енергія рідини, і як цей процес називається.
8. Що таке коефіцієнт гідравлічного тертя.
9. Хто займався вивченням коефіцієнта гідравлічного тертя.
10. Від чого залежить коефіцієнт тертя
11. Назвіть зони режимів руху рідини.
12. Як визначити втрати напору на дослідній ділянці.
13. Як розрахувати коефіцієнт гідравлічного тертя.

Додаток 1

Таблиця 5.6

Абсолютна шорсткість

Характер поверхні	**Δ, мм**
Нові, безшовні, стальні труби	0,05…0,17
Цільнотягнуті стальні труби після декількох років експлуатації	0,19
Чисто оцинковані труби стальні	0,12…0,21
Нові чавунні труби з добре загладжені труби	0,45
Старі заржавлені труби (стальні)	0,60
Сильно заржавлені стальні труби	0,67
Чисті труби скляні	0,002…0,01
Поверхня з чистого цементу	0,25…1,25
Поліетиленові труби	0,001…0,005
Нові азбестоцементні труби	0,05…0,1
Азбоцементні труби, бувші в використанні	0,6
Бетонні труби	0,3…0,8
Дерев’яні труби	0,1…0,3
Рукави і шланги резинові	0,03

Додаток 2

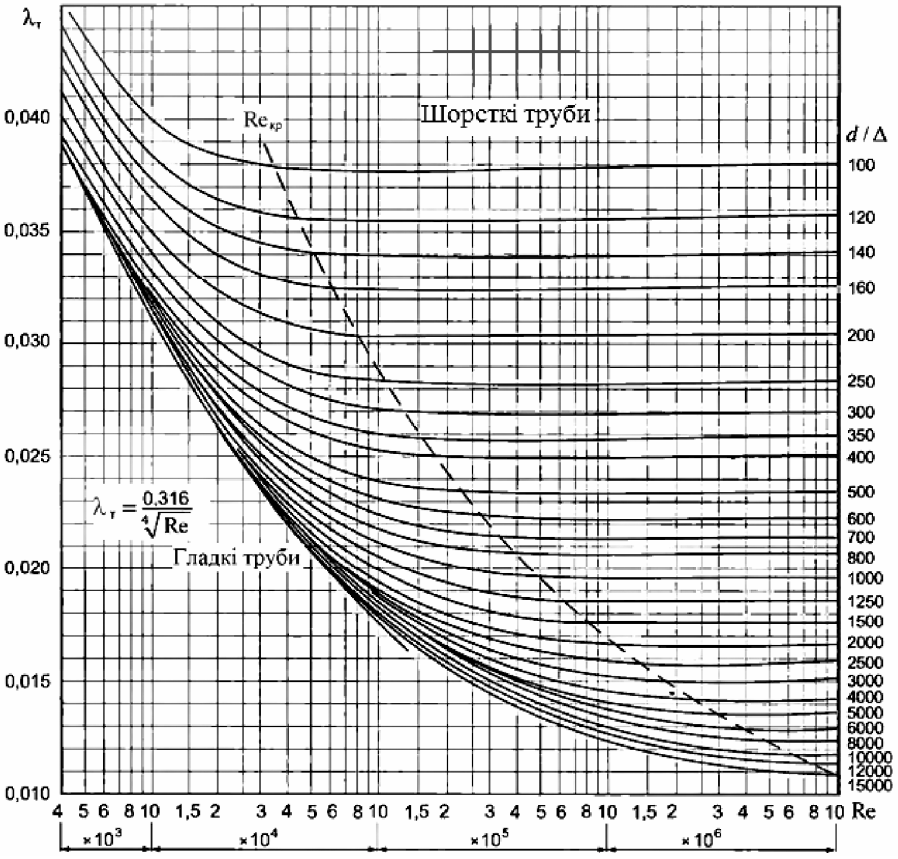
Таблиця 5.7

Кінематичний коефіцієнт в’язкості деяких рідин при $P = 0{,}1$ МПа, см^2/с

Рідина	**°С**							
	0	10	15	20	25	50	80	100
Вода	0,079	0,0131	0,0114	0,0101	0,0090	0,0055	0,003	0,0029
Повітря	0,130	0,138	0,14	0,150	0,155	0,180	0,29	0,23
Масло індустріальне И-20	2,75	1,13	0,86	0,64	0,55	0,18	0,082	0,08
Масло для гідросистем АМГ-10	0,44	0,30	0,26	0,23	0,21	0,11	0,052	0,047
Автол-18	-	-	20	15	9	1,1	0,3	0,18

Додаток 3

Графік Г.А. Муріна



Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 66-73, 78-93).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 55-61, 66-78).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 63-84).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 52-77).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 50-64).

6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 33-43).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 73-77, 86-102).

5.2.5. Лабораторне заняття № 5. Дослідження втрат напору місцевих опорів

Тема заняття: Дослідження втрат напору місцевих опорів.

Мета роботи: Ознайомитись з причинами та особливостями виникнення місцевих втрат напору, засвоїти методику експериментального визначення коефіцієнтів місцевих опорів різних типів.

Зміст заняття

1. Ознайомитись з лабораторною установкою для дослідження місцевих опорів.
2. Заповнити бак лабораторної установки водою при кімнатній температурі.
3. Провести досліди, пропускаючи воду по трубопроводу.
4. Зняти відповідні заміри за допомогою п'єзометричних трубок.
5. Занести дані в таблицю і обробити їх.
6. Оформити звіт про виконану роботу.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, насосна установка, лабораторна установка, мірне відро, лінійка вимірювальна, електронно-обчислювальна машина, секундомір.

Теоретична частина

Місцеві опори являють собою короткі ділянки трубопроводів, на яких вектори миттєвої швидкості потоку змінюються за величиною або напрямком внаслідок зміни розмірів, конфігурації чи орієнтації каналу у просторі. При цьому виникає певна деформація потоку, яка неодмінно супроводжується втратами частини гідравлічної енергії рідини. Такі втрати енергії, віднесені до одиниці маси рідини, називають місцевими втратами напору.

Місцеві опори мають місце практично у всіх трубопроводах будь-якої гідравлічної системи, і тому точне визначення втрат напору на них є неодмінною умовою правильного встановлення параметрів насосних станцій або інших джерел приведення рідини у рух.

Найпростіші місцеві опори поділяють на такі три групи: 1) розширення; 2) звуження; 3) поворот русла. Більш складні випадки місцевих

опорів можна представити як комбінацію зазначених найпростіших типів. Наприклад, при проходженні через клапан або кран потік звужується, змінює свій напрямок існову розширюється до початкових розмірів.

У загальному випадку місцеві втрати напору розраховують за формулою Вейсбаха:

$$h_m = \xi_м * \frac{V^2}{2g}, \tag{5.25}$$

де h_m – місцеві втрати напору, м вод. ст.;

$\xi_м$ – коефіцієнт місцевого опору;

V – середня швидкість рідини, м/с.

Розглянемо більш детально природу та особливості деяких різновидів місцевих опорів.

Раптове розширення потоку має місце тоді, коли трубопровід раптово розширюється від діаметра d_1 до діаметра d_2. Дослідним шляхом було встановлено, що потік рідини, яка витікає з вузької труби, не відразу заповнює весь переріз широкої труби, а відривається від стінок і деякий відрізок рухається у вигляді струменю, що розходиться поступово до діаметра d_2. У кільцевому просторі між струменем і стінками труби утворюється зона розрідження, яка спричинює завихрювання частини потоку, що і викликає перехід кінетичної енергії у теплову. На підставі рівняння Бернуллі для даного випадку була виведена формула Борда, яка дозволяє теоретично визначити величину можливих втрат напору:

$$h_m = (V_1 - V_2)^2 / 2g, \tag{5.26}$$

де V_1, V_2 – відповідно середня швидкість рідини у перерізах d_1 та d_2, м/с.

Звідси через елементарні перетворення коефіцієнт опору раптового звуження теоретично можна розрахувати, як:

$$\xi_м = (1 - d_1^2 / d_2^2)^2. \tag{5.27}$$

В окремих випадках, наприклад, при вході труби у достатньо великий бак, коефіцієнт опору наближується до 1, тобто майже весь швидкісний напір рідини втрачається.

При *раптовому звуженні* труби також відбувається відрив рідини від стінок з утворенням зон розрідження, причому як до місця звуження, так і після нього. У цьому випадку для практичних розрахунків застосовують напівемпіричну формулу:

$$\xi_м = 0{,}5 * (1 - \omega_1 / \omega_2) \tag{5.28}$$

де ω_1, ω_2 – відповідно площа поперечного перерізу труби до звуження та після нього.

В окремому випадку, коли труба виходить з резервуару достатньо великих розмірів, коефіцієнт опору може досягати 0,5 – тобто втрачається приблизно половина швидкісного напору. Отже, раптове звужен-

ня потоку спричинює завжди менші втрати енергії рідини, ніж раптове розширення з таким же співвідношенням площ перерізу труб.

Суттєво зменшити втрати напору при зміні площі перерізу потоку можна за рахунок плавного переходу між ділянками трубопроводу. Наприклад, у гідравлічних і пневматичних системах часто застосовується *дифузор* – труба, що поступово розширюється.

Крім втрат напору, пов'язаних з розширенням, у дифузорі виникають також втрати напору по довжині. Однак втрати напору від розширення завдяки плавному переходу суттєво зменшуються:

$$h_{розш.} = K_n*(V_1 - V_2)^2 / 2g, \qquad (5.29)$$

де K_n – коефіцієнт пом'якшення опору, який залежить від кута конусності дифузора представлений в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Значення коефіцієнта $К_п$

Кут конусності дифузора α, град	4	8	15	30	60
Коефіцієнт пом'якшення $К_п$	0,08	0,16	0,35	0,8	0,9

Сумарний коефіцієнт місцевого опору для дифузора можна визначити з формули:

$$\xi_{диф} = K_n*(1 - \omega_1/\omega_2)^2 + \lambda*[1 - (\omega_1/\omega_2)^2] /8sin(\alpha/2), \qquad (5.30)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

ω_1, ω_2 – площа відповідних живих перерізів дифузора.

Найменші втрати напору у дифузорі виникають при куті розширення у межах 5...10°.

У *конфузорі* рух рідини супроводжується збільшенням швидкості та падінням тиску повздовж каналу. Однак відрив потоку від стінок та вихроутворення у ньому можливі тільки на виході з конфузора, тому при однакових розмірах місцеві втрати напору у конфузорі менші, ніж у дифузорі. Загалом втрати напору у конфузорі також дорівнюють сумі втрат на звуження потоку та подолання сил тертя по довжині:

$$h_{конф} = h_{зв} + h_{i.} \qquad (5.31)$$

Втрати напору по довжині визначають аналогічно відповідним втратам у дифузорі:

$$h_i = \lambda * [1-(\omega_2/\omega_1)^2]*V^2 /16g*sin(\alpha/2) \qquad (5.32)$$

Втрати напору від звуження розраховують за формулою:

$$h_{зв} = \xi_{зв}*V^2 / 2g = K_{зв}*(\omega_1/\omega_2 - 1)^2*V^2 / 2g, \qquad (5.33)$$

де $K_{зв}$ – коефіцієнт, що враховує плавне звуження і залежить від кута конусності конфузора α (таблиця 5.9).

При зміні напрямку руху потоку *(поворот труби)* на вгнутій частині труби тиск більший, ніж на опуклій, що спричинює відрив потоку

від стінок. Найбільші втрати напору виникають при різкому повороті (гостре, або незаокруглене коліно), при чому коефіцієнт опору зростає тим більше, чим більший кут повороту труби (таблиця 5.9).

При цьому втрати напору у коліні визначаються за виразом:

$$h_{кол} = \xi_{кол} * V / 2g. \quad (5.34)$$

Якщо кут повороту становить 90°, то величина коефіцієнту опору коліна досягає $\xi_{кол} = 1$, тобто весь швидкісний напір втрачається.

Втрати напору від наявності трубопровідної арматури (крани, клапани та ін.) також знаходяться за формулою (5.34), приймаючи величину коефіцієнтів опору відповідно до рекомендованих значень, знайдених експериментальним шляхом, дані наведені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.9

Довідкові значення $K_{зв}$ конфузора та $\xi_{кол}$ гострого коліна

Кут конусності конфузоракут повороту коліна α, град	0	20	40	60	80
Коефіцієнт $K_{зв}$	0,9	0,3	0,15	0,15	0,23
Коефіцієнт опору $\xi_{кол}$	0	0,12	0,25	0,5	0,8

Повні втрати напору у трубопроводі визначаються арифметичним додаванням втрат напору по довжині трубопроводу та місцевих втрат напору. Цей спосіб називається методом накладення втрат. Однак його можна безумовно застосовувати тільки у тому випадку, якщо віддаль між місцевими опорами більша, ніж так звана зона впливу місцевого опору – відстань після нього, в межах якої відновлюється нормальна (вирівняна) епюра швидкостей потоку. При великих числах Рейнольдса довжина зони впливу

$$L_в = (30...40)d, \quad (5.35)$$

де d – діаметр трубопроводу, м.

Таблиця 5.10

Значення коефіцієнта опору ξ для деяких видів арматури

Вид трубопровідної арматури	ξ
Приймальні клапани насосів	5...6
Зворотні клапани	5,5...6,5
Вентиль звичайний	7...16
Засувка типу «Москва» при повному відкритті	0,12
Кран прохідний	2...4
Засувка шиберна	0,5...1,5
Кран подвійного регулювання	2...4

Порядок виконання роботи.

До складу лабораторної установки (рис. 5.8) входять напірний бак 1, кран регулювання випуску води К2, замірний бак 2 та трубопровід,

який складається з послідовно з'єднаних змійовика 3, циліндричної 4 та конічної 5 вставок. До початку та закінчення кожної ділянки трубопроводу приєднані п'єзометри $П_1$...$П_7$.

$П_7$ $П_6$ $П_5$ $П_4$ $П_3$ $П_2$ $П_1$

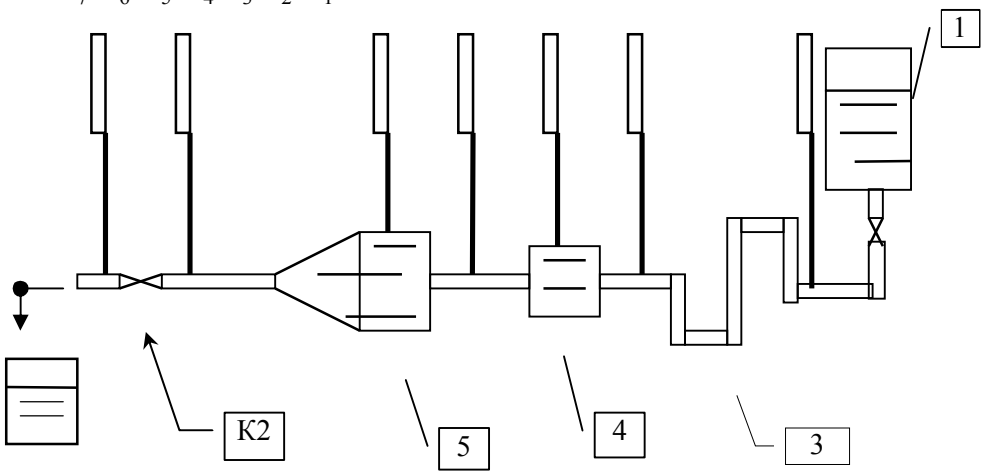


Рис. 5.8. Схема лабораторної установки

Дослід проводиться у такому порядку.

1. Повністю відкрити кран К1 і привідкрити кран К2. Через декілька секунд, коли встановиться рівень води у п'єзометрах, включити секундомір і зафіксувати тривалість витікання наперед зумовленого об'єму води W_i.
2. Одночасно із цим записати покази п'єзометрів $П_1$...$П_7$.
3. Повторити дослід ще двічі, збільшуючи кожен раз ступінь відкриття крану К2.
4. Повторити дослід ще два рази, змінюючи кожен раз перед замірами ступінь відкриття крану К2.
5. Занести дані в таблицю 5.5 і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів досліду.

1. Розрахувати розхід води під час кожного досліду:

$$Q = W / t, \qquad (5.36)$$

де W – об'єм води, що витікає під час досліду; м^3; t – тривалість досліду, с.

2. Розрахувати середню швидкість руху води на окремих ділянках трубопроводу при кожному досліді:

$$V_i = 4Q / \pi d_i^2 \qquad (5.37)$$

де d_i – діаметр трубопроводу на певній ділянці, м.

3. Розрахувати фактичні втрати напору від різних видів місцевих опорів:

$$h_i = П_i + V_i^2 / 2g\text{-}П_{i+1} - V_{i+1}{}^2 / 2g,$$

де $П_i$, $П_{i+1}$ – відповідно покази п'єзометрів перед та після місцевого опору, м;

V_i, V_{i+1} – середня швидкість у перерізах, до яких приєднані п'єзометри, м/с.

Наприклад, для змійовика середня швидкість у точках підключення п'єзометрів незмінна, і тому фактичні втрати напору $h_1 = П_1 - П_2$. Таким же спрощеним чином можна встановити фактичні втрати напору для крана К2 і взагалі для любого місцевого опору за умови, що діаметр трубопроводу у ньому не змінюється. Якщо ж має місце звуження або розширення потоку, слід врахувати також зміну кінетичної енергії через зміну його середньої швидкості.

4. Для кожного фрагменту трубопроводу розрахувати коефіцієнт місцевого опору для умов різних дослідів:

$$\xi_{ij} = h_i \text{ *}2g / V_i^2. \qquad (5.38)$$

Порівняти одержані значення з довідковими. Зробити висновок про похибку досліду.

Таблиця 5.11

Дані про результати замірів та розрахунків

Параметри	**Досліди**		
	№1	№2	№3
1	2	3	4
1. Об'єм води, м^3			
2. Тривалість досліду, с			
3. Покази п'єзометрів, м:			
– П1			
– П2			
– П3			
– П4			
– П5			
– П6			
– П7			
4. Розхід води, м^3/с			
5. Середня швидкість води, м/с:			
– у трубі та змійовику			
– у циліндричній вставці			
– у конічній вставці			
6. Втрати напору, м:			

Продовження таблиці 5.11

1	2	3	4
– у змійовику			
– при раптовому розширенні			
– при раптовому звуженні			
– при поступовому звуженні			
– від крана К2			
7. Коефіцієнт опору $\xi_м$			
– змійовика			
– раптового розширення			
– раптового звуження			
– поступового звуження			
– крана К2			

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину роботи
2. Зробити ескіз лабораторної установки.
3. Виконати розрахунки і заповнити таблицю.
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Чим спричинені місцеві втрати напору?
2. Які є типові види місцевих опорів?
3. Яка універсальна формула застосовується для розрахунку місцевої втрати напору?
4. Які формули можна застосувати для розрахунку втрат напору при раптовому розширенні та звуженні?
5. За рахунок чого можна зменшити місцеві втрати напору при зміні діаметра труби?
6. Яким чином визначаються загальні втрати напору у трубопроводі при наявності декількох місцевих опорів? Що при цьому слід врахувати?
7. Які опори виникають при русі рідини?
8. На що затрачується механічна енергія рідини, і як цей процес називається.
9. Що таке коефіцієнт гідравлічного тертя.
10. Хто займався вивченням коефіцієнта гідравлічного тертя.
11. Від чого залежить коефіцієнт тертя
12. Назвіть зони режимів руху рідини.
13. Як визначити втрати напору на дослідній ділянці.
14. Як розрахувати коефіцієнт гідравлічного тертя.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 66-73, 78-93).

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 55-61, 66-78).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 63-84).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 52-77).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 50-64).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 33-43).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 73-77, 86-102).

5.2.6. Лабораторне заняття № 6. Дослідження явища гідравлічного удару в напірному трубопроводі

Тема заняття: Дослідження явища гідравлічного удару в напірному трубопроводі.

Мета заняття: Практично ознайомитись з явищем виникнення гідравлічного удару, вивчити його природу, засвоїти основні закономірності цього процесу.

Зміст заняття

1. Ознайомитись з лабораторною установкою для дослідження гідравлічного удару в напірному трубопроводі
2. Заповнити бак лабораторної установки водою при кімнатній температурі
3. Провести досліди, пропускаючи воду по трубопроводу.
4. Зняти відповідні заміри за допомогою манометра.
5. Занести дані в таблицю і обробити їх.
6. Оформити звіт про виконану роботу.

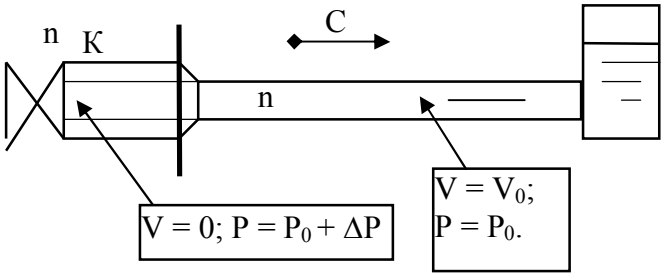
Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, насосна установка, лабораторна установка, мірне відро, лінійка вимірювальна, електронно-обчислювальна машина, секундомір.

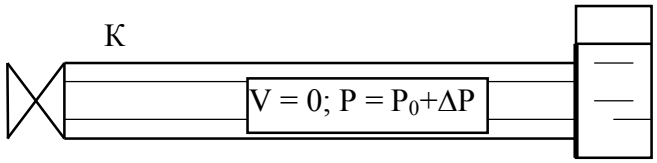
Теоретична частина

Вперше явище гідравлічного удару було досліджене М.Е. Жуковським у 1898 р. під час експертизи систематичних аварій московського водопроводу. Спрощено виникнення та розвиток процесу гідроудару можна представити таким чином (рис. 5.9).

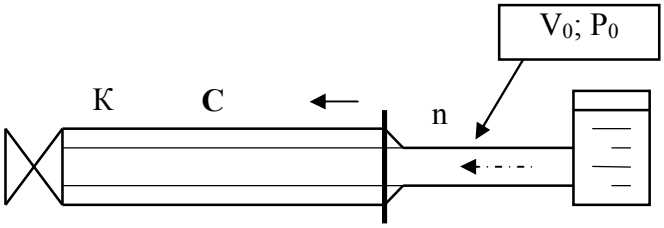
1-й етап: раптова зупинка води перед краном К, через що кінетична енергія переходить у підвищення тиску ΔP та деформацію труби («n-n» фронт підвищеного тиску)



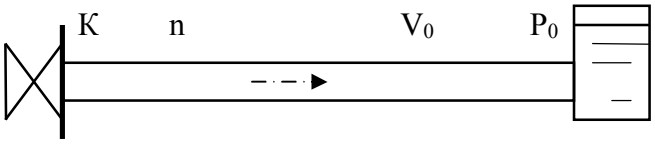
2-й етап: миттєва зупинка води по всій довжині труби.



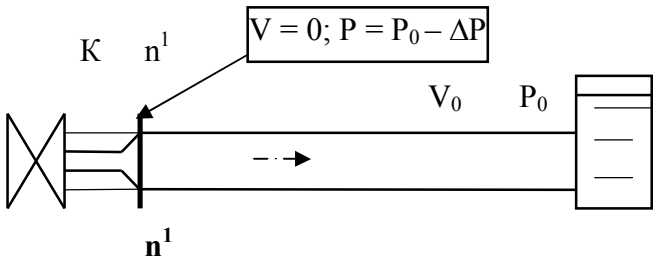
3-й етап: відтікання води з початкової ділянки у резервуар зі швидкістю V_0. Фронт «n-n» пересувається знову до крана К.



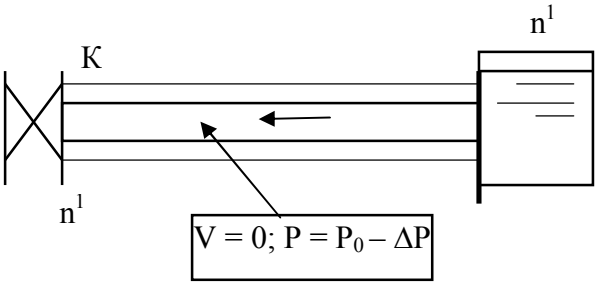
4-й етап: фронт «n-n» досягає крана К, у трубі вода рухається до резервуару зі швидкістю V_0; тиск швидко падає до P_0.



5-й етап: внаслідок інерції «рідка колона» перед краном розтягається, відривається від крана та стінок; зменшення тиску до величини $P = P_0 - \Delta P$. «n^1-n^1» – фронт розрідження.



6-й етап: миттєве розповсюдження фронту пониженого тиску по всій довжині труби.



7-й етап: рідина знову набуває швидкість V_0 і тиск P_0; коли такий фронт досягає крану К, процес повторюється знову від етапу 1.

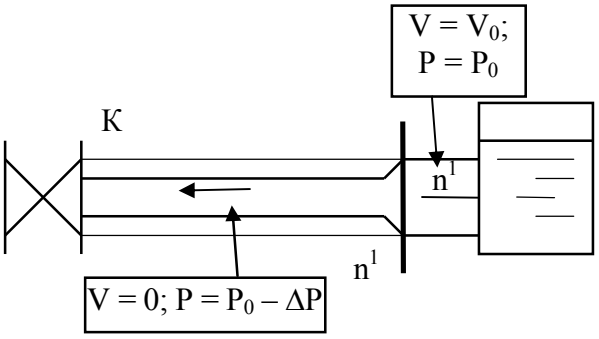


Рис. 5.9. Схема розвитку явища гідравлічного удару в напірному трубопроводі

Різке збільшення (зменшення) тиску в напірному трубопроводі внаслідок різкого зменшення (збільшення) швидкості руху рідини називається *гідравлічним ударом*.

По М.Є. Жуковському, при швидкому закритті засувки в трубопроводі швидкість руху води в ньому зменшується до нуля і відбувається перехід кінетичної енергії потоку в потенціальну. що призводить до підвищення тиску. Чим більша довжина трубопроводу, тим більша в ньому маса рідини і величина кінетичної енергії і тим більше буде підвищення тиску.

Якщо в трубопроводі, по якому витікає вода з резервуара, буде закрита засувка, то течія рідини зупиниться на початку не по всій трубі, а лише безпосередньо перед засувкою. Це стає можливим тому, що завдяки пружним властивостям рідини і матеріалу труби рідини дещо стискується, а труба розширюється. Потім підвищення тиску досить швидко буде розповсюджуватися по трубопроводу від засувки до резервуара.

Швидкість розповсюдження підвищення тиску називається *швидкістю ударної хвилі* C_0.

Після того, як в усій трубі тиск підвищиться. рідина почне виходити з зони підвищеного тиску назад в резервуар і тиск в трубі почне підвищуватися. Потім в зону пониженого тиску знову піде рідина з резервуара і тиск знову підвищиться. Завдяки пружним властивостям рідини і стінок труби цей процес поступово затухає. Найбільш небезпечним є перше підвищення тиску.

Підвищення тиску при прямому гідравлічному ударі при відомій швидкості розповсюдження ударної хвилі C (за формулою М.Є. Жуковського) буде рівним:

$$\Delta p = \rho v_0 C\,, \tag{5.40}$$

де ρ – густина рідини, кг/м^3;

v_0 – середня швидкість руху рідини до початку гідроудару, м/с;

C – швидкість розповсюдження ударної хвилі.

Швидкість розповсюдження ударної хвилі C залежить від властивостей рідини, а також матеріалу, діаметра та товщини стінок труби:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\rho\left(\frac{1}{E_0} + \frac{d}{\delta E_м}\right)}}\,, \tag{5.41}$$

де E_0 – модуль пружності рідини; для води можна прийняти $E_0 = 2{,}03 \cdot 10^9$ Па;

ρ – густина рідини, кг/м^3;

d – діаметр труби, м;

$E_м$ – модуль пружності матеріалу труби; для сталі $E_м = 2 \cdot 10^{11}$ Па;

δ – товщина стінки труби, м.

Ударна хвиля пройде по всьому трубопроводі за час $\frac{L}{C}$ (L – довжина трубопроводу). Час одного циклу, який включає підвищення і зниження тиску, називається *фазою удару T*. Вважаючи швидкість ударної хвилі при підвищенні і зниженні тиску однаковою, визначимо фазу удару як:

$$T = \frac{2L}{C}. \qquad (5.42)$$

Якщо час закриття засувки менший або рівний фазі удару ($t_з \le T$), то удар називається *прямим*. При $t_з > T$ за час підвищення і зниження тиску засувка ще не буде закрита, рух рідини в трубі ще не зупиниться і не вся кінетична енергія перейде в потенціальну, тобто підвищення тиску буде менше. ніж при прямому ударі. Такий удар називається *непрямим*, підвищення тиску при ньому визначається за формулою: $\Delta p = \frac{2\rho L v_0}{t_з}$.

Схема лабораторної установки

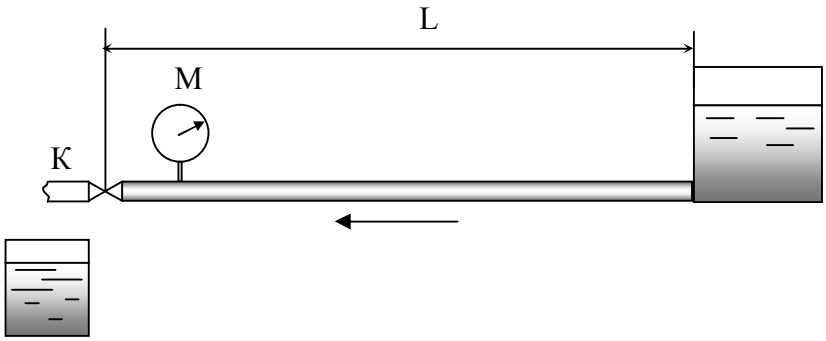


Рис. 5.10. Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Відкрити кран *K* і зафіксувати тривалість витікання у вимірний бак 2 наперед зумовленої кількості води *V* (рис. 5.10).
2. Наприкінці заповнення вимірного бака записати покази манометра p_0.
3. Коли у вимірний бак перетече задана кількість води, раптово перекрити і водночас зафіксувати «сплеск» тиску p_1 за допомогою манометра *M*.
4. Повторити дослід ще два рази, змінюючи кожен раз перед замірами ступінь відкриття крану К.

5. Занести дані в таблицю 5.12 і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів дослідів

1. Визначити витрату води при кожному досліді ($м^3/с$):

$$Q = \frac{V}{t} \tag{5.43}$$

де t – тривалість витікання заданого об'єму води, с.

2. Розрахувати середню швидкість витікання води під час кожного досліду (м/с):

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}, \tag{5.44}$$

де d – діаметр труби, м (довідка про значення – безпосередньо на робочому місці)

3. Визначити фактичне підвищення тиску при гідро ударі:

$$\Delta p_ф = p_i - p_0 \tag{5.45}$$

Увага! Величину $\Delta p_ф$ слід виразити у Паскалях.

4. Визначити фактичну швидкість ударної хвилі $C_ф$:

$$C_ф = \frac{\Delta p_ф}{\rho v_0} \tag{5.46}$$

5. Визначити фазу гідравлічного удару за формулою (5.42).
6. Розрахувати теоретично можливу величину швидкості ударної хвилі C_T за формулою (5.41). Товщину стінок труби при цьому прийняти δ = 1,5 мм.
7. Розрахувати теоретично можливе значення підвищення тиску при гідро ударі під час кожного досліду за формулою (5.40), підставляючи фактичні значення середньої швидкості v_i.
8. Визначити відхилення між теоретичним та фактичним значенням Δp, зробити висновок про причини розходження.

Таблиця 5.12

Дані про результати замірів та розрахунків

Параметри	Досліди		
	№ 1	№ 2	№ 3
1	2	3	4
Діаметр труби, м			
Площа поперечного перерізу,$м^2$			
Довжина труби, м			
Об'єм води у вимірному баку, $м^3$			

Продовження таблиці 5.12

1	2	3	4
Тривалість досліду, с			
Покази манометра, Па:			
- до закриття крана, p_0			
- у момент закриття крана, p_i			
Підвищення тиску фактичне, Па			
Витрата води, Q, м^3/с			
Середня швидкість витікання, м/с			
Швидкість ударної хвилі, м/с			
- фактична $C_ф$			
- теоретична C_T			
Теоретичне підвищення тиску, Па			
Фаза гідроудару, с			

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину роботи
2. Зробити ескіз лабораторної установки.
3. Виконати розрахунки і заповнити таблицю.
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?
2. Що називається гідравлічним ударом?
3. Якими методами уникнути виникнення гідравлічного удару в напірному трубопроводі?
4. За якою формулою визначається зміна тиску при виникнення гідравлічного удару в напірному трубопроводі?
5. За якою формулою визначається швидкість розповсюдження ударної хвилі?
6. Що таке фаза гідравлічного удару?

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 93-110).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 79-91).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 104-125).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 94-112).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 64-72).

6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 44-60).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 102-137).

5.2.7. Лабораторне заняття № 7. Визначення основних параметрів і побудова робочої характеристики відцентрового насоса

Тема заняття: Визначення основних параметрів і побудова робочої характеристики відцентрового насоса.

Мета заняття: Ознайомитись з методом практичного визначення напору, витрати і потужності насосної установки, порівняти одержані результати з теоретичними розрахунками. Встановити необхідну потужність електродвигуна. Побудувати робочу характеристику насоса при $n = const$.

Зміст заняття

1. Ознайомитись з теоретичними положеннями.
2. Вивчити будову лабораторної установки.
3. Ознайомитись з методикою виконання дослідів та обробки результатів.
4. Виконати досліди, зняти необхідні заміри і записати в таблицю.
5. Зробити розрахунки.
6. Побудувати робочу характеристику.
7. Знати відповіді на контрольні питання.

Обладнання, прилади, матеріали, інструмент

Вода при кімнатній температурі, насосна установка, лабораторна установка, мірне відро, лінійка вимірювальна, електронно-обчислювальна машина, секундомір.

Теоретична частина

Всі гідравлічні машини і передачі (приводи), можна розділити на насоси, гідродвигуни і гідропередачі. Вони служать для перетворення механічної енергії двигуна в енергію потоку рідини (насоси), або енергії потоку рідини в механічну енергію (гідродвигуни, гідропередачі). Основні типи насосів, що різняться по характеру силової дії на рідину і виду енергії ділять на дві групи: на динамічні і об’ємні.

В динамічних насосах рухома рідина одержує енергію від робочих органів насоса в проточній камері, що постійно з’єднана з входом і виходом насоса.

В об’ємних насосах обмін енергією відбувається в замкнутих камерах, які періодично змінюють свій об’єм і поперемінно сполучаються з входом і виходом насоса.

Із насосів, що отримали найбільше поширення, до динамічних відносяться: лопатеві – відцентрові і осьові; насоси тертя – вихрові, струминні. До об’ємних відносяться насоси, робочі органи яких здійснюють: зворотно-поступальний рух – поршневі, плунжерні, діафрагменні; обертальний рух – шестеренні, гвинтові; обертальний і зворотно-поступальний рух – шиберні (пластинчасті), роторно-поршневі.

В системах сільськогосподарського водопостачання широко використовуються відцентрові насоси. Для підняття води із скважин і глибоких колодязів використовують заглибні насоси типу ЕВЦ. При водозаборі з поверхневих джерел використовують консольні і консольно-моноблочні насоси типу К і КМ.

Об’ємні насоси широко використовуються в системах гідроприводів сільськогосподарських машин. Особливо широке розповсюдження одержали шестеренні насоси типу НШ (див. додаток 2).

Роботу відцентрових насосів характеризують наступні основні параметри:

а) Q – подача (витрата) насоса, тобто об’єм рідини, що проходить через насос за одиницю часу;

б) H – напір: енергія, яку поглинає в середньому кожна одиниця ваги рідини, проходячи через насос. А тому напір насоса дорівнює різниці напорів, заміряних в перерізі *2* на виході з насоса і в перерізі *1* на вході в нього (рис. 5.11).

Відповідно, напір насоса:

$$H = \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right), \qquad (5.47)$$

або,

$$H = \Delta z + \frac{\Delta p}{\gamma} + \Delta H_v, \qquad (5.48)$$

де $\Delta z = z_2 - z_1$ – різниця геометричних напорів в перерізах на виході і вході насоса;

p_1, p_2 – тиски в тих же перерізах;

γ – питома (об’ємна) вага рідини;

$\frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$ – приріст п’єзометричного напору в насосі;

v_1, v_2 – середні швидкості в відповідних перерізах;

α – коефіцієнт кінетичної енергії;

g – прискорення сили тяжіння

$$\Delta H_v = \frac{\alpha v_2^2}{2g} - \frac{\alpha v_1^2}{2g}, \tag{5.49}$$

або,

$$\Delta H_v = \frac{\alpha}{2g}\left(\frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2}\right)Q^2, \tag{5.50}$$

де ΔH_v – приріст швидкісного напору для відповідних перерізів 1-1 і 2-2;

S_1, S_2 – площі відповідних поперечних перерізів;

N_e – ефективна (корисна) потужність насоса. Це потужність яку рідина одержує від насоса,

$$N_e = \gamma \cdot Q \cdot H \tag{5.51}$$

N – потужність (на валу) насоса, тобто та, що споживається. Якщо вал двигуна безпосередньо з'єднується з валом насоса, то вона дорівнює корисній потужності двигуна;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса:

$$\eta = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{N} \tag{5.52}$$

$H_{вак}^{доп}$ – допустима вакуумметрична висота всмоктування. Якщо робоча вакуумметрична висота всмоктування перевершить допустиму, то в насосі виникне явище кавітації;

n – частота обертання робочого колеса насоса.

Надлишкова енергія поглинута кожною часткою рідини, що проходить через насос виражена в м.вод.ст. являє собою напір насосної установки. З рівняння Бернуллі виводяться дві формули, що визначають напір насоса (рис. 5.11).

$$H_д = \frac{P_м + P_в}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \Delta Z, \tag{5.53}$$

$$H_T = \frac{P_{вр} + P_н}{\gamma} + H_Г + h_{вт}, \tag{5.54}$$

де $P_м$ і $P_в$ – покази відповідно манометра і вакуумметра;

V_1 і V_2 – швидкості рідини при вході і виході з насоса;

ΔZ – відстань по вертикалі між вакуумметром і манометром;

$H_д$ – дійсний напір; H_T – теоретичний напір;
$H_г$ – висота верхнього рівня води над нижнім;
$P_{вр}$, $P_н$ – тиски відповідно в верхньому та нижньому баках;
$h_{вт}$ – повні витрати напору у всмоктуючій і нагнітаючій магістралях

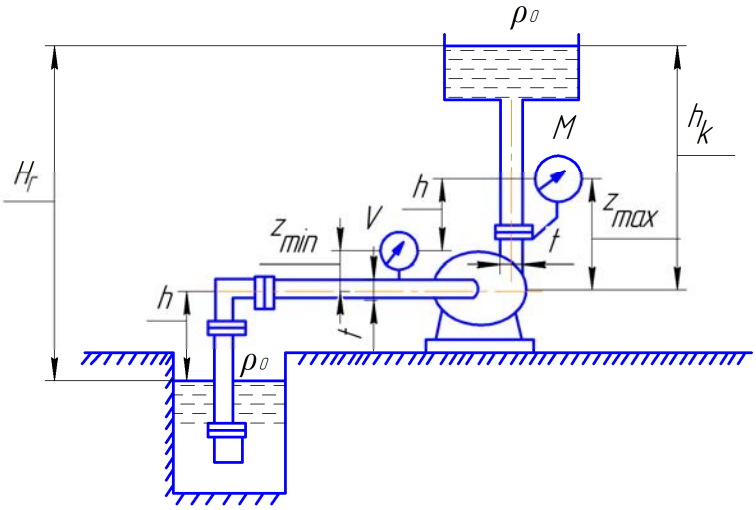


Рис. 5.11. Схема лабораторної установки для випробування насоса
К – регулювальний кран; В – вакуумметр; М – манометр;
КС – зворотній клапан з сіткою.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з лабораторною установкою (рис. 5.11).
2. Замалювати схему установки.
3. Підготувати установку до виконання роботи, залити робочу порожнину насоса водою, визначити ціну поділок вимірювальних приладів.
4. Запустити установку і впевнитись в справності манометра і вакуумметра.
5. Для визначення напору насоса з метою побудови робочої характеристики слід користуватись спрощеним виразом:

$$H_д = \frac{P_м + P_в}{\gamma} + \Delta Z, \qquad (5.55)$$

де $P_м$ і $P_в$ – покази манометра і вакуумметра;
ΔZ – відстань по вертикалі між вакуумметром і манометром, м.

6. Подачу насоса Q визначають наступним чином. Перед пуском насоса заміряють рівень води в верхньому баку, за допомогою мірної трубки і шкали, потім включають насос і накачують певну кількість води (10…20…30 л), одночасно з включенням насоса включають секундомір і засікають час наповнення певної кількості во-

ди. Знаючи об'єм V води і час t протягом якого працював насос знаходять його продуктивність за формулою:

$$Q = \frac{V}{t}, \tag{5.56}$$

де V – об'єм води в баку;

t – час наповнення об'єму бака.

7. Для побудови робочої характеристики насоса в координатах визначають напір і подачу насоса при різних положеннях регулювального крана, починаючи з повного закриття.
8. Повторити дослід ще два рази, змінюючи кожен раз перед замірами ступінь відкриття крану.
9. Занести дані в таблицю 5.13 і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Таблиця 5.13

Результати дослідів

№ п/п	$P_м$ кгс/см^2	$P_в$ кгс/см	ΔZ м	V м^3	t с	Q м^3/с	H м
1							
2							
3							
4							
5							

Методика обробки результатів дослідів

1. В процесі розрахунку і порівняння теоретичного напору і напору на діючій установці необхідно визначити швидкість руху води у всмоктуючому і нагнітаючому трубопроводах за формулами:

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}; \qquad V_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}, \tag{5.57}$$

де V_1 і V_2 – швидкість відповідно у всмоктуючій і нагнітаючій трубах;

d_1 і d_2 – діаметри відповідно всмоктуючої і нагнітаючої труб.

2. Сумарні втрати напору $h_{вт}$ визначаються як для всмоктуючого так і для нагнітаючого трубопроводів за формулами:

- для всмоктуючого:

$$h_{вт1} = h_д + h_м = \frac{V_1^2}{2g}\left(\lambda\frac{l_1}{d_1} + \sum_{i=1}^{n}\xi_{м1}\right) \tag{5.58}$$

де $h_{вт1}$ – сумарні втрати напору у всмоктуючому трубопроводі;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору (Дарсі);

l_1 – довжина всмоктуючого трубопроводу;

$\sum_{i=1}^{n}\xi_{м1}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів системи (клапан, сітка, згини, звуження і т.д.) всмоктуючого трубопроводу (див. дод. 4),

- для нагнітаючого:

$$h_{вт2} = h_{д} + h_{м} = \frac{V_2^2}{2g}\left(\lambda\frac{l_2}{d_2} + \sum_{i=1}^{n}\xi_{м2}\right) \qquad (5.59)$$

де $h_{вт2}$ – сумарні втрати напору в нагнітаючому трубопроводі;

l_2 – довжина нагнітаючого трубопроводу;

$\sum_{i=1}^{n}\xi_{м2}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів системи (кран, згини, задвижки і т.д.) нагнітаючого трубопроводу (див. дод. 4).

3. Коефіцієнт швидкохідності насоса визначають за формулою:

$$n_s = \frac{3{,}65\cdot n_{дв}\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \qquad (5.60)$$

де n_s – коефіцієнт швидкохідності, хв$^{-1}$;

$n_{дв}$ – число обертів робочого колеса, або двигуна при прямій передачі, хв$^{-1}$;

Q – розхід, м^3/с;

H – напір, м.

4. Коефіцієнт кавітації визначають за формулою:

$$\sigma = \left(\frac{n_s}{c}\right)^{3/4}, \qquad (5.61)$$

де c – 500…600 – коефіцієнт Руднева.

5. Визначають допустиму (найбільшу) висоту всмоктування (вона не повинна перевищувати величини $h_{вс}$):

$$H_{вак}^{доп} = \frac{P_{ат} - P_n}{\gamma} - h_{вт1} - \varphi\cdot\sigma\cdot H, \qquad (5.62)$$

де $P_{ат}$ – атмосферний (барометричний) тиск, м.вод.ст.;

P_n – тиск пароутворення всмоктуючої рідини (холодне кипіння), (див. дод. 3);

φ – коефіцієнт запасу, φ = 1,2 – 1,4.

6. Визначають потужність, необхідну для насоса за формулою:

$$N = \frac{\gamma\cdot Q\cdot H}{102\cdot\eta}, \text{ кВт} \qquad (5.63)$$

де η – повний коефіцієнт корисної дії насоса, η = 0,6…0,7.

7. Визначають необхідну потужність двигуна $N_{дв}$ для насосної установки:

$$N_{дв} = \frac{k \cdot N}{\eta_{пер}} \tag{5.64}$$

де k – коефіцієнт запасу потужності, k = 1,1…1,4;
$\eta_{пер}$ – коефіцієнт передачі, $\eta_{пер}$ = 0,95.

8. Одержані розрахункові та експериментальні дані заносять в таблицю 5.14.

Таблиця 5.14

Дані про результати замірів та розрахунків насосної установки

Показники	Розмірність	Досліди		
		1	2	3
1. Довжина всмоктуючого трубопроводу	м			
2. Довжина нагнітаючого трубопроводу	м			
3. Діаметр всмоктуючого трубопроводу	м			
4. Діаметр нагнітаючого трубопроводу	м			
5. Відстань між манометром і вакуумметром	м			
6. Середня швидкість руху води у всмоктуючого трубопроводу	м/с			
7. Середня швидкість руху води внагнітаючого трубопроводу	м/с			
8. Геометричний напір	м			
9. Сумарні втрати напору у всмоктуючій трубі	м			
10. Сумарні втрати напору в нагнітаючій трубі	м			
11. Гідравлічний коефіцієнт опору руху рідини		0,025		
12. Теоретичний напір	м			
13. Дійсний напір	м			
14. Коефіцієнт швидкохідності				
15. Коефіцієнт кавітації				
16. Допустима висота всмоктування	м			
17. Потужність електродвигуна	кВт			

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину роботи.
2. Змалювати схему лабораторної установки.
3. Зробити заміри, виконати розрахунки і заповнити таблиці.
4. Побудувати робочу характеристику насоса в координатах.
5. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що таке гідронасос і гідродвигун. Яка між ними різниця?
2. Які типи насосів ви знаєте?
3. Назвіть основні параметри насоса, як вони визначаються.
4. Як визначити основні параметри насоса за його маркою?
5. Яка різниця між теоретичним напором і дійсним?
6. Що таке допустима висота всмоктування і як її визначають?
7. Як визначити коефіцієнти швидкохідності і кавітації?
8. Як визначити необхідну потужність для насоса і підібрати електродвигун?
9. Яка залежність між напором і розходом насосної установки?

Додаток 1

Таблиця 5.15

Марки консольних насосів

Стара	**Нова ГОСТ 22247-76**	Букви і цифри, які входять в марку насоса, наприклад 2 КМ-6 (стара марка), КМ-20/30 (нова марка), означають: 2 – діаметр вхідного патрубка в мм, зменшений в 25 разів і округлений; К – консольний; М – моноблокнасос; 6 – коефіцієнт швидкохідності, зменшений в 10 раз і округлений; 20/30 – округлені значення розходу в $м^3$/год і напору в м при максимальному коефіцієнтові корисної дії і найбільшому діаметрі робочого колеса. Модифікація насосів, що мають менші діаметри робочих коліс, додатково позначаються «індексами» «а» і «б» – Насоси, освоюються промисловістю: «а» – з обточуванням робочого колеса по зовнішньому діаметру, що забезпечує роботу насоса в середній частині поля; «б» – з обточуванням робочого колеса по зовнішньому діаметру, що забезпечує роботу насоса в нижній частині поля
1,5 К-6	К 8/18	
1,5 – КМ-6	КМ 8/18	
2 К-6	К20/30	
2 КМ-6	КМ 20/30	
2 К-9	К 20/18	
2 КМ-9	КМ 20/18	
3 К-6	К 45/55	
3 КМ-6	КМ 45/55	
3 К-9	К 45/30	
3 КМ-9	КМ 45/30	
---	К 45/85	
4 К-18	К 90/20	
4 КМ-18	КМ 90/20	
4 К-12	К 90/35	
4 КМ-12	КМ 90/35	
4 К-8	К 90/55	
---	КМ 90/55	
4 К-6	К 90/85	
6 К-8	К 160/30	
6 К-12	К 160/20	
---	КМ 160/20	
8 К-18	К 290/18	
8К-12	К290/30	

Додаток 2

Таблиця 5.16

Технічна характеристика шестерінчастих насосів

Показники	НШ 10Е	НШ 32	НШ 46	НШ 32-2	НШ 50-2	НШ 67	НШ 100-2
Робочий об'єм, $см^3$	10,0	31,7	45,7	31,5	48,8	69,0	98,8
Тиск, мПа:							
номінальний	10,0					14,0	
максимальний	14,0					16,0	
Частота обертання, $хв^{-1}$							
номінальна	1500			1920		1500	1500
мінімальна	1200			960		1200	960
максимальна	1920			2400		1920	2000
Номінальна потужність, кВт	2,65	8,7	12,5	15,5	23,9	26,5	37,5

Додаток 3

Таблиця 5.17

Залежність величини тиску пароутворення P_n від температури °С

Температура в °С	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P_n, м. вод. ст.	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,0	3,1	4,8	7,1	10,3

Додаток 4

Таблиця 5.18

Коефіцієнт ξ при раптовому розширенні перерізу труби

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	4	9	16	25	36	49	64	81

Таблиця 5.19

Коефіцієнт ξ при раптовому звуженні

0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,5	0,45	0,4	0,3	0,2	0,1	0

Таблиця 5.20

Коефіцієнт ξ при плавному повороті труби

0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,14	0,15	0,16	0,18	0,21	0,24	0,29	0,44	0,66	0,98	1,44	1,98

Таблиця 5.21

Коефіцієнт ξ при різкому переломі труби

30	40	50	60	70	80	90
0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,1

Таблиця 5.22

Коефіцієнт ξ при частковому закритті заслінки

1	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8	1/8
0	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17	97,8

Приймальний клапан з сіткою:

- при наявності на трубі клапана з сіткою ξ = 10;
- при наявності на трубі тільки сітки ξ = 6.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 149-154, 159-177).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 119-125, 129-144).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 126-176).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 89-141).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 44-60).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 146-167).

5.2.8. Лабораторне заняття № 8. Визначення загального ККД гідроприводу

Тема заняття: визначення загального ККД гідроприводу.

Мета заняття: вивчити методику визначення загального ККД гідропривода.

Зміст заняття

1. Вивчити принцип дії об'ємних гідроприводів сільськогосподарської техніки.
2. Вивчити технічні характеристики гідравлічних машин та гідроприводу зворотно-поступальної дії.
3. Вивчити будову і основні правила експлуатації лабораторної установки.
4. Провести випробування об'ємного гідроприводу по визначенню ККД.
5. Оформити звіт по роботі.

Обладнання, прилади, матеріали, інструменти

Робоче місце забезпечується лабораторною установкою по визначенню ККДначіпного знаряддя трактора, а також плакатами і необхідною літературою.

Теоретична частина

Поршневі насоси при великій різноманітності конструкцій можна поділити на три групи:

а) насоси одинарної (простої) дії;

б) насоси подвійної дії;

в) насоси потрійної дії.

У насосі простої дії (рис. 5.12, а) за один оберт вала (подвійний хід поршня) насос робить один такт усмоктування й один такт нагнітання.

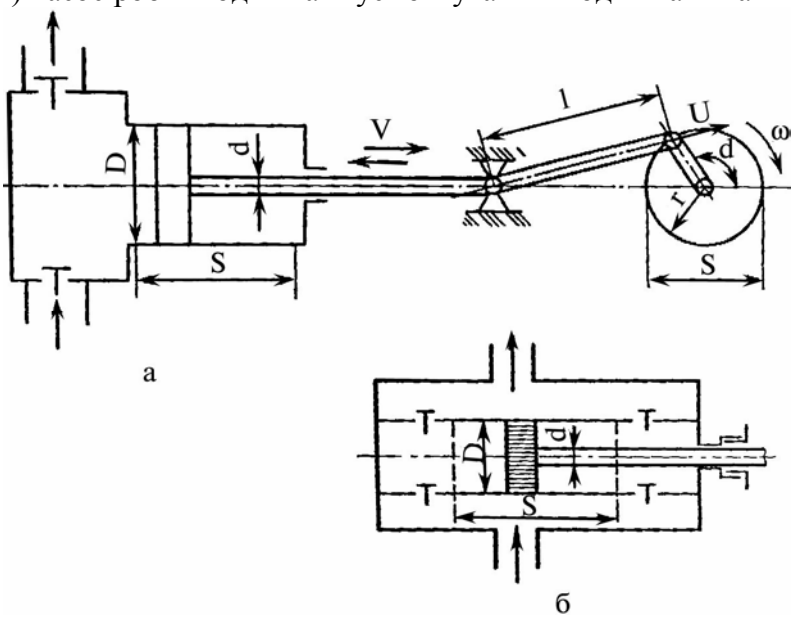


Рис. 5.12. Схема поршневого насоса: а – простої дії, б – подвійної дії

Дійсна подача такого насоса визначається за формулою:

$$Q_{\text{н}} = \eta_{\text{он}} \frac{SFn}{60} \quad \text{м}^3/\text{с}\,. \tag{5.65}$$

У насосі подвійної дії (рис. 7.12, б) за один оберт вала кривошипа відбувається два такти нагнітання й усмоктування. Подача цього насоса рівномірніша, ніж у насоса простої дії.

За один оберт вала кривошипа об'єм, що витісняється поршнем, дорівнює:

$$q_m = SF + S(F - f) = (2F - f)S\,, \tag{5.66}$$

де f – площа штока поршня, м^2.

Середня подача насоса визначається залежністю:

$$Q_{\text{н}} = \eta_{\text{он}} \frac{(2F - f)Sn}{60} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.67)$$

Насос потрійної дії являє собою строєний насос простої дії. Звідси середня подача виразиться за такою формулою:

$$Q_{\text{н}} = 3\eta_{\text{он}} \frac{FSn}{60} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.68)$$

Якщо зневажити площею штока при визначенні подачі насоса, то його секундна подача може бути визначена із загальної формули:

$$Q_{\text{н}} = \eta_{\text{он}} i \frac{FSn}{60} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5.69)$$

де i – число дій насоса (для насоса одинарної дії $i = 1$, подвійної – $i = 2$, потрійної – $i = 3$ і т. д.).

До переваг поршневих насосів належать: досить високий ККД; незалежність напору від подачі; здатність перекачування рідин з різною в'язкістю; добра усмоктувальна здатність.

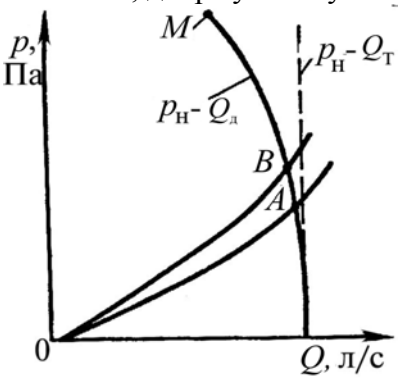


Рис. 5.13. Вплив тиску на подачу поршневого насоса

Їм властиві і серйозні недоліки: нерівномірна подача й різкі коливання тиску, тихохідність, висока відносна вартість і металоємність.

Характерна риса роботи поршневих насосів полягає в тому, що тиск, який розвивається, не залежить від подачі і визначається характеристикою трубопроводу.

Характеристика впливу тиску в насосі на його подачу наведена на рисунку 5.13. Як бачимо, теоретична подача не залежить від тиску. Дійсна ж подача зі збільшенням тиску трохи падає через збільшення об'ємних втрат у насосі. Фактичний тиск, що розвивається насосом, визначається точками А чи В перетинання характеристик трубопроводу і залежністю $p_н - Q$. При досягненні максимального тиску в насосі (точка М) відбувається відкриття запобіжного клапана. З викладеного ясно, що запуск поршневих насосів потрібно здійснювати при відкритій засувці на нагнітальній лінії.

Регулювання подачі поршневого насоса здійснюють шляхом зміни ηон за допомогою регульованого перепускного клапана, через який частина рідини з нагнітального трубопроводу чи робочої камери направляється знову в усмоктувальний трубопровід.

Гідроциліндри – це об'ємний гідродвигун зі зворотно-поступальним рухом вихідної ланки. У різних галузях техніки використовуються найрізноманітніші як за конструкцією, так і за функціональним призначенням типи гідроциліндрів. Конструктивні схеми гідроциліндрів представлені на рисунку 5.14.

Гідроциліндр, в якому рух вихідної ланки під дією робочої рідини можна забезпечити тільки в одному напрямку, називається гідроциліндром одностороньої дії (рис. 5.14, а). Рух вихідної ланки при цьому в протилежному напрямку може відбуватися під дією пружини, силивагі чи іншим способом. Якщо ж рух вихідної ланки можливий у двох протилежних напрямках, то такий гідроциліндр називається гідроциліндром двосторонньої дії (рис. 5.14, б).

У залежності від конструкції робочої ланки гідроциліндри бувають: поршневі (рис. 5.14, а, б), плунжерні (рис. 5.14, в), мембранні (рис. 5.14, г), сильфонні (рис. 5.14, д). Під робочою ланкою гідродвигуна взагалі і гідроциліндра зокрема розуміється деталь чи група деталей, що беруть участь в утворенні робочої камери і приводять у рух вихідну ланку.

Наведені конструктивні схеми гідроциліндрів дозволяють забезпечити повний хід вихідної ланки рівним ходу робочої ланки, і тому їх прийнято називати одноступінчастими гідроциліндрами. А гідроциліндри, в яких повний хід вихідної ланки дорівнює сумі ходів усіх робочих ланок, називаються телескопічними (рис. 5.14, е).

У залежності від числа поршнів чи плунжерів телескопічні гідроциліндри можуть бути двоступінчастими, трьохступінчастими і т. д. При цьому ступінь з найменшим діаметром поршня чи плунжера називається першим ступенем, наступний – другим ступенем і т. д.

Розрізняють гідроциліндри з одностороннім і двостороннім штоком, розуміючи під першим поршневий гідроциліндр зі штоком з однієї сторони і під другим – гідроциліндр зі штоком, розташованим по обидві сторони поршня (рис. 5.14, ж). Нерідко доцільно з'єднувати з рухомою частиною машини не шток, а корпус циліндра. Рідину в циліндр у цьому випадку підводять через гнучкі трубопроводи (шланги) або через канали в штоку.

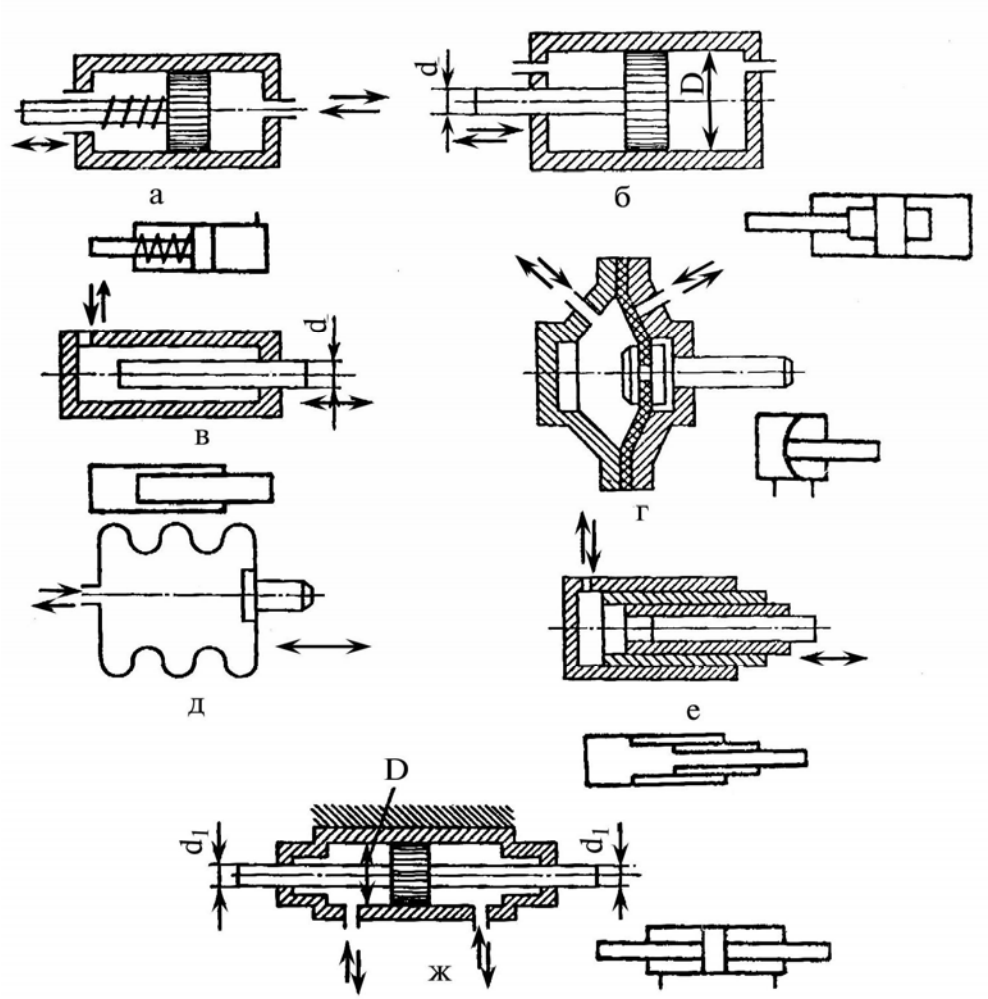


Рис. 5.14. Конструктивні схеми гідроциліндрів та їх умовні позначення
а – поршневий односторонньої дії; б – поршневий двосторонньої дії;
в – плунжерний; г – мембранний; д – сильфонний; е – телескопічний;
ж – зі штоком, розташованим по обидві сторони поршня

При експлуатації гідроциліндрів, особливо з великими інерційними навантаженнями на вихідній ланці, з метою запобігання виникненню ударних навантажень використовують гідроциліндри з гальмуванням, у конструкції яких передбачаються пристрої, що демпфірують, цим самим забезпечуючи плавне сповільнення руху поршня.

Найбільш розповсюджені конструктивні схеми таких демпферів показані на рисунку 5.15. У конструкції (рис. 5.15, а) демпфірування досягається за рахунок видавлювання рідини стовщенням штока через

кільцевий зазор, що утворюється між цим стовщенням і циліндричним розточенням, виконаним у кришці гідроциліндра. У конструкції (рис. 5.15, б), в якій демпфірування досягається послідовним вимиканням випускних отворів, що з'єднують порожнину гідроциліндра з лінією зливу, активною гальмовою поверхнею служить уся площа поршня.

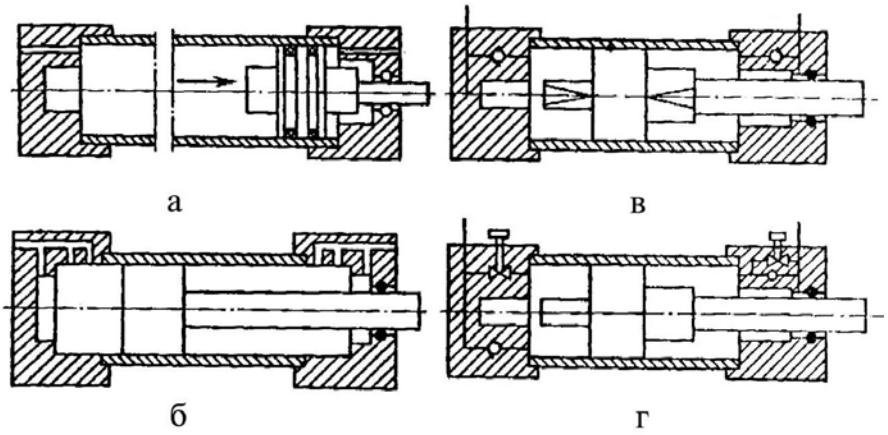


Рис. 5.15. Конструктивні схеми демпфіруючих пристроїв гідроциліндрів

У конструкції, показаній на рисунку 5.15, в, демпфірування здійснюється включенням наприкінці ходу поздовжньої дроселюючої щілини, а в конструкції на рисунку 5.15, г – вимиканням дросельного клапана.

У гідросистемах тракторів і сільськогосподарських машин застосовують гідроциліндри як поршневі, так і плунжерні. Плунжерні гідроциліндри у свою чергу поділяються на одноступінчасті і багатоступінчасті (телескопічні). У начіпних системах тракторів, а також у машинах, в яких у процесі роботи необхідно регулювати хід штока, використовують в основному уніфіковані поршневі гідроциліндри типу Ц з робочим тиском 10, 16 і 20 МПа.

У гідросистемах сільськогосподарських машин застосовуються в основному нормалізовані поршневі гідроциліндри, розраховані для роботи на мінеральних маслах у діапазоні температур робочої рідини від –10 до +70°С. Максимальний тиск для цих гідроциліндрів 16 МПа, швидкість поршня – до 0,5 м/с .

Плунжерні гідроциліндри застосовуються для здійснення зворотно-поступального руху робочих органів, коли зворотний хід цих органів відбувається за рахунок власної маси чи за рахунок дії пружинних та інших пристроїв. Зокрема, плунжерні гідроциліндри застосовуються

для підйому жниварки зернозбирального комбайна, в автонавантажувачах, в автомобілях-самоскидах і т. ін. Вони працюють на мінеральних маслах при найбільшому робочому тиску до 10 МПа зі швидкістю переміщення плунжера до 0,3 м/с.

Телескопічні гідроциліндри застосовують у сільськогосподарських машинах, де потрібний значний хід штока при мінімальних розмірах корпуса гідроциліндра; зворотний хід у них здійснюється за рахунок маси робочих органів (наприклад, кузов самоскидних візків автомобілів). Телескопічні гідроциліндри розраховані для роботи при номінальному тиску в гідросистемі до 10 МПа.

У сільськогосподарських машинах гідродвигуни поступального руху (гідроциліндри) використовують в основному або для переміщення і фіксації відносно один одного різних вузлів, або для приведення робочих органів машини в періодичний зворотно-поступальний рух. На сільськогосподарських машинах, крім гідроциліндрів, знаходять застосування і гідродвигуни зворотно-поступального руху (ДЗП), що застосовуються для приведення в дію ріжучих апаратів косарок, жниварок, пристосувань для підрізування виноградної лози та інших механізмів.

Прийнято вважати, що з підвищенням тиску і відповідно зі зменшенням розмірів гідроциліндрів поліпшуються їхні економічні показники. Однак з підвищенням тиску збільшується товщина стінок циліндра і трубопроводів, зростає необхідність підвищення точності виготовлення, ускладнюється конструкція ущільнювальних пристроїв для рухливих і нерухливих з'єднань, виникає необхідність у застосуванні більш дорогих насосів і апаратури. Тому з підвищенням тиску з'являється ряд суперечливих вимог, що впливають на економічну ефективність.

Загальні витрати з підвищенням тиску знижуються лише до деякої межі, а потім починають зростати.

Можна констатувати, що оптимальний робочий тиск – це тиск 25...30 МПа, при якому одержується найбільший економічний ефект. У сільськогосподарському машинобудуванні освоєне виробництво гідроциліндрів на робочий тиск 16...20 МПа. Тому питання підвищення робочого тиску в гідроприводах тракторного і сільськогосподарського машинобудування залишається відкритим.

Основні параметри поршневих гідроциліндрів – це рушійне зусилля на штоку P і швидкість поршня V.

Рушійне зусилля P на штоку, спрощене без урахування сил тертя, протитиску в неробочій порожнині і сил інерції, визначається за формулою:

$$P = pF\,. \qquad (5.70)$$

При цьому для поршневого гідроциліндра двосторонньої дії при подачі рідини в поршневу порожнину площа F розраховується за формулою, при подачі в штокову порожнину і для гідроциліндра $F = \pi D^2/4$ з двостороннім штоком, за умови рівності діаметрів правого і лівого штоків:

$$F = \pi(D^2 - d_1^2)/4, \tag{5.71}$$

де D і $d = d_1 = d_2$ – діаметри відповідно поршня і штока, м.

Для плунжерного гідроциліндра робоча площа – це площа перерізу штока.

$$F_{\text{шт}} = \pi d^2/4 \tag{5.72}$$

Розрахункову швидкість поршня (без урахування витоків рідини) визначають за формулою:

$$V = Q/F. \tag{5.73}$$

З наведеної формули випливає, що при однаковій подачі рідини в обидві порожнини гідроциліндра з однобічним штоком швидкість штока при надходженні рідини в штокову порожнину буде більше швидкості при подачі в поршневу порожнину у відношенні:

$$D^2/D^2 - d^2. \tag{5.74}$$

Отже, при використанні поршневих гідроциліндрів двосторонньої дії можливим шляхом вибору розмірів D і d можуть стати великі зусилля при ході штока в одному напрямку (при подачі рідини в поршневу порожнину циліндра) і великі швидкості при зворотному ході (при подачі рідини в штокову порожнину). Швидкість поршня цього гідроциліндра при подачі рідини в поршневу $V_{\text{п}}$ і штокову $V_{\text{шт}}$ порожнини визначається так:

$$V_{\text{п}} = \frac{4Q}{\pi D^2};\ V_{\text{шт}} = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2)}. \tag{5.75}$$

Таким чином, при відповідному підборі діаметрів штока і поршня можна одержувати різні рушійні зусилля і швидкості поршня. Наприклад, при $d = D/\sqrt{2}$ швидкість поршня при русі в праву сторону буде у два рази більшою, а рушійне зусилля у два рази меншим.

У випадку, коли різниця швидкостей і рушійних зусиль небажані, гідроциліндри включають за допомогою золотника за диференціальною схемою, при якій штокова порожнина з'єднана з живильною лінією.

На практиці у процесі експлуатації в результаті тертя рухливих з'єднань у гідроциліндрі виникають сили тертя $R_{\text{тер}}$ і сили інерції $R_{\text{ін}}$ частин, що рухаються, при перехідних режимах, викликаних прискоренням і уповільненням.

Крім того, у ряді випадків при розрахунках рушійного зусилля не можна зневажати протидіючою силою K, викликаною тиском у зливальній магістралі.

З урахуванням цього ефективна рушійна сила на штоку гідроциліндра визначиться за формулою:

$$P_{\text{ф}} = P - (R_{\text{тер}} + R_{\text{ін}} + K). \tag{5.76}$$

Сила тертя $R_{\text{тер}}$ у загальному вигляді визначається за формулою:

$$R_{\text{тер}} = \mu(R_{\text{н}} + G), \tag{5.77}$$

де μ – коефіцієнт тертя; G – вага рухливих частин циліндра й механізму навішення; $R_н$ – нормальна сила поршня на корпус циліндра і штока на опорну поверхню передньої кришки, H.

Сила інерції частин, що рухаються:

$$R_{\text{ін}} = -Ma, \tag{5.78}$$

де M – маса частин, що рухаються (включаючи рідину), кг; a – прискорення частин, що рухаються (включаючи рідину), м^2/с.

Цей вид навантаження особливо важливе значення має для гідроциліндрів навантажувачів і екскаваторів, де число реверсів у хвилину досягає 10, а маса рухливих частин – декількох тонн.

При рівномірному русі сила інерції $R_{\text{ін}} = 0$, відповідно до чого:

$$P_{\text{ф}} = P - (R_{\text{тер}} + K). \tag{5.79}$$

У плунжерному гідроциліндрі об’єм рідини, що витісняється, дорівнює нулю, і тому при рівномірному русі $P_{\text{ф}} = P - R_{\text{тер}}$.

Найважливіша функціональна характеристика гідроциліндра – це його загальний ККД: $\eta = \eta_{\text{мех}}\eta_{\text{о}}$. У цьому випадку $\eta_{\text{г}} \cong 1$.

Механічний ККД $\eta_{\text{мех}}$ силового гідроциліндра в залежності від різних факторів коливається від 0,81 до 0,97, у кожному конкретному випадку визначається силою тертя. Сила тертя залежить головним чином від конструкції циліндра, відхилень форми і взаємного положення поверхонь як самого гідроциліндра, так і деталей механізму навіски, в яку він вставляється. Крім того, сила тертя також залежить від якості поверхні матеріалів, що сполучаються, і ущільнень поршня і штока. Причому сила тертя нерідко досягає великих значень. Наприклад, для гідроциліндра механізму ковша екскаватора сила тертя досягає 1900 Н.

У загальному випадку:

$$\eta_{\text{мех}} = P_{\text{ф}} / P, \tag{5.80}$$

де $P_ф$ і P – відповідно фактичне й розрахункове рушійне зусилля. На практиці розрахунок загального ККД гідроциліндра вираховується за результатами даних, отриманих при стендових випробуваннях.

У циліндрах, поршні яких ущільнені гумовими чи шкіряними манжетами або гумовими кільцями, виток рідини практично відсутній, тому об’ємний ККД $\eta_{\text{о}}$ також близький до 1.

Вітчизняною промисловістю виробляються гідроциліндри в трьох виконаннях, що позначаються цифрами 2, 3, 4 (табл. 5.23).

Таблиця 5.23

Характеристика поршневих гідроциліндрів

Виконання	Характеристика	
	Номінальний тиск, МПа	Внутрішній діаметр гідроциліндра, мм
2	14, 20, 25	55, 75, 90, 100, 110
3	14, 20, 25	50, 60, 63, 80, 100, 110
4	14, 20, 25	63, 80 і 100

Приклад умовної позначки гідроциліндра: Ц-80-200-4; цифра 80 позначає діаметр поршня, 200 – хід поршня, а 4 – виконання.

Порядок виконання роботи

1. Зняти заміри плеч начіпного знаряддя трактора, тобто відстань від осі повороту до гідроциліндра, і відстань від осі повороту до центра ваги знаряддя, дані занести в таблицю 5.24.

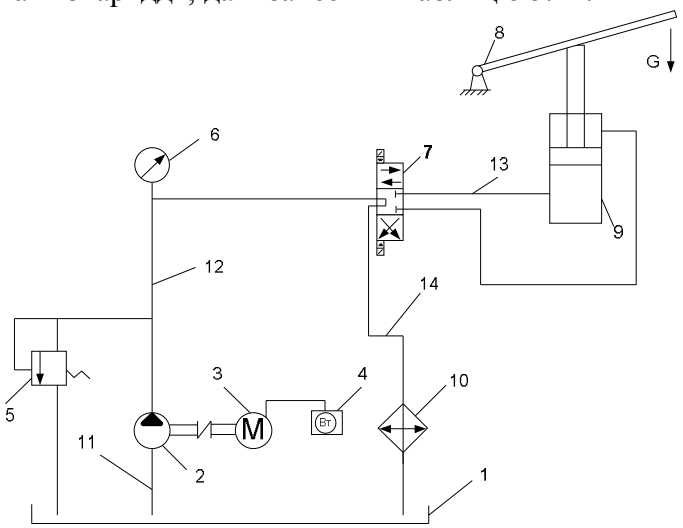


Рис. 5.16. Схема гідравлічна принципова лабораторної установки 1 – гідробак; 2 – гідронасос НШ-32 УК-3; 3 – електродвигун, 4 – ватметр; 5 – запобіжний клапан; 6 – манометр; 7 – гідророзподільник; 8 – знаряддя; 9 – гідроциліндр; 10 – охолоджувач; 11,12,13,14 – гідролінії (відповідно усмоктувальна, напірна, виконавча, зливна).

2. Включити лабораторну установку в роботу.

Зняти показання ватметра и манометра, заміряти хід поршня тобто, висоту підняття знаряддя та повний час робочого циклу, занести дані в таблицю 5.24.

3. Занести дані в таблицю 5.24 і виконати розрахунки згідно методики обробки результатів дослідів.

Методика обробки результатів дослідів

1. Визначити швидкість підняття знаряддя по формулі:

$$V = \frac{H}{t} \tag{5.81}$$

де H– хід поршня (висота підняття), м;
t – час робочого циклу, с.

2. Визначити зусилля на штоці гідро циліндра по формулі:

$$F = \frac{G \cdot L_2}{L_1}, \tag{5.82}$$

де G – вага знаряддя, м;
L_1 – відстань від вісі до гідроциліндру, м,
L_2 – відстань від осі до центра ваги знаряддя, м.

3. Визначити корисну потужність по формулі:

$$N_к = F \cdot V \tag{5.83}$$

де F – зусилля на штоці гідроциліндра, Н;
V – швидкість підняття знаряддя, м/с

4. Визначити ККД гідроприводу по формулі:

$$\eta = \frac{N_с}{N_к} \tag{5.84}$$

де $N_с$– споживана потужність гідроприводу, кВт
$N_с$ – корисна потужність гідроприводу, кВт

Одержані розрахункові та експериментальні дані заносять у таблицю 5.24.

Таблиця 5.24

Дані про результати замірів та розрахунки показників роботи об'ємного гідроприводу зворотно-поступальної дії

Показники	**Результати вимірювань та розрахунків**			
	Повторності			Середнє значення
	1	2	3	
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Показання манометра, $P_м$, МПа				
Споживана потужність (показання ватметра), $N_с$, Вт				
Хід поршня, (висота підняття знаряддя), H, м				

Продовження таблиці 5.24

1	2	3	4	5
Маса знаряддя, m, кг				
Відстань від вісі до центра ваги знаряддя L_2, м				
Відстань від вісі до гідроциліндра L_1, м				
Швидкість підняття знаряддя, V, м/с				
Час робочого циклу, t, с				
Зусилля на штоці гідроциліндра, F, кН				
Корисна потужність, $N_к$, Вт				
ККД гідроприводу, η, %				

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

До роботи допускаються студенти, які прослухали і засвоїли інструктаж з охорон праці і вивчили методику проведення роботи. Верхній одяг забороняється класти на робоче місце.

Перед початком роботи:

- перевірити наявність заземлення та освітлення в аудиторії;
- перевірити готовність студентів до проведення лабораторно-практичних робіт.

Під час роботи:

- необхідно виконувати тільки ту роботу, яка приведена в методичних вказівках і задається викладачем;
- при переході на інше робоче місце студент зобов'язаний ознайомитись з особливостями вимог безпеки праці на даному робочому місці;
- забороняється запускати в роботу лабораторну установку або машину без дозволу і присутності викладача або учбового майстра;
- розбирання або складання машин і обладнання виконувати тільки справним інструментом і в присутності викладача або учбового майстра;
- про запуск в роботу лабораторної установки, або машини, або устаткування необхідно повідомити присутніх сигналом «УВАГА!» (голосом).

В аварійних ситуаціях:

- в аварійних ситуаціях при наявності запаху горілої гуми і диму, невідомого звуку, іскріння в електричних шафах і на провідниках терміново вимкнути установку і повідомити викладача.

Після роботи:

- студент зобов'язаний по закінченні заняття приорати і привести в порядок робоче місце. Черговий по лабораторії повинен здати методичні вказівки, інструменти та прилади старшому лаборанту або учбовому майстру.

Вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, в аварійній ситуації, по закінченню роботи приведені в методичних вказівках на кожному робочому місці.

Звіт по роботі

1. Вивчити теоретичну частину роботи
2. Зробити ескіз лабораторної установки.
3. Виконати розрахунки і заповнити таблицю.
4. Знати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що називається об'ємним гідроприводом?
2. Принцип дії об'ємного гідроприводу?
3. Переваги і недоліки об'ємного гідроприводу?
4. Який гідропривод називається гідроприводом зворотно-поступальної дії?
5. Що таке механічний ККД?
6. Що таке об'ємний ККД?
7. Що таке повний ККД гідроприводу?
8. Які параметри необхідно знати, щоб знайти зусилля на штоці гідроциліндра?
9. Що таке споживана потужність гідроприводу?
10. Що таке корисна потужність гідроприводу?

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 207-221, с. 296-336).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 170-182, 247-282).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 177-202).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 141-166).
5. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 174-190).

Література до розділу

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с.
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
8. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.В. Некрасов; – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
9. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення / В.О. Орлов, А.М. Зощук; – Рівне, 2002. – 203 с.
10. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація / В.С. Кравченко; – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
11. Волошин М.М. Теоретичні основи методики навчання технічних дисциплін у вищому закладі освіти аграрно-технічного профілю: Монографія. Вид. 2-е / За ред. Дьоміна А.І., Мозирського В.В. – Кам'янець-Подільський: Абетка НОВА, 2005. – 336 с.
12. Алексеев Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев; – М.: ИНФРА – М, 2004. – 154 с.
13. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський; – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
14. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В. Яковлева; – М.: Колос, 1992. – 287 с.
15. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров – К.: – Вища школа, 1987. – 208 с.
16. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 20 09. – 1011 с. – (Словники України).
18. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / С.М. Срібнюк; – Київ Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
19. Сайт http://www.techgidravlika.ru
20. Сайт http://www.twirpx.com
21. Сайт www.hydraulics.at.ua

Розділ 6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

6.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Учбові задачі з гідравліки як складовий елемент навчального процесу повинні виконувати принаймні три функції:

- забезпечувати закріплення теоретичного матеріалу та розвивати уміння застосовувати його для розв'язування конкретних інженерних задач;
- дозволяти проводити об'єктивну оцінку рівня знань студентів, виявляти питання, що залишились для них незрозумілими або погано засвоєними;
- акцентувати увагу до предмету, підвищувати зацікавленість студентів у його вивченні.

Виходячи з цього, учбові задачі повинні задовольняти таким основним вимогам:

- відповідати робочій програмі, структурі дисципліни та логічній послідовності викладання теоретичних положень – іншими словами, задачі повинні охоплювати лише той круг питань, які вивчаються за програмою; кількість занять для розв'язування задач та їх рівень складності повинні бути пропорційні часу, відведеному для вивчення даної теми (розділу); розгляд задач до висвітлення відповідного теоретичного матеріалу не припускається;
- чітко ілюструвати практичне застосування законів гідравліки або їх прояв у природі тобто умова задачі не може бути абстрактною, вона повинна бути пов'язана з деяким технічним об'єктом або його елементом;
- розширювати політехнічний кругозір студентів, відображати питання виробництва у тій галузі, для якої учбовий заклад готує спеціалістів – повинен існувати міжпредметний зв'язок, при якому закони гідравліки «проектуються» на будову та принцип роботи машин, пристроїв, гідравлічних систем, що широко застосовуються у даній галузі і вивчаються студентами (учнями) в інших спеціальних дисциплінах.
- задачі повинні бути доступними для розв'язування на основі тієї інформації, з якою студенти вже ознайомлені, передбачати конкретну методику розв'язування та відповідь і надавати можливість для конкретної оцінки знань.

Умовна класифікація задач наведена на схемі. Слід підкреслити, що наведена класифікація відображає характерні особливості задач і не означає їх однозначної належності до тієї чи іншої групи.

Класична задача має типову загальновідому форму побудови: наводяться загальні вихідні умови, числові дані, при необхідності – пояснювальна схема і ставиться безпосередньо сама задача.

Логічна задача призначена для перевірки розуміння студентами суті того чи іншого закону або явища. При цьому вихідні числові дані, як правило, не задаються, а задача формулюється лише у загальному вигляді. Наприклад: *чому при спробі заглиблення у ґрунт екскаваторного ковша у його закритому положенні розрив корпусних деталей (гідроциліндра, розподільника) більш ймовірний, чим розрив гумових рукавів високого тиску?* Відповісти на це питання-задачу студент може лише тоді, коли розуміє суть гідравлічного удару і знає, від чого залежить підвищення тиску та швидкість ударної хвилі. На відміну від звичайного контрольного запитання, при розв'язуванні цієї задачі необхідно пов'язати між собою дві формули, обґрунтувавши таким чином правильну відповідь. Логічні задачі бажано завершувати постановкою питання: як можна використати розглянуте явище або ж, навпаки, уникнути його виникнення. Задачі розглянутого типу, як правило, компактні за формулюванням, привертають увагу студентів і тому їх доцільно включати у матеріали лекцій (уроків нових знань), а також застосовувати на практичних і лабораторних заняттях для акцентування того чи іншого питання. При цьому частину з них можна ставити у жартівливій формі, наприклад: *чому від кинутої у воду цеглини (яка має прямокутний переріз) сліди розходяться по колу?*

Задачі-тести відрізняються перш за все тим, що, крім традиційної умови у них наводяться декілька варіантів відповідей, з яких лише одна є правильною. При тестуванні студенту задається не одна, а декілька задач, причому вони можуть стосуватись різних тем. Кожна відповідь оцінюється певною кількістю балів або відміткою про зарахування. Зрозуміло, що за кожну із задач можна одержати або встановлену максимальну кількість балів, або ж нуль балів; проміжна оцінка неможлива. Слід зазначити, що позитивну оцінку у балах для різних задач припускається встановлювати не однаковою, а диференціювати в залежності від складності задачі або важливості питання. Загальну оцінку виводять за підсумком оцінок за правильні відповіді. При складанні тестів слід дотримуватись таких основних вимог:

- задачі не повинні бути занадто об'ємними (на одну-три дії); їх формулювання має передбачати одну конкретну відповідь;

- наведені варіанти відповідей повинні бути правдоподібними, однозначними і такими, що виключають одна одну;
- бажано, щоби різні задачі у тесті не були між собою пов'язані, тобто щоби результати попередньої задачі не були вихідними даними для наступної;
- час для відповідей слід обов'язково обмежувати або ж в цілому для тестового завдання, або ж для кожної із задач окремо.

Тестові завдання надають можливість для оперативної перевірки знань, причому ця процедура суттєво прискорюється за допомогою найпростіших пристроїв (наприклад, перевірочних таблиць) або автоматизується (при застосуванні персонального комп'ютера). Проте необхідно пам'ятати, що тестування не дозволяє провести повну, об'єктивну оцінку глибини знань. Крім «фактору везучості», притаманного такій системі перевірки, має місце ще один принциповий недолік – вузька направленість і поверховість кожної задачі разом з обмеженням у часі для її розв'язування обумовлюють те, що перевіряється не стільки розуміння суті закону та вміння його використовувати, скільки пам'ять студента і швидкість його «інтелектуальної» реакції.

Елементарні задачі передбачають розв'язок за одну-три дії; їх мета – перевірити обізнаність студента з тим чи іншим законом.

Задачі середньої складності розв'язуються за 3-6 дій; таким чином перевіряється розуміння взаємозв'язку між різними законами та закономірностями гідравліки. Для розв'язування таких задач доцільно передбачити необхідність використання закономірностей інших наук – теоретичної механіки, опору матеріалів та ін.

Для розв'язування задач підвищеної складності кількість дій (етапів) не регламентується, вимагається чітке розуміння законів гідравліки, природи їх дії. Застосування формул і теоретичних положень з інших споріднених дисциплін у цьому випадку обов'язкове.

Комплексна задача – це декілька взаємопов'язаних між собою задач з різних тем. Якщо така комплексна задача стосується розрахунку одного технічного об'єкту або системи і супроводжується розробкою графічних матеріалів (графіків, діаграм, епюр, схем або робочих креслень) то її вважають розрахунково-графічною роботою. *Наприклад, розрахунок системи водопостачання тваринницької ферми є комплексною задачею, яка у свою чергу складається з розрахунку витрат води, вибору діаметрів труб, визначенні об'єму та висоти водонапірної башти, обґрунтуванню параметрів і режимів роботи насосної станції. Оскільки ці розрахунки супроводжуються побудовою графіка водоспоживання, а також спільної характеристики магістралі та насос-*

ної станції, то таку комплексну задачу слід вважати розрахунково-графічною роботою

Типові показові задачі призначені для колективного розгляду під час аудиторних занять. Їх основне призначення – засвоєння студентами основних методичних прийомів розв'язування. З цією метою доцільно підбирати у якості типових показових задачі класичні елементарні або середньої складності. Одночасно з розв'язуванням задачі бажано проводити опитування, залучаючи таким чином до процесу пошуку рішення якнайбільше студентів.

Групові задачі, як правило, являють собою комплексні задачі, але формулюються вони таким чином, щоби кожний з студентів групи або ланки займався розв'язуванням своєї частини. Тому складати подібні задачі слід так, щоби результати однієї з частин не на всі 100% були вихідними даними для інших частин.

Незалежно від типу задачі, її умова повинна формулюватись гранично чітко, вихідні дані мають бути повними і зрозумілими. Щодо довідкових даних про різні коефіцієнти, які входять до розрахункових формул, то їх включення у вихідні дані залежить від рівня складності задачі, оскільки вже сама їх наявність може «підказати» хід розв'язування. *Наприклад, ставиться задача знайти необхідний об'єм розширювального бачка системи опалення, якщо вона заповнена певною кількістю води (припустимо, V_0 = 1000 л), яка нагрівається від початкової температури 10° С до 80° С. Включення до вихідних даних коефіцієнту температурного розширення $\beta_t = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta t)$ у даному випадку по суті є прямою підказкою і понижує рівень складності задачі до елементарного.* Обсяг вихідних даних залежить ще й від того, чи дозволяється студентам (учням) користуватись літературою при розв'язуванні задачі. Бажано, щоби у всіх випадках (крім екзамену або заліку) така можливість створювалась, для чого у лабораторії гідравліки слід мати власну «бібліотеку» підручників і довідників, або, принаймні, плакати з основними розрахунковими формулами та довідковими даними. Необхідно також враховувати, що у багатьох випадках базові знання основ математики та фізики у студентів (учнів) досить слабкі, і тому варто розробити стенд або плакати з основними математичними формулами, одиницями виміру та ін. Дозвіл на використання підручників для розв'язування задач розвиває в учнів навички користування спеціальною літературою, сприяє закріпленню пройденого матеріалу завдяки зоровій пам'яті, стимулює до настійного пошуку рішення. З цією ж метою, для того, щоби ще більше «завести» учнів, рекомендується навіть підказати, за скільки дій розв'язується задача і

скільки часу на неї витратили попередники. Але числове значення правильної відповіді називати не припускається.

Ще одним важливим моментом при постановці та розв'язуванні задач є вимога постійного контролю за одиницями виміру. Студенти повинні не лише знати розрахункові формули і розуміти суть описаної ними закономірності, але й вміти точно та швидко застосовувати різні системи одиниць виміру і проводити відповідні перетворення величин. Для цього вихідні величини в умові задачі слід наводити у різних системах одиниць, супроводжувати розрахунки перевіркою за одиницями виміру, ставити питання про переведення кінцевого результату розрахунків з однієї системи виміру в інші.

Крім зазначеного, при розв'язуванні задач викладач зобов'язаний привчати студентів до правильного оформлення текстового і графічного матеріалу згідно з вимогами нормативної документації.

6.2. Методичні вказівки для проведення практичних занять

6.2.1. Практичне заняття № 1. Основні фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск

Тема: Основні фізичні властивості рідин. Гідростатичний тиск

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі рідина, її основні фізичні властивості і гідростатичний тиск

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 3-33).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 3-30).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 3-17).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 3-22).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 5-25).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 4-15).

7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 3-53).

Теоретична частина

Основні фізичні властивості рідини:

1. *Питома маса (густина)* $\rho \left[\frac{кг}{м^3} \right]$ – визначається для однорідної рідини відношенням маси m до її об'єму :

$$\rho = \frac{m}{V}. \tag{6.1}$$

Густина прісної води при температурі $T = 4^\circ C$ $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$.

2. *Питома вага* $\gamma \left[\frac{Н}{м^3} \right]$ – відношення ваги або сили тяжіння рідини G до її об'єму V:

$$\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{н}{м^3}; \frac{кгс}{м^3} \right]. \tag{6.2}$$

Питома вага і питома маса зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g. \tag{6.3}$$

де g – прискорення вільного падіння.

3. *Об'ємне стиснення* – це зміна об'єму V і питомої маси ρ рідини зі зміною тиску. Об'єм V_p і питому масу ρ_p зі зміною тиску Δp обчислюють за формулами:

$$V_p = V_0 \left(1 - \beta_p \cdot \Delta p\right), \tag{6.4}$$

$$\rho_p = \frac{\rho_0}{1 - \beta_p \cdot \Delta p}. \tag{6.5}$$

де V_0, ρ_0 – об'єм і питома маса за початкових умов(до стиснення); $\beta_p \left[Па^{-1} \right]$ – *об'ємний коефіцієнт стиснення*, тобто відносна зміна об'єму при зміні одиниці тиску:

$$\beta_p = \frac{\Delta V}{V_0} \frac{1}{\Delta p}. \tag{6.6}$$

4. *Пружність* – це властивість рідини поновлювати свій об'єм після припинення дії сил. Пружність характеризує *об'ємний модуль пружності* $E \left[Па \right]$ – величина обернена до об'ємного коефіцієнта стиснення:

$$E = \frac{1}{\beta_p}. \tag{6.7}$$

Об'ємний модуль пружності входить в узагальнений закон Гука:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{\Delta p}{E}. \tag{6.8}$$

Варто зазначити, що формули (6.4)-(6.6) можна отримати з закону Гука з врахуванням формули (6.7).

Об'ємний модуль пружності води $E = 2 \cdot 10^3\ МПа$, тобто зі зміною тиску на $0{,}1\ МПа$ (тобто на одну атмосферу) об'єм води зміниться на 1/20000 частини. Так як приблизно таке ж значення об'ємного модулю пружності мають інші рідини, то їх можна вважати практично нестисливими. Стисливість рідин слід враховувати лише при високих тисках, великих об'ємах та у випадках гідравлічного удару.

5. *Стисливість газів* на відміну від рідин має велике значення. Для ідеального газу (таким можна вважати газ при тиску до $10\ МПа$) діє закон Клапейрона-Менделєєва:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \tag{6.9}$$

де p – тиск; V – об'єм; m – маса; T – абсолютна температура; $R\ \left[\frac{Дж}{моль \cdot К}\right]$ – універсальна газова стала, $M\ \left[\frac{кг}{моль}\right]$ – молярна маса, тобто маса одного моля речовини.

Формулу (6.9) можна записати і наступним чином:

$$pV = mR_г T. \tag{6.10}$$

де $R_г = \frac{R}{M}\ \left[\frac{Дж}{кг \cdot К}\right]$ – газова стала, значення якої для повітря $R_г = 287\ \frac{Дж}{кг \cdot К}$, для природного газу $R_г = 520\ \frac{Дж}{кг \cdot К}$.

Підставивши формулу (6.1) в формулу (6.10) отримаємо:

$$p = \rho R_г T \qquad \rho = \frac{p}{R_г T} \tag{6.11}$$

6. *Температурне розширення* – це зміна об'єму і питомої маси рідини зі зміною температури:

$$V_t = V_0(1 + \beta_t \Delta t), \tag{6.12}$$

$$\rho_t = \frac{\rho_t}{1 + \beta_t \Delta t}, \tag{6.13}$$

де V_0, ρ_0 – об'єм і питома маса рідини за початкових умов (до процесу розширення); V_t, ρ_t – об'єм і питома маса рідини зі зміною температури на Δt; β_t – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення – рівний відносній зміні об'єму при зміні температури на 1°С:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \tag{6.14}$$

7. *В'язкістю* рідини називається властивість реальної рідини чинити опір відносному переміщенню (зрушенню) окремих її часток або шарів при дії зовнішніх сил. Розрізняють динамічну і кінематичну в'язкість. Перша входить в закон рідинного тертя Ньютона, що виражає дотичне напруження τ через поперечний градієнт швидкості $\frac{du}{dy}$:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \tag{6.15}$$

де $\mu \left[Н \frac{с}{м^2} \text{ або } Па \cdot с \right]$ –*коефіцієнт динамічної в'язкості*.

Кінематична в'язкість $\nu \left[\frac{м^2}{с} \right]$ зв'язана з динамічною співвідношенням

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \tag{6.16}$$

На в'язкість суттєво впливає температура. Зі збільшенням температури в'язкість рідин зменшується а газів зростає.

У гідравліці для теоретичних міркувань та висновків Л. Ейлер запропонував поняття ідеальної рідини – умовно нев'язкої рідини, яка не стискається і не розширюється. Насправді ми маємо справу з реальною рідиною, тобто рідиною з усіма притаманними їй властивостями, що існує.

8. *Випаровуваність рідини* характеризується тиском насиченої пари і залежить від температури.

Тиск насиченої пари – це той абсолютний тиск, при якому рідина закипає при даній температурі. Тобто найменший абсолютний тиск, при якому рідина знаходиться в рідкому стані, рівний тиску насиченої пари $p_{н.п.}$.

Гідростатичний тиск

Гідростатика – це розділ гідромеханіки, у якому вивчаються закони рівноваги рідини й застосування цих законів для рішення практичних задач.

Гідростатичним тиском у точці називається напруга стиску в ній, що дорівнює:

$$p = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \tag{6.17}$$

де ΔS – елементарна площина, що містить дану точку; ΔP – нормальна стискаюча сила, що діє на цю площину.

Гідростатичний тиск спрямований по нормалі до площини, у даній точці в усіх напрямках однаковий, і залежить від положення точки в рідині, що перебуває в спокої.

Одиницею тиску в СІ є паскаль (*Па*):

$$1\ Па = 1\ Н/м^2 = 10^{-3}\ кПа = 10^{-6}\ МПа.$$

У додатку *Б* наведено інші одиниці виміру тиску, що зустрічаються на практиці, та їх співвідношення.

Рівновага рідини описується диференціальними рівняннями Ейлера, у результаті перетворення яких може бути отримане основне рівняння рівноваги в диференціальній формі:

$$dp = \rho \cdot \left(X \cdot dx + Y \cdot dy + Z \cdot dz\right), \tag{6.18}$$

де dp – повний диференціал тиску; $X,\ Y,\ Z$ – проекції прискорення масових сил на координатні осі; $dx,\ dy,\ dz$ – диференціали координат.

Якщо на рідину діє тільки сила ваги й вісь спрямована вертикально нагору, то $X = 0;\ Y = 0;\ Z = -g$, і після інтегрування рівняння (8.18) одержуємо основне рівняння гідростатики:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + z = const, \tag{6.19}$$

де p – тиск у точці, розташованій на висоті z від горизонтальної площини порівняння *0-0* (рис. 6.1).

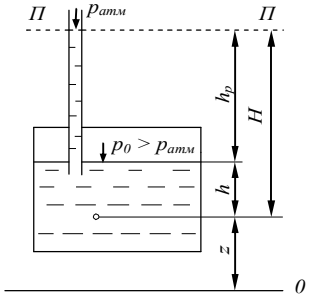


Рис. 6.1. Схема до визначення (абсолютного) гідростатичного тиску у будь-якій точці рідини

Повний (абсолютний) гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h \,, \tag{6.20}$$

де p_0 – тиск на вільній поверхні рідини; $\rho \cdot g \cdot h$ – тиск, створюваний стовпом рідини висотою h (h – глибина занурення точки).

Поверхні рівня (поверхні рівного тиску) у розглянутому випадку являють собою горизонтальні поверхні. Дійсно, з рівняння (6.18) при $p = const$, $dp = 0$, $X = 0$; $Y = 0$; $Z = -g$, одержуємо $z = const$.

Надлишковим або манометричним тиском називається різниця між абсолютним й атмосферним тиском $p_{атм}$ (рис. 6.2):

$$p_{ман} = p_{абс.C} - p_{атм} \,. \tag{6.21}$$

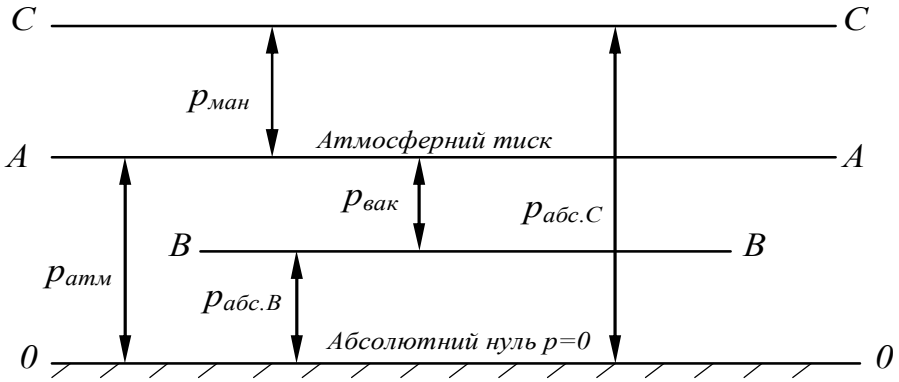


Рис. 6.2. Схема до обґрунтування видів тиску

Вакуум – це нестача тиску до атмосферного:

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс.B} \,. \tag{6.22}$$

Величини:

$$h_p = \frac{p_{ман}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{абс.C} - p_{атм}}{\rho \cdot g} \,, \tag{6.23}$$

$$h_{вак} = \frac{p_{вак}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{атм} - p_{абс.B}}{\rho \cdot g} \,, \tag{6.24}$$

називаються відповідно п'єзометричною і вакуумметричною висотами.

Поверхня *П-П*, у всіх точках якої тиск дорівнює атмосферному, називається п'єзометричною поверхнею. Якщо резервуар відкритий, то п'єзометрична поверхня збігається з вільною поверхнею рідини. Для закритого резервуару п'єзометрична поверхня може розташовуватися й вище вільної поверхні рідини (при $p_0 > p_{атм}$) і нижче її (при $p_0 < p_{атм}$). Надлишковий (манометричний) тиск у будь-якій точці рідини:

$$p_{ман} = \rho \cdot g \cdot H \,, \tag{6.25}$$

де H – глибина занурення точки під п'єзометричною поверхнею.

Порядок виконання роботи

1. При розв'язуванні задач рекомендується застосовувати форму скороченого запису умови задачі і її розв'язку. Дана форма є універсальною, застосовується при вирішенні задач з фізики і хімії в школі, полегшує студентам розуміння задачі, формує в них системний підхід до розв'язку задач.

2. При вирішенні задач на тему «Рідина, її основні властивості» перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як *питома маса і вага пружність, температурне розширення, в'язкість*, *випаровуваність і інші,* знати основні формули, наведенні в теоретичній частині.

3. При вирішенні задач на тему «Гідростатичний тиск» перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як *тиск, тиск в точці, одиниці вимірювання тиску*, *види тиску, п'єзометрична і вакуумметрична висота,* знати основні формули, наведенні в теоретичній частині.

4. Необхідно чітко знати одиниці вимірювання величин, що характеризують основні властивості рідини, вміти переводити несистемні одиниці виміру в систему СІ.

5. При вирішенні задач на стиснення і розширення рідини необхідно чітко усвідомити фізичний зміст об'ємного коефіцієнту стиснення і температурного коефіцієнту об'ємного розширення рідини, зокрема того, що початковий об'єм – це об'єм до початку процесу стиснення чи температурного розширення.

6. Необхідно твердо розрізняти тиск абсолютний, надлишковий і вакуум і обов'язково знати зв'язок між тиском, питомою вагою і висотою, що відповідають цьому тиску.

Приклади розв'язку задач

Приклад 1. 5 л нафти важить 4,25 *кгс.* Визначте її питому масу і питому вагу.

Розв'язання:

Дано:

$V = 5\ л = 5 \cdot 10^{-3}\ м^3$

$G = 4,25\ кгс \approx 41,7\ Н$

$g = 9,41\ \frac{м}{с^2}$

$\rho - ?$

$\gamma - ?$

1. Визначимо питому вагу за формулою:

$$\gamma = \frac{G}{V};\ \gamma = \frac{41,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 8340\ \frac{Н}{м^3};$$

2. Визначимо питому масу з формули:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g};\ \rho = \frac{8340}{9,41} \approx 850,2\ \frac{кг}{м^3}.$$

Відповідь: $850,2\ \frac{кг}{м^3};\ 8340\ \frac{Н}{м^3}$.

Приклад 2. До 5 л антифризу ($\rho_1 = 800\ \frac{кг}{м^3}$) долили 5,5 л води, щоб отримати 10,5 л суміші. Визначте питому масу і вагу суміші.

Розв'язання:

Дано:

$\rho_1 = 800\ \frac{кг}{м^3}$

$V_1 = 5\ л = 5 \cdot 10^{-3}\ м^3$

$V_2 = 5{,}5\ л = 5{,}5 \cdot 10^{-3}\ м^3$

$V = 10{,}5\ л = 10{,}5 \cdot 10^{-3}\ м$

$\rho_2 = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 9{,}41\ \frac{м}{с^2}$

$\rho - ?$

$\gamma - ?$

1. Визначимо питому масу суміші за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V};$$

$$\rho = \frac{800 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 1000 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-3}}{10{,}5 \cdot 10^{-3}} = 904{,}76.$$

2. Визначимо питому вагу суміші за формулою:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g;\ \gamma = 904{,}76 \cdot 9{,}81 \approx 8875{,}71\ \frac{Н}{м^3}.$$

Відповідь: $904{,}76\ \frac{кг}{м^3};\ 8875{,}71\ \frac{Н}{м^3}$.

Приклад 3. Визначте об'єм води, який треба додатково подати в трубопровід діаметром 500 *мм* і довжиною 1 *км*, щоб підвищити тиск до 5 *МПа*. Трубопровід підготовлений до гідравлічних випробувань і заповнений водою при атмосферному тиску. Деформацію трубопроводу до уваги не брати.

Розв'язання:

Дано:

$d = 500\ мм = 0{,}5\ м$

$l = 1\ км = 10^3\ м$

$p_2 = 5\ МПа = 5 \cdot 10^6\ Па$

$p_1 = p_{атм} = 98100\ Па$

$\beta_p = 5 \cdot 10^{-10}\ Па^{-1}$

$\Delta V - ?$

1. Об'єм, який необхідно подати в трубопровід рівний різниці початкового V_1 (об'єму до стиснення) і кінцевого V_2 об'ємів:

$$\Delta V = V_1 - V_2.$$

2. Об'єм V_2 рівний об'єму трубопроводу:

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} l.$$

3. Об'єм V_1 знаходимо з формули

$$V_2 = V_1(1 - \beta_p \Delta p),$$

де $\Delta p = p_2 - p_1$.

$$V_2 = \frac{V_1}{1 - \beta_p (p_2 - p_1)}.$$

4. Отримаємо:

$$\Delta V = \frac{\pi d^2 l}{4}\frac{\beta_p(p_2 - p_1)}{1-\beta_p(p_2 - p_1)},$$

$$\Delta V = \frac{3{,}14\cdot 0{,}5^2\cdot 10^3}{4}\frac{5\cdot 10^{-10}\cdot(5\cdot 10^6 - 98100)}{1-5\cdot 10^{-10}\cdot(5\cdot 10^6 - 98100)} \approx 0{,}482 \ \ м^3.$$

Відповідь: $0{,}482 \ \ м^3$.

Приклад 4. Обчисліть різницю тиску у резервуарах *A* і *B* (рис.6.3), заповнених водою. Різниця рівнів ртуті в диференціальному манометрі $h = 50\,мм$. Питома маса ртуті $\rho_2 = 13000\frac{кг}{м^3}$, води $\rho_1 = 1000\frac{кг}{м^3}$.

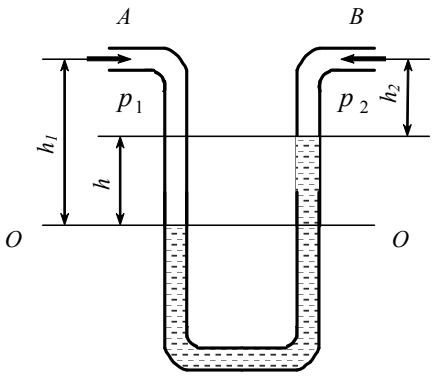


Рис. 6.3 Схема до прикладу 4

Розв'язання:

Дано:
$h = 50\ мм = 0{,}05\ м$
$\rho_1 = 1000\frac{кг}{м^3}$
$\rho_2 = 13600\frac{кг}{м^3}$
$\Delta p - ?$

1. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня *O-O* для лівого коліна :
$$p = p_1 + \rho_1 g h_1 . \qquad (1)$$
2. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня *O-O* для правого коліна :
$$p = p_2 + \rho_1 g h_2 + \rho_2 g h . \qquad (2)$$
3. Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2) отримаємо:
$$p_1 + \rho_1 g h_1 = p_2 + \rho_1 g h_2 + \rho_2 g h ;$$

Звідки

$$\Delta p = p_1 - p_2 = gh(\rho_2 - \rho_1);$$

$$\Delta p = 9{,}81\cdot 0{,}05\cdot(13600 - 1000) = 6180{,}3 \quad Па$$

Відповідь: $6180{,}3\,Па$.

Приклад 5. Закритий резервуар заповнено водою до висоти $h_2 = 50\ см$, а вище – до висоти $h_1 = 30\ см$, – маслом з питомою масою $800\ \frac{кг}{м^3}$.

Визначити повний тиск на поверхні масла, якщо рівень ртуті в трубці (рис. 6.4) нижчий від рівня масла в резервуарі на $h = 40\ см$.

Розв'язання:

Дано:

$h_2 = 50\ см = 0,5\ м$

$h_1 = 30\ см = 0,3\ м$

$h = 40\ см = 0,4\ м$

$\rho_1 = 800\ \frac{кг}{м^3}$

$\rho_2 = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$\rho_3 = 13600\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 9,81\ \frac{м}{с^2}$

$p_{атм} = 98000\ Па$

$p_{абс} - ?$

1. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня *O-O* для баку, заповненого водою і маслом:

$$p = p_{абс} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 . \qquad (1)$$

2. Запишемо основне рівняння гідростатики щодо нижнього рівня *O-O* для трубки з ртуттю:

$$p = p_{атм} + \rho_3 g h' ; \qquad (2)$$

де $h' = h_1 + h_2 - h$.

3. Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2) отримаємо:

$$p_{абс} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = p_{атм} + \rho_3 g (h_1 + h_2 - h)$$

Звідки

$$p_0 = p_{атм} + \rho_3 g (h_1 + h_2 - h) - \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2 ;$$

$$p_0 = 98100 + 13600(0,3 + 0,5 - 0,4) - 800 \cdot 9,81 \cdot 0,3 -$$

$$-1000 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 144207 \quad Па$$

Відповідь: 144207 *Па*.

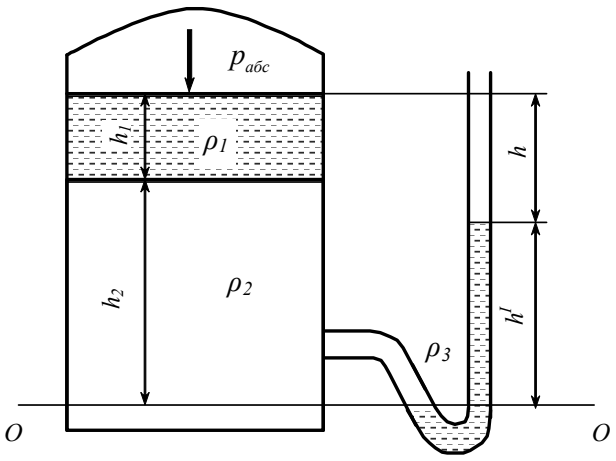


Рис. 6.4 Схема до прикладу 5

Приклад 6. Визначити надлишковий тиск в трубі *B*, якщо покази манометра $p_м = 0,025\ МПа$, з'єднувальна трубка заповнена водою і повітрям, як показано на рисунку 6.5, причому $H_1 = 0,5\ м$, $H_2 = 3\ м$, $H_3 = 5\ м$ Як зміняться покази манометра, якщо при тому ж тиску в трубі всю з'єднувальну трубку заповнити водою.

Розв'язання:

Дано:

$p_м = 0,025\ МПа = 25000\ Па$

$H_1 = 0,5\ м$

$H_2 = 3\ м$

$H_3 = 5\ м$

$\rho = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 9,81\ \frac{м}{с^2}$

$p_B - ?$

$p_м - ?$

1. Визначимо тиск в точці *1* рідини:

$$p_1 = p_м - \rho g H_1;$$

2. Тиск з точки *1* передається в точку *2* $p_2 = p_1$. 3. Тиск в трубі *B* визначимо з основного рівняння гідростатики:

$$p_B = p_2 + \rho g H_2 = p_м + \rho g (H_2 - H_1);$$

$$p_B = 25000 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (3 - 0,5) =$$

$$= 49525 \quad Па \approx 0,05 \quad МПа$$

3. Визначимо тиск $p_м$ при випущеному повітрі:

$$p_м = p_B - \rho g H_3;$$

$$p_м = 49525 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 = 475\ Па$$

Відповідь: $0,05\ МПа,\quad 475\ Па.$

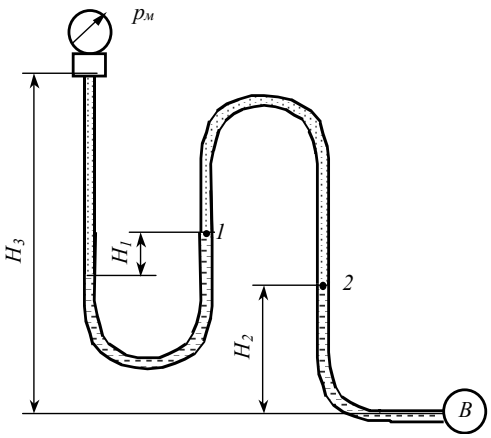


Рис. 6.5 Схема до прикладу 6

Задачі для самостійного розв'язування

1. У системі опалювання (котел, радіатор і трубопроводи) будинку вміщується 0,4 $м^3$ води. Скільки води увійде додатково в систему при охолодженні від 90 до 20°С?

2. В баку міститься 40 *л* бензину автомобільного при температурі 0°С. На скільки збільшиться об'єм бензину при підвищенні температури до 20°С.
3. Масло міститься під атмосферним тиском у масивному товстостінному циліндрі з внутрішнім діаметром 20 *мм* і довжиною 5 *м*. Визначте зміну об'єму масла з підвищенням тиску в циліндрі до 20 *МПа*. Модуль пружності масла $1{,}33 \cdot 10^6$ *кПа*. Деформацією стінок і атмосферним тиском знехтувати.
4. З метою перевірки герметичності підземного трубопроводу довжиною 500 *м* і діаметром 100 *мм* ручним поршневим насосом накачують у нього воду до надлишкового тиску 1 *МПа*. Вважаючи трубопровід абсолютно жорстким, обчисліть надлишковий об'єм води, який потрібно подати в трубопровід.
5. Вода міститься під атмосферним тиском у масивному товстостінному циліндрі з внутрішнім діаметром 40 *мм* і довжиною 3 *м*. Визначте зміну об'єму води з підвищенням тиску в циліндрі до 20 *МПа*. Модуль пружності води $2 \cdot 10^9$ *Па*.
6. Каністра заповнена бензином нагрілася на сонці до температури 50°С. На стільки підвищився б тиск в середині каністри, якби вона була абсолютно жорсткою? Початкова температура бензину 20°. Модуль об'ємної пружності рівний E = 1300 *МПа*, температурний коефіцієнт об'ємного розширення $8 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.
7. Визначте відносну зміну питомої маси води внаслідок її нагрівання від 7 до 97°С (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $4 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$).
8. Визначте відносну зміну питомої маси бензину внаслідок його нагрівання від 4 до 68°С (температурний коефіцієнт об'ємного розширення $1{,}25 \cdot 10^{-3}$ *град*$^{-1}$).
9. Обчисліть зміну питомої маси води внаслідок її стиснення від тиску 10^5 до 10^7 *Па*.
10. Обчисліть зміну питомої маси гасу внаслідок його нагрівання від 15 до 60°С.
11. В U-подібну трубку налито воду і бензин (рис. 6.6). Визначити питому масу бензину, якщо $h_б$ = 500 *мм*, $h_в$ = 350 *мм*.

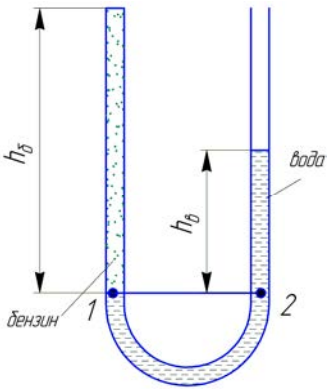


Рис. 6.6. Схема до залачі 11

12. В U-подібну трубку залито три рідини – воду (ρ_1 = 1000 *кг/м*^{3}), ртуть (ρ_2 = 13600 *кг/м*^{3}) і бензин ρ_3 = 700 *кг/м*^{3}. Рівні рідин показано на рисунку 6.7, причому $z_0 - z_1 = 0{,}2$ *м*; $z_3 - z_2 = 0{,}1$ *м*; $z_1 + z_2 = 1$ *м*. Визначити z_0, z_1, z_2, z_3 відносно певної площини порівняння O-O.

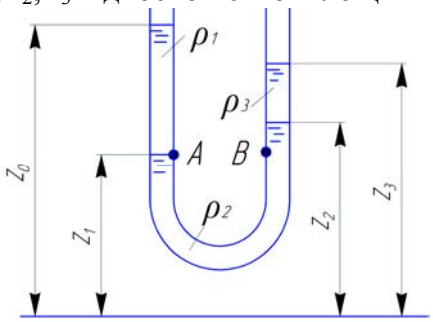


Рис. 6.7. Схема до задачі 12

13. Дві сполучені посудини A і B заповнені двома рідинами з питомою масою p_1 = 900 і p_2 = 1000 кг/м^3 (рис. 6.8). Визначте положення границь розділу цих двох рідин H_A і H_B відносно вільних поверхонь при різниці рівнів h = 10 *см*.

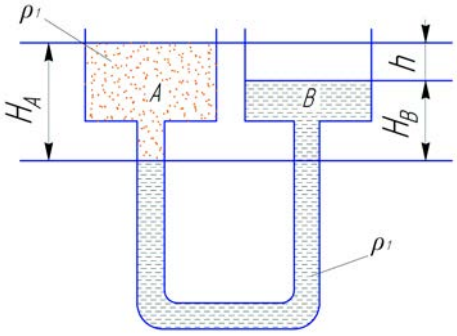


Рис. 6.8. Схема до задачі 13

14. У замкненій посудині з водою абсолютний тиск на вільній поверхні $p_0 = 1{,}25 \cdot 10^5$ *Па*. На яку висоту H підніметься вода у відкритій трубці, під'єднаній до посудини на глибині h = 3 *м* під вільною поверхнею (рис. 6.9)?

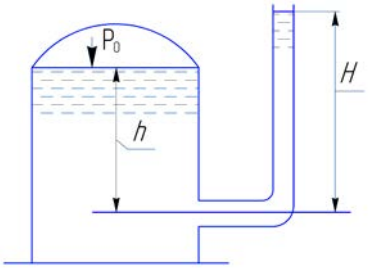


Рис. 6.9. Схема до задачі 14

15. Обчисліть різницю тиску у точках *A* і *B* циліндрів, заповнених водою, якщо різниця рівнів ртуті в диференціальному манометрі $h = 15$ *см.* До ртуті трубки *C* і *D* (рис. 6.10) заповнені водою. Температура $t = 20°$.. Питома маса ртуті $\rho_{рт} = \dfrac{\rho_0}{1 + 0,0001815}$, $\rho_0 = 13600$ *кг* / *м*^{3}.

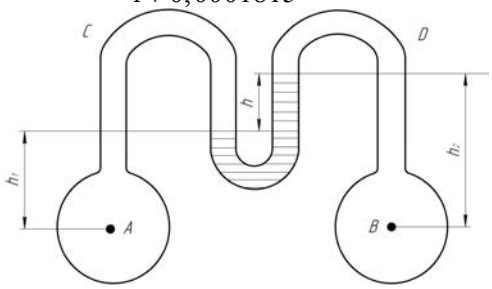


Рис. 6.10. Схема до задачі 15

16. Обчисліть абсолютний тиск пари на поверхні води закритої посудини за показами батарейного ртутного манометра (рис. 6.11). Дано: $z_1 = 2,3$ *м*; $z_2 = 1,2$ *м*; $z_3 = 2,5$ *м*; $z_4 = 1,4$ *м*; $z_5 = 3$ *м*. Питома маса ртуті $\rho_{рт} = 13600 \dfrac{кг}{м^3}$.

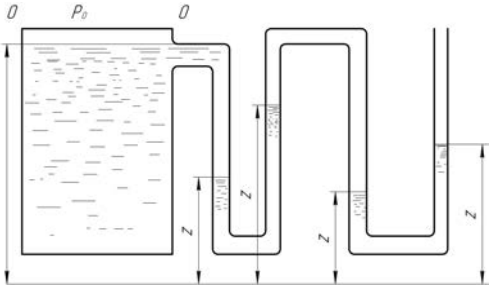


Рис. 6.11. Схема до задачі 16

17. Обчисліть різницю тиску газу у посудинах показаних на рисунку 6.12 за такими даними: $h_1 = 0,8$ *м*; $h_2 = 0,4$ *м*; $h_3 = 0,6$ *м*; $h_4 = 0,9$ *м*. У посудинах знаходиться вода, а в диференційному манометрі ртуть $\rho_{рт} = 13600 \dfrac{кг}{м^3}$.

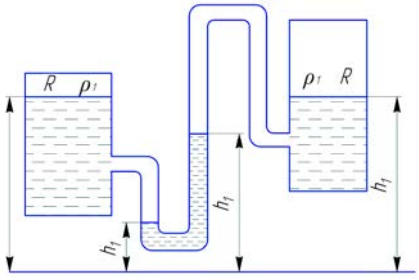


Рис. 6.12. Схема до задачі 17

18. До закритого резервуару з рідиною підключено манометричну трубку, конфігурація якої наведена на (рис. 6.13) Верхня частина трубки заповнена гасом (ρ = 727 *кг/м*^{3}) і різниця границь розділу рідин у ній h_1 = 20 *см*. Різниця рівнів рідини у резервуарі і трубці h_1 = 18 *см*. Обчисліть питому масу рідини, якщо тиск на поверхні рідини p_0 = 102,3 *кПа*.

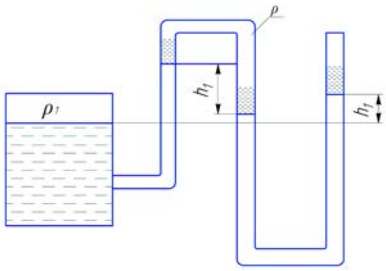


Рис. 6.13. Схема до задачі 18

19. Закритий резервуар заповнений водою і оливою питомої маси ρ_1 = 800 *кг/м*^{3}. Товщина шару води h_2 = 50 *см*, оливи – h_1 = 20 *см*. Обчисліть величину надлишкового тиску, що діє на поверхню оливи, якщо рівень ртуті в манометричній трубці знаходиться на h = 40 *см* нижче рівня оливи (рис. 6.14).

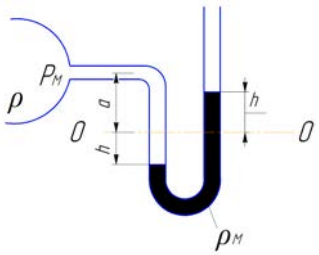


Рис. 6.14. Схема до задачі 19

20. До резервуара з рідиною ρ (рис. 6.15) підключено U-подібний мановакуумметр, «ноль» шкали якого знаходиться нижче точки підключення на відстані *a*. Мановакуумметр заповнений рідиною з густиною $\rho_м$. Відомо, що *a* = 0,5 *м*, $\rho_м$ = 13600 *кг/м*^{3}. ρ = 1000 *кг/м*^{3}. Визначити тиск в точці підключення мановакуумметра, якщо h = 130 *мм*.

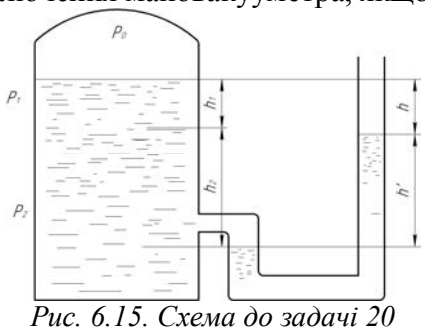


Рис. 6.15. Схема до задачі 20

Додатки

Таблиця 6.1

Співвідношення між одиницями виміру тиску

Одиниці виміру	***Н/м²* *(Па)***	***кгс/см²***	***мм вод. ст.***	***мм рт. ст.***	***бар***	***psi***
Н/м² (Па)	1	$1{,}02\times10^{-5}$	0,102	$7{,}5\times10^{-3}$	10^{-5}	0,0069
кгс/см²	$98{,}1\times10^{3}$	1	10^{4}	735,6	0,981	676,6
мм вод. ст.	9,81	10^{-4}	1	$73{,}56\times10^{-3}$	$98{,}1\times10^{-6}$	0,0676
мм рт. ст.	133,3	$1{,}36\times10^{-3}$	13,6	1	$1{,}333\times10^{-3}$	0,92
бар	10^{5}	1,02	$1{,}02\times10^{3}$	750	1	689,7
psi	145	$1{,}48\times10^{-3}$	14,8	1,0875	$1{,}45\times10^{-3}$	1

Таблиця 6.2

Характеристики рідин

Рідина	**Густина ρ, кг/м³**	**Коефіцієнт об'ємного**		**Кінематична в'язкість, мм²/с, при температурі, ⁰С**		
		стиснення $\beta_p\times10^{9}$, $Па^{-1}$	розширення $\beta_t\times10^{3}$, $°C^{-1}$	15	20	50
Вода	1000	0,49	0,20	1,14	1,01	0,55
Ртуть	13600	0,039	0,18	-	0,114	-
Бензин	680-780	0,92	1,255	0,93	-	0,54
Гас	790-820	0,77	0,96	2,7	2,5	1,50
Мазут	890-940	-	-	-	2000	-
Масла:						
ИГП-18	880	0,72	0,73	-	100	18
ИГП-30	885	-	-	-	170	30
ИГП-38	890	-	-	-	-	38
ИГП-49	895	0,68	-	-	400	49

6.2.2. Практичне заняття № 2.
Тиск на плоскі та криволінійні поверхні

Тема: Тиск на плоскі та криволінійні поверхні

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі: «Тиск на плоскі та криволінійні поверхні»

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34-47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 30-40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10-48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22-34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 25-34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 14-23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53-64).

Теоретична частина

Сила тиску рідини на поверхню в загальному випадку складається (див. рис. 6.15):

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}\,, \tag{6.26}$$

де F_x, F_y, F_z, $[H]$ – проекції сили тиску на відповідні осі координат.

Проекції сили тиску обраховуються за формулами:

$$F_x = \left(p_0 + \rho g h_{Cyz}\right) S_{yz};\ F_y = \left(p_0 + \rho g h_{Cxz}\right) S_{xz}; \tag{6.27}$$

$$F_z = G + p_0 S_{xy} \tag{6.28}$$

де p_0 $[Па]$ – тиск на вільній поверхні рідини;

S_{yz}, S_{xz}, S_{xy} $[м^2]$ – площі проекцій криволінійної поверхні на відповідні площини системи координат;

h_{Cyz}, h_{Cxz} [*м*] – глибина занурення центра ваги відповідної проекції криволінійної поверхні під вільну поверхню рідини;

$G = \rho g V$ [*Н*] – вага тіла тиску, тобто об'єму рідини V, що обмежений криволінійною поверхнею, вільною поверхнею рідини та вертикальною поверхнею, що проходить по контуру криволінійної поверхні.

В часткових випадках формули (6.26)-(6.28) спрощувалися і знайшли широке практичне використання:

1. Поверхня плоска (лежить в одній площині) і розміщена горизонтально:

$$F_z = G + p_0 S = \rho g V + p_0 S; \qquad (6.29)$$

де S [$м^2$] – площа поверхні.

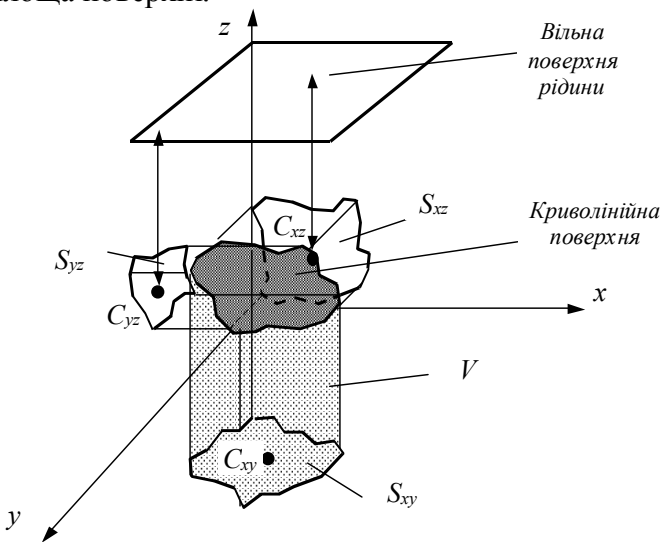


Рис. 6.16. Сила тиску на поверхню рідини

2. Поверхня плоска і розміщена вертикально (рис. 6.17):

$$F = F_г = \left(p_0 + \rho g h_C\right) S\,, \qquad (6.30)$$

де h_C – глибина занурення центра ваги.

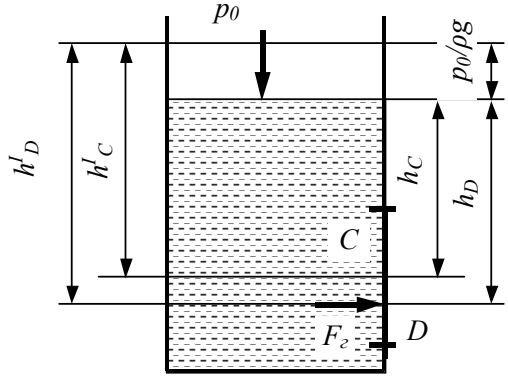


Рис. 6.17. Сила тиску рідини на вертикальну поверхню

Сила F, прикладена в центрі тиску D, координату якого визначають за формулою:

$$h'_D = h'_C + \frac{I_C}{h_C S}, \tag{6.31}$$

де I_C [$м^4$] – момент інерції плоскої фігури відносно центральної осі (для прямокутника $I_C = \frac{bh^3}{12}$, для трикутника $I_C = \frac{bh^3}{36}$, для кола $I_C = \frac{\pi d^4}{64}$.

У випадку дії на верхню поверхню атмосферного тиску ($p_0 = p_{атм}$) $h_D = h'_D$, $h_C = h'_C$.

3. *Поверхня плоска і розміщена під деяким кутом до горизонтальної площини (див рис. 6.18) або криволінійна, симетрична відносно вертикальної площини (див рис. 6.19)*

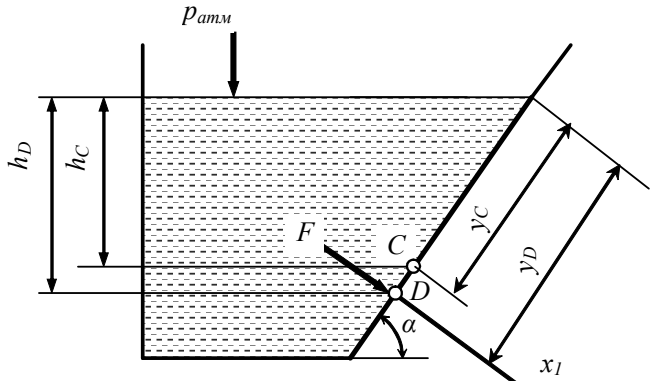


Рис. 6.18. Сила тиску рідини на плоску похилу стінку

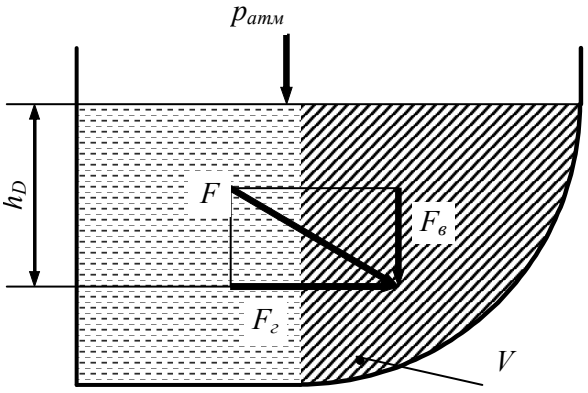


Рис. 6.19. Сила тиску рідини на криволінійну стінку, симетричну відносно вертикальної площини

Сила тиску складається з двох складових:

$$F = \sqrt{F_в^2 + F_г^2}\,, \tag{6.32}$$

де $F_г$ – горизонтальна складова сили тиску

$$F_г = (p_0 + \rho g h_C) S_в\,, \tag{6.33}$$

$S_в$ – вертикальна проекція плоскої поверхні,

$F_в$ – вертикальна складова сили тиску

$$F_в = G + p_0 S_г\,, \tag{6.34}$$

$S_в$ – вертикальна проекція плоскої поверхні.

У випадку плоскої поверхні, розміщеної під кутом α до горизонту (див. рис. 6.20) силу тиску можна визначати як об'єм епюри тиску, тобто вона буде рівна об'єму призми з основою $\rho g H$ і висотою H:

$$F = \frac{\rho g H^2 b}{2}, \tag{6.35}$$

де b – ширина поверхні.

Положення центра тиску в площинні стінки (рис. 6.18) визначається за формулою:

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C S}, \tag{6.36}$$

де y_D, y_C – відстані від центрів тиску і центра ваги площі стінки відповідно,

I_C [$м^4$] – момент інерції площі стінки відносно осі x_1, що проходить через центр ваги площі стінки.

При вираженні (6.36) через вертикальні відстані вона прийме вигляд:

$$h_D = h_C + \frac{I_C}{h_C S} \sin^2 \alpha\,. \tag{6.37}$$

Для криволінійної стінки, симетричної відносно вертикальної осі (див. рис. 6.19) лінія дії $F_г$, проходить через центр тиску вертикальної проекції стінки, вертикальна складова $F_в$ проходить через центр ваги тіла тиску, і спрямована вниз, якщо об'єм розміщений зі змоченої сторони, і вверх, якщо об'єм знаходиться з незмоченої сторони.

Кут нахилу сили до горизонту

$$tg\varphi = \frac{F_в}{F_г}, \tag{6.38}$$

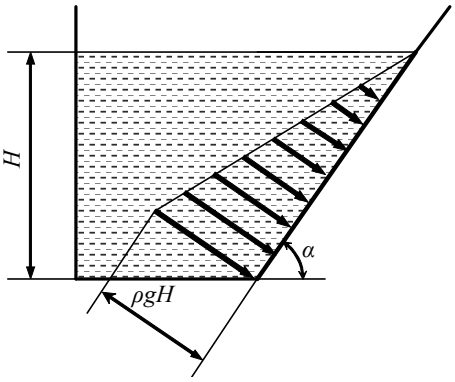


Рис. 6.20. Епюра тиску рідини на плоску похилу стінку

Порядок виконання роботи

1. При розв'язуванні задач рекомендується застосовувати форму скороченого запису умови задачі і її розв'язку. Дана форма є універсальною, застосовується при вирішенні задач з фізики і хімії в школі, полегшує студентам розуміння задачі, формує в них системний підхід до розв'язку задач.
2. При вирішенні задач на тему «Тиск на плоскі та криволінійні поверхні» перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як *сила тиску, координата центру тиску, координата центра ваги, епюра тиску і інші,* знати основні формули, наведені в теоретичній частині.
3. Необхідно чітко знати одиниці вимірювання величин, що характеризують основні величини даної теми, вміти переводити несистемні одиниці виміру в систему СІ.
4. При розв'язуванні задач даної теми необхідно знати формули для визначення площі і об'єму простих геометричних фігур.

Приклади розв'язку задач

Приклад 1.Визначити величину й точку прикладання сили тиску води на плоский щит шириною $B = 2$ *м*, висотою $h = 3$ *м*, якщо рівень води перед щитом $H = 8$ *м* (рис. 6.21).

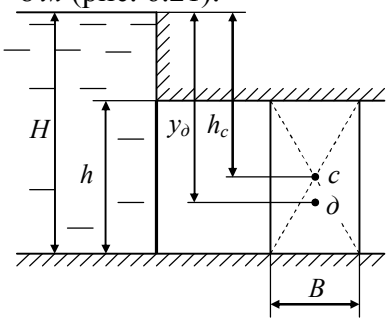


Рис. 6.21. Схема до прикладу 1

Рішення. Визначаємо силу гідростатичного тиску води на щит:

$$P = \rho_в \cdot g \cdot h_c \cdot S = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 6{,}5 \cdot 6 = 382590 \ H,$$

де $\rho_в = 1000$ *кг/м*^{3} – густина води;

h_c – відстань по вертикалі від вільної поверхні до центра ваги щита, *м*;

$$h_c = H - \frac{h}{2} = 8 - \frac{3}{2} = 6{,}5 \ м,$$

де S – площина поверхні щита, *м*^{2};

$$S = B \cdot h = 2 \cdot 3 = 6 \ м^2.$$

Визначимо точку, до якої прикладено силу тиску (розташування центра тиску):

$$y_д = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = h_c + \frac{J_0}{S \cdot h_c} = 6{,}5 + \frac{4{,}5}{6 \cdot 6{,}5} = 6{,}615 \ м,$$

де J_0 – момент інерції щита щодо центральної осі, *м*^{4};

$$J_0 = \frac{B \cdot h^3}{12} = \frac{2 \cdot 3^3}{12} = 4{,}5 \ м^4.$$

Приклад 2. Визначити величину й точку прикладання сили тиску на кришку, що перекриває круглий отвір діаметром d = 500 *мм* у вертикальній перегородці закритого резервуара, якщо лівий відсік резервуара заповнений нафтою (ρ = 900 *кг/м*^{3}), правий – повітрям. Надлишковий тиск на поверхні рідини $p_{ман}$ = 15 *кПа*, показання ртутного мановакуумметра, підключеного до правого відсіку резервуара, h = 80 *мм*, центр отвору розташований на глибині H = 0,8 *м* (рис. 6.22), атмосферний тиск $p_{атм}$ = 100 *кПа*.

Рішення. Знаходимо тиск повітря в правому відсіку резервуара $p_п$. Оскільки тиск в точках B и C, що належать горизонтальній поверхні, однаковий й дорівнює атмосферному тиску (100 *кПа*), тобто $p_C = p_B = p_{атм}$, то абсолютний тиск повітря в правому відсіку

$$p_п = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h = 100000 - 13600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}08 = 89300 \ Па.$$

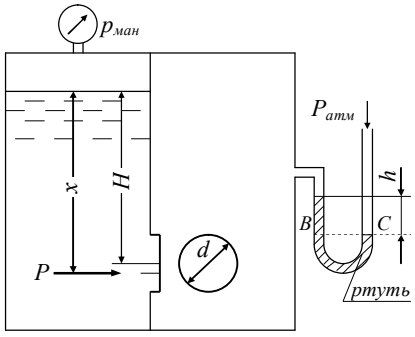


Рис. 6.22. Схема до прикладу 2

Сила тиску повітря на кришку праворуч

$$P_п = p_п \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 89300 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2}{4} = 17500 \ \ Н.$$

Ця сила прикладена в центрі ваги кришки.

Абсолютний тиск повітря на поверхні рідини в лівому відсіку

$$p_л = p_{атм} + p_{ман} = 100000 + 15000 = 115000 \ \ Па.$$

Сила тиску повітря на кришку ліворуч

$$P_л = p_л \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 115000 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2}{4} = 22600 \ \ Н.$$

Ця сила прикладена в центрі ваги кришки.

Сила тиску рідини на стінку

$$P_р = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 900 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2}{4} = 1380 \ \ Н,$$

де h_c – відстань від вільної поверхні рідини до центра ваги кришки;
S – площина кришки.

Ця сила прикладена в центрі тиску, відстань до якого від поверхні рідини

$$y_д = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = H + \frac{4 \cdot \pi \cdot d^4}{64 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot H} = H + \frac{d^2}{16 \cdot H} = 0{,}8 + \frac{0{,}5^2}{16 \cdot 0{,}8} = 0{,}82 \ \ м,$$

де $J_0 = \dfrac{\pi \cdot d^4}{64}$ – момент інерції круглої кришки.

Повна сила тиску на кришку

$$P = P_л + P_р - P_п = 22600 + 1380 - 17500 = 6480 \ \ Н.$$

Відстань x результуючої сили P від поверхні рідини знайдемо, використовуючи теорему про момент рівнодіючої

$$P \cdot x = P_л \cdot H + P_р \cdot y_д - P_п \cdot H,$$

звідки

$$x = \frac{P_р \cdot y_д + (P_л - P_п) \cdot H}{P} = \frac{1380 \cdot 0{,}82 + (22600 - 17500) \cdot 0{,}8}{6480} = 0{,}804 \ \ м.$$

Приклад 3. Визначити величину й напрямок дії сили гідростатичного тиску води на циліндричний затвор радіусом r = 1 *м* і шириною B = 2 *м*, розташований на глибині H = 6 *м* (рис. 6.23).

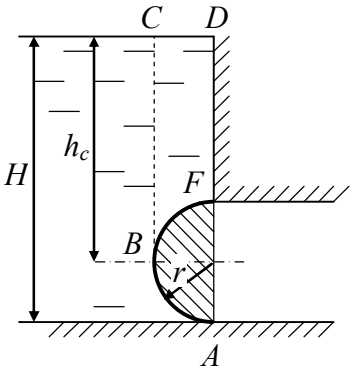


Рис. 6.23 Схема до прикладу 3

Рішення. Сила гідростатичного тиску на циліндричний затвор:

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

де P_x й P_z – горизонтальна й вертикальна складові сили гідростатичного тиску.

Горизонтальна складова:

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_в = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 5 \cdot 4 = 196200 \ H,$$

де $\rho = 1000$ кг/м^3 – густина води;

h_c – відстань по вертикалі від центра ваги вертикальної проекції циліндричного затвора до п'єзометричної поверхні;

$S_в$ – площина проекції циліндричного затвора на вертикальну поверхню.

$$h_c = H - r = 6 - 1 = 5 \ м,$$

$$S_в = 2 \cdot r \cdot B = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4 \ м.$$

Вертикальна складова:

$$P_z = \rho \cdot g \cdot V = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 = 30800 \ H,$$

де V – об'єм тіла тиску ABF шириною B.

$$V = V_{ABCDFA} - V_{BCDF} = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot B = \frac{3{,}14 \cdot 1^2}{2} \cdot 2 = 3{,}14 \ м^3.$$

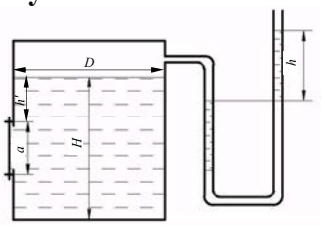
$$P = \sqrt{196200^2 + 30800^2} = 198600 \ H.$$

Напрямок дії результуючої сили гідростатичного тиску визначається кутом нахилу її до горизонту:

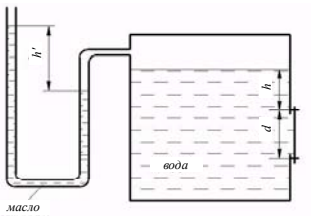
$$\alpha = arctg \frac{P_z}{P_x} = arctg \frac{30800}{196200} \approx 9^0.$$

Задачі для самостійного розв'язування

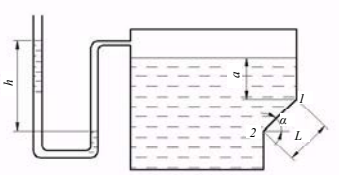
1. Резервуар діаметром D = 2,8 *м* заповнений водою на висоту H = 3 *м*. Підключений до резервуара рідинний ртутний манометр показує тиск на вільній поверхні води, який відповідає висоті стовпчика ртуті h = 1,1 *м*. Обчисліть силу тиску на дно та на пластину, що перекриває квадратний отвір розміром a = 0,4 *м*, верхня частина якого занурена на глибину $h' = 0{,}7$ *м* під рівень води.



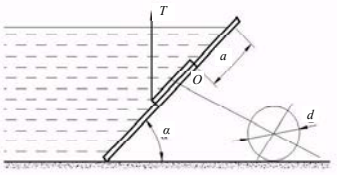
2. Обчисліть силу тиску води на кришку, що перекриває круглий отвір діаметром d = 0,9 *м* у стінці резервуара. Кришка розміщена на глибині h = 1,6 *м* під рівнем води. Робоча рідина в манометрі – масло питомою масою ρ = 800 *кг/м*^{3}, висота підняття її в трубці манометра $h' = 1{,}2$. Знайдіть також положення центра тиску.



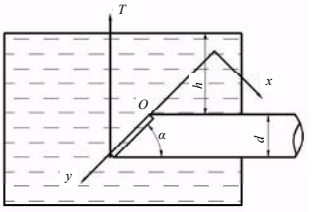
3. Обчисліть силу тиску води на частину *1-2* плоскої стінки, шириною L = 1,2 *м* і довжиною l = 1,6 *м*. Стінка нахилена під кутом α = 30°, а її верхнє ребро знаходиться на глибині a = 0,9 *м* під рівнем води. Рідинний манометр, заповнений водою, показує висоту стовпчика h = 250 *м*. Побудуйте також епюру тиску на елемент *1-2*.



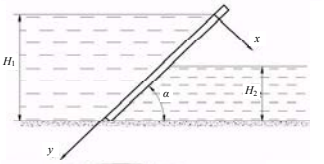
4. Визначте зусилля T, необхідне для піднімання круглої кришки діаметром d = 0,5 *м* з метою випуску води через отвір у нахиленій стінці під кутом α = 60°. Кришка вагою G = 200 *Н* може повертатись на верхньому шарнірі O. Відстань від поверхні води до шарніра вздовж стінки a = 1 *м*.



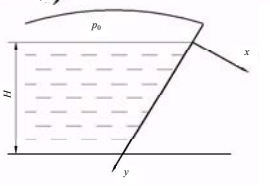
5. У вертикальній стінці резервуара з водою на глибині h = 0,4 *м* приварена кругла труба діаметром d = 0,6 *м*. Кінець труби, що входить в резервуар, зрізаний під кутом α = 45° і закривається кришкою, яка може повертатись на верхньому шарнірі O. Обчисліть зусилля T, потрібне для відкривання кришки, нехтуючи її вагою і тертям у шарнірі.



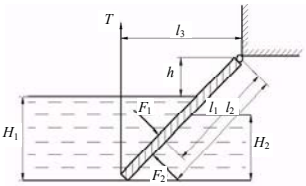
6. Обчисліть рівнодійну силу тиску на водороздільну стінку, нахилену під кутом α = 45°, шириною b = 1 *м*, а також визначте точку її прикладання, якщо H_1 = 4,5 *м*, H_2 = 2,5 *м*.



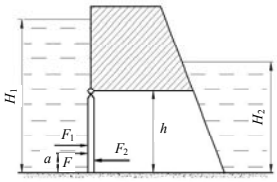
7. На нахилену під кутом α = 60° стінку шириною b = 2 *м* діє сила тиску води, глибина якої H = 1,8 *м*. Над поверхнею рідини тиск рівний атмосферному. Чому дорівнюватиме сила тиску і де вона прикладена?



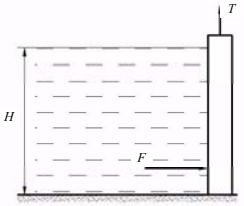
8. Щит, що перекриває канал, нахилений під кутом $\alpha = 45°$ і закріплений шарнірно над високим рівнем води $h = 1$ *м*. Обчисліть зусилля T, потрібне для відкривання щита, якщо його ширина $b = 2$ *м*, глибина води перед щитом $H_1 = 2{,}5$ *м*, а після щита $H_2 = 1{,}5$ *м*. Тертям у шарнірі і вагою щита знехтуйте.



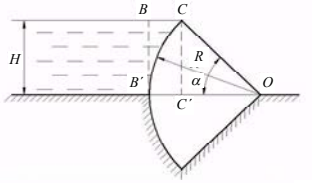
9. Обчисліть силу тиску води на засув водовипуску висотою $h = 1{,}5$ *м*, шириною $b = 5$ *м*, а також знайдіть положення центра тиску. Глибина води перед греблею $H_1 = 4$ *м*, а після неї $H_2 = 2$ *м*.



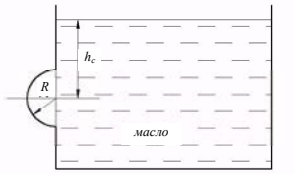
10. Обчисліть силу сумарного тиску води на плоский щит, що перекриває канал, і зусилля, яке необхідно прикласти для його підняття. Ширина каналу $b = 1{,}8$ *м*, глибина води в ньому $H = 2{,}2$ *м*. Вага щита $G = 15$ *кН*. Коефіцієнт тертя щита в опорах $f_m = 0{,}25$.



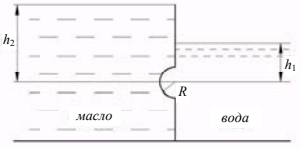
11. Обчисліть величину сили тиску води на секторний засув і кут β, що визначає напрям її дії, при таких даних: $H = 3$ *м*; $\alpha = 45°$. Ширина зсуву $b = 1{,}5$ *м*.



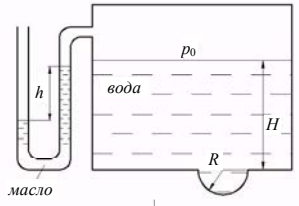
12. Обчисліть силу тиску масла на кришку у формі півциліндра радіусом $R = 1$ *м* і довжиною $L = 1{,}6$ *м*. Глибина занурення центра ваги кришки $h_C = 3$ *м*. Питома маса масла $\rho = 900$ *кг*/*м*^{3}.



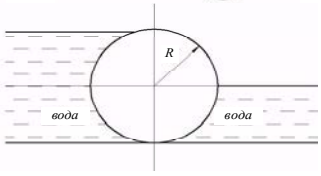
13. Визначте силу тиску води на криволінійну поверхню у формі півциліндра радіусом $R = 0{,}4$ *м* і довжиною $L = 2$ *м*. Глибина занурення центра ваги цієї поверхні зліва $h_1 = 3$ *м*, справа $h_2 = 2$ *м*.



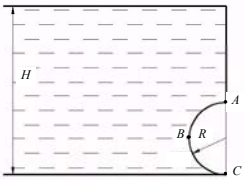
14. Яка сила тиску води діятиме на елемент у формі циліндра радіусом $R = 0{,}65$ *м*, якщо глибина води у резервуарі $H = 1{,}8$ *м*. Рідинний вакуумметр, заповнений маслом ($\rho = 900$ *кг*/*м*^{3}), показує висоту підняття стовпця масла $h = 800$ *мм*.



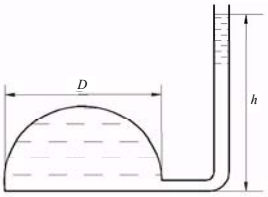
15. Упоперек водоймища укладено горизонтально сталеву трубу радіуса 450 *мм* і довжиною 10 *м*. Обчисліть складові сили тиску – горизонтальну F_x і вертикальну F_z, що діють на поверхні циліндра.



16. На стінку підводного транспортного тунелю радіусом R = 5 *м* і глибиною занурення H = 20 *м* діє тиск води. Обчисліть тиск води у характерних точках A, B і C, обмежившись лівою половиною тунелю, оскільки розподіл тиску по правій частині аналогічний. Яка буде сумарна сила тиску на тунель?



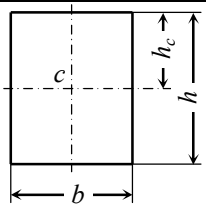
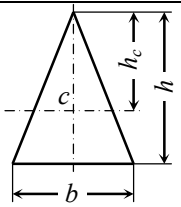
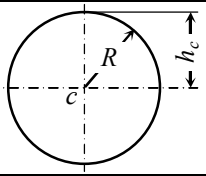
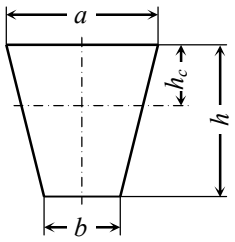
17. Півкуля діаметром 1,5 *м* заповнена рідиною, питома маса якої ρ = 850 *кг/м*^{3}. Рівень рідини у п'єзометрі, підключеному до півкулі піднявся на висоту h = 1,6 *м*. Яка буде величина вертикальної сили, що діє на внутрішню поверхню півкулі?



Додатки

Таблиця 6.3

Момент інерції J_0, координата центра ваги h_c і площина S найпоширеніших плоских фігур

Фігура	J_c	h_c	S
	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{h}{2}$	$b \cdot h$
	$\frac{b \cdot h^3}{36}$	$\frac{2 \cdot h}{3}$	$\frac{b \cdot h}{2}$
	$\frac{\pi \cdot R^4}{4}$	R	$\pi \cdot R^2$
	$\frac{h^3 \cdot \left(a^2 + 4 \cdot a \cdot b + b^2\right)}{36 \cdot (a+b)}$	$\frac{h \cdot (a + 2 \cdot b)}{3 \cdot (a+b)}$	$\frac{h \cdot (a+b)}{2}$

6.2.3. Практичне заняття № 3. Закон Архімеда. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики

Тема: Закон Архімеда. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі: «Закон Архімеда. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики»

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34-47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 30-40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10-48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22-34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 25-34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 14-23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53-64).

Теоретична частина

Закон Архімеда

Закон Архімеда формулюється так: на занурене в рідину тіло діє виштовхуюча сила $P_в$, напрямлена знизу вгору, яка дорівнює вазі рідини, витисненої тілом.

Для обґрунтування сказаного розглянемо занурене в рідину у відкритій посудині циліндричної форми тіло, яке знаходиться в стані рівноваги (рис. 6.24). Висота тіла H, а площа нижньої та верхньої основ циліндра ω. Діючі на бокову поверхню сили гідростатичного тиску взаємно врівноважуються і в розрахунках не враховуються. Таким чином, до уваги беруться тільки сила ваги тіла і сили, які діють на верхню й нижню основи.

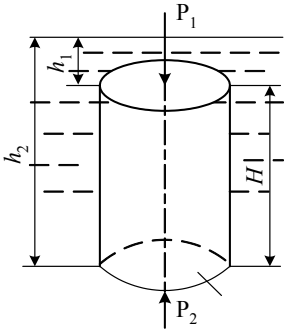


Рис. 6.24. Схема до обґрунтування закону Архімеда

Отже, зверху на тіло діє занурююча (напрямлена зверху вниз) сила:

$$P_1 = \omega\rho g h_1, \tag{6.37}$$

а знизу – виштовхуюча (напрямлена знизу вгору) сила:

$$P_2 = \omega\rho g h_2. \tag{6.38}$$

Різниця цих сил буде виштовхуючою (підтримуючою) силою

$$P_в = P_2 - P_1. \tag{6.39}$$

Підставивши значення сил P_1 і P_2, отримаємо:

$$P_в = \omega\rho g h_2 - \omega\rho g h_1 = \omega\rho g\left(h_2 - h_1\right) = \rho g\omega H = \rho g W\ . \tag{6.40}$$

Тобто виштовхуюча сила дорівнює вазі рідини, виштовхуваної цим тілом:

$$P_в = \gamma W\ , \tag{6.41}$$

де γ – питома вага рідини; W – об'єм тіла.

Вона напрямлена по вертикалі вгору і прикладена до тіла в точці, що відповідає центру тиску, яка називається центром водотоннажності (рис. 6.25, точка *B*). Вага рідини в об'ємі, що виштовхнуло занурене в неї тіло (рис. 6.25, а, б), або частини його (рис. 6.25, в) називається водотоннажністю плаваючого тіла.

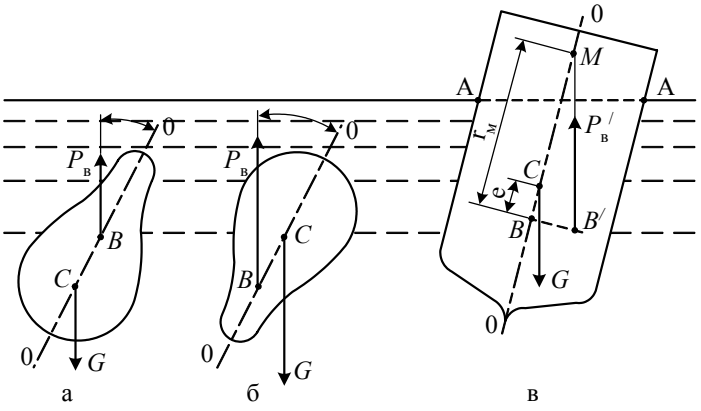


Рис. 6.25. Схеми до обґрунтування рівноваги плаваючих тіл

Крім виштовхуючої (підтримуючої) сили $P_в$, на тіло, як зазначалося вище, діє сила його ваги G, яка завжди прикладена в центрі тяжіння тіла (точка C) і напрямлена вертикально вниз (рис. 6.25).

Співвідношення виштовхуючої сили й сили ваги складає основу теорії плавання тіл.

Зазначимо, що плавання тіл характеризується їхньою ***плавучістю***, тобто здатністю тіл зберігати положення рівноваги по відношенню до вільної поверхні рідини.

Якщо вага тіла $G > P_в$, то тіло тоне; при $G = P_в$ тіло буде знаходитися в стані спокою на будь-якій глибині його занурення – підводне плавання (рис. 6.25, а); при $G < P_в$ тіло сплива до тих пір, доки частина його почне підніматися над поверхнею рідини, і виштовхуюча сила зменшиться до значення $P_в = G$ – надводне плавання тіла (рис. 6.25, в).

Машини, які працюють на принципі законів гідростатики

Дія багатьох машин і механізмів базується на законах гідростатики. Ці машини мають різну будову і призначення, але в їх роботі використовується один і той же гідравлічний принцип: тиск і енергія передаються за допомогою рідини. До них належать гідравлічний прес, гідравлічний домкрат (підйомник) мультиплікатор тощо.

Гідравлічний прес застосовують для одержання значних стискуючих зусиль, що необхідно, наприклад, для деформації металів при обробці тиском (пресування, кування, штампування), при дослідженні різних металів на міцність, твердість тощо.

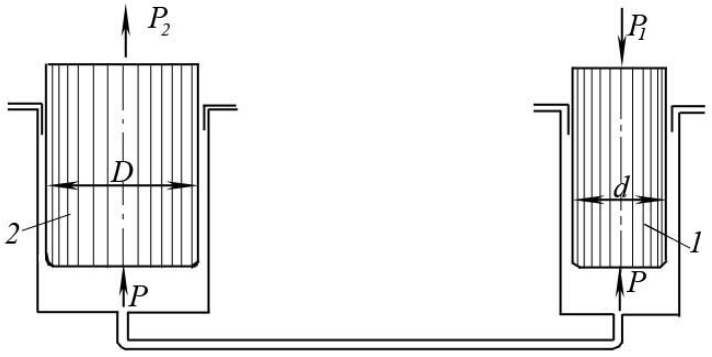


Рис. 6.26. Схема гідравлічного преса

На рисунку 6.26 показано принципову схему гідравлічного преса. Прес складається із двох циліндрів (меншого і більшого діаметрів) з'єднаних між собою трубкою з рідиною. В малому циліндрі є поршень 1, а у великому циліндрі – поршень 2. Якщо до поршня 1, що має площу S_1, прикласти силу F_1, то при цьому поршень почне рухатися вниз і здійснювати на рідину, яка під ним перебуває, тиск:

$$p_1 = F_1 / S_1. \qquad (6.42)$$

Цей тиск, згідно з законом Паскаля, передається в усі точки рідини в гідравлічному пресі, в тому числі і на поршень 2 з площею S_2 і заставляє його підніматися вверх під дією сили:

$$F_2 = p_1 S_2 = \frac{S_2}{S_1}, \qquad (6.43)$$

Оскільки гідростатичні тиски в точках площ S_1 і S_2 практично рівні між собою (зміна в силі F_2 за рахунок різниці рівнів у циліндрах незначна і її можна не брати до уваги), тоді:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} = p\,. \qquad (6.44)$$

Таким чином, пресуюча сила F_2 у стільки разів більша від сили F_1, прикладеної до малого поршня, у скільки разів площа S_2 більша від площі S_1.

Пристрій, що розглядається, може служити не тільки для пресування, але і для піднімання вантажу, тобто є так званим гідравлічним домкратом.

Гідравлічний прес обладнаний всмоктувальним і нагнітальним клапанами, що регулюють роботу пресу, і клапаном, який запобігає його руйнуванню при надмірному зростанні тиску (на схемі клапани не показані).

У сучасних гідравлічних пресах можна отримати досить значні зусилля (до 700 МН і більше). В цих конструкціях використовують поршневий насос високого тиску, який подає робочу рідину (воду або масло) у великий циліндр (власне прес), а між ними вмикають спеціальний пристрій – гідравлічний акумулятор, який вирівнює роботу насоса.

Гідравлічний акумулятор (рис. 6.27) служить для акумулювання, тобто нагромадження енергії. Його застосовують у тих випадках, коли необхідно виконати короткочасну роботу, що вимагає значних механічних зусиль, наприклад, підняти значну масу, закрити і відкрити ворота шлюзів тощо.

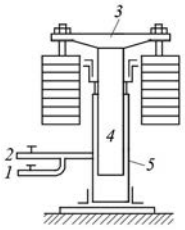


Рис. 6.27. Схема гідравлічного акумулятора

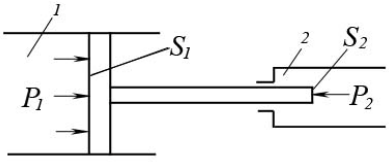


Рис. 6.28. Схема гідравлічного мультиплікатора

Найбільш широко гідравлічні акумулятори використовують при роботі гідравлічних пресів в якості пристроїв, що нагромаджують енергію (рідину) при холостому ході пресу і віддають її під час робочого ходу, коли подача насосів виявляється недостатньою.

Гідравлічний мультиплікатор (перетворювач тиску) дозволяє підвищити тиск в рідині. Його можна використати разом з гідравлічним пресом. В цьому випадку мультиплікатор виконує роль насоса, який подає в циліндр преса рідину, яка збільшує силу, що створюється пресом.

Мультиплікатор (рис. 6.28) складається із циліндрів 1 і 2 в яких переміщується поршень площею S_1, який з'єднаний з поршнем плунжера площею S_2. Якщо в циліндр 1 подавати рідину під тиском p_1, то із циліндра 2 буде поступати рідина під тиском p_2. Оскільки сили тиску, діючі на поршень і плунжер повинні бути рівними (без урахування сил тертя), тоді $p_1S_1 = p_2S_2$, звідки $p_2 = p_1S_1 / S_2$. Підбираючи величини S_1 і S_2 можна отримати необхідне збільшення тиску $\frac{p_2}{p_1}$.

Необхідно зазначити, що гідравлічний прес і мультиплікатор мають холостий хід, який повертає їх поршні у вихідне положення, під час якого корисна робота не виконується.

Аналогічно до силової частини гідравлічного преса діють і силові циліндри, що застосовуються для передачі зусиль на робочі органи машин. Однак в них рідина під тиском може поступати поперемінно по обидві сторони силового поршня, в результаті чого його рух може бути зворотно-поступальним. Силові циліндри широко застосовують у дорожніх і землерийних машинах, пристроях автоматики, в тому числі в промислових роботах і маніпуляторах тощо.

Порядок виконання роботи

1. При розв'язуванні задач рекомендується застосовувати форму скороченого запису умови задачі і її розв'язок. Дана форма є універсальною, застосовується при вирішенні задач з фізики і хімії в школі, полегшує студентам розуміння задачі, формує в них системний підхід до розв'язку задач.
2. При вирішенні задач на тему «Закон Архімеда. Машини, які працюють на принципі законів гідростатики» перш за все необхідно добре засвоїти такі поняття, як виштовхувальна сила, вага тіла, тиск, і інші знати основні формули, наведенні в теоретичній частині.
3. Необхідно чітко знати одиниці вимірювання величин, що характеризують основні величини даної теми, вміти переводити несистемні одиниці виміру в систему СІ.
4. При розв'язуванні задач даної теми необхідно знати формули для визначення площі і об'єму простих геометричних фігур.

Приклади розв'язку задач

Приклад 1. Корона масою 14,7 *кг* має під водою вагу, що відповідає масі 13,4 *кг*. Визначте, чи корона золота. Питома маса золота $\rho_з = 19300$ *кг/м*^{3}

Розв'язання:

Дано:

$m_1 = 14,7\,кг$

$m_2 = 13,4\,кг$

$\rho_з = 19300\,\frac{кг}{м^3}$

$\rho_к - ?$

1. Вага тіла, зануреного у воду

$$G_2 = G_1 - F_a, \qquad (1)$$

де G_1, G_2 – відповідно вага тіла на повітрі і у воді.

2. Вага тіла

$$G_1 = \rho_k g V, \qquad (2)$$

3. Сила Архімеда

$$F_a = \rho g V, \qquad (3)$$

де $\rho = 1000$ *кг/м*^{3} – питома маса води.

4. Враховуючи (1)-(3) відношення

$$\frac{G_1}{G_1 - G_2} = \frac{G_1}{F_a} = \frac{\rho_k g V}{\rho g V} = \frac{\rho_k}{\rho},$$

Звідки

$$\rho_к = \rho \frac{m_1 g}{m_1 g - m_2 g} = \rho \frac{m_1}{m_1 - m_2}.$$

$$\rho_к = \frac{14,7}{14,7 - 13,4} \cdot 1000 = 11310\,\frac{кг}{м^3} < 19300\,\frac{кг}{м^3}.$$

Отже, корона виготовлена не з золота.

Приклад 2. Визначити зусилля F (*кН*), що стискає випробуваний зразок у гідравлічному пресі (рис. 6.29), якщо до рукоятки важеля прикладене зусилля $P = 200$ *Н*. Плечі важеля $a = 500$ *мм*, $b = 450$ *мм*. Діаметри поршнів дорівнюють $D = 480$ *мм*, $d = 40$ *мм*.

Рішення. Відповідно до правила важеля зусилля, що передається малому поршню, може бути знайдене з вираження:

$$P_1 = P \cdot \frac{a}{a - b} = 200 \cdot \frac{0,5}{0,5 - 0,45} = 2000\ \ Н.$$

Тиск рідини в малому циліндрі буде:

$$p = \frac{4 \cdot P_1}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2000}{3,14 \cdot 0,04^2} = 1,59 \times 10^6\ \ Па.$$

Відповідно до закону Паскаля, цей тиск передається однаково в усі сторони, у тому числі й до великого поршня. Отже, нехтуючи тертям поршня, стискальне зусилля дорівнює:

$$F = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1{,}59 \times 10^6 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}48^2}{4} = 288 \times 10^3 \ H = 288 \ кН.$$

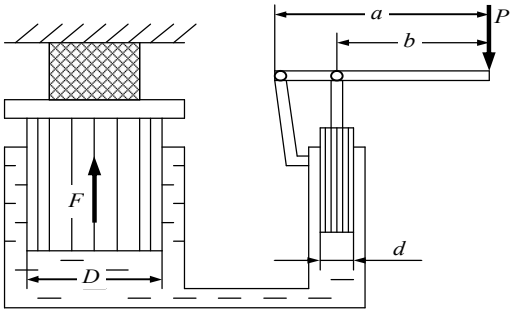


Рис. 6.29. Схема до прикладу 2

Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити діаметр D поршня гідравлічного преса, який повинен забезпечити зусилля F_2 = 5000 H при зусиллі на ручці преса N = 150 H. Діаметр малого поршня d = 5 *см*. Плечі ручки a та b відповідно дорівнюють 15 та 75 *см* (рис. 6.30). Коефіцієнт корисної дії преса 0,9.

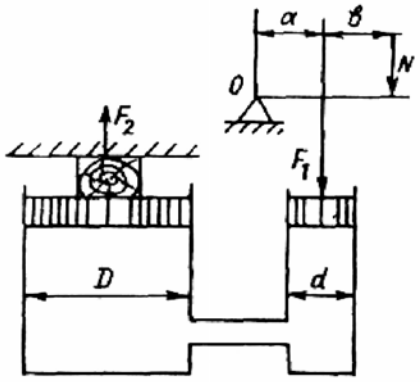


Рис. 6.30. Схема до задачі 1

2. Поплавок квадратного перерізу повинен відкривати клапан при підвищенні рівня в резервуарі на 2 *см*. Зусилля відкриття клапана F = 10 H. Якою повинна бути площа поперечного горизонтального перерізу поплавка?
3. Нафтоналивне судно прямокутного перерізу з плоским дном шириною 20 *м* і довжиною 100 *м* повністю завантажене дає осадку 2,5 *м*. Без вантажу осадка судна 0,4 *м*. Визначте вагу нафти, яку перевозить судно.
4. Визначте глибину h занурення соснової балки, що має форму паралелепіпеда висотою H = 0,2 *м*. Питома маса сосни 750 *кг/м*^{3}.

5. Диференційний гідравлічний акумулятор підтримує тиск $p = 2$ *МПа* у трубі *AB* (рис. 6.31) за допомогою поршня діаметром $\delta = 5$ *см* з'єднаного жорстко з двома іншими поршнями, діаметри яких $D = 25$ *см*, $d = 12$ *см*. Між цими поршнями подається пара під тиском p_1. Яким має бути цей тиск, якщо $p_0 = 101{,}3$ *кПа*?

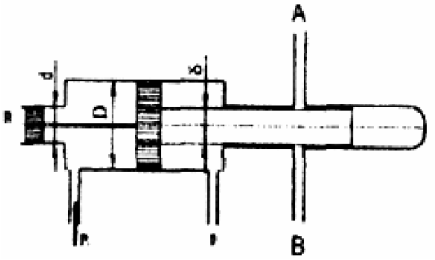


Рис. 6.31. Схема до задачі 5

6. Під поршнем гідроакумулятора діаметром $d = 20$ *мм* тиск води становить 3,43 *МПа*. Якщо шток підніметься на висоту $h = 2{,}4$ *м* (рис. 6.32), яка діятиме на нього сила? Втрати тиску на тертя в ущільненні становлять 3 %.

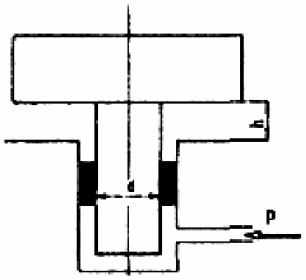


Рис. 6.32. Схема до задачі 6

7. Обчисліть висоту h, на яку може підняти воду прямодіючий паровий поршневий насос (рис. 6.33), якщо манометричний тиск у паровому циліндрі $p_1 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Па, діаметр циліндра $d_1 = 12$ *см*, а діаметр водяного циліндра $d_2 = 20$ *см*.

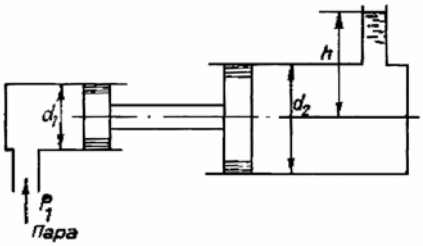


Рис. 6.33. Схема до задачі 7

ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с.
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
8. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.В. Некрасов; – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
9. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення / В.О. Орлов, А.М. Зощук; – Рівне, 2002. – 203 с.
10. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація / В.С. Кравченко; – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
11. Волошин М.М. Теоретичні основи методики навчання технічних дисциплін у вищому закладі освіти аграрно-технічного профілю: Монографія. Вид. 2-е / За ред. Дбоміна А.І., Козирського В.В. – Кам'янець-Подільський: Абетка-НОВА, 2005. – 336 с.
12. Алексеев Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев; – М.: ИНФРА – М, 2004. – 154 с.
13. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський; – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
14. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В. Яковлева; – М.: Колос, 1992. – 287 с.
15. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров – К.: – Вища школа, 1987. – 208 с.
16. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В.Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 20.09. – 1011 с. – (Словники України).
18. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / С.М. Срібнюк; – Київ Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
19. Сайт http://www.techgidravlika.ru
20. Сайт http://www.twirpx.com
21. Сайт www.hydraulics.at.ua

Розділ 7. ДІАГНОСТИКА ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

7.1. Методика проведення діагностики знань

Об'єктивне оцінювання знань студентів у межах кредитно-модульної системи в умовах впровадження ідей Болонського процесу має сприяти підвищенню якості підготовки і конкурентоспроможності фахівців, стимулювати самостійну та систематичну роботу студента протягом навчального семестру. Досягається така об'єктивність запровадженням відповідних критеріїв оцінювання, тобто системи вимог до рівня знань та вмінь студента, які він повинен продемонструвати для підтвердження набутих ним компетенцій за 100-бальною шкалою.

Критерії оцінювання знань та вмінь студента за результатами вивчення навчальної дисципліни:

90-100 балів – за глибокі знання навчального матеріалу, що міститься в основних і додаткових рекомендованих літературних джерелах; вміння аналізувати явища, які вивчаються, у їхньому взаємозв'язку і розвитку, чітко і лаконічно; логічно і послідовно відповідати на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

75-81 балів – за ґрунтовні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язування практичних задач;

66-74 балів – за міцні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання, які, однак, містять певні (несуттєві) неточності; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

60-65 балів – за посередні знання навчального матеріалу, мало аргументовані відповіді, слабке застосування теоретичних положень під час розв'язання практичних задач;

36-59 балів – за незнання значної частини навчального матеріалу, істотні помилки у відповідях на запитання, невміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

00-35 балів – за незнання значної частини навчального матеріалу, істотні помилки у відповідях на запитання, невміння орієнтуватися під час розв'язання практичних задач, незнання основних фундаментальних положень.

Отримані студентом бали за 100-бальною шкалою оцінювання знань переводяться у державну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно» чи «незадовільно») та в шкалу ECTS (A, B, C, D, E, FX, F) згідно з таблицею 7.1.

Контроль знань і умінь студентів (поточний і підсумковий) з навчальної дисципліни «Гідравліка» здійснюють відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Поточний – під час виконання практичних, лабораторних і індивідуальних завдань (описових завдань (ОЗ), написання рефератів), контроль за засвоєнням цього модуля (модульний контроль). Форму проведення поточного контролю і систему оцінювання визначає кафедра, на якій викладається дисципліна.

Підсумковий – включає іспит з цієї навчальної дисципліни.

Таблиця 7.1

Критерії та шкала оцінювання знань і умінь студентів

Оцінка національна	**Оцінка ECTS**	**Визначити ECTS**	**Кількість балів із навчальної дисципліни**
Відмінно	**A**	Відмінно – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	≥90
Добре	**B**	Дуже добре – вище середнього рівня з кількома помилками	82-89
	C	Добре – загалом правильна робота з певною кількістю помилок	75-81
Задовільно	**D**	Задовільно – непогано, але із значною кількістю помилок	66-74
	E	Достатньо – виконання задовольняє мінімальні критерії	60-65
Незадовільно	**FX**	Незадовільно – потрібно працювати перед тим, як отримати позитивну оцінку	35-59
	F	Незадовільно – необхідна серйозна подальша робота	<35

Кожен модуль може оцінюватись в умовних балах пропорційно обсягу часу, відведеному на засвоєння матеріалу цього модуля.

Кількість умовних балів за **навчальні заняття** студента становить 80% (коефіцієнт 0,8) і 20% (коефіцієнт 0,2) припадає на іспит від загальної кількості умовних балів.

Рішенням кафедри за виконання робіт, які не передбачені навчальним планом, але сприяють підвищенню рівня знань та умінь студентів з навчальної дисципліни (доповідь на студентській конференції, здобуття призового місця на олімпіадах, виготовлення макетів, підготовка наочних посібників тощо) може надаватись до 10% від загальної кількості умовних балів з навчальної дисципліни.

З метою кращої диференціації знань студентів може бути прийнято збільшену шкалу оцінювання знань студентів (умовних балів), яку потім через перевідний коефіцієнт приводять до відповідності (поточний контроль – 0,8 і підсумковий – 0,2).

Таким чином, максимальні рейтинги за навчальну роботу студента під час поточного контролю (за навчальні заняття) та за атестацію під час підсумкового контролю (за диференційований залік) відповідно становитимуть:

$R_{нр}$ = 80 балів $R_{ат}$ = 20 балів $R_{дис}$ = 100 балів.

Студенти, які протягом навчального семестру під час поточного контролю набрали суму балів, що менша за 50% від загального розрахункового рейтингу з навчальної роботи $R_{нр}$ (тобто менше 35 балів), зобов'язані до початку залікової сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до підсумкового контролю (іспиту) і мають академічну заборгованість.

Відповідно до отриманих балів студентам присвоюються відповідні кредити ECTS (табл. 7.1). Кредити записують у журнал рейтингового оцінювання знань і умінь студента.

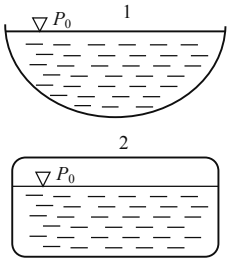
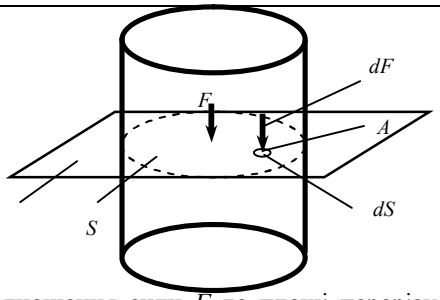
7.2. ПЕРЕЛІК ПРОГРАМНИХ ПИТАНЬ

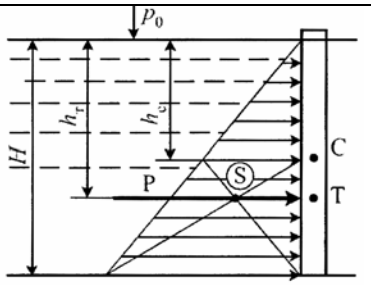
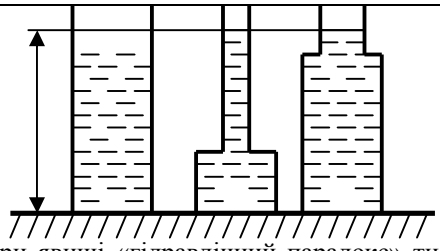
1. Гідравліка і коротка історія її розвитку.
2. Основні фізичні властивості рідин.
3. Сили, що діють на рідину, яка знаходиться в стані спокою.
4. Поняття гідростатичного тиску.
5. Властивості гідростатичного тиску.
6. Основне рівняння гідростатики та його геометрична інтерпретація.
7. Закон Паскаля.
8. Види тиску. Поняття вакууму, абсолютного і вакуумметричного тиску.
9. Способи вимірювання тиску.
10. Будова приладів для вимірювання тиску.
11. Одиниці вимірювання тиску.

12. Визначення сили тиску на плоскі поверхні.
13. Визначення центру тиску та розрахунок його положення.
14. Визначення сили тиску на криволінійні поверхні.
15. Визначення центру тиску на криволінійну поверхню.
16. Випадки тиску на плоскі фігури.
17. Побудова епюр тиску.
18. Закон Архімеда. Плавання тіл в рідині.
19. Елементи рівноваги плаваючого тіла.
20. Будова і принцип дії машин, що працюють на основі законів гідростатики.
21. Випадки відносної рівноваги рідини.
22. Основні поняття гідродинаміки.
23. Види руху рідин.
24. Види потоків.
25. Гідравлічні параметри потоку.
26. Рівняння нерозривності потоку.
27. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини.
28. Енергетична і геометрична інтерпретація рівняння Бернуллі.
29. Графіки зображення рівняння Бернуллі.
30. Рівняння Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини.
31. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини.
32. Практичне використання рівняння Бернуллі. Водомір Вентурі.
33. Основне рівняння рівномірного руху реальної рідини.
34. Режим руху реальної рідини. Число Рейнольдса.
35. Втрати напору по довжині трубопроводу.
36. Місцеві втрати напору.
37. Принципи додавання втрат напору. Сумарний коефіцієнт опору системи.
38. Класифікація отворів і характер витікання рідини.
39. Витікання рідини з незатопленого отвору в тонкій стінці при сталому напорі.
40. Витікання рідини з затопленого отвору в тонкій стінці при сталому напорі.
41. Протікання рідини через насадки.
42. Витікання рідини з отворів при змінному напорі.
43. Активна і реактивна дія струмини на тверде тіло.
44. Класифікація трубопроводів.
45. Основні залежності і формули для розрахунку трубопроводів.
46. Гідравлічний розрахунок простих коротких трубопроводів.
47. Гідравлічний розрахунок довгих трубопроводів.

48. Розрахунок трубопроводів з послідовним з’єднанням труб.
49. Розрахунок трубопроводів з паралельним з’єднанням труб.
50. Гідравлічний розрахунок тупикової водопровідної сітки.
51. Гідравлічний розрахунок кільцевої водопровідної сітки.
52. Гідравлічний удар в трубах.
53. Гідравлічні машини і історія їх розвитку.
54. Будова і принципи дії об’ємних і відцентрованих насосів.
55. Класифікація відцентрованих насосів.
56. Основне рівняння відцентрованого(лопатевого) насоса.
57. Пристрої для перетворення енергії в насосах.
58. Висота всмоктування і висота нагнітання, потужність і ККД відцентрового насоса.
59. Коефіцієнт швидкохідності.
60. Явище кавітації.
61. Характеристики відцентрових насосів.
62. Робота відцентрового насоса на трубопровід. Робоча точка насоса.
63. Паралельна робота відцентрових насосів.
64. Послідовна робота відцентрових насосів.
65. Вибір типу і марки насоса.
66. Види водоспоживачів і норми споживання води.
67. Вимоги до якості води.
68. Джерела водозабезпечення.
69. Споруди для забору води з поверхневих джерел.
70. Споруди для забору води з підземних джерел.
71. Споруди для покращення якості води.
72. Водонапірні башти і резервуари.
73. Визначення розрахункових витрат води.
74. Визначення місткості резервуарів.
75. Труби і арматура для водопроводів.

7.3. Перелік тестових питань з визначення фахової компетенції

1. Вкажіть правильну формулу за якою визначають густину рідини (ρ)? а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \frac{m}{V}$; в) $\rho = \frac{V}{m}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \frac{g}{\gamma}$. γ – питома вага, кН/м^3 g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ρ – густина рідини, кг/м^3; m – маса рідини, кг; V – об'єм рідини, м^3;	Густина (ρ) – це маса рідини в одиниці її об'єму. $\rho = \frac{m}{V}$; де: ρ – густина рідини, кг/м^3; m – маса рідини, кг; V – об'єм рідини, м^3; Наприклад, при температурі 4^{0}С густина води ρ = 1000 кг/м^3. Правильна відповідь – б.
2. Що називається рідиною? а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об'єм, але не змінює форму. б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об'єм. в) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму. г) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми. д) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об'єм, але здатне зберігати форму.	 1 – відкрита посудина; 2 – закрита посудина; P_0 – тиск на вільній поверхні. Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму. Правильна відповідь – в.
3. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск (P)? а) $p = \frac{F}{S}$; б) $p = F \cdot S$; в) $p = \frac{S}{F}$; г) $p = \lim_{S \to 0} \frac{F}{S}$; д) всі формули не вірні. P – гідростатичний тиск, Па; F – сила, Н; S – площа, м^2.	 Відношення сили F до площі перерізу S буде середнім гідростатичним тиском P який описується формулою $p = \frac{F}{S}$; де:P – гідростатичний тиск, Па; F – сила, Н; S – площа, м^2. Правильна відповідь – а

4. На якій відстані (h_T) від поверхні рідини (p_O) розміщується центр сили тиску (Р) на плоску вертикальну прямокутну стінку висотою (Н)? а) $h_T = \frac{H}{4}$; б) $h_T = \frac{2}{5}H$; в) $h_T = \frac{3}{4}H$; г) $h_T = \frac{2}{3}H$; д) $h_T = \frac{H}{2}$. Умовні позначення: H – глибина води перед стінкою, м; h_T – координата центру тиску, м; h_c – координата центру ваги, м.	 Сила гідростатичного тиску P напрямлена з боку рідини нормально до поверхні, на яку діє тиск. В цьому випадку центр тиску T з координатою h_T буде знаходитися на перетині медіан трикутника, форму якого має епюра. Правильна відповідь – г
5. Вкажіть правильну формулу за якою записується основне рівняння гідростатики? а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$; г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$. $p_{абс}$ – абсолютний тиск в точці, Па; $P_{атм}$ – атмосферний тиск, Па; $P_{надл}$ – надлишковий тиск, Па; $P_{вак}$ – вакуумметричний тиск, Па; p_0 – тиск на вільній поверхні, Па; ρ – густина рідини, кг/м^3; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; h – глибина занурення точки в рідині, м	Основне рівняння гідростатики встановлює зв'язок між гідростатичним тиском в точці рідини, її місцем знаходження (координатами) в рідині та густиною останньої. За його допомогою в інженерній практиці знаходиться абсолютний тиск у будь якій точці рідини. $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$; де: $p_{абс}$ – абсолютний тиск в точці, Па; p_0 – тиск на вільній поверхні, Па; ρ – густина рідини, кг/м^3; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; h – глибина занурення точки в рідині, м Правильна відповідь – в
6. Від яких величин залежить сила тиску на дно посудини при розгляді явища «гідравлічного парадоксу»? а) об'єму, густини рідини, площі дна; б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині; в) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині; г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму; д) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини.	 При явищі «гідравлічний парадокс» тиск на дно посудини залежить від питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині. Згідно формули $\boldsymbol{p = \gamma h S}$ при умові, що площі дна S однакові і рідина в посудинах з однаковою питомою вагою γ. Правильна відповідь – в

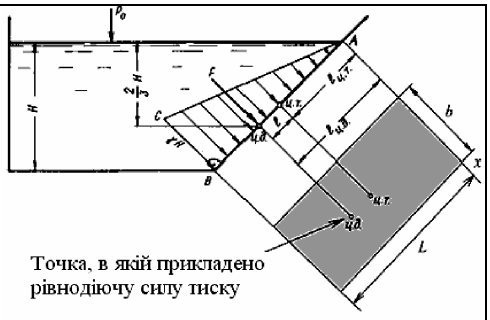
7. За якою формулою визначається ордината центру тиску ($У_D$) на плоску стінку?

а) $y_D = y_C \cdot \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C \cdot S}$;

в) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C + S}$; г) $y_D = y_C - \frac{I_O}{y_C \cdot S}$;

д) $y_D = \frac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.

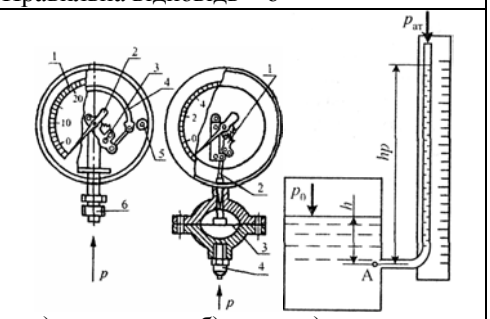
Умовні позначення:
y_D – ордината центра тиску, м;
y_C – ордината центра ваги, м;
I_0 – центральний момент інерції, м^4;
S – площа змоченої поверхні, м^2.



$$y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C \cdot S};$$

де:
y_D – ордината центра тиску, м;
y_C – ордината центра ваги, м;
I_0 – центральний момент інерції, м^4;
S – площа змоченої поверхні, м^2.
Правильна відповідь – б

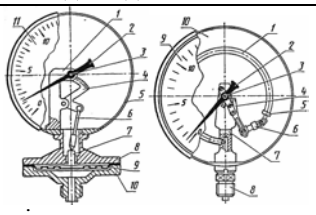
8. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
а) вакуумметром, манометром;
б) манометром, п'єзометром;
в) барометром, вакуумметром;
г) п'єзометром, вакуумметром;
д) манометром, барометром



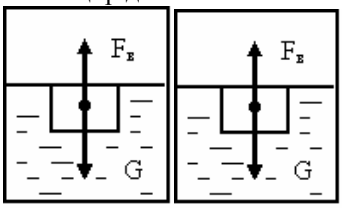
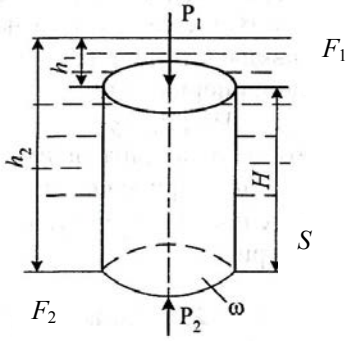
а) б) с)

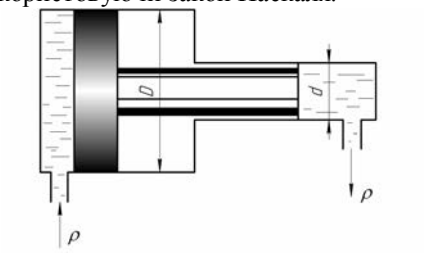
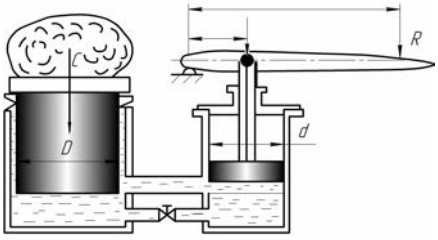
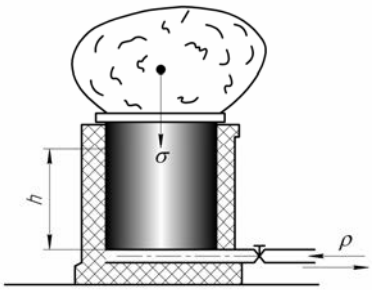
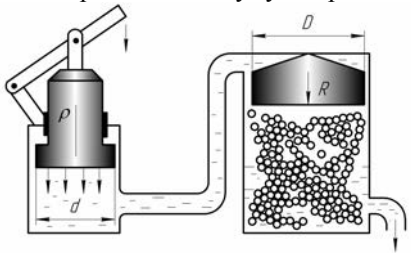
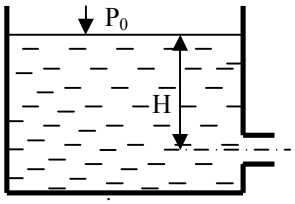
Прилади, якими вимірюється надлишковий тиск є механічні манометри (а, б) та п'єзометри (с).
Пружинний манометр (а), 1 – шкала; 2, 3, 4, 5 – виконавчий механізм; 6 – штуцер.
Мембранний манометр (б), 1, 2, 3 – виконавчий механізм, 4 – штуцер.
Схема під'єднання п'єзометра (с).
Правильна відповідь – б

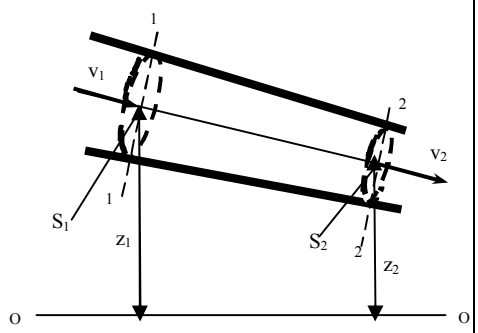
9. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
а) трубчаста пружина і поплавок;
б) пружина і мембрана;
в) мембрана і поплавок;
г) трубчаста пружина і мембрана;
д) поплавок і пружина.



Механічні манометри – це прилади, в яких тиск сприймається трубчастою пружиною ***1*** або мембраною ***9***. Ці прилади

	штуцером ***8*** приєднуються до області вимірюваного тиску. Під дією тиску рідина в пружинному манометрі надходить до трубчастої пружини, яка під впливом тиску розпрямляється і кінець її ***5*** за допомогою приводного механізму ***3, 4, 6*** приводить у рух стрілку ***2***, яка на шкалі ***9*** манометра ***10*** показує значення тиску. Мембранний манометр працює аналогічно. Правильна відповідь – г
10. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини? а) $F_в = G$; б) $F_в > G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \dfrac{V}{\rho \cdot g}$. Умовні позначення: $F_в$ – виштовхувальна сила, Н; G – вага тіла, Н; V – об'єм тіла, м^3; γ – питома вага рідини, Н/ м^3; ρ – густина рідини, кг/м^3 g – прискорення вільного падіння, м/с^2	Якщо виштовхувальна сила більша за вагу тіла $F_в > G$, то тіло плаває. Якщо виштовхувальна сила менша за вагу тіла $F_в < G$, то тіло тоне. Якщо виштовхувальна сила рівна вазі тіла $F_в = G$, то тіло плаває в товщі рідини.  Умовні позначення: $F_в$ – виштовхувальна сила, Н; G – вага тіла, Н Правильна відповідь – а
11. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила? а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = G \cdot V$; г) $F_в = \gamma \cdot V$; д) $F_в = \dfrac{V}{\gamma}$.	 Закон Архімеда формулюється так: на занурену в рідину тіло діє виштовхуюча сила, напрямлена з низу вгору, яка рівна вазі рідини витісненої тілом. $F_в = F_2 - F_1$; $F_в = \gamma \cdot V$; Правильна відповідь – г

12. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля? а) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор; б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун; в) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат; г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр; д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.	Прості гідравлічні машини, які працюють використовуючи закон Паскаля.  Схема гідравлічного мультиплікатора  Схема гідравлічного домкрата  Схема гідравлічного акумулятора  Схема гідравлічного преса Правильна відповідь – в
13. Який рух рідини називається сталим? а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від розміщення точки в просторі; б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від густини рідини;	 Сталим рухом рідини вважається такий

в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі; г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від в'язкості рідини; д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від густини і в'язкості рідини.	при якому швидкість і гідродинамічний тиск P залежать від розміщення точки в просторі, тобто від координат (x; y; z). P_0 – тиск на поверхні рідини, Па; H – напір, м, H = const; $V = f(x; y; z)$ $P = f(x; y; z)$ Правильна відповідь – в
14. Якими параметрами характеризується потік рідини? а) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус; б) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість; в) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія; г) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об'ємна витрата, трубка течії, траєкторія; д) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість;	Потік рідини характеризується рядом геометричних та гідравлічних його параметрів, якими користуються при конструюванні русел і гідравлічному розрахунку потоків. Основними елементами потоків рідини є: - русло потоку; - живий переріз; - змочений периметр; - гідравлічний радіус; - витрата рідини; - середня швидкість руху рідини Правильна відповідь – а
15. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку? а) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}$; б) $\frac{V_1}{S_1} = \frac{V_2}{S_2}$; в) $\frac{S_1}{S_2} = \frac{V_1}{V_2}$; г) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_1}{S_2} = \frac{S_1}{V_2}$; Умовні позначення: V_1, V_2 – швидкість течії у двох перерізах 1-1, 2-2, м/с; S_1, S_2 – площі перерізів 1-1, 2-2, м^2.	 Схема для виведення рівняння нерозривності потоку Рівняння нерозривності потоку показує, що швидкість течії V у двох перерізах 1-1, 2-2, центр ваги яких розташованийі відносно лінії порівняння О-О на відстані Z_1 і Z_2 елементарної струминки обернено пропорційна площам S цих перерізів. Правильна відповідь – а

16. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}$;

б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_{вт1-2}$;

г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

Умовні позначення:

Z_1 і Z_2 – положення центра ваги в перерізах, м;

$\frac{P_1}{\gamma}$ і $\frac{P_2}{\gamma}$ – п'єзометрична висота, м;

$\frac{V_1^2}{2g}$ і $\frac{V_2^2}{2g}$ – швидкісний напір, м;

$h_{вт1-2}$ – втрати напору між перерізами, м.

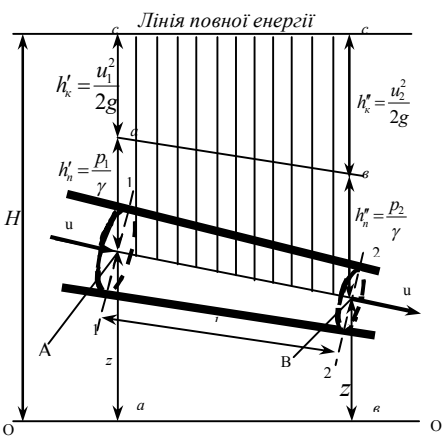


Схема для виведення рівняння Бернуллі

Ідеальною називається рідина в якій відсутні розриви, пустоти, ущільнення сили внутрішнього тертя.

Кінцева формула рівняння Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини

$z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}$;

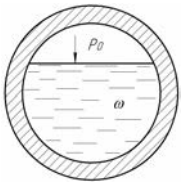
Правильна відповідь – а

17. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?

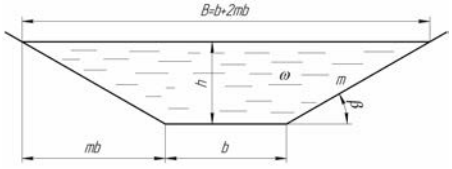
а)



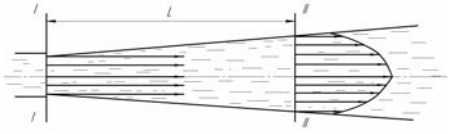
в)



б)



г)



д) Немає правильної відповіді

Напірний потік – це потік, вся бічна поверхня якого обмежена руслом і тиск в ньому відрізняється від атмосферного

Умовні позначення:

ω – площа живого перерізу, м^2;

d – діаметр трубопроводу, м;

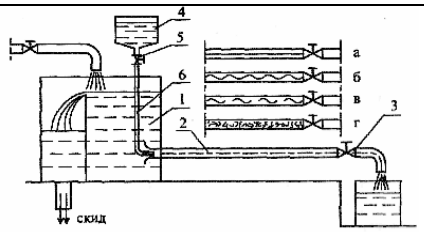
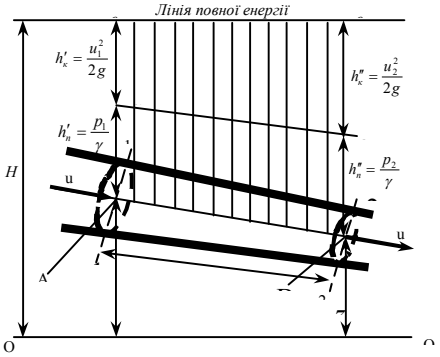
P_0 – тис на поверхні рідини, Па;

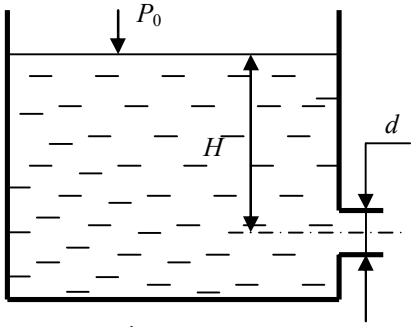
h – глибина води, м;

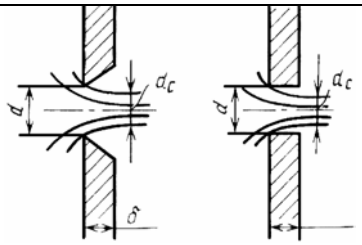
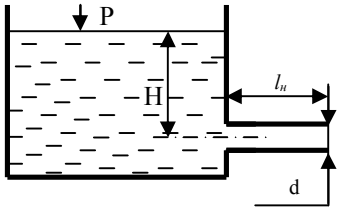
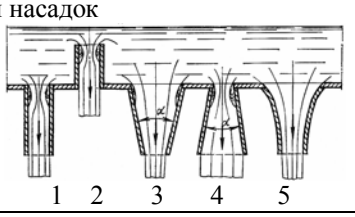
m, B, b, – геометричні розміри русла, м;

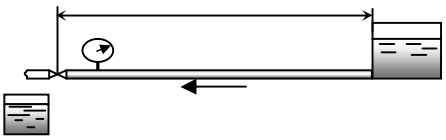
L – довжина вільної струминки, м.

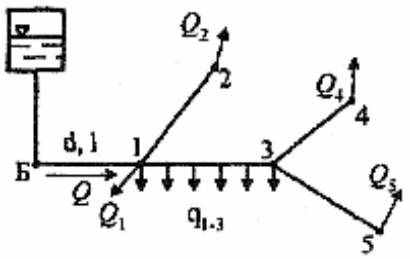
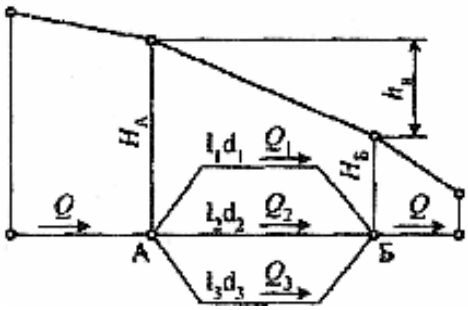
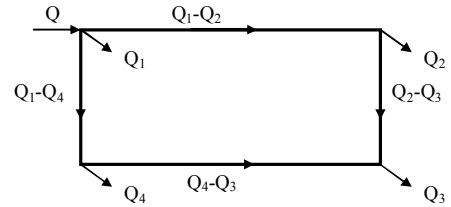
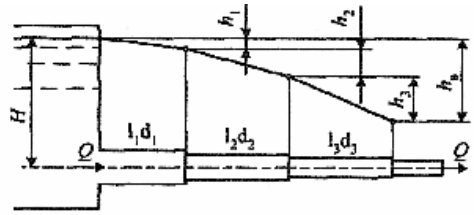
Правильна відповідь – а

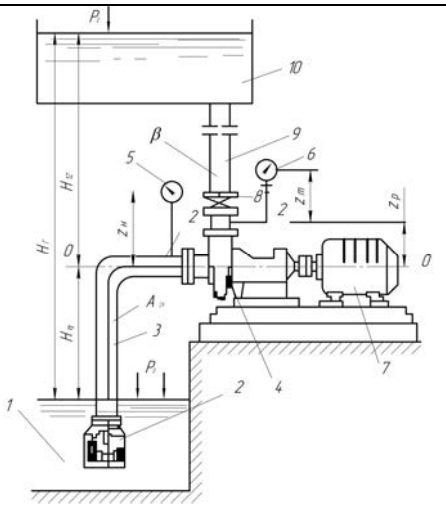
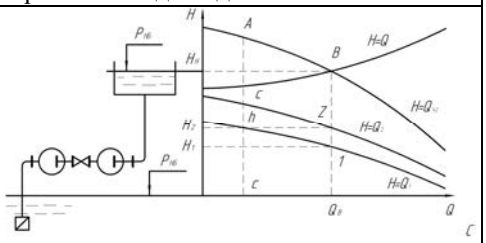
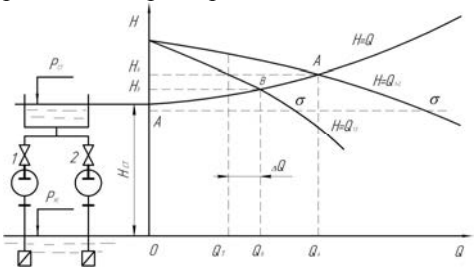
18. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки? а) 1780; б) 580; в) 2320; г) 760; д) 3230.	 Схема установки для дослідження режимів руху рідини 1 – напірний резервуар; 2 – напірний трубопровід; 3, 5 – крани; 4 – резервуар для кольорової рідини 6 – трубопровід кольорової рідини. а – ламінарний рух; б, в, г – турбулентний рух. Правильна відповідь – в
19. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі. а) кінетична енергія рідини. б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини. в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини. г) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини. кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості.	 Z – висота положення центра ваги, м; ***p/γ*** – висота тиску, або п'єзометрична висота, м; $V^2/2g$ – швидкісна висота, або швидкісний напір Правильна відповідь – г
20. Для визначення якої величини використовується формула Вейсбаха-Дарсі? а) для визначення числа Рейнольдса; б) для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя; в) для визначення втрат напору по довжині в круглих трубопроводах; г) для визначення коефіцієнта втрат місцевого опору; д) для визначення швидкості руху рідини в круглих трубопроводах.	Для визначення втрат напору по довжині в круглих трубопроводах використовується формула Вейсбаха-Дарсі, яка має вигляд. $$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g};$$ де: h – втрати напору по довжині в круглих трубопроводах, м; l – довжина трубопроводу, м; d – діаметр трубопроводу, м;

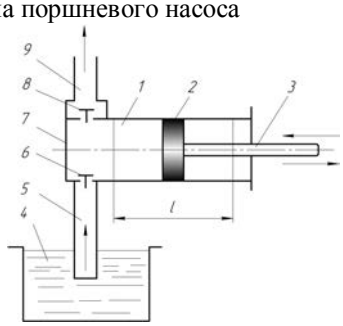
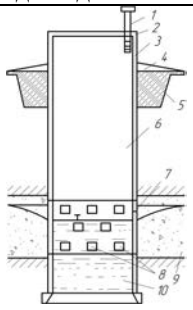
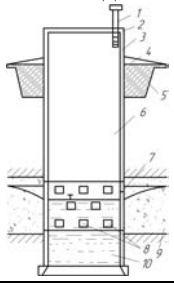
	V – швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с; g – прискорення вільного падіння,м/с^2; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя Правильна відповідь – в
21. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$; а) напору рідини в трубопроводі; б) в'язкості рідини в трубопроводі; в) розходу рідини в трубопроводі; г) швидкості руху рідини в трубопроводі; д) коефіцієнта гідравлічного тертя.	Втрати напору по довжині трубопроводу прямопропорційно залежать від довжини $\boldsymbol{\ell}$, коефіцієнта гідравлічного тертя $\boldsymbol{\lambda}$, та квадрата швидкості $\boldsymbol{v^2}$ і обернено пропорційні діаметру трубопроводу. $h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$; де: h – втрати напору в трубопроводі, м; l – довжина трубопроводу, м; d – діаметр трубопроводу, м; V – швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя. Правильна відповідь – г
22. За якої умови трубопроводи вважаються довгими. а) в яких місцеві втрати складають 15-20% від загальних втрат напору; б) в яких місцеві втрати складають 5-10% від загальних втрат напору; в) в яких місцеві втрати складають 40-50% від загальних втрат напору; г) в яких місцеві втрати більші 10-15% від загальних втрат напору; д) в яких місцеві втрати відсутні.	Гідравлічно довгі трубопроводи – це ті трубопроводи, в яких переважають втрати напору по довжині, а місцеві втрати складають 5-10% від загальних втрат напору. Правильна відповідь – б
23. За якої умови круглий отвір вважається малим? а) $d > 0{,}1$ Н; б) $d > 0{,}5$ Н; в) $d < 0{,}5$ Н; г) $d < 0{,}1$ Н; д) $d =$ Н.	 Круглий отвір вважається малим, якщо його діаметр (d) менший десятої частини діючого напору (H) над центром отвору. Правильна відповідь – г

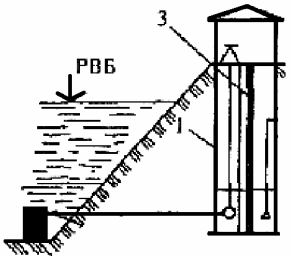
24. За якої умови стінка вважається тонкою? а) $\boldsymbol{\delta} < 6d$; б) $\boldsymbol{\delta} < 3d$; в) $\boldsymbol{\delta} > 10d$; г) $\boldsymbol{\delta} = 4d$**;** д) $\boldsymbol{\delta} > 5d$.	 Тонкою стінкою вважається та в якої товщина ($\boldsymbol{\delta}$) меша трьох діаметрів (d) отвору. Правильна відповідь – б.
25. Яким символом позначається коефіцієнт швидкості? а) $\boldsymbol{\varepsilon}$ **;** б) $\boldsymbol{\mu}$**;** в) $\boldsymbol{\lambda}$**;** г) $\boldsymbol{\xi}$**;** д) $\boldsymbol{\varphi}$.	Умовні позначення коефіцієнтів: $\boldsymbol{\varepsilon}$ – коефіцієнт стиску**;** $\boldsymbol{\mu}$ – коефіцієнт витрати**;** $\boldsymbol{\lambda}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя**;** $\boldsymbol{\xi}$ – коефіцієнт опору**;** $\boldsymbol{\varphi}$ – коефіцієнт швидкості. Правильна відповідь – д.
26. За якої умови коротка труба вважається насадком? а) $3d \le \boldsymbol{l_н} < 7d$; б) $10d \le \boldsymbol{l_н} < 15d$; в) $d \le \boldsymbol{l_н} < 2d$; г) $d = \boldsymbol{l_н}$**;** д) $\boldsymbol{l_н} > 15d$.	 Насадком називається коротка труба, втратами напору по довжині якої нехтують, враховуючи тільки місцеві втрати напору. Довжина насадка повинна лежати в межах $3d \le l_н \ge 7d$. Якщо довжина насадка ($\boldsymbol{l_н}$) менша, або рівна 3 діаметрам (d) отвору, то струмина на виході насадка не заповнює весь переріз, і насадок практично працює як отвір. Якщо довжина насадка ($\boldsymbol{l_н}$) більша, або рівна 7 діаметрів (d) отвору, то вже потрібно враховувати втрати напору по довжині. Правильна відповідь – а
27. Під яким номером зображено коноїдальну насадку? а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.	Типи насадок  1 2 3 4 5

	В інженерній практиці зустрічаються різні типи насадок. Частіше всього використовуються слідуючі: 1 – зовнішній циліндричний (насадок Вентурі); 2 – внутрішній циліндричний (насадок Борда); 3 – конічно-збіжний (конфузор); 4 – конічно-розбіжний (дифузор); 5 – коноїнальну (лабораторна, або тарувальна) Правильна відповідь – д
28. За якою формулою визначається швидкість витікання рідини з малого отвору в тонкій стінці при постійному напорі в атмосферу? а) $V = 2\varphi\sqrt{gH}$ б) $V = \varphi\sqrt{2gH}$ в) $V = 2\sqrt{\varphi gH}$ г) $V = 2H\sqrt{g\varphi}$ д) $V = g\sqrt{2\varphi H}$	Для визначення швидкості витікання рідини з малого отвору в тонкій стінці при постійному напорі в атмосферу використовується формула $V = \varphi\sqrt{2gH}$ Умовні позначення: V – швидкість витікання рідини, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; H – напір, м; φ – коефіцієнт швидкості. Правильна відповідь – б
29. За якою формулою визначається витрата при витіканні рідини з малого отвору в тонкій стінці при змінному напорі в атмосферу? а) $Q = \mu S\sqrt{2g\Delta H}$ б) $Q = 2S\sqrt{\mu g\Delta H}$ в) $Q = \mu\Delta H\sqrt{2gS}$ г) $Q = 2g\sqrt{S\ \mu\ \Delta H}$ д) $Q = 2\mu\sqrt{Sg\Delta H}$	Для визначення витрати при витіканні рідини з малого отвору в тонкій стінці при змінному напорі в атмосферу використовується формула $Q = \mu S\sqrt{2g\Delta H}$ Умовні позначення: Q – витрата при витіканні рідини, м^3/с; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; ΔH – зміна напору, м; μ – коефіцієнт витрати; S – площа поперечного перерізу отвору, м^2. Правильна відповідь – а
30. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі? а) збільшення довжини трубопроводу; б) повільне відкривання крана на трубопроводі; в) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара; г) миттєве відкривання заслінки на трубопроводі; д) встановлення на трубопроводі вантуза.	 Гідравлічний удар – це різке збільшення або зменшення тиску в напірних трубопроводах в наслідок миттєвого закривання або відкривання їх, що викликає різке збільшення або зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі.

	М – манометр; К – кран; L – напірний трубопровід. Правильна відповідь – г
31. Під яким номером показано схему розімкнутого трубопроводу? а) 1, 2; б) 3,4; в) 3; г) 4; д) 2.	*Схеми трубопроводів* 1  2  3  4  Правильна відповідь – в

32. За якими параметрами вибираються віцентрові насоси? а) потужність і коефіцієнт корисної дії (**N, *η***); б) напір і оберти робочого колеса (**H, *n***); в) витрата і потужність (**Q, N**); г) напір і витрата (**H, Q**); д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії (***n, η***).	 Схема насосної установки 1 – резервуар; 2, 3 – всмоктувальний трубопровід; 4, 7 – насосний агрегат; 5 – вакуумметр; 6 – манометр; 9 – нагнітальний трубопровід; 10 – напірний резервуар. $H_г$ – геометричний напір, м. Правильна відповідь – г
33 Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в послідовному режимі? а) витрата(**Q**); б) напір (**H**); в) потужність (**N**); г) оберти робочого колеса (***n***); д) коефіцієнт корисної дії (***η***).	 Схема роботи насосів у послідовному режимі та характеристика Правильна відповідь – б
34 Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в паралельному режимі? а) витрата (**Q**); б) напір (**H**); в) потужність (**N**); г) оберти робочого колеса (***n***); д) коефіцієнт корисної дії (***η***).	Схема роботи насосів у паралельному режимі та характеристика  Правильна відповідь – а

35. На схемі зображено поршневий насос. Вкажіть неправильне позначення його елементів? а) 1 – циліндр, 3 – шток, 5 – всмоктуючий трубопровід; б) 2 – поршень, 7 – робоча камера, 9 – нагнітальний трубопровід; в) 4 – резервуар, 7 – робоча камера, 3 – шток; г) 9 – нагнітальний трубопровід, 6 – нагнітальний клапан, 8 – всмоктувальний клапан; д) 5 – всмоктуючий трубопровід, 1 – циліндр, 2 – поршень;	Схема поршневого насоса  Правильна відповідь – г
36 За якою формулою визначається потужність для приводу насоса? а) $N_{пр} = \mathrm{H}_H + Q_H + (\eta_H \cdot \gamma)$; б) $N_{пр} = \frac{\eta_H \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\gamma}$; в) $N_{пр} = \frac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$; г) $N_{пр} = \frac{\gamma \cdot (\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H}$; д) $N_{пр} = \frac{(\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H \cdot \gamma}$.	Потужність електричного двигуна залежить від параметрів насоса, а саме: - напору; - витрати; - коефіцієнт корисної дії. $N_{пр} = \frac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$; Умовні позначення: $N_{пр}$ – потужність приводу, кВт; Q_H – витрата насоса, м^3/с; H_H – напір насоса, м; γ – питома вага рідини, Н/м^3 η_H – коефіцієнт корисної дії насоса. Правильна відповідь – в
37. Для забору підземних вод використовують такі споруди: а) променеві водозабори; б) шахтні колодязі; в) заглиблені оголовки; г) не заглиблені оголовки; д) горизонтальні водозабори.	 Схема шахтного колодязя Правильна відповідь – б
38. З якого водоносного пласту забирається вода шахтними колодязями? а) пластів, які залягають на глибині 30–200 м; б) глибини до 30 м із безнапірних або слабо напірних горизонтів; в) глибини 5–8 м, малій потужності пласту, заборі інфільтраційних вод; г) глибини 15–20 м, пласт невеликої потужності, заборі інфільтраційних вод;	Схема шахтного колодязя 

д) підземних вод, які виходять на денну поверхню.	Шахтні колодязі влаштовують для забору води з безнапірних та слабонапірних водоносних пластів глибиною до 30 м. Правильна відповідь – б
39. Які споруди використовують для забору води з поверхневих джерел? а) водозабірні свердловини; б) шахтні колодязі; в) руслові водозабори; г) каптажні водозабори; д) горизонтальні водозабори.	Схема руслового водозабору  Правильна відповідь – в
40. Який вільний напір необхідно створити при двохповерховій забудові населеного пункту? а) 5 м; б) 10 м; в) 14 м; г) 18 м; д) 22 м.	З метою забезпечення безперебійного водопостачання населеного мпункту при двохповерховій забудові необхідно створити вільний напір не менше 14 м. Правилина відповідь – в

Правильні відповіді

Питання	Відповідь	Питання	Відповідь
1	в	21	г
2	б	22	б
3	а	23	г
4	г	24	б
5	в	25	д
6	в	26	а
7	в	27	д
8	б	28	б
9	г	29	а
10	а	30	г
11	г	31	в
12	в	32	г
13	в	33	б
14	а	34	а
15	а	35	г
16	а	36	в
17	а	37	б
18	в	38	б
19	г	39	в
20	в	40	в

7.4. Варіанти тестових завдань

7.4.1. Варіант 1

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 1
ГІДРОСТАТИКА

1. Що називається рідиною?
   а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об'єм, але не змінює форму.
   б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об'єм.
   в) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму.
   г) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми.
   д) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об'єм, але здатне зберігати форму.
2. За якою формулою визначають густину рідини?
   а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \frac{m}{V}$; в) $\rho = \frac{V}{m}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \frac{g}{\gamma}$.
3. Які основні фізичні властивості рідин?
   а) питома вага, відносна густина, об'ємне розширення, капілярність, теплопровідність;
   б) густина, питома вага, відносна питома вага, теплоємність, теплопровідність;
   в) в'язкість, теплоємність, відносна густина, стисливість, капілярність;
   г) стисливість, густина, питома вага, об'ємне розширення, в'язкість;
   д) відносна питома вага, стисливість, капілярність, густина, відносна густина.
4. Вкажіть формулу для визначення питомої ваги рідини.
   а) $\gamma = V \cdot G$; б) $\gamma = m \cdot G$; в) $\gamma = \frac{G}{V}$; г) $\gamma = \frac{\rho}{g}$; д) $\gamma = \frac{V}{G}$.
5. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta p}$?
   а) Δp; б) t; в) F; г) ΔV; д) N.
6. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск?
   а) $p = \frac{F}{S}$; б) $p = F \cdot S$; в) $p = \frac{S}{F}$; г) $p = \lim\limits_{S \to 0} \frac{F}{S}$; д) всі формули не вірні.

7. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta t}$?

   а) Δt; б) ΔV; в) p; г) N; д) F.

8. Які основні одиниці вимірювання тиску в системі СІ?

   а) $\frac{м^2}{H}$; б) $H \cdot м^2$; в) *атм.* г) *м.вод.ст.* д) $\frac{H}{м^2}$.

9. Від зміни яких величин залежить зміна густини рідини?
   а) тиску і об'єму;
   б) температури і об'єму;
   в) об'єму;
   г) тиску, температури і об'єму;
   д) тиску і температури.

10. Якою формулою записується основне рівняння гідростатики?

    а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$;

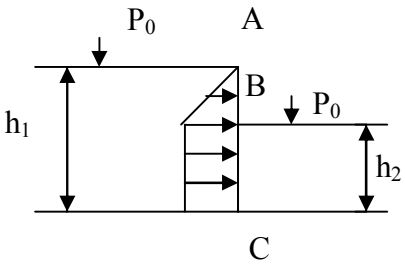
    г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$.

11. На якій висоті розміщується центр сили тиску на плоску стінку?

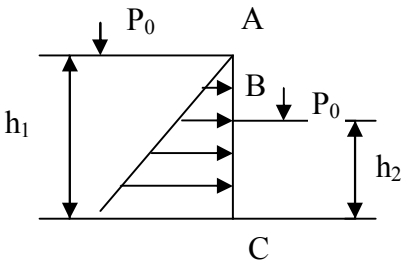
    а) $\frac{H}{4}$; б) $\frac{2}{5}H$; в) $\frac{3}{4}H$; г) $\frac{2}{3}H$; д) $\frac{H}{2}$.

12. Від яких величин залежить тиск на дно посудини при явищі «гідравлічний парадокс»?
    а) об'єму, густини рідини, площі дна;
    б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині;
    в) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині;
    г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму;
    д) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини.

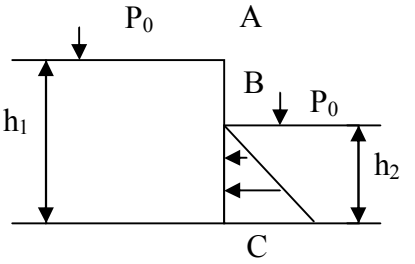
13. Який вигляд буде мати результуюча епюра тиску, якщо канал розділений затвором АС. Рівень води перед затвором h_1, за затвором $h_2 \neq h_1$?



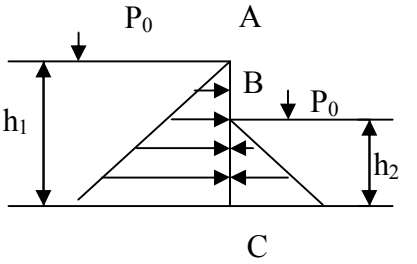
а)



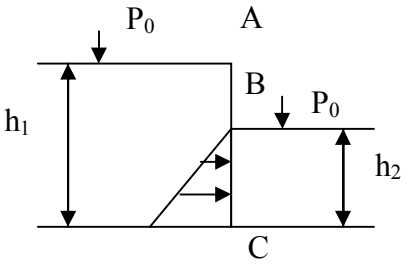
б)



в)



г)



д)

14. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
    а) вакуумметром, манометром;
    б) манометром, п'єзометром;
    в) барометром, вакуумметром;
    г) п'єзометром, вакуумметром;
    д) манометром, барометром.
15. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини?
    а) $F_в = G$; б) $F_в > G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \dfrac{V}{\rho \cdot g}$.
16. За якою формулою визначається координата центру тиску на плоску стінку?
    а) $y_D = y_C \cdot \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; в) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C + S}$;
    г) $y_D = y_C - \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; д) $y_D = \dfrac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.
17. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
    а) трубчаста пружина і поплавок;
    б) пружина і мембрана;
    в) мембрана і поплавок;
    г) трубчаста пружина і мембрана;
    д) поплавок і пружина;

18. Як формулюється Закон Паскаля?
    а) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, що залежить від температури, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    б) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої неоднорідної рідини, що залежить від температури, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    в) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої неоднорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    г) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої однорідної рідини, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    д) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.
19. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила?

    а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = G \cdot V$; г) $F_в = \gamma \cdot V$; д) $F_в = \frac{V}{\gamma}$.

20. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля?
    а) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор;
    б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун;
    в) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат;
    г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр;
    д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 2
ГІДРОДИНАМІКА

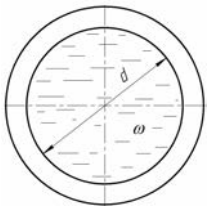
1. Який рух рідини називається сталим?
    а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі.
    б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі.
    в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі.
    г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі.

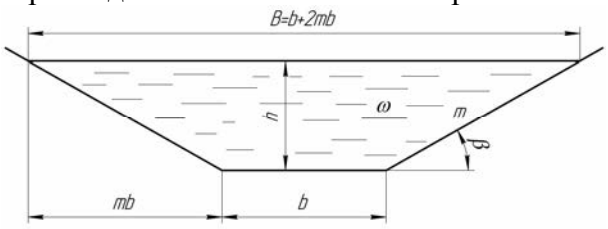
д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі.

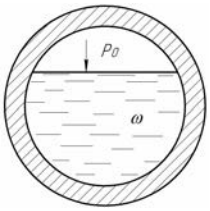
2. Якими параметрами характеризується потік рідини?
   а) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус;
   б) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість;
   в) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія;
   г) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об'ємна витрата, трубка течії, траєкторія;
   д) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість;

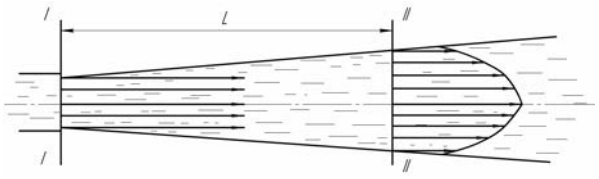
3. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку?
   а) $\frac{V_1}{V_2}=\frac{S_2}{S_1}$; б) $\frac{V_1}{S_1}=\frac{V_2}{S_2}$; в) $\frac{S_1}{S_2}=\frac{V_1}{V_2}$; г) $\frac{V_2}{V_1}=\frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_1}{S_2}=\frac{S_1}{V_2}$;

4. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?

а) 

б) 

в) 

г) 

д) немає правильної відповіді

5. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?
   а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;
   в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;
   д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

6. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

7. Як записується рівняння Д. Бернуллі для потоку реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

8. Пояснити фізичний зміст першого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) потенціальна енергія положення рідини.
   б) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   в) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) потенціальна енергія кількості рідини яка протікає по трубопроводу.
9. Пояснити фізичний зміст другого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) потенціальна енергія тиску рідини.
   б) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   в) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) потенціальна енергія тиску рідини, який залежить від її кількості.

10. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі.
    а) кінетична енергія рідини.
    б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
    в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
    г) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
    д) кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості.
11. Пояснити фізичний зміст останнього доданка у правій частині рівняння Д. Бернуллі.
    а) втрачена енергія рідини між перерізами.
    б) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до об'єму цієї рідини.
    в) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до маси цієї рідини.
    г) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до ваги цієї рідини.
    д) збережена енергія рідини
12. Якої величини не вистачає в формулі для визначення числа Рейнольдса? $Re = \frac{?\cdot d}{\upsilon}$.
    а) напору рідини в трубопроводі;
    б) швидкості руху рідини в трубопроводі;
    в) коефіцієнта опору системи;
    г) в'язкості рідини;
    д) розходу рідини.
13. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки?
    а) 1780; б) 580; в) 2320; г) 760; д) 3230.
14. Який фізичний зміст числа Рейнольдса?
    а) це відношення одних параметрів до інших.
    б) воно показує, який режим руху рідини в напірному трубопроводі.
    в) число Рейнольдса показує відношення сил інерції до сил в'язкості.
    г) по числу Рейнольдса вибирається коефіцієнт в'язкості рідини.
    д) по числу Рейнольдса визначаються втрати напору по довжині трубопроводу.

15. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$;
    а) напору рідини в трубопроводі;
    б) в'язкості рідини в трубопроводі;
    в) розходу рідини в трубопроводі;
    г) швидкості руху рідини в трубопроводі;
    д) коефіцієнта опору системи.
16. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?
    а) збільшення довжини трубопроводу;
    б) зміна швидкості руху рідини в трубопроводі;
    в) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара;
    г) розрив трубопроводу;
    д) встановлення на трубопроводі вантуза.
17. За якими параметрами вибираються відцентрові насоси?
    а) потужність і коефіцієнт корисної дії;
    б) напір і оберти робочого колеса;
    в) розхід і потужність;
    г) напір і розхід;
    д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії.
18. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в послідовному режимі?
    а) розхід;
    б) напір;
    в) потужність;
    г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.
19. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в паралельному режимі?
    а) розхід;
    б) напір;
    в) потужність;
    г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.
20. За якою формулою визначається потужність для приводу насоса?
    а) $N_{пр} = \mathrm{H}_H + Q_H + (\eta_H \cdot \gamma)$; $N_{пр} = \frac{\eta_H \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\gamma}$; $N_{пр} = \frac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$;
    б) $N_{пр} = \frac{\gamma \cdot (\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H}$; $N_{пр} = \frac{(\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H \cdot \gamma}$.

7.4.2. Варіант 2

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ №1

ГІДРОСТАТИКА

1. Які основні фізичні властивості рідин?
   а) питома вага, відносна густина, об'ємне розширення, капілярність, теплопровідність;
   б) густина, питома вага, відносна питома вага, теплоємність, теплопровідність;
   в) в'язкість, теплоємність, відносна густина, стисливість, капілярність;
   г) стисливість, густина, питома вага, об'ємне розширення, в'язкість;
   д) відносна питома вага, стисливість, капілярність, густина, відносна густина.
2. Що називається рідиною?
   а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об'єм, але не змінює форму.
   б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об'єм.
   в) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму.
   г) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми.
   д) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об'єм, але здатне зберігати форму.
3. За якою формулою визначають густину рідини?

   а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \frac{m}{V}$; в) $\rho = \frac{V}{m}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \frac{g}{\gamma}$.
4. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск?

   а) $p = \frac{F}{S}$; б) $p = F \cdot S$; в) $p = \frac{S}{F}$; г) $p = \lim\limits_{S \to 0} \frac{F}{S}$; д) всі формули не вірні
5. Вкажіть формулу для визначення питомої ваги рідини.

   а) $\gamma = V \cdot G$; б) $\gamma = m \cdot G$; в) $\gamma = \frac{G}{V}$; г) $\gamma = \frac{\rho}{g}$; д) $\gamma = \frac{V}{G}$.
6. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta p}$?

   а) Δp; б) t; в) F; г) ΔV; д) N.
7. Які основні одиниці вимірювання тиску в системі СІ?

   а) $\frac{м^2}{Н}$; б) $Н \cdot м^2$; в) *атм.* г) *м.вод.ст.* д) $\frac{Н}{м^2}$.

8. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta t}$?

   а) Δt; б) ΔV; в) p; г) N; д) F.

9. Від зміни яких величин залежить зміна густини рідини?
   а) тиску і об'єму;
   б) температури і об'єму;
   в) тиску і температури;
   г) тиску, температури і об'єму;
   д) об'єму

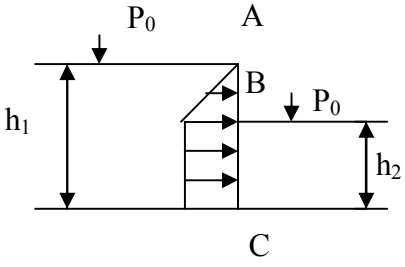
10. На якій висоті розміщується центр сили тиску на плоску стінку?
    а) $\frac{H}{4}$; б) $\frac{2}{5}H$; в) $\frac{3}{4}H$; г) $\frac{2}{3}H$; д) $\frac{H}{2}$.

11. Якою формулою записується основне рівняння гідростатики?
    а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$;
    г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$.

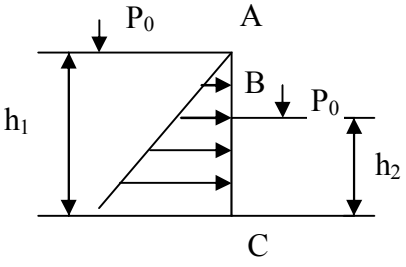
12. Від яких величин залежить тиск на дно посудини при явищі «гідравлічний парадокс»?
    а) об'єму, густини рідини, площі дна;
    б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині;
    в) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині;
    г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму;
    д) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини.

13. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
    а) вакуумметром, манометром;
    б) манометром, п'єзометром;
    в) барометром, вакуумметром;
    г) п'єзометром, вакуумметром;
    д) манометром, барометром.

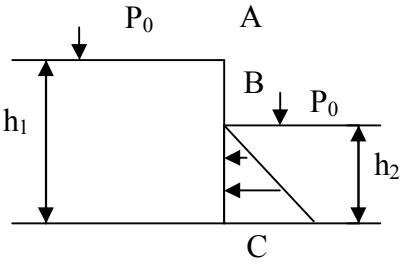
14. Який вигляд буде мати результуюча епюра тиску, якщо канал розділений затвором АС. Рівень води перед затвором h_1, за затвором $h_2 \neq h_1$?



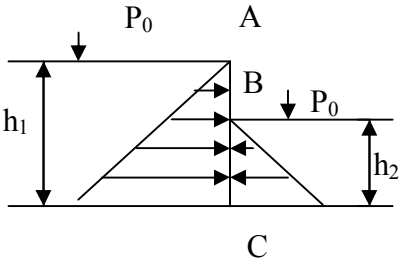
а)



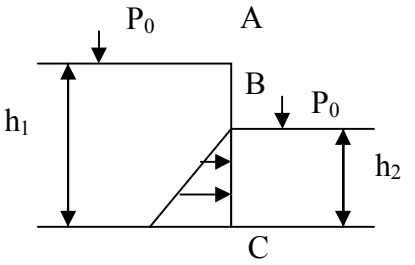
б)



в)



г)



д)

15. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
    а) трубчаста пружина і поплавок;
    б) пружина і мембрана;
    в) мембрана і поплавок;
    г) трубчаста пружина і мембрана;
    д) поплавок і пружина;
16. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини?
    а) $F_в = G$; б) $F_в > G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \dfrac{V}{\rho \cdot g}$.
17. За якою формулою визначається координата центру тиску на плоску стінку?
    а) $y_D = y_C \cdot \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; в) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C + S}$;
    г) $y_D = y_C - \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; д) $y_D = \dfrac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.
18. Як формулюється Закон Паскаля?
    а) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, що залежить від температури, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    б) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої неоднорідної рідини, що залежить від температури, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;

в) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої неоднорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
г) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої однорідної рідини, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
д) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.

19. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила?

а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = G \cdot V$; г) $F_в = \gamma \cdot V$; д) $F_в = \frac{V}{\gamma}$.

20. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля?
    а) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор;
    б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун;
    в) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат;
    г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр;
    д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ №2
ГІДРОДИНАМІКА

1. Який рух рідини називається сталим?
    а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від розміщення точки в просторі;
    б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від густини рідини;
    в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі;
    г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від в’язкості рідини;
    д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від густини і в’язкості рідини.
2. Якими параметрами характеризується потік рідини?
    а) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об’ємна витрата, трубка течії, траєкторія;

б) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус;

в) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість;

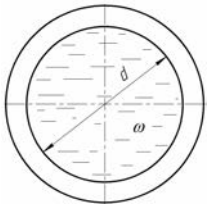
г) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія;

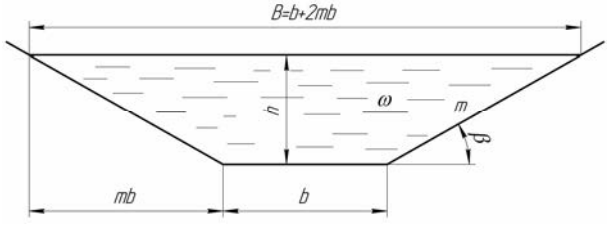
д) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість;

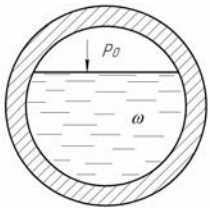
3. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку?

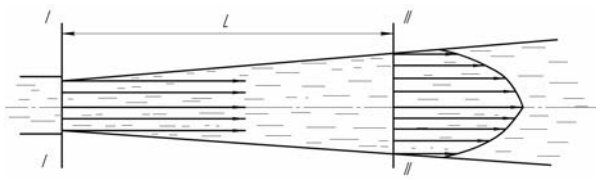
а) $\frac{S_1}{S_2}=\frac{V_1}{V_2}$; б) $\frac{V_1}{S_2}=\frac{S_1}{V_2}$; в) $\frac{V_1}{S_1}=\frac{V_2}{S_2}$; г) $\frac{V_2}{V_1}=\frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_1}{V_2}=\frac{S_2}{S_1}$;

4. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?

а) 

б) 

в) 

г) 

д) немає правильної відповіді

5. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

6. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$; г) $z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1}{2g} = z_2 - \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}) - \frac{\alpha V_1}{2g} = (z_2 + \frac{P_2}{\gamma}) - \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$;

7. Як записується рівняння Д. Бернуллі для потоку реальної рідини?

а) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g}$; б) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} + h_{вт}$;

в) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$; г) $z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1}{2g} = z_2 - \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}) - \frac{\alpha V_1}{2g} = (z_2 + \frac{P_2}{\gamma}) - \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$;

8. Пояснити фізичний зміст першого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   б) потенціальна енергія положення рідини.
   в) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) потенціальна енергія кількості рідини яка протікає по трубопроводу.
9. Пояснити фізичний зміст другого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   б) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   в) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   г) потенціальна енергія тиску рідини.
   д) потенціальна енергія тиску рідини, який залежить від її кількості.
10. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості
   б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) кінетична енергія рідини

11. Пояснити фізичний зміст останнього доданка у правій частині рівняння Д. Бернуллі.
    а) втрачена енергія рідини між перерізами.
    б) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до об'єму цієї рідини.
    в) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до маси цієї рідини.
    г) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до ваги цієї рідини.
    д) збережена енергія рідини
12. Якої величини не вистачає в формулі для визначення числа Рейнольдса? $\mathrm{Re} = \frac{?\cdot d}{\upsilon}$;
    а) напору рідини в трубопроводі;
    б) в'язкості рідини;
    в) коефіцієнта опору системи;
    г) швидкості руху рідини в трубопроводі;
    д) розходу рідини.
13. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки?
    а) 1780; б) 2320; в) 580; г) 760; д) 3230.
14. Який фізичний зміст числа Рейнольдса?
    а) це відношення одних параметрів до інших.
    б) воно показує, який режим руху рідини в напірному трубопроводі.
    в) число Рейнольдса показує відношення сил інерції до сил в'язкості.
    г) по числу Рейнольдса вибирається коефіцієнт в'язкості рідини.
    д) по числу Рейнольдса визначаються втрати напору по довжині трубопроводу.
15. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$;
    а) напору рідини в трубопроводі;
    б) в'язкості рідини в трубопроводі;
    в) швидкості руху рідини в трубопроводі;
    г) розходу рідини в трубопроводі;
    д) коефіцієнта опору системи.
16. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?
    а) збільшення довжини трубопроводу;

б) зміна швидкості руху рідини в трубопроводі;
в) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара;
г) розрив трубопроводу;
д) встановлення на трубопроводі вантуза.

17. За якими параметрами вибираються відцентрові насоси?
    а) потужність і коефіцієнт корисної дії;
    б) напір і оберти робочого колеса;
    в) напір і розхід;
    г) розхід і потужність;
    д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії.
18. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в послідовному режимі?
    а) розхід;
    б) оберти робочого колеса;
    в) потужність;
    г) напір;
    д) коефіцієнт корисної дії.
19. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в паралельному режимі?
    а) потужність; б) напір; в) розхід; г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.
20. За якою формулою визначається потужність для приводу насоса?

а) $N_{пр} = \mathrm{H}_H + Q_H + (\eta_H \cdot \gamma)$; б) $N_{пр} = \dfrac{(\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H \cdot \gamma}$.

в) $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$; г) $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot (\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H}$; д) $N_{пр} = \dfrac{\eta_H \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\gamma}$;

7.4.3. Варіант 3

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 1
ГІДРОСТАТИКА

1. Що називається рідиною?
    а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об’єм, але не змінює форму.
    б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об’єм.
    в) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об’єм, але здатне зберігати форму.
    г) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми.

д) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об'єм, але не здатне зберігати форму.

2. Від зміни яких величин залежить зміна густини рідини?
   а) тиску і об'єму;
   б) температури і об'єму;
   в) об'єму;
   г) тиску, температури і об'єму;
   д) тиску і температури.
3. За якою формулою визначають густину рідини?
   а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \frac{m}{V}$; в) $\rho = \frac{V}{m}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \frac{g}{\gamma}$.
4. Вкажіть формулу для визначення питомої ваги рідини.
   а) $\gamma = V \cdot G$; б) $\gamma = m \cdot G$; в) $\gamma = \frac{G}{V}$; г) $\gamma = \frac{\rho}{g}$; д) $\gamma = \frac{V}{G}$.
5. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск?
   а) $p = \frac{F}{S}$; б) $p = F \cdot S$; в) $p = \frac{S}{F}$; г) $p = \lim\limits_{S \to 0} \frac{F}{S}$; д) всі формули не вірні.
6. Які основні фізичні властивості рідин?
   а) питома вага, відносна густина, об'ємне розширення, капілярність, теплопровідність;
   б) густина, питома вага, відносна питома вага, теплоємність, теплопровідність;
   в) в'язкість, теплоємність, відносна густина, стисливість, капілярність;
   г) стисливість, густина, питома вага, об'ємне розширення, в'язкість;
   д) відносна питома вага, стисливість, капілярність, густина, відносна густина.
7. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta p}$?
   а) Δp; б) t; в) F; г) ΔV; д) N.
8. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta t}$?
   а) Δt; б) ΔV; в) p; г) N; д) F.
9. Якою формулою записується основне рівняння гідростатики?
   а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$;
   г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$.

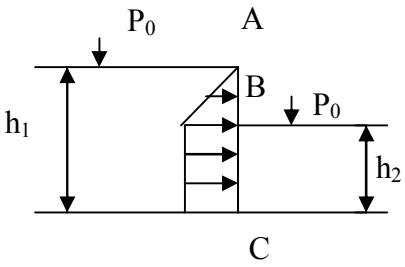
10. Які основні одиниці вимірювання тиску в системі СІ?

а) $\frac{м^2}{Н}$; б) $Н \cdot м^2$; в) *атм.* г) *м.вод.ст.* д) $\frac{Н}{м^2}$.

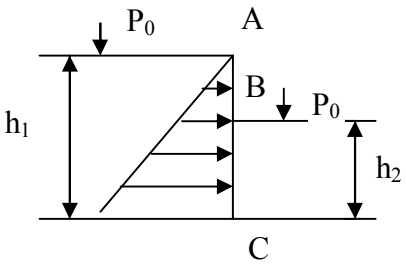
11. На якій висоті розміщується центр сили тиску на плоску стінку?

а) $\frac{H}{4}$; б) $\frac{2}{5}H$; в) $\frac{3}{4}H$; г) $\frac{2}{3}H$; д) $\frac{H}{2}$.

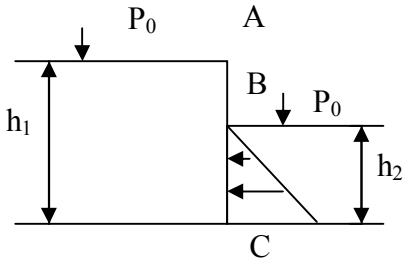
12. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
    а) вакуумметром, манометром;
    б) манометром, п'єзометром;
    в) барометром, вакуумметром;
    г) п'єзометром, вакуумметром;
    д) манометром, барометром.
13. Від яких величин залежить тиск на дно посудини при явищі «гідравлічний парадокс»?
    а) об'єму, густини рідини, площі дна;
    б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині;
    в) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині;
    г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму;
    д) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини.
14. Який вигляд буде мати результуюча епюра тиску, якщо канал розділений затвором АС. Рівень води перед затвором h_1, за затвором $h_2 \neq h_1$?



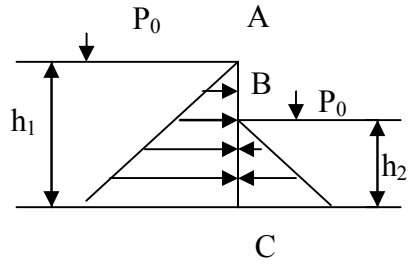
а)



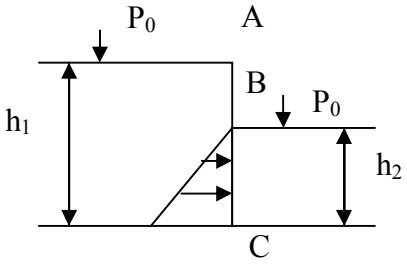
б)



в)



г)



д)

15. За якою формулою визначається координата центру тиску на плоску стінку?

а) $y_D = y_C \cdot \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; в) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C + S}$;

г) $y_D = y_C - \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; д) $y_D = \frac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.

16. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
    а) трубчаста пружина і поплавок;
    б) пружина і мембрана;
    в) мембрана і поплавок;
    г) трубчаста пружина і мембрана;
    д) поплавок і пружина;
17. Як формулюється Закон Паскаля?
    а) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, що залежить від температури, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    б) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої неоднорідної рідини, що залежить від температури, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    в) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої неоднорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    г) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої однорідної рідини, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    д) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.
18. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини?

а) $F_в = G$; б) $F_в > G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \frac{V}{\rho \cdot g}$.

19. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля?
    а) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор;
    б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун;
    в) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат;
    г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр;
    д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.
20. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила?

    а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = G \cdot V$; г) $F_в = \gamma \cdot V$; д) $F_в = \frac{V}{\gamma}$.

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ №2
ГІДРОДИНАМІКА

1. Який рух рідини називається сталим?
    а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від розміщення точки в просторі;
    б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від густини рідини;
    в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі;
    г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від в'язкості рідини;
    д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від густини і в'язкості рідини.
2. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку?

    а) $\frac{V_1}{S_1} = \frac{V_2}{S_2}$; б) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}$; в) $\frac{S_1}{S_2} = \frac{V_1}{V_2}$; г) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_1}{S_2} = \frac{S_1}{V_2}$;
3. Якими параметрами характеризується потік рідини?
    а) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість;
    б) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість;
    в) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія;

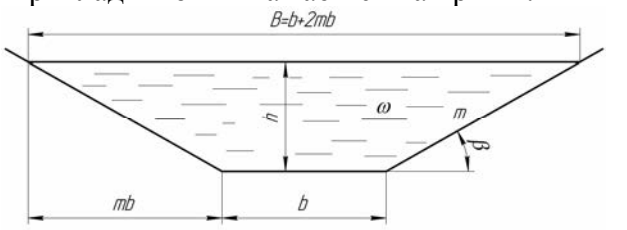
г) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об'ємна витрата, трубка течії, траєкторія;

д) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус;

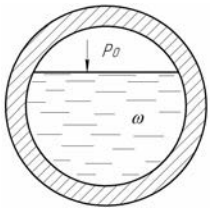
4. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?



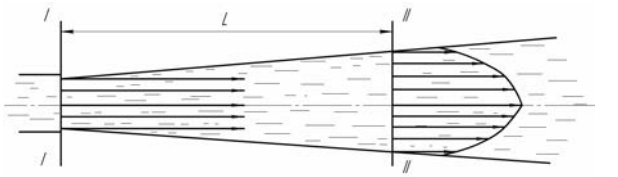
а)



б)



в)



г)

д) немає правильної відповіді

5. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

6. Як записується рівняння Д. Бернуллі для потоку реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

7. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$; г) $z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1}{2g} = z_2 - \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}) - \frac{\alpha V_1}{2g} = (z_2 + \frac{P_2}{\gamma}) - \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$;

8. Якої величини не вистачає в формулі для визначення числа Рейнольдса? $\mathrm{Re} = \frac{?\cdot d}{\upsilon}$;
   а) напору рідини в трубопроводі;
   б) швидкості руху рідини в трубопроводі;
   в) коефіцієнта опору системи;
   г) в'язкості рідини;
   д) розходу рідини.
9. Пояснити фізичний зміст першого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) потенціальна енергія кількості рідини яка протікає по трубопроводу.
   б) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   в) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) потенціальна енергія положення рідини.
10. Пояснити фізичний зміст другого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   б) потенціальна енергія тиску рідини.
   в) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) потенціальна енергія тиску рідини, який залежить від її кількості.
11. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   г) кінетична енергія рідини.
   д) кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості.

12. Пояснити фізичний зміст останнього доданка у правій частині рівняння Д. Бернуллі.
    а) втрачена енергія рідини між перерізами.
    б) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до об'єму цієї рідини.
    в) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до маси цієї рідини.
    г) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до ваги цієї рідини.
    д) збережена енергія рідини
13. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки?
    а) 1780; б) 580; в) 760; г) 2320; д) 3230.
14. Який фізичний зміст числа Рейнольдса?
    а) це відношення одних параметрів до інших.
    б) число Рейнольдса показує відношення сил інерції до сил в'язкості.
    в) по числу Рейнольдса вибирається коефіцієнт в'язкості рідини.
    г) воно показує, який режим руху рідини в напірному трубопроводі.
    д) по числу Рейнольдса визначаються втрати напору по довжині трубопроводу.
15. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в послідовному режимі?
    а) розхід;
    б) напір;
    в) потужність;
    г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.
16. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$;
    а) напору рідини в трубопроводі;
    б) в'язкості рідини в трубопроводі;
    в) розходу рідини в трубопроводі;
    г) швидкості руху рідини в трубопроводі;
    д) коефіцієнта опору системи.
17. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?
    а) збільшення довжини трубопроводу;
    б) зміна швидкості руху рідини в трубопроводі;

в) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара;
г) розрив трубопроводу;
д) встановлення на трубопроводі вантуза.

18. За якими параметрами вибираються відцентрові насоси?
    а) потужність і коефіцієнт корисної дії;
    б) напір і оберти робочого колеса;
    в) розхід і потужність;
    г) напір і розхід;
    д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії.
19. За якою формулою визначається потужність для приводу насоса?
    а) $N_{пр} = \mathrm{H}_H + Q_H + (\eta_H \cdot \gamma)$; $N_{пр} = \dfrac{\eta_H \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\gamma}$; $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$;
    б) $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot (\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H}$; $N_{пр} = \dfrac{(\mathrm{H}_H + Q_H)}{\eta_H \cdot \gamma}$.
20. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в паралельному режимі?
    а) розхід;
    б) напір;
    в) потужність;
    г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.

7.4.4. Варіант 4

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 1
ГІДРОСТАТИКА

1. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск?
    а) $p = \lim\limits_{S \to 0} \dfrac{F}{S}$; б) $p = \dfrac{F}{S}$; в) $p = \dfrac{S}{F}$; г) $p = F \cdot S$; д) всі формули не вірні
2. Що називається рідиною?
    а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об’єм, але не змінює форму.
    б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об’єм.
    в) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми.
    г) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об’єм, але здатне зберігати форму.
    д) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об’єм, але не здатне зберігати форму.

3. За якою формулою визначають густину рідини?

а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \frac{V}{m}$; в) $\rho = \frac{m}{V}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \frac{g}{\gamma}$.

4. Які основні фізичні властивості рідин?
   а) питома вага, відносна густина, об'ємне розширення, капілярність, теплопровідність;
   б) в'язкість, теплоємність, відносна густина, стисливість, капілярність;
   в) густина, питома вага, відносна питома вага, теплоємність, теплопровідність;
   г) стисливість, густина, питома вага, об'ємне розширення, в'язкість;
   д) відносна питома вага, стисливість, капілярність, густина, відносна густина.
5. Вкажіть формулу для визначення питомої ваги рідини.

а) $\gamma = \frac{G}{V}$; б) $\gamma = m \cdot G$; в) $\gamma = V \cdot G$; г) $\gamma = \frac{\rho}{g}$; д) $\gamma = \frac{V}{G}$.

6. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta p}$?

а) Δp; б) t; в) F; г) ΔV; д) N.

7. Які основні одиниці вимірювання тиску в системі СІ?

а) $\frac{м^2}{Н}$; б) $\frac{Н}{м^2}$. в) *атм.* г) *м.вод.ст.* д) $Н \cdot м^2$;

8. Якої величини не вистачає в формулі $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta t}$?

а) Δt; б) p; в) ΔV; г) N; д) F.

9. Від зміни яких величин залежить зміна густини рідини?
   а) тиску і температури;
   б) температури і об'єму;
   в) тиску і об'єму;
   г) тиску, температури і об'єму;
   д) . об'єму
10. На якій висоті розміщується центр сили тиску на плоску стінку?

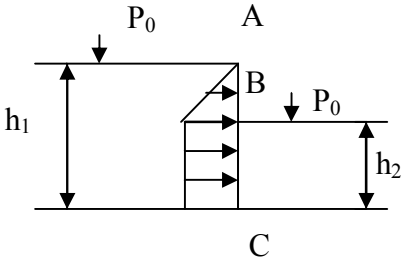
а) $\frac{H}{4}$; б) $\frac{2}{5}H$; в) $\frac{3}{4}H$; г) $\frac{2}{3}H$; д) $\frac{H}{2}$.

11. Якою формулою записується основне рівняння гідростатики?

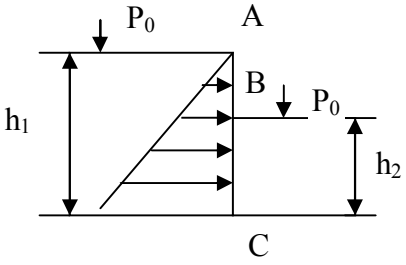
а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$;

г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$.

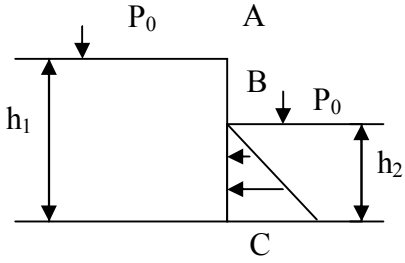
12. Від яких величин залежить тиск на дно посудини при явищі «гідравлічний парадокс»?
    а) об'єму, густини рідини, площі дна;
    б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині;
    в) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини;
    г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму;
    д) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині.
13. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
    а) вакуумметром, манометром;
    б) барометром, вакуумметром;
    в) манометром, п'єзометром;
    г) п'єзометром, вакуумметром;
    д) манометром, барометром.
14. Який вигляд буде мати результуюча епюра тиску, якщо канал розділений затвором АС. Рівень води перед затвором h_1, за затвором $h_2 \neq h_1$?



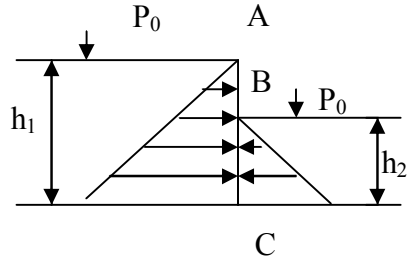
а)



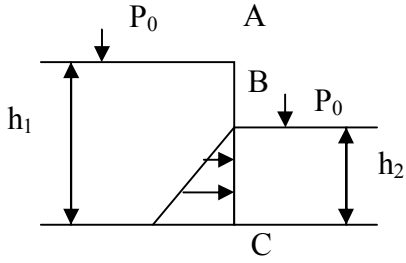
б)



в)



г)



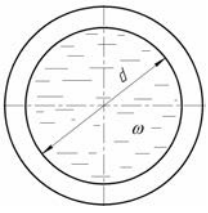
д)

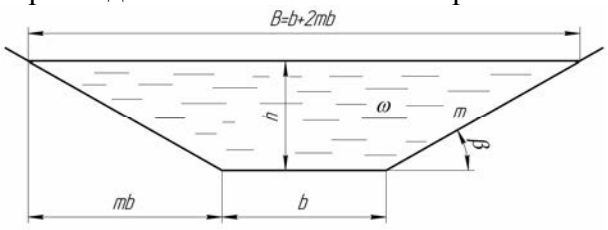
15. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
    а) трубчаста пружина і поплавок;
    б) пружина і мембрана;
    в) мембрана і поплавок;
    г) поплавок і пружина;
    д) трубчаста пружина і мембрана;
16. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини?
    а) $F_в > G$; б) $F_в = G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \dfrac{V}{\rho \cdot g}$.
17. За якою формулою визначається координата центру тиску на плоску стінку?
    а) $y_D = y_C \cdot \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$; в) $y_D = y_C - \dfrac{I_O}{y_C \cdot S}$;
    г) $y_D = y_C + \dfrac{I_O}{y_C + S}$; д) $y_D = \dfrac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.
18. Як формулюється Закон Паскаля?
    а) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, що залежить від температури, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    б) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої неоднорідної рідини, що залежить від температури, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    в) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої неоднорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
    г) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої однорідної рідини, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    д) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.
19. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила?
    а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в = G \cdot V$; д) $F_в = \dfrac{V}{\gamma}$.
20. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля?
    а) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат;
    б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун;

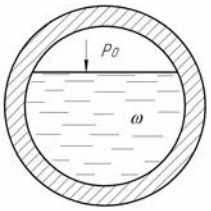
в) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор;
г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр;
д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.

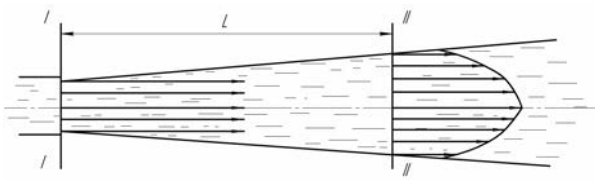
МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 2
ГІДРОДИНАМІКА

1. Який рух рідини називається сталим?
   а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від розміщення точки в просторі;
   б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від в'язкості рідини;
   в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі;
   г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від густини рідини;
   д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від густини і в'язкості рідини.
2. Якими параметрами характеризується потік рідини?
   а) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус;
   б) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об'ємна витрата, трубка течії, траєкторія;
   в) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість;
   г) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія;
   д) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість;
3. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку?
   а) $\frac{S_1}{S_2}=\frac{V_1}{V_2}$; б) $\frac{V_1}{S_2}=\frac{S_1}{V_2}$; в) $\frac{V_1}{S_1}=\frac{V_2}{S_2}$; г) $\frac{V_1}{V_2}=\frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_2}{V_1}=\frac{S_2}{S_1}$;
4. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?

а) 

б) 

в) 

г) 

д) немає правильної відповіді

5. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

6. Як записується рівняння Д. Бернуллі для потоку реальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

7. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?

а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2}{2g}+h_{вт}$;

в) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha V_1}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$; г) $z_1-\frac{P_1}{\gamma}-\frac{V_1}{2g}=z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{V_2}{2g}$;

д) $(z_1+\frac{P_1}{\gamma})-\frac{\alpha V_1}{2g}=(z_2+\frac{P_2}{\gamma})-\frac{\alpha V_2}{2g}+h_{вт1-2}$;

8. Пояснити фізичний зміст першого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   б) потенціальна енергія кількості рідини яка протікає по трубопроводу.

в) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
г) відношення потенціальної енергії положення рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
д) потенціальна енергія положення рідини.

9. Пояснити фізичний зміст другого доданку у рівнянні Д. Бернуллі.
а) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
б) потенціальна енергія тиску рідини.
в) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
г) відношення потенціальної енергії тиску рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
д) потенціальна енергія тиску рідини, який залежить від її кількості.

10. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі.
а) кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості
б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
г) кінетична енергія рідини.
д) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.

11. Пояснити фізичний зміст останнього доданка у правій частині рівняння Д. Бернуллі.
а) втрачена енергія рідини між перерізами.
б) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до об'єму цієї рідини.
в) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до маси цієї рідини.
г) відношення втраченої енергії рідини, яка протікає від першого поперечного перерізу до другого, до ваги цієї рідини.
д) збережена енергія рідини

12. Якої величини не вистачає в формулі для визначення числа Рейнольдса? $\mathrm{Re} = \frac{?\cdot d}{\upsilon}$;
а) напору рідини в трубопроводі;
б) в'язкості рідини;

в) швидкості руху рідини в трубопроводі;
г) коефіцієнта опору системи;
д) розходу рідини.

13. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки?
а) 1780; б) 3230; в) 580; г) 760; д) 2320.
14. Який фізичний зміст числа Рейнольдса?
а) це відношення одних параметрів до інших.
б) воно показує, який режим руху рідини в напірному трубопроводі.
в) число Рейнольдса показує відношення сил інерції до сил в'язкості.
г) по числу Рейнольдса вибирається коефіцієнт в'язкості рідини.
д) по числу Рейнольдса визначаються втрати напору по довжині трубопроводу.
15. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$;
а) напору рідини в трубопроводі;
б) в'язкості рідини в трубопроводі;
в) розходу рідини в трубопроводі;
г) швидкості руху рідини в трубопроводі;
д) коефіцієнта опору системи.
16. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?
а) збільшення довжини трубопроводу;
б) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара;
в) зміна швидкості руху рідини в трубопроводі;
г) розрив трубопроводу;
д) встановлення на трубопроводі вантуза.
17. За якими параметрами вибираються відцентрові насоси?
а) потужність і коефіцієнт корисної дії;
б) напір і розхід;
в) напір і оберти робочого колеса;
г) розхід і потужність;
д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії.
18. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в послідовному режимі?
а) розхід;
б) оберти робочого колеса;
в) потужність;
г) коефіцієнт корисної дії;
д) напір.

19. Який параметр насоса збільшиться, або зменшиться якщо насоси працюють в паралельному режимі?
    а) потужність;
    б) напір;
    в) розхід;
    г) оберти робочого колеса;
    д) коефіцієнт корисної дії.
20. За якою формулою визначається потужність для приводу насоса?

    а) $N_{пр} = \mathrm{H}_H + Q_H + (\eta_H \cdot \gamma)$; б) $N_{пр} = \dfrac{\left(\mathrm{H}_H + Q_H\right)}{\eta_H \cdot \gamma}$.

    в) $N_{пр} = \dfrac{\eta_H \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\gamma}$; г) $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot \left(\mathrm{H}_H + Q_H\right)}{\eta_H}$; д) $N_{пр} = \dfrac{\gamma \cdot \mathrm{H}_H \cdot Q_H}{\eta_H}$;

7.4.5. Варіант 5

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 1
ГІДРОСТАТИКА

1. Вкажіть правильну формулу за якою визначають густину рідини (ρ)?

    а) $\rho = m \cdot V$; б) $\rho = \dfrac{m}{V}$; в) $\rho = \dfrac{V}{m}$; г) $\rho = \gamma \cdot g$; д) $\rho = \dfrac{g}{\gamma}$.

2. Що називається рідиною?
    а) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією тиску змінює свій об’єм, але не змінює форму.
    б) Рідиною називається фізичне тіло яке під дією температури змінює свою форму, але не змінює об’єм.
    в) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати свій об’єм, але не датне зберігати форму.
    г) Рідиною називається фізичне тіло яке здатне зберігати густину і чинити опір при зміні форми.
    д) Рідиною називається фізичне тіло яке не здатне зберігати свій об’єм, але здатне зберігати форму.
3. За якою формулою визначається середній гідростатичний тиск (P)?

    а) $p = \dfrac{F}{S}$; б) $p = F \cdot S$; в) $p = \dfrac{S}{F}$; г) $p = \lim\limits_{S \to 0} \dfrac{F}{S}$;

    д) всі формули не вірні.
4. Від зміни яких величин залежить зміна густини рідини?
    а) тиску і об’єму;
    б) температури і об’єму;
    в) об’єму;
    г) тиску, температури і об’єму;
    д) тиску і температури

5. Вкажіть правильну формулу для визначення питомої ваги рідини (γ).

   а) $\gamma = V \cdot G$; б) $\gamma = m \cdot G$; в) $\gamma = \frac{G}{V}$; г) $\gamma = \frac{\rho}{g}$; д) $\gamma = \frac{V}{G}$.

5. Якої величини не вистачає в формулі для визначення коефіцієнта об'ємного стиснення $\beta_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta p}$?

   а) Δp; б) t в) F; г) ΔV; д) N.

6. За якою формулою визначається ордината центру тиску (y_D) на плоску стінку?

   а) $y_D = y_C \cdot \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; б) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; в) $y_D = y_C + \frac{I_O}{y_C + S}$;

   г) $y_D = y_C - \frac{I_O}{y_C \cdot S}$; д) $y_D = \frac{I_O}{y_C \cdot S} - y_C$.

7. Які основні фізичні властивості рідин?

   а) питома вага, відносна густина, об'ємне розширення, капілярність, теплопровідність;

   б) густина, питома вага, відносна питома вага, теплоємність, теплопровідність;

   в) в'язкість, теплоємність, відносна густина, стисливість, капілярність;

   г) стисливість, густина, питома вага, об'ємне розширення, в'язкість;

   д) відносна питома вага, стисливість, капілярність, густина, відносна густина.

8. Які основні одиниці вимірювання тиску в системі СІ?

   а) $\frac{м^2}{Н}$; б) $Н \cdot м^2$; в) *атм.* г) *м.вод.ст.* д) *Па*

9. На якій відстані (h_T) від поверхні рідини (p_0) розміщується центр сили тиску (P) на плоску вертикальну прямокутну стінку висотою (H)?

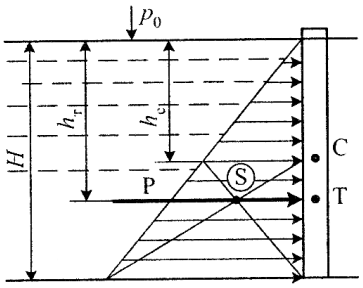
   а) $h_T = \frac{H}{4}$;

   б) $h_T = \frac{2}{5}H$;

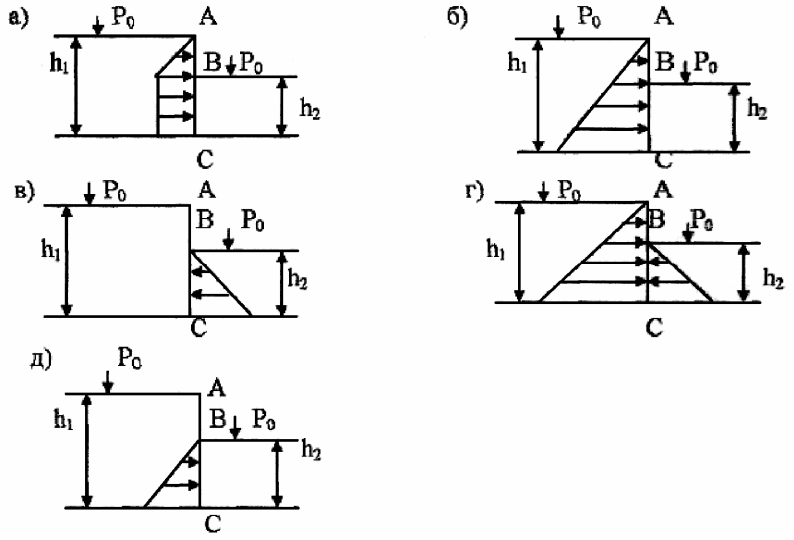
   в) $h_T = \frac{3}{4}H$;

   г) $h_T = \frac{2}{3}H$;

   д) $h_T = \frac{H}{2}$.

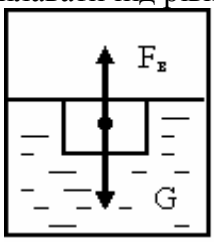


10. Вкажіть правильну формулу за якою записується основне рівняння гідростатики?
    а) $p_{абс} = p_{надл} + p_{вак}$; б) $p_{абс} = p_o \cdot \gamma \cdot h$; в) $p_{абс} = p_o + \rho \cdot g \cdot h$;
    г) $p_{абс} = p_{атм} - p_{надл}$; д) $p_{абс} = p_o - \rho \cdot g \cdot h$.
11. Від яких величин залежить сила тиску на дно посудини при розгляді явища «гідравлічного парадоксу»?
    а) об'єму, густини рідини, площі дна;
    б) тиску на поверхні рідини, питомої ваги, висоти рідини в посудині;
    в) питомої ваги, площі дна, висоти рідини в посудині;
    г) висоти рідини в посудині, площі дна, об'єму;
    д) густини рідини, питомої ваги, тиску на поверхні рідини.
12. Якої величини не вистачає в формулі для визначення коефіцієнта температурного розширення $\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{?}{\Delta t}$?
    а) Δt; б) ΔV; в) p; г) N; д) F
13. Який вигляд буде мати результуюча епюра тиску, якщо канал розділений затвором АС. Рівень води перед затвором h_1, за затвором $h_2 \neq h_1$?



14. Якими приладами вимірюється надлишковий тиск?
    а) вакуумметром, манометром;
    б) манометром, п'єзометром;
    в) барометром, вакуумметром;
    г) п'єзометром, вакуумметром;
    д) манометром, барометром

15. Який виконавчий механізм використовується в механічних манометрах для вимірювання надлишкового тиску?
    а) трубчаста пружина і поплавок;
    б) пружина і мембрана;
    в) мембрана і поплавок;
    г) трубчаста пружина і мембрана;
    д) поплавок і пружина
16. За якої умови тіло буде плавати під рівнем (в товщі) рідини?



    а) $F_в = G$; б) $F_в > G$; в) $F_в = \gamma \cdot V$; г) $F_в < G$; д) $F_в = \dfrac{V}{\rho \cdot g}$.
17. Вказати формулу за якою визначається виштовхуюча (Архімедова) сила?
    а) $F_в = \gamma + V$; б) $F_в = \rho \cdot g \cdot H$; в) $F_в = G \cdot V$; г) $F_в = \gamma \cdot V$; д) $F_в = \dfrac{V}{\gamma}$.
18. Які прості гідравлічні машини працюють за принципом закону Паскаля?
    а) гідравлічний циліндр, гідравлічний насос, гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор;
    б) гідравлічні гальма, гідравлічний домкрат, гідравлічний акумулятор, гідравлічний двигун;
    в) гідравлічний прес, гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний акумулятор, гідравлічний домкрат;
    г) гідравлічний мультиплікатор, гідравлічний підсилювач, гідравлічний домкрат, гідравлічний циліндр;
    д) гідравлічний акумулятор, гідравлічний насос, гідравлічний двигун, гідравлічні гальма.
19. Як формулюється Закон Паскаля?
    а) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, що залежить від температури, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
    б) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої неоднорідної рідини, що залежить від температури, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;

в) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої неоднорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини;
г) всяка зміна тиску в будь-якій точці рухомої однорідної рідини, яка порушує її рівновагу, передається в усі точки рідини;
д) всяка зміна тиску в будь-якій точці нерухомої однорідної рідини, яка не порушує її рівноваги, передається в усі точки рідини.

МОДУЛЬНИЙ ТЕСТ № 2
ГІДРОДИНАМІКА

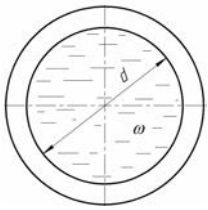
1. Який рух рідини називається сталим?
   а) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від розміщення точки в просторі;
   б) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від густини рідини;
   в) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від розміщення точки в просторі;
   г) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск залежать від в'язкості рідини;
   д) рух рідини вважається сталим, якщо швидкість і гідродинамічний тиск не залежать від густини і в'язкості рідини.
2. Якими параметрами характеризується потік рідини?
   а) русло потоку, живий переріз, об'ємна витрата, середня швидкість, змочений периметр, гідравлічний радіус;
   б) траєкторія, трубка течії, лінія течії, елементарна струминка, живий переріз, середня швидкість;
   в) елементарна струминка, русло потоку, змочений периметр, трубка течії, лінія течії, траєкторія;
   г) змочений периметр, елементарна струминка, живий переріз, об'ємна витрата, трубка течії, траєкторія;
   д) гідравлічний радіус, русло потоку, траєкторія, лінія течії, об'ємна витрата, середня швидкість.
3. Яким виразом описується рівняння нерозривності потоку?
   а) $\frac{V_1}{V_2}=\frac{S_2}{S_1}$; б) $\frac{V_1}{S_1}=\frac{V_2}{S_2}$; в) $\frac{S_1}{S_2}=\frac{V_1}{V_2}$; г) $\frac{V_2}{V_1}=\frac{S_2}{S_1}$; д) $\frac{V_1}{S_2}=\frac{S_1}{V_2}$;
4. Як записується рівняння Д. Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини?
   а) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}$; б) $z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_{вт}$;

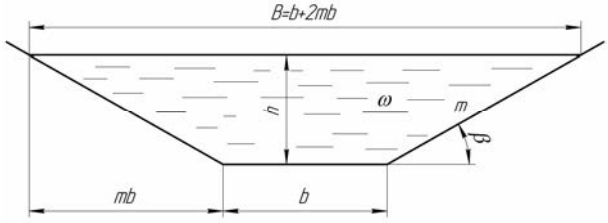
в) $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{вт1-2}$;

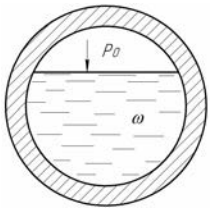
г) $z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1}{2g} = z_2 - \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2}{2g}$;

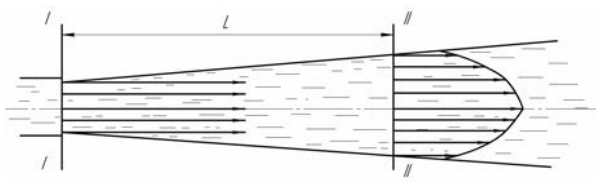
д) $(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}) - \frac{\alpha V_1}{2g} = (z_2 + \frac{P_2}{\gamma}) - \frac{\alpha V_2}{2g} + h_{вт1-2}$;

5. В якому з наведених прикладів потік вважається напірним?

а) 

б) 

в) 

г) 

д) немає правильної відповіді

6. При якому критичному числі Рейнольдса режим руху рідини в напірному трубопроводі змінюється з ламінарного на турбулентний, або навпаки?
   а) 1780; б) 580; в) 2320; г) 760; д) 3230.
7. Пояснити фізичний зміст третього доданка у рівнянні Д. Бернуллі.
   а) кінетична енергія рідини.
   б) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до об'єму цієї рідини.
   в) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до маси цієї рідини.
   г) відношення кінетичної енергії рідини, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз, до ваги цієї рідини.
   д) кінетична енергія рідини, яка залежить від її кількості.
8. Для визначення якої величини використовується формула Вейсбаха-Дарсі?
   а) для визначення числа Рейнольдса;
   б) для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя;
   в) для визначення втрат напору по довжині в круглих трубопроводах;
   г) для визначення коефіцієнта втрат місцевого опору;
   д) для визначення швидкості руху рідини в круглих трубопроводах.

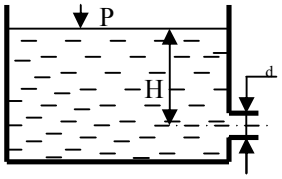
9. Якої величини не вистачає в формулі для визначення втрат напору по довжині трубопроводу? $h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{?}{2 \cdot g}$

   а) напору рідини в трубопроводі;
   б) в'язкості рідини в трубопроводі;
   в) розходу рідини в трубопроводі;
   г) швидкості руху рідини в трубопроводі;
   д) коефіцієнта гідравлічного тертя.

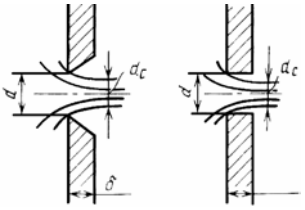
10. За якої умови трубопроводи вважаються довгими.
   а) в яких місцеві втрати складають 15-20% від загальних втрат напору;
   б) в яких місцеві втрати складають 5-10% від загальних втрат напору;
   в) в яких місцеві втрати складають 40-50% від загальних втрат напору;
   г) в яких місцеві втрати більші 10-15% від загальних втрат напору;
   д) в яких місцеві втрати відсутні.

11. За якої умови круглий отвір вважається малим?

   а) $d > 0{,}1H$;
   б) $d > 0{,}5H$;
   в) $d < 0{,}5H$;
   г) $d < 0{,}1H$;
   д) $d = H$.



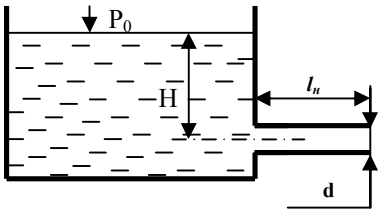
12. За якої умови стінка вважається тонкою?
   а) $\delta < 6d$;
   б) $\delta > 3d$;
   в) $\delta > 10d$;
   г) $\delta = 4d$;
   д) $\delta > 5d$.



13. Яким символом позначається коефіцієнт швидкості?
   а) ε ; б) μ; в) λ; г) ξ; д) φ.

14. За якої умови коротка труба вважається насадком?

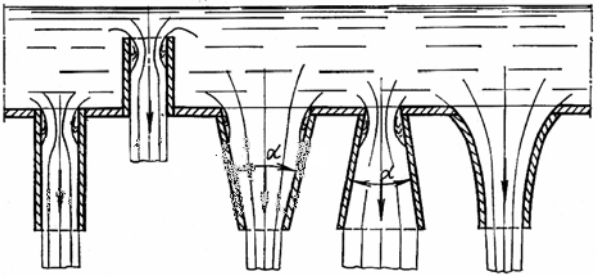
   а) $3d \le l_н \le 7d$;
   б) $10d \le l_н \ge 15d$;
   в) $d \le l_н \ge 2d$;
   г) $d = l_н$;
   д) $l_н > 15d$.



15. Під яким номером зображено коноїдальну насадку?

а) 1;
б) 2;
в) 3;
г) 4;
д) 5.

Типи насадок



16. За якою формулою визначається швидкість витікання рідини з малого отвору в тонкій стінці при постійному напорі в атмосферу?

а) $V = 2\varphi\sqrt{gH}$ б) $V = \varphi\sqrt{2gH}$ в) $V = 2\sqrt{\varphi gH}$ г) $V = 2H\sqrt{g\varphi}$

д) $V = g\sqrt{2\varphi H}$

17. За якою формулою визначається витрата при витіканні рідини з малого отвору в тонкій стінці при змінному напорі в атмосферу?

а) $Q = \mu S\sqrt{2g\Delta H}$ б) $Q = 2S\sqrt{\mu g\Delta H}$ в) $Q = \mu\Delta H\sqrt{2gS}$

г) $Q = 2g\sqrt{S\ \mu\ \Delta H}$ д) $Q = 2\mu\sqrt{Sg\Delta H}$

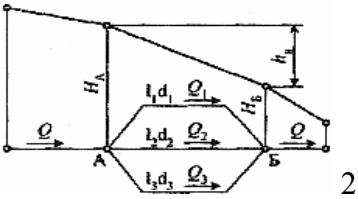
18. За яких причин виникає гідравлічний удар в напірному трубопроводі?

а) збільшення довжини трубопроводу;
б) повільне відкривання крана на трубопроводі;
в) встановлення на кінці трубопроводу відкритого резервуара;
г) миттєве відкривання заслінки на трубопроводі;
д) встановлення на трубопроводі вантуза.

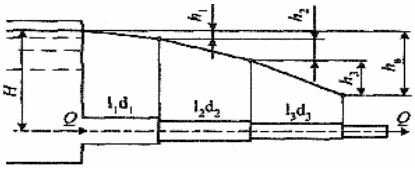
19. Під яким номером показано схему розімкнутого (тупикового) трубопроводу?

а) 1, 2; б) 3, 4; в) 3; г) 4; 3 д) 2.

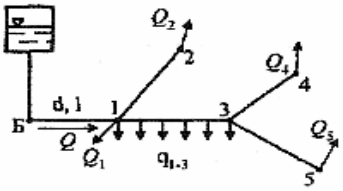
1)



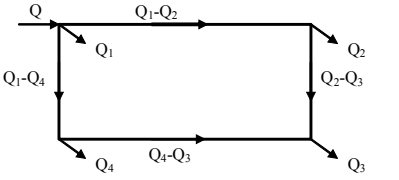
2)



3)



4)



20. За якими параметрами вибираються відцентрові насоси?
    а) потужність і коефіцієнт корисної дії (N, η);
    б) напір і оберти робочого колеса (H, n);
    в) витрата і потужність (Q, N);
    г) напір і витрата (H, Q);
    д) оберти робочого колеса і коефіцієнт корисної дії (n, η).

ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с.
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
8. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.В.Некрасов; – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
9. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення / В.О. Орлов, А.М. Зощук; – Рівне, 2002. – 203 с.
10. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація / В.С. Кравченко; – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
11. Волошин М.М. Теоретичні основи методики навчання технічних дисциплін у вищому закладі освіти аграрно-технічного профілю: Монографія. Вид. 2-е / За ред. Дьоміна А.І., Мозирського В.В. – Кам'янець-Подільський: Абетка-НОВА, 2005. – 336 с.

12. Алексеев Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев; – М.: ИНФРА – М, 2004. – 154 с.
13. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський; – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
14. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В. Яковлева; – М.: Колос, 1992. – 287 с.
15. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров – К.: – Вища школа, 1987. – 208 с.
16. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали: В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 20 09. – 1011 с. – (Словники України).
18. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / С.М. Срібнюк; – Київ Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
19. Сайт http://www.techgidravlika.ru
20. Сайт http://www.twirpx.com
21. Сайт www.hydraulics.at.ua

Розділ 8. МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

8.1. Самостійна робота студентів очної форми навчання

При всій своїй важливості аудиторні заняття не дозволяють вирішити до кінця проблему перетворення одержаної на них інформації у тверді, усвідомлені знання. До того ж відведеного на заняття з гідравліки часу явно не вистачає для повноцінного розгляду всіх програмних питань. Ці проблеми вирішуються в процесі систематичної, правильно організованої самостійної роботи студентів. Самостійна робота є одним з основних засобів підтримки викладання дисципліни на належному рівні, неодмінною умовою ефективності процесу навчання та якісної підготовки майбутніх спеціалістів, так як привчає їх самостійно доповнювати і поновлювати знання, орієнтуватись у величезній кількості науково-технічної інформації.

Основна поточна мета самостійної роботи студентів – розширити та поглибити знання з гідравліки, а також розвинути навички роботи над конспектами, підручниками та іншою літературою. Остаточна мета самостійної роботи – оволодіти навичками самоосвіти, навчитись планувати її поетапне виконання та здійснювати самоконтроль (тобто облік виконаної роботи з об'єктивною оцінкою її ходу та результатів).

Самостійна робота передбачає вміння студентів проводити самостійний пошук необхідної науково-технічної та учбової літератури.

Слід зазначити, що в учбових закладах III-IV рівня акредитації розклад самостійних занять не складається, а тільки регламентується кількість годин для самостійного опрацювання матеріалу. Проте викладач зобов'язаний у певні визначені дні проводити як мінімум двогодинні консультації, причому явка студентів на такі консультації не перевіряється.

На підставі встановленої кількості годин, відведеної для самостійної роботи, та розкладу самостійних занять (у разі складання такого розкладу) викладачеві рекомендується розробити робочий план-календар на семестр. У плані на кожний тиждень зазначаються теми питання та задачі аудиторних занять, а також теми, питання і задачі для самостійного вивчення, строки виконання, список літератури, графіки проведення самостійних занять і консультацій.

Матеріали, що виносяться для самостійного опрацювання, можна умовно розділити на такі групи:

1. Фрагменти окремих питань, детальний розгляд яких на аудиторних заняттях не має великої актуальності – наприклад, математичні викладки при виведенні деяких формул.

2. Окремі програмні питання, які можна вважати другорядними, за умови їх достатньо повного висвітлення у наявній літературі.
3. Окремі програмні питання, які в силу певних причин не були розглянуті, як це планувалось, на аудиторних заняттях.
4. Питання загальнотехнічного, науково-популярного та історіографічного плану, пов'язані з програмними питаннями. Роботу у цьому напрямку бажано організовувати у вигляді підготовки рефератів.
5. Програмні питання, які викладались на аудиторних заняттях, але залишились недостатньо засвоєними. Такі завдання є індивідуальними для окремих студентів і застосовуються також у тих випадках, коли вони пропустили відповідні заняття.
6. Питання з теоретичної частини та методики виконання лабораторних робіт при підготовці до їх проведення.
7. Задачі, пов'язані з основними програмними питаннями.
8. Індивідуальні комплексні задачі та розрахунково-графічні завдання.

Виходячи з вище означеного, можна сформулювати основні обов'язки викладача у процесі управління самостійною роботою:

1. *Відбір та логічний аналіз учбового матеріалу для активізації творчої роботи студентів.* Цей матеріал слід формулювати у вигляді проблемних питань, відповіді на які потребують самостійного мислення та аналізу науково-технічної інформації. Переважна більшість питань повинна бути пов'язана з галуззю, для якої проводиться підготовка спеціалістів, проте окремі з них можуть стосуватись інших галузей техніки та сільськогосподарського виробництва.
2. *Підготовка методичних матеріалів:* завдань, вказівок, рекомендацій, посібників для самостійної роботи з обов'язковим зазначенням літературних джерел інформації. При розробці завдань слід дотримуватись правила: їх рівень складності та ступінь самостійності студентів при самостійній роботі повинні зростати поступово. Неодмінна вимога при цьому – враховувати реальні можливості студентів (тобто їх підготовленість, бюджет часу та ін.) для виконання поставлених самостійних завдань.
3. *Проведення занять по самопідготовці студентів у вигляді позаурочних самостійних занять в аудиторії за встановленим розкладом.* На заняттях студенти у присутності викладача виконують домашні завдання, самостійно вивчають теорію, працюють над конспектом і літературою, розв'язують задачі, готуються до лабораторних робіт, з'ясовують незрозумілі питання. Подібні заняття проводяться один-два рази на тиждень.
4. *Проведення групових та індивідуальних консультацій.* Консультації проводяться також за встановленим графіком з метою додаткового

пояснення тих учбових питань, які залишились для студентів незрозумілими.

5. *Контроль, перевірка та оцінка самостійної роботи.* Формами контролю можуть бути індивідуальні та групові співбесіди на консультаціях, письмові контрольні роботи, короткотермінові (10-15 хв.) колоквіуми, олімпіади. Викладачу слід всіляко заохочувати студентів до самостійної роботи. Найбільш поширеним способом для цього є звільнення студентів від складання іспиту (заліку) взагалі по дисципліні або ж з окремих тем, безперечно, за умови високих результатів по самостійній роботі.

8.2. Алгоритм виконання розрахункової роботи

Тема: Технологічний розрахунок системи водопостачання населеного пункту

ЗАВДАННЯ

для розрахункової роботи з дисципліни «Гідравліка» студенту
_____ курсу _____ групи
інституту механізації і електрифікації сільського господарства

_____
Прізвище, ім'я, по батькові

Шифр залікової книжки_____

Провести технологічний розрахунок системи водопостачання населеного пункту.

Споживачі води:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

Дата видачі завдання «___» ____ 20 _ р. Викладач _____

Дані для виконання розрахункової роботи вибираються студентом згідно шифру залікової книжки з таблиць додаток А і Б. Споживачі води задаються викладачем кожному студенту індивідуально.

8.2.1. Водопровідна мережа

Для зручності виконання розрахунків водопровідну мережу на плані (додаток С) ділимо на окремі ділянки відповідно до пунктів розбирання води. Початкові і кінцеві точки (вузли) ділянок позначаємо

номерами, встановлюємо їх довжину і визначаємо відмітки землі на кінцевих ділянках трубопроводів. Результати вимірювань записуємо в розрахункову таблицю

Таблиця 8.1

Результати вимірювань ділянок водопровідної мережі

Номер ділянки	Назва ділянки	Довжина ділянки, м	Відмітка землі, м	
			Початок ділянки	Кінець ділянки

8.2.2. Визначення витрати води

Визначення добової потреби води по споживачах. Розрахункові (середні за рік) добові витрати води, на господарсько – питні потреби населення визначаємо за формулою:

$$Q_{доб}^{H}=N_{ж}\cdot g_{ж}, \tag{8.1}$$

де $N_{ж}$ – розрахункова чисельність мешканців, чол;

$g_{ж}$ – питомі витрати води на одного жителя, л/доб.чол. (додаток Д1).

Добові витрати води на промислові потреби

$$Q_{доб}=N_{n}\cdot g_{n}, \tag{8.2}$$

де N_n – кількість продукції, що випускається; т/зм;

g_n – питомі витрати води, на одиницю продукції, $м^3$. (додаток Д2).

Добові витрати води на фермах

$$Q_{доб}=N_{T}\cdot g_{T}, \tag{8.3}$$

де N_T – кількість тварин, гол;

g_T – питома витрата води на одну тварину, л/доб.гол. (додаток Д3).

Визначення максимальної добової витрати води. Споживання води розподіляється дуже нерівномірно як протягом року, так і протягом доби. Максимальна добова витрата води визначається для всіх споживачів по формулі

$$Q_{доб\max i}=K_{д}\cdot Q_{добові}, \tag{8.4}$$

де $K_д$ – коефіцієнт нерівномірності добового споживання води, приймаємо $K_д$ – 1,3 (для всіх споживачів)

Тоді загальна максимально – добова витрата води споживачами населеного пункту визначається за формулою:

$$Q_{доб.\max}=\sum_{i=1}^{n}Q_{доб.\max i} \tag{8.5}$$

$$Q_{доб\max}=Q_{доб\max}^{H}(жс1)+Q_{доб\max}(жс2)+Q_{доб\max}+Q_{доб\max} \tag{8.6}$$

На основі отриманих даних складаємо відомість водоспоживання на добу для кожного об'єкта окремо (додаток В), з урахуванням розподілу добових витрат за годинами (додаток З і Е).

За відомістю споживання води будуємо добовий графік водоспоживання для населеного пункту.

Визначення максимальної годинної витрати води. Споживання води розподіляється нерівномірно протягом години. Максимальна годинна витрата води визначається для всіх споживачів по формулі з урахуванням коефіцієнта нерівномірності годинного споживання води:

$$Q_{Г.\max i} = \frac{Q_{доб\max i} \cdot K_Г}{24}, \qquad (8.7)$$

де $K_Г$ – коефіцієнт нерівномірності годинного споживання води, приймаємо $K_Г = 2{,}5$ (для тваринницьких ферм і промисловості), $K_Г = 2{,}0$ – жилий сектор і лікарня.

Визначення максимальної секундної витрати води. Максимальна секундна потреба води визначається для всіх споживачів по формулі:

$$Q_{C.\max i} = \frac{Q_{доб\max_i}}{3600} \qquad (8.8)$$

Усі розрахункові дані зводимо в таблицю 8.2

Таблиця 8.2

Витрати води для населеного пункту

Назва об'єктів	$Q_{доб}$, $м^3/доб$	$Q_{доб.\max}$, $м^3/доб$	$Q_{Г.\max}$, $м^3/год$	$Q_{C.\max}$,	
				$л/сек$	$м^3/сек$
Жилий сектор 1 (жс-1)					

8.2.3. Гідравлічний розрахунок розподільного трубопроводу

Розрахунок діаметрів трубопроводів. Розрахунок діаметрів трубопроводів починають з найвіддаленіших від насоса та водонапірної споруди ділянок і вузлів. За необхідною витратою води визначаємо діаметр труб для кожної ділянки окремо по формулі:

$$d_{TP} = 2\sqrt{\frac{Q_{C.\max i}}{\pi \cdot \vartheta}}, \qquad (8.9)$$

де $Q_{C.\max i}$ – максимальна секундна витрата води на даній ділянці, $м^3/с$.

ϑ – рекомендована швидкість руху води в трубах, $м/с$ (додаток К).

З наближенням до водонапірної споруди та насоса зростає транзитна подача води на ділянці до наступних об'єктів водопостачання. Це спричиняє відповідне збільшення діаметра трубопроводу.

Підраховані значення діаметрів труб корегують (округлюють) до ближнього стандартного розміру, дотримуючись рекомендованих меж швидкості руху води.

Визначення втрат напору для кожної ділянки трубопроводу. Втрати напору ділять на лінійні і місцеві. Лінійні втрати напору обумовлені тертям води по стінках труб, а втрати в місцевих опорах – опорам кранів, засувок, розгалужень, звужень і т.д.

$$h = h_л + h_м \tag{8.10}$$

Лінійні втрати напору визначаються за формулою:

$$h_л = \lambda \frac{\vartheta^2 \cdot L}{2g \cdot d_{Tp}}, \tag{8.11}$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору, який залежить від швидкості руху води і матеріалу труб. Для чавунних та стальних труб $\lambda = 0{,}020$, для азбоцементних $\lambda = 0{,}025$;

L – довжина ділянки водопроводу, м;

d_{Tp} – діаметр трубопроводу, м.

Втрати напору в місцевих опорах ($h_м$) для трубопроводів значної протяжності можна не розраховувати. Достатньо збільшити втрати напору на подолання тертя в трубопроводі на 3-5% для зовнішніх та на 5-10% для внутрішніх водопровідних мереж.

Тоді загальні втрати:

$$h = 1{,}05 \cdot h_л \tag{8.12}$$

Аналогічно розраховують втрати напору і для інших ділянок. Результати підрахунків зводимо в таблицю 8.3.

Таблиця 8.3

Розрахункові дані по ділянках водопровідної мережі

Ділянка	$Q_{c\cdot\max}$, $м^3/с$	L, м	d_{Tp}, мм	ϑ, $м/с$	h, м

8.2.4. Розрахунок водонапірної споруди

Визначення висоти водонапірної башти. Висота водонапірної башти повинна бути такою, щоб забезпечити подачу води до найвіддаленішого від неї і найвище розміщеного пункту споживання води, який називають диктуючою точкою. До того ж, у цій точці потрібно підтримувати достатній вільний напір H_B. Відповідно до діючих норм і правил (СниП) мінімальний вільний напір при одноповерховій забудові

приміщень приймають – 10 м, двоповерховій – 14 м, для тваринницьких приміщень – 4...5 м.

Необхідна висота водонапірної башти визначається по формулі:

$$H_б = H_B + \sum h + (z_д - z_б), \tag{8.13}$$

де H_B – вільний напір споживача, м;

$\sum h$ – загальні втрати тиску в трубопроводі на ділянці від башти до споживача, м;

$\sum h\,(z_д - z_б)$ – різниця геодезичних позначок землі у місці розміщення диктуючої точки та башти, м.

Наприклад: при подачі води в жилий сектор 1:

$$H_б = H_{B(жс1)} + \sum\nolimits_{(ВБ-Iжс-1)}^{h} + (z_1 - z_0) \tag{8.14}$$

Проаналізувавши результати розрахунків, встановлюємо, розрахунковий споживач, для якого вибираємо водонапірну башту (додаток М). Приймаємо висоту башти (до низу водонапірного бака).

Визначення загального об'єму резервуара водонапірної башти. Споживання води в населеному пункті протягом доби відбувається нерівномірно: то помітно зростає, то значно зменшується. Для узгодження роботи насосних станцій з нерівномірним режимом витрат води в системі водопостачання передбачені спеціальні водонапірні споруди.

Загальний об'єм резервуара водонапірної башти визначають по формулі:

$$V = V_p + V_{пож} \tag{8.15}$$

де V_p – робочий або регулюючий об'єм резервуара, $м^3$;

$V_{пож}$ – об'єм води, необхідний для тушіння пожежі, $м^3$; $V_{пож} = 6\ м^3$

Регулювальна місткість бака залежить від величини максимальної добової потреби води, характеру її витрачання в різні години доби та режиму роботи насосної станції.

Регулюючий об'єм башти визначаємо графічним шляхом (методом інтегральних кривих), по годинному графіку подачі і споживання води будується інтегральний графік.

На інтегральному графіку наведено сумарне споживання води від початку доби до кожної наступної її години, а також інтегральні криві подачі води насосною станцією. (Режими роботи насоса: протягом доби 14 годин, 16 годин, або автоматичне керування).

Аналізуючи різні варіанти початку включення і тривалості роботи насоса протягом доби, вибирають найкращий з них.

Мінімальна місткість резервуара $V_{p\min}$ визначається по формулі:

$$V_{p\min} = V_{рп} + V_{рк}, \tag{8.16}$$

де $V_{рп}, V_{рк}$ – регулювальні запаси, що забезпечують споживання води відповідно від початку доби до включення насосної станції, а також після зупинки її до кінця доби, $м^3$.

Щоб забезпечити запас води, який виключив би можливість спорожнення резервуара бака у пікові години, регулювальну місткість необхідно збільшити на 2-3%.

$$V_p = 1{,}02 V_{p\min} \tag{8.17}$$

Розрахунковий загальний об'єм резервуара водонапірної споруди округлюють до найближчого за стандартом і вибираємо необхідну марку башти (додаток Ї).

8.2.5. Вибір водопідіймального обладнання

8.2.5.1. Водонапір «СВЕРДЛОВИНА»

Гідравлічний розрахунок нагнітального трубопроводу. Насосні установки з заглибленими насосами не мають всмоктувального трубопроводу. Ці насоси опускаються в свердловину на нагнітальному трубопроводі з таким розрахунком, щоб всмоктувальні отвори насоса знаходились під нижнім рівнем води (динамічний рівень) не менше чим на 1 м.

Приймаємо заглиблення насоса $\Delta h = 2...3 м$

Визначаємо з геометричних співвідношень довжину нагнітального трубопроводу по формулі (Схема).

$$L_{наг} = L_0 + \mathrm{H}_б + \mathrm{H}_р + \left(z_{н.с} - z_{дин} + \Delta h\right), \tag{8.18}$$

де L_0 – довжина трубопроводу від свердловини до основи башти, м;

$H_б$ – висота ствола башти, м;

$H_р$ – висота резервуара башти, м;

$z_{н.с} - z_{дин}$ – відстань від поверхні землі до динамічного рівня води в свердловині.

Необхідна продуктивність насоса визначається по формулі:

$$Q_н = \frac{Q_{доб\max}}{T}, \tag{8.19}$$

де T – тривалість роботи насоса протягом доби. Приймаємо T = 16 год.

Підбираємо діаметр нагнітального трубопроводу.

Допустима швидкість води в нагнітальному трубопроводі:

$$V_{наг} = 0{,}8...2{,}0 м/с$$

Приймаємо $V_{наг}$

З рівняння нерозривності $Q = V \cdot S = const$ знаходимо площу поперечного перерізу трубопроводу:

$$S_{наг} = \frac{Q_н}{V_{наг}} \tag{8.20}$$

Відповідно діаметр трубопроводу:

$$d_{наг} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \tag{8.21}$$

Приймаємо стальні труби для нагнітального трубопроводу діаметром $d_{наг}$.

Для яких площа поперечного перерізу визначаємо по формулі:

$$S = \frac{\pi d^2{}_{наг}}{4} \tag{8.22}$$

Дана швидкість відповідає рекомендованому діапазону швидкостей.

Визначаємо втрати напору в трубопроводі по формулі:

$$h_{наг} = \alpha \cdot \lambda \frac{L_{наг}}{d_{наг}} \cdot \frac{V^2{}_{наг}}{2g}, \tag{8.23}$$

де $\alpha = 1{,}1$ – коефіцієнт, який враховує місцеві втрати;

$L_{наг}, d_{наг}$ – довжина і діаметр нагнітального трубопроводу, м;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Коефіцієнт гідравлічного тертя для ненових стальних труб без захисного покриття визначаємо по формулі:

$$\lambda = A \cdot \left(\frac{1 + c/v}{d} \right)^m, \tag{8.24}$$

де V – середня швидкість руху води, м/с;

d – діаметр труби, м;

A, c, m – величини, які визначаються в залежності від швидкості води (додаток Л) при $\upsilon > 1{,}2 м/с$.

Визначення основних параметрів насоса. Складаємо схему насосної установки на якій вказуємо величини, необхідні для визначення її параметрів. **(СХЕМА)** (додаток Р.2)

Визначаємо розрахунковий напір насосної установки по формулі:

$$H_н = H_Г + h_{вс} + h_{наг}, \tag{8.25}$$

де $H_Г$ – геометричний напір, рівний відстані по вертикалі від місця забирання води (нижній рівень води в джерелі) до верхнього рівня води в башті, м;

$h_{вс}$ – втрати напору в всмоктувальному трубопроводі, м;

$h_{наг}$ – втрати напору в нагнітальному трубопроводі, м.

Знаючи розрахункові значення подачі і напору насоса, тип джерела вибираємо тип і марку насоса (додаток Н

Визначення потужності насоса. Потужність електродвигуна, яка необхідна для приводу насоса

$$N_{пр} = \frac{\gamma \cdot Q_н \cdot H_н}{\eta_н}, \tag{8.26}$$

де γ – питома вага рідини, $\gamma = 9800 Н / м^3$;

$Q_н$ – подача води насосом, $м^3 / с$;

$H_н$ – повний напір, м;

$\eta_н$ – К.К.Д насоса, $\eta_н = 0{,}5...0{,}7$ (для відцентрових насосів)

Для приводу насосів застосовують електродвигуни с/г призначення які вибирають по каталогам чи довідникам з урахуванням $N_{дв} \geq N_{пр}$.

8.2.5.2. ВОДОЗАБОРИ «*ШАХТНИЙ, РУСЛОВИЙ, БЕРЕГОВИЙ*»

Гідравлічний розрахунок всмоктувального і нагнітального трубопроводів. Необхідна продуктивність насоса визначається по формулі:

$$Q_н = Q_{доб.\,мах} / T \tag{8.27}$$

де T – тривалість роботи насоса протягом доби приймаємо $T = 16$ годин.

Підбираємо діаметр трубопроводів.

Діаметр труб визначають за необхідною продуктивністю і допустимою швидкістю руху води.

Всмоктувальний трубопровід: $V = 0{,}6...1{,}0$ м/с, приймаємо: $V_{вс}$

Нагнітальний трубопровід: $V = 0{,}8...2{,}0$ м/с, приймаємо: $V_{нг}$

З рівняння нерозривності потоку знаходимо відповідну площу перерізу труб та їх діаметри:

$$S_{вс} = Q_н / V_{вс} \tag{8.28}$$

$$S_{нг} = Q_н / V_н \tag{8.29}$$

Визначаємо діаметри:

$$d_{вс}= \sqrt{\frac{S_{вс} \cdot 4}{\pi}}\,;\; d_{нг}= \sqrt{\frac{S_{нг} \cdot 4}{\pi}}\,; \qquad (8.30)$$

Приймаємо:діаметри трубопроводів $d_{вс}$; $d_{нг}$ і їхні площі поперечних перерізів $S_{вс}$; $S_{нг}$. По довідниках вибираються трубопроводи.

Визначаємо фактичні швидкості води в трубопроводах (з рівняння нерозривності потоку):

$$V_{вс} = Q_н / S_{вс} \qquad (8.31)$$

$$V_{нг} = Q_н / S_{нг} \qquad (8.32)$$

Отримані швидкості порівнюються з рекомендованими.

Знаходимо втрати напору для всмоктувального трубопроводу по формулі:

$$h_{вс} = (\lambda_{вс} \cdot L_{вс} / d_{вс} + \sum \xi) \cdot V_{вс}^2 / 2g; \qquad (8.33)$$

де $\lambda_{вс}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя для всмоктувального трубопроводу;

$L_{вс}$ і $d_{вс}$ – довжина і діаметр всмоктувального трубопроводу, м;

$L_{вс}$ = 10...15 м;

$\sum \xi$ –сума коефіцієнтів місцевих опорів (зворотній клапан з сіткою,

ξ = 7, різкий поворот труби під кутом 90° ξ = 1,3).

$$h_{вс} = (1{,}1\, \lambda_{нг} \cdot L_{нг} / d_{нг}) \cdot V_{нг}^2 / 2g;$$

де $\lambda_{нг}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя для нагнітального трубопроводу;

$L_{нг}$ і $d_{нг}$ – довжина і діаметр нагнітального трубопроводу, м;

$L_{нг} = L_0$.

Загальні втрати напору:

$$h = h_{вс} + h_{нг} \qquad (8.34)$$

Для визначення коефіцієнтів гідравлічного тертя визначається відносна гладкість трубопроводів:всмоктування і нагнітання по формулі:

$$\frac{d_{вс}}{\Delta}\,;\; \frac{d_{нг}}{\Delta}\,, \qquad (8.35)$$

де Δ – абсолютна жорсткість стальних труб (після декількох років експлуатації Δ = 0,19).

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R_{е.вс} = \frac{V_{вс} \cdot d_{вс}}{\nu}\,;\; R_{е.нг} = \frac{V_{нг} \cdot d_{нг}}{\nu}\,; \qquad (8.36)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в’язкості води при температурі +10°С (ν = 0,013 см^2/с).

По графіку Муріна знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя λ (додаток Ж).

Визначення основних параметрів насоса. Складаємо схему насосної установки (додаток Р.1 і Р.3) на якій вказуємо величини необхідні для визначення її параметрів H_p = 3...6 м, $H_{вс} \leq 5$ м, $Z_{нс}$ приймаємо (10 метрів нижче Z_0).

Визначаємо розрахунковий напір насосної установки:

$$H_н = H_г + h_{вс} + h_{нг} \qquad (8.37)$$

де $H_г$ – геометричний напір рівний відстані по вертикалі від місця забирання води до верхнього рівня води в башті, м.

Знаючи розрахункові значення подачі і напору насоса, тип джерела вибираємо тип і марку насоса (додаток П).

Марка	
Діаметр робочого колеса	
Частота обертів	
Подача	
ККД	
Напір	
Допустима висота всмоктування	
Потужність	
Маса	

Визначення потужності насоса. Потужність електродвигуна, яка необхідна для приводу насоса визначається по формулі:

$$N_{пр} = \frac{\gamma \cdot Q_н \cdot H_н}{\eta_н}, \qquad (8.38)$$

де γ – питома вага рідини, $\gamma = 9800 H / м^3$;

$Q_н$ – подача води насосом, $м^3 / с$;

$H_н$ – повний напір, м;

$\eta_н$ – ККД насоса, $\eta_н = 0{,}5...0{,}7$ (для відцентрових насосів)

Для приводу насосів застосовують електродвигуни с/г призначення які вибирають по каталогам чи довідникам з урахуванням:

$$N_{дв} \geq N_{пр}. \qquad (8.39)$$

Марка електродвигуна і його технічна характеристика вибирається з довідників.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 444-477).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 366-395).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 238-254, с. 290-298).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с. (с. 274-280, с. 326-347).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 95-117, 129-134).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 191-207).
7. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації / П.Д. Хорунжий, В.О. Орлов, О.А. Ткачук та ін.; За ред. П.Д. Хорунжого. – К.: Урожай, 1992. – 296 с.
8. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств / І.І. Ревенко, В.Д. Роговський, В.І. Кравчук та ін.; За ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1994. – 192 с., іл.

8.3. Приклад виконання розрахункової роботи

Приведемо приклад виконання розрахункової роботи по шифру залікової книжки 2.9-130, для таких споживачів:

1. Жилий сектор 1 1100 чоловік
2. Жилий сектор 2 800 чоловік
3. М'ясокомбінат 7,5 т/зміну
4. Вівцеферма 1250 голів

ЗАВДАННЯ
для розрахункової роботи з дисципліни «Гідравліка» студенту
_____ курсу _____ групи
інституту механізації і електрифікації сільського господарства

_____
Прізвище, ім'я, по батькові

Шифр залікової книжки 2.9-130

Провести технологічний розрахунок системи водопостачання населеного пункту.

Споживачі води:

1	Жилий сектор 1	1100 чоловік
2	Жилий сектор 2	800 чоловік
3	М'ясокомбінат	7,5 т/зміну
4	Вівцеферма	1250 голів

Дата видачі завдання «__» _____ 20 ___ р. Викладач _____

Зміст

Вступ
1. Розрахунок водопровідної мережі
2. Розрахунок витрат води
   2.1. Визначення добової потреби води по об’єктах
   2.2. Визначення максимальної добової потреби води
   2.3. Визначення максимальної годинної витрати води
   2.4. Визначення максимальної секундної витрати води
3. Гідравлічний розрахунок розподільного трубопроводу
   3.1. Визначення діаметрів трубопроводів
   3.2. Визначення втрат напору по ділянках трубопроводу
4. Розрахунок водонапірної споруди
   4.1. Визначення висоти водонапірної башти
   4.2. Визначення об’єму резервуара водонапірної башти
5. Вибір водопідіймального обладнання
   5.1. Гідравлічний розрахунок нагнітального трубопроводу
   5.2. Визначення основних параметрів насоса
Використана література

Вступ

На сьогоднішній день, коли обсяги виробництва як в промисловості, так і в сільському господарстві зростають, одночасно і зростає потреба в безперебійному постачанні виробництва якісною водою.

Одночасно з промисловістю сучасна система водопостачання повинна задовольняти і потреби населення.

Впровадження в практику нових водопровідних споруд і технологічних прийомів добування, підготовки і розподілу води серед споживачів вимагає вдосконалювати службу експлуатації систем водопостачання, підвищувати кваліфікацію обслуговуючого персоналу.

Для правильного та економного постачання води населенню та промисловості водою потрібно правильно розрахувати систему водопостачання та вибрати обладнання, що ідеально підходить до місцевості та обсягів потреби у воді.

Одним з основних завдань при виборі системи водопостачання є те, що собівартість води повинна бути як можна меншою.

ТЕМА: «ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ»

1. Розрахунок водопровідної мережі

Для зручності виконання розрахунків викреслюємо водопровідну мережу на плані (рис. 1).

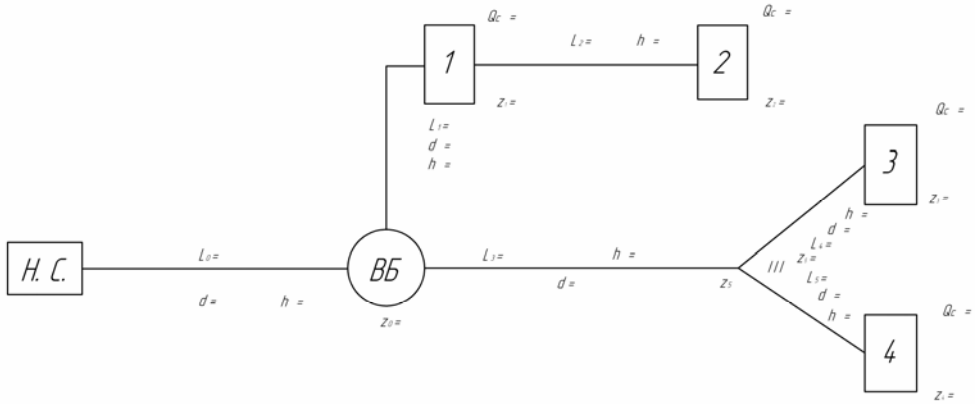


Рис. 1. Схема тупикової водопровідної мережі.

Ділимо на окремі ділянки відповідно до пунктів розбирання води. Початкові і кінцеві точки (вузли ділянок) позначаємо номером. Встановлюємо їх довжини і визначаємо відмітки землі на кінцевих ділянках трубопроводів і результати записуємо в таблицю.

Таблиця 1

№ ділянки	Назва	Довжина, м	Відмітки землі, м	
			Початок	Кінець
1	Водозабір-Насосна станція			
2	Насосна станція-Водонапірна башта	315		131
3	Водонапірна башта-I (Жилий сектор 1)	845	131	128
4	I(Жилий сектор 1) – (Жилий сектор 2)	520	128	126
5	Водонапірна башта – Вузол III	960	131	126
6	Вузол III – 3(М'ясокомбінат)	280	126	125
7	Вузол III – 4(Вівцеферма)	370	126	124

2. Розрахунок витрат води

2.1. Визначення добової потреби води по об'єктах

Розрахункові (середні за рік) добові витрати води на господарсько-питні потреби населення визначаємо за формулою:

$$Q_{доб}^{H} = N_{ж} \cdot q_{ж}, \quad (1)$$

де $N_{ж}$ – розрахункова чисельність мешканців, чол.,

$q_{ж}$ – питома витрата води на 1 жителя, л/добу·чол, (метод вказівки додаток Д.1), приймаємо $q_{ж}$ = 150 л/добу·чол.

$$Q^{H}_{доб} = 1100 \cdot 150 = 165000 л/добу = 165 м^3/добу;$$

$$Q^{H}_{доб} = 800 \cdot 150 = 120000 л/добу = 120 м^3/добу;$$

Добові витрати на промислові витрати:

$$Q^{П}_{доб} = N_{П} \cdot q_{П}, \quad (2)$$

де $N_{П}$ – кількість продукції, що випускається підприємством, м^3/зм

$q_{П}$ – питомі витрати води на одиницю продукції, $м^3/добу$; (метод вказівки додаток Д.2), приймаємо $q_{П} = 20\ м^3/добу$;

$$Q^{П}_{доб} = 7,5 \cdot 20 = 150 м^3/добу;$$

Добові витрати води на фермах:

$$Q^{T}_{доб} = N_{T} \cdot q_{T}, \quad (3)$$

де N_{T} – кількість тварин на фермі, голів;

q_{T} – питомі витрати води на одну тварину, л/добу·голову; (метод вказівки додаток Д), приймаємо q_{T} = 10 л/добу·голову;

Тваринницька ферма (Вівцеферма):

$$Q^{T}_{доб} = 1250 \cdot 10 = 12500\ л/добу = 12,5\ м^3/добу;$$

2.2. Визначення максимальної добової потреби води

Споживання води розподіляється нерівномірно як протягом року, так і протягом доби. З урахуванням цього максимальна добова потреба води становить:

$$Q_{\max доб i} = к_{д} \cdot Q_{доб i}, \quad (4)$$

де $к_{д}$ – коефіцієнт нерівномірності добового споживання води. Приймаємо $к_{д}$ =1,3 (для всіх споживачів).

$$Q_{\max доб ЖС} = 1,3 \cdot 165 = 214,5 м^3/добу;$$

$$Q_{\max доб ЖС} = 1,3 \cdot 120 = 156 м^3/добу;$$

$$Q_{\max доб(МК)} = 1,3 \cdot 150 = 195 м^3/добу;$$

$$Q_{\max доб(ВФ)} = 1,3 \cdot 12,5 = 16,25 м^3/добу;$$

Тоді загальна максимальна витрата води споживачами становить:

$$Q_{\max доб} = \sum_{i=1}^{n} Q_{\max доб i}, \quad (5)$$

$$Q_{\max доб} = Q_{\max доб ЖС1} + Q_{\max доб ЖС2} + Q_{\max доб МК} + Q_{\max доб ВФ} \quad (6)$$

$$Q_{\max доб} = 214,5 + 156 + 195 + 16,25 = 581,75 м^3/добу;$$

На основі отриманих даних складаємо відомість водоспоживання на добу для кожного об'єкта окремо з урахуванням розподілу добових витрат води за годинами. Дані заносимо в таблицю 2.

Таблиця 2

Відомість водоспоживання на добу для кожного об'єкта

Години доби	Споживачі								Всього, м³/год.	Всього з початку доби, м³
	Жилий сектор 1		Жилий сектор 2		М'ясокомбінат		Вівцеферма			
	%	м³/год.	%	м³/год.	%	м³/год.	%	м³/год.		
0-1	0,75	1,61	0,75	1,17			0,6	0,10	2,88	2,88
1-2	0,75	1,61	0,75	1,17			0,7	0,11	2,89	5,77
2-3	1,0	2,15	1,0	1,56			0,5	0,08	3,79	9,56
3-4	1,0	2,15	1,0	1,56			0,9	0,15	3,85	13,41
4-5	3,0	6,44	3,0	4,68			1,6	0,26	11,38	24,78
5-6	5,5	11,80	5,5	8,58			1,6	0,26	20,64	45,42
6-7	5,5	11,80	5,5	8,58	5,0	9,75	7,4	1,20	31,33	76,75
7-8	5,5	11,80	5,5	8,58	6,5	12,68	16,0	2,60	35,65	112,40
8-9	3,5	7,51	3,5	5,46	9,0	17,55	10,3	1,67	32,19	144,59
9-10	3,5	7,51	3,5	5,46	5,0	9,75	5,8	0,94	23,66	168,25
10-11	6,0	12,87	6,0	9,36	6,5	12,68	8,6	1,40	36,30	204,56
11-12	8,5	18,23	8,5	13,26	9,0	17,55	2,1	0,34	49,38	253,94
12-13	8,5	18,23	8,5	13,26	9,0	17,55	12,6	2,05	51,09	305,03
13-14	6,0	12,87	6,0	9,36	5,0	9,75	5,1	0,83	32,81	337,84
14-15	5,0	10,73	5,0	7,80	6,5	12,68	3,0	0,49	31,69	369,53
15-16	5,0	10,73	5,0	7,80	9,0	17,55	4,4	0,72	36,79	406,32
16-17	3,5	7,51	3,5	5,46	5,0	9,75	3,5	0,57	23,29	429,60
17-18	3,5	7,51	3,5	5,46	6,5	12,68	3,5	0,57	26,21	455,81
18-19	6,0	12,87	6,0	9,36	9,0	17,55	4,0	0,65	40,43	496,24
19-20	6,0	12,87	6,0	9,36	9,0	17,55	3,5	0,57	40,35	536,59
20-21	6,0	12,87	6,0	9,36			2,3	0,37	22,60	559,20
21-22	3,0	6,44	3,0	4,68			1,3	0,21	11,33	570,52
22-23	2,0	4,29	2,0	3,12			0,4	0,07	7,48	578,00
23-24	1,0	2,15	1,0	1,56			0,3	0,05	3,75	581,75
Всього	100	214,5	100	156,0	100	195,0	100	16,25	581,75	581,75

За відомістю споживання води будуємо добовий графік водоспоживання для населеного пункту рисунок 2.

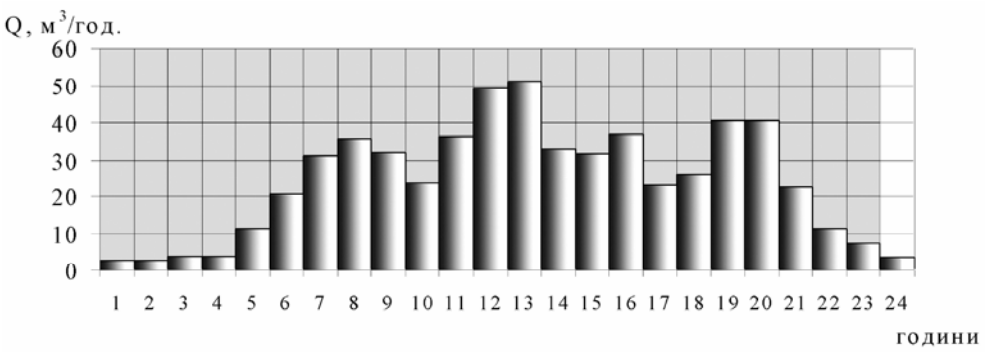


Рис. 2. Добовий графік водоспоживання для населеного пункту

2.3. Визначення максимальної годинної витрати води

Споживання води розподіляється нерівномірно протягом години. З урахуванням цього максимальна година потреба води становить:

$$Q_{\max \text{ год}} = \frac{\kappa_г \cdot Q_{\max \text{ доб і}}}{24}, \qquad (7)$$

де $\kappa_г$ – коефіцієнт нерівномірності годинного споживання води. Приймаємо $\kappa_г = 2{,}5$ для промисловості і тваринництва, $\kappa_г = 2{,}0$ – жилий сектор, лікарня.

$$Q_{г\ \max \text{ ЖС1}} = \frac{2{,}0 \cdot 214{,}5}{24} = 17{,}87 м^3 / год;$$

$$Q_{г\ \max \text{ ЖС 2}} = \frac{2{,}0 \cdot 156}{24} = 13{,}0 м^3 / год;$$

$$Q_{г\ \max \text{ МК}} = \frac{2{,}5 \cdot 195}{24} = 16{,}25 м^3 / год;$$

$$Q_{г\ \max \text{ ВФ}} = \frac{2{,}5 \cdot 16{,}25}{24} = 1{,}69 м^3 / год.$$

2.4. Визначення максимальної секундної витрати води

$$Q_{с\ \max \text{ і}} = \frac{Q_{г\ \max \text{ і}}}{3600}, \qquad (8)$$

$$Q_{с\ \max \text{ ЖС1}} = \frac{17{,}87}{3600} = 0{,}005 м^3 / с = 5{,}0 л / с;$$

$$Q_{с\ \max \text{ЖС2}} = \frac{13{,}0}{3600} = 0{,}0036 м^3 / с = 3{,}6 л / с;$$

$$Q_{с\ \max \text{ МК}} = \frac{16{,}25}{3600} = 0{,}0045 м^3 / с = 4{,}5 л / с;$$

$$Q_{с\ \max \text{ВФ}} = \frac{1{,}69}{3600} = 0{,}00047 м^3 / с = 0{,}47 л / с.$$

Усі розрахункові дані зводимо в таблицю 3

Таблиця 3

Назва об'єкту (споживача)	$Q_{доб}$, м³/добу	$Q_{max\ доб}$, м³/добу	$Q_{г\ max}$, м³/год	$Q_{с\ max}$	
				м³/с	л/с
Жилий сектор 1	165,0	214,5	17,87	0,005	5,0
Жилий сектор 2	120,0	156,0	13,0	0,0036	3,6
М'ясокомбінат	150,0	195,0	16,25	0,0045	4,5
Вівцеферма	12,5	16,25	1,69	0,00047	0,47

3. Гідравлічний розрахунок розподільного трубопроводу

3.1. Визначення діаметрів трубопроводів

Розрахунок починають з найвіддаленіших від насоса та водонапірної споруди ділянок і вузлів. За необхідною витратою води визначаємо діаметр труб для кожної ділянки окремо.

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{Q_{c\,\max\,i}}{\mathrm{v}\cdot\pi}}\,, \qquad (9)$$

де $Q_{c\,\max\,i}$ – максимальна секундна витрата води на даній ділянці.

V – рекомендована швидкість води в трубах, м/с (методичні вказівки додаток К).

З наближенням до водонапірної споруди та насоса зростає транзитна подача води на ділянці до наступних об'єктів водоспоживання. Це спричиняє відповідне збільшення діаметра трубопроводу. Підраховані значення діаметрів труб коригують до ближчого стандартного розміру, дотримуючись рекомендованих меж швидкості руху води.

Розраховуємо діаметр трубопроводів на даних ділянках.

Ділянка ІІІ-4 (вівцеферма)

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{0,00047}{3,14\cdot 0,3}} = 0,045\,м,$$ Приймаємо d = 50 мм.

Ділянка ІІІ-3 (М'ясокомбінат)

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{0,0045}{3,14\cdot 0,6}} = 0,097\,м,$$ Приймаємо d = 100 мм.

Ділянка ВБ-ІІІ

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{0,00047+0,0045}{3,14\cdot 0,62}} = 0,101\,м,$$ Приймаємо d = 100 мм.

Ділянка 1 (ЖС1)-2(ЖС2)

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{0,0036}{3,14\cdot 0,6}} = 0,087\,м,$$ Приймаємо d = 80 мм.

Ділянка ВБ-1 (жилий сектор)

$$d_{тр} = 2\sqrt{\frac{0,005 + 0,0036}{3,14 \cdot 0,7}} = 0,125\,м,$$ Приймаємо d = 125 мм.

3.2. Визначення втрат напору по ділянках трубопроводу

Втрати напору ділять на лінійні і місцеві. Лінійні втрати напору обумовлені тертям води по стінках труб, а втрати в місцевих опорах – опорами кранів, засувок, розгалужень і т.д.

$$h = h_л + h_м. \tag{10}$$

Лінійні втрати напору визначають по формулі:

$$h_л = \lambda \cdot \frac{v^2 \cdot L}{2g \cdot d_{тр}}, \tag{11}$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору, який залежить від швидкості руху води і матеріалу труб. Для чавунних та стальних труб λ = 0,020, для азбоцементних λ = 0,025;

L – довжина ділянки водопроводу, м;

$d_{тр}$ – діаметр трубопроводу, м.

Втрати напору в місцевих опорах ($h_м$) для трубопроводів значної протяжності можна не розраховувати. Достатньо збільшити втрати напору на подолання тертя в трубопроводі на 3-5% для зовнішніх та 5-10% для внутрішніх водопровідних мереж.

Тоді загальні втрати:

$$h = 1,05 \cdot h_л. \tag{12}$$

Ділянка ІІІ-4 (Вівцеферма):

$$h_л = \frac{0,020 \cdot 0,3^2 \cdot 350}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05} = 0,64\,м.$$

$$h = 1,05 \cdot 0,64 = 0,67\,м.$$

Ділянка ІІІ-3 (М’ясокомбінат):

$$h_л = \frac{0,020 \cdot 0,6^2 \cdot 280}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 1,03м.$$

$$h = 1,05 \cdot 1,03 = 1,08\,м.$$

Ділянка І (Жилий сектор1)-ІІ (Жилий сектор 2):

$$h_л = \frac{0,020 \cdot 0,6^2 \cdot 520}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,08} = 2,39\,м.$$

$$h = 1,05 \cdot 2,39 = 2,5\,м.$$

Ділянка ВБ-ІІІ:

$$h_л = \frac{0,020 \cdot 0,62^2 \cdot 960}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 3,76 м.$$

$$h = 1,05 \cdot 3,76 = 3,95 м.$$

Ділянка ВБ-І (Жилий сектор):

$$h_л = \frac{0,020 \cdot 0,7^2 \cdot 845}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,125} = 3,38 м.$$

$$h = 1,05 \cdot 3,38 = 3,55 м.$$

Таблиця 4

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.

Ділянка	$Q_{c\,max}$, м³/с	L, м	$d_{тр}$, мм	v, м/с	h, м
ІІІ – 4 (Вівцеферма)	0,00047	370	50	0,3	0,67
ІІІ – 3 (М'ясокомбінат)	0,0045	280	100	0,6	1,08
І (ЖС1) – ІІ (ЖС2)	0,0036	520	80	0,6	2,5
ВБ – І (ЖС1)	0,0086	845	125	0,7	3,55
ВБ – ІІІ	0,005	960	100	0,62	3,95

4. Розрахунок водонапірної споруди

4.1. Визначення висоти водонапірної башти

Висота водонапірної башти повинна бути такою, щоб забезпечити подачу води до найвіддаленішого від неї і найвище розміщеного пункту споживання води, який називають диктуючою точкою. До того ж, у цій точці потрібно підтримувати достатній більший напір $H_в$. Відповідно до діючих норм і правил (СниП) мінімальний більший напір при одноповерховій забудові приміщень приймають 10 м, двоповерховій 14 м, для тваринницьких приміщень – 4…5 м.

Необхідна висота водонапірної башти:

$$H_б = H_B + \sum h + (z_д - z_б), \qquad (13)$$

де $H_в$ – вільний напір споживача, м;

$\sum h$ – загальні втрати тиску в трубопроводі на ділянці від башти до споживача, м;

$(z_д - z_б)$ – різниця геодезичних позначок землі у місці розміщення диктуючої точки та башти, м.

При подачі води в жилий сектор 2:

$$H_б = 10 + 2,5 + 3,55 + (126 - 131) = 11,05 м;$$

При подачі води в жилий сектор 1:

$$H_б = 10 + 3,55 + (128 - 131) = 10,55 м;$$

При подачі води до м'ясокомбінату:

$$H_б = 14 + (1,08 + 3,95) + (125 - 131) = 13,03 м;$$

При подачі води до вівцеферми:

$$H_б = 5 + (3,95 + 0,67) + (124 - 126) = 7,62\,м.$$

Проаналізувавши результати розрахунків встановлюємо, що розрахунковим споживачем буде м'ясокомбінат. Приймаємо висоту башти (до низу водонапірного баку) 15 м (методичні вказівки додаток М).

4.2. Визначення об'єму резервуара водонапірної башти

Споживання води на фермі протягом доби відбувається нерівномірно: то помітно зростає, то значно зменшується. Для узгодження роботи насосних станцій з нерівномірним режимом витрати води в системі водопостачання передбачені спеціальні водонапірні споруди.

Загальний об'єм резервуара водонапірної башти визначають по формулі:

$$V = V_р + V_{пож}, \qquad (14)$$

де $V_р$ – робочий або регулюючий об'єм резервуара, м^3;

$V_{пож}$ – об'єм води, необхідний для гасіння пожежі, $V_{пож}$ = 6 м^3.

Регулювальна місткість бака залежить від величини максимальної добової потреби води, характеру її витрачання в різні години доби та режиму роботи насосної станції.

Регулюючий об'єм башти визначаємо графічним шляхом (методом інтегральних кривих), по годинному графіку подачі і споживання води (рис. 3).

На інтегральному графіку наведено сумарне споживання води від початку доби до кожної наступної її години, а також інтегральні криві подачі води насосною станцією (режими роботи насоса: протягом доби, протягом 16 год, протягом 14 год, автоматичне керування).

Аналізуючи різні варіанти початку включення і тривалості роботи насоса протягом доби, вибирають найкращий з них.

Мінімальна місткість $V_{р\,\min}$:

$$V_{р\,\min} = V_{рп} + V_{рк}, \qquad (15)$$

де $V_{рп}$, $V_{рк}$ – регульовані запаси, що забезпечують споживання води відповідно від початку доби до включення насосної станції, а також після зупинки її до кінця доби, м^3.

Початок роботи насоса 4 год: $V_{рп}$ = 36,5 м^3

Закінчення роботи насоса 20 год: $V_{рк}$ = 37,6 м^3.

$$V_{р\,\min} = 36,5 + 37,6 = 74,1 \text{ м}^3.$$

Початок роботи насоса 3 год: $V_{рп}$ = 20 м^3

Закінчення роботи насоса 19 год: $V_{рк}$ = 70,1 м^3.

$$V_{р\,\min} = 20 + 70,1 = 90,1 \text{ м}^3.$$

Початок роботи насоса 5 год: $V_{рп}$ = 67 м^3

Закінчення роботи насоса 21 год: $V_{рк}$ = 20,3 м^3.

$$V_{р\,\min} = 67 + 20,3 = 87,3 \text{ м}^3.$$

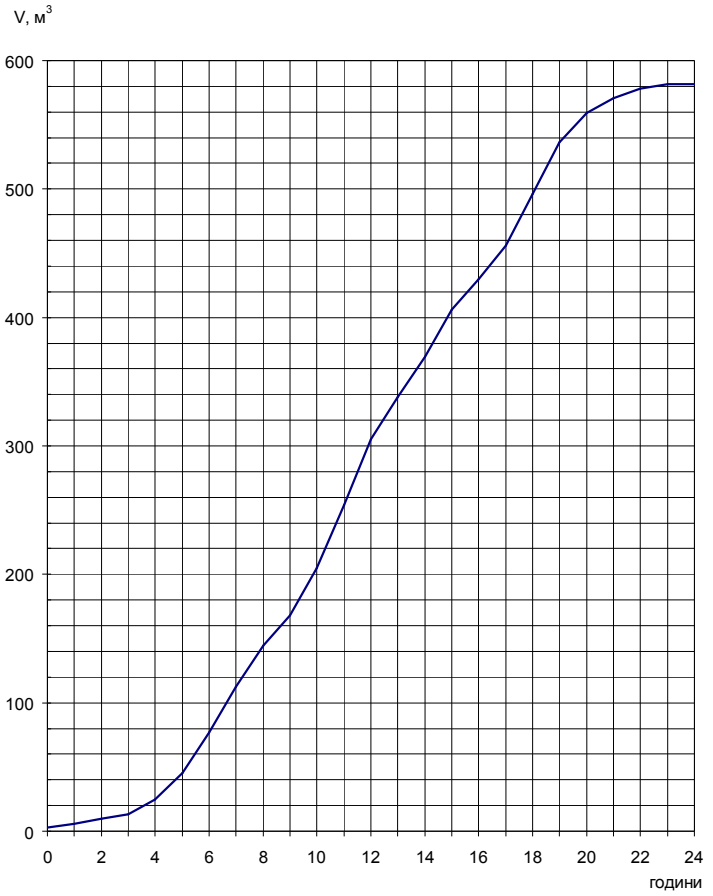


Рис. 3. Інтегральний годинний графік подачі і споживання води

Щоб забезпечити запас води, який виключив би можливість повного спорожнення резервуара бака у пікові години, регулювальну місткість необхідно збільшити на 2-3%.

$$V_p = 1{,}02\ V_{p\,\min}, \qquad (16)$$

$$V_p = 1{,}02 \cdot 74{,}1 = 75{,}58 \text{ м}^3.$$

Розрахунковий загальний об'єм резервуара водонапірної споруди округлюють до найближчого за стандартом і вибираємо необхідну марку башти.

Номер типового проекту башти 901-5 22/70 (метод вказівки додаток М).

Місткість бака 100 м^3, розміри бака:

діаметр – 5 м,

висота – 6,5 м,

висота ствола – 15 м.

5. Вибір водопідіймального обладнання

5.1. Гідравлічний розрахунок нагнітального трубопроводу

Насосні установки з заглибленими насосами не мають всмоктувального трубопроводу. Ці насоси опускаються в свердловину на нагнітальному трубопроводі з таким розрахунком, щоб всмоктувальні отвори насоса знаходились під найнищим рівнем води (динамічний рівень) не менше чим на 1 м.

Приймаємо заглиблення насоса

$$\Delta h = 2...3 \text{ м}, \tag{17}$$

Визначаємо з геометричних співвідношень довжину нагнітального трубопроводу (рисунок 4)

$$L_{наг} = L_0 + \text{Н}_б + \text{Н}_р + \left(z_{н.с} - z_{дин} + \Delta h\right), \tag{18}$$

де L_0 – довжина трубопроводу від свердловини до основи башти, м;

$H_б$ – висота ствола башти, м;

$H_р$ – висота резервуара башти, м;

$z_{н.с} - z_{дин}$ – відстань від поверхні землі до динамічного рівня води в свердловині.

$$L_{наг} = 315 + 6,5 + 15 + (120 - 50 + 2) = 408,5\,м.$$

Необхідна продуктивність насоса визначається по формулі:

$$Q_н = \frac{Q_{доб\max}}{T}, \tag{19}$$

де T – тривалість роботи насоса протягом доби. Приймаємо $T = 16$ год.

$$Q_н = \frac{582,75}{16} = 36,42\frac{м^3}{год} = 0,01\frac{м^3}{с}.$$

Підбираємо діаметр нагнітального трубопроводу.

Допустима швидкість води в нагнітальному трубопроводі:

$$V_{ног} = 0,8...2,0 \text{ м/с}$$

Приймаємо $V_{ног} = 0,8$ м/с.

З рівняння нерозривності $Q = V \cdot S = const$ знаходимо площу поперечного перерізу трубопроводу:

$$S_{наг} = \frac{Q_н}{V_{наг}} = \frac{0,01}{0,8} = 0,0125\,м^2;$$

Відповідно діаметр трубопроводу:

$$d_{ног} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0125}{3,14}} = 0,126\,м = 126\,мм;$$

Приймаємо стальні труби діаметром:

$$d_{ног} = 125 \text{ мм} = 0{,}125 \text{ м}.$$

для яких площа поперечного перерізу:

$$S = \frac{\pi d^2_{ног}}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}125^2}{4} = 0{,}0123 м^2.$$

Перевіряємо швидкість руху води в трубопроводі:

$$V_{наг} = \frac{Q_H}{S_{наг}} = \frac{0{,}01}{0{,}0123} = 0{,}81 \frac{м}{с};$$

Дана швидкість відповідає рекомендованому діапазону швидкостей.

Визначаємо втрати напору в трубопроводі:

$$h_{ног} = \alpha \cdot \lambda \frac{L_{ног}}{d_{ног}} \cdot \frac{V^2_{ног}}{2g}, \quad (20)$$

де $\alpha = 1{,}1$ – коефіцієнт, який враховує місцеві втрати;

$L_{ног,} d_{ног}$ – довжина і діаметр нагнітального трубопроводу, м;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Коефіцієнт гідравлічного тертя для ненових стальних труб без захисного покриття визначаємо по формулі:

$$\lambda = A \cdot \left(\frac{1 + c/v}{d} \right)^m, \quad (21)$$

де V – середня швидкість руху води, м/с;

d – діаметр труби, м;

A, c, m – величини, які визначаються в залежності від швидкості води при V 1,2 м/с (метод вказівки додаток І).

$A = 0{,}021;\ c = 0;\ m = 0{,}3;$

$$\lambda = 0{,}021 \left(\frac{1 + \frac{0}{0{,}18}}{0{,}125} \right)^{0{,}3} = 0{,}039$$

$$h_{ног} = 1{,}1 \cdot 0{,}039 \frac{408{,}5}{0{,}125} \cdot \frac{0{,}81^2}{2 \cdot 9{,}81} = 4{,}69 м.$$

5.2. Визначення основних параметрів насоса

Використовуючи схему насосної установки (рис. 4) на якій вказуємо величини, необхідні для визначення її параметрів рисунок 4.

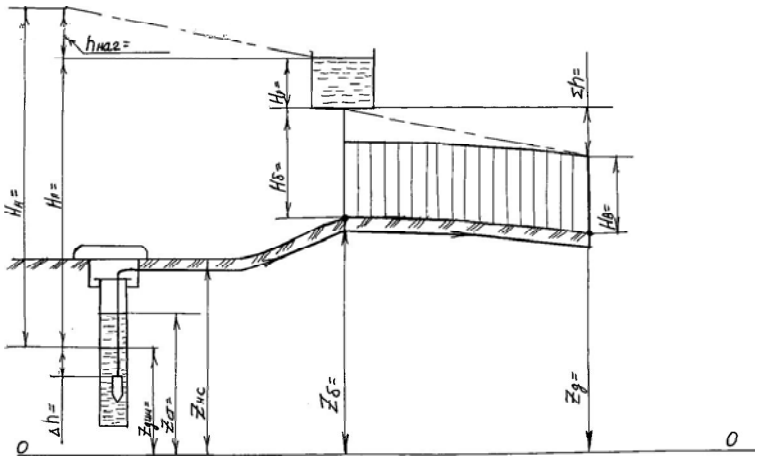


Рис.4. Схема насосної установки

Визначаємо розрахунковий напір насосної установки:

$$H_н = H_Г + h_{вс} + h_{ног}, \qquad (22)$$

де $H_Г$ – геометричний напір, рівний відстані по вертикалі від місця забирання води (нижній рівень води в джерелі) до верхнього рівня води в башті, м;

$h_{вс}$ – втрати напору в всмоктувальному трубопроводі, м;

$h_{ног}$ – втрати напору в нагнітальному трубопроводі, м.

$$H_н = 101,5 + 4,69 = 106,2\ м.$$

Знаючи розрахункові значення подачі і напору насоса, тип джерела і водозабірної будівлі вибираємо тип і марку насоса.

Вибираємо насос марки ЕЦВ8-40-65 (метод вказівки додаток Н).

Подача – 40 м^3/год.

Напір – 65 м.

ККД – 68,5%.

Для забезпечення необхідного напору подачу насоса регулюємо вентилем – з зменшенням подачі напір збільшується.

Визначаємо потужність насоса.

Потужність електродвигуна, яка необхідна для приводу насоса

$$N_{пр} = \frac{\gamma \cdot Q_н \cdot H_н}{\eta_н}, \qquad (23)$$

де γ – питома вага рідини, $\gamma = 9800 H / м^3$;

$Q_н$ – подача води насосом, $м^3 / с$;

$H_н$ – повний напір, м;

$\eta_н$ – ККД насоса, $\eta_н = 0,5...0,7$ (для відцентрових насосів)

$$N_{пр} = \frac{9800 \cdot 0,01 \cdot 106,2}{0,6} = 17346 Вт = 17,35\ кВт.$$

Для приводу насосів застосовують електродвигуни с/г призначення які вибирають по каталогам чи довідникам з урахуванням потужності двигуна.

ВИСНОВКИ

В розрахунковій роботі проведено технологічний розрахунок системи водопостачання населеного пункту.

Для забезпечення безперебійного споживання споживачів водою з врахування стандартів і розрахунків вибрано водонапірну башту по типовому проекті 901-5 22/70, з місткістю бака 100 м^3, і висотою ствола 15 м.

Для транспортування води до споживачів використовуються стальні водопровідні труби діаметрами від 50 до 125 мм.

Подачу води до споживачів забезпечує насос марки ЕЦВ 8-40-65 який забезпечує напір – 65 м і подачу 40 м^3 /год. Для забезпечення необхідного напору подачу насоса регулюємо вентилем. Для приводу насоса використовують електродвигун сільськогосподарського призначення потужністю – 17,35 кВт.

Використана література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 444-477).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 366-395).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 238-254, с. 290-298).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 274-280, с. 326-347).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 95-117, 129-134).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 191-207).
7. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації / П.Д. Хорунжий, В.О. Орлов, О.А. Ткачук та ін.; За ред. П.Д. Хорунжого. – К.: Урожай, 1992. – 296 с.
8. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств / І.І. Ревенко, В.Д. Роговський, В.І. Кравчук та ін.; За ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1994. – 192 с., іл.

8.4. Самостійна робота студентів заочної форми навчання

Згідно навчального плану по курсу «Гідравліка» студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу.

Контрольна робота висвітлює питання гідростатики і гідродинаміки і складається з наступних розділів:

- Розділ 1 – «Прилади для вимірювання тиску» (задачі 1-10).
- Розділ 2 – «Гідростатичні машини» (задачі 11-20).
- Розділ 3 – «Тиск на плоску стінку» (задачі 21-30).
- Розділ 4 – «Довгі трубопроводи. Паралельне і послідовне з'єднання труб. Сифонний трубопровід. Гідравлічний удар в напірному трубопроводі» (задачі 31-40).
- Розділ 5 – «Місцеві опори. Витікання рідини через отвори і насадки» (задачі 41-50).

В кінці кожного розділу наведені таблиці з даними для розв'язування задач. Номери задач для виконання контрольної роботи вибираються по двох останніх цифрах шифру залікової книжки, або контрольна робота виконується по індивідуальному завданню викладача, про що повідомляється на настановній лекції. Номери задач контрольної роботи по двох останніх цифрах шифру залікової книжки встановлюються з допомогою таблиці.

Наприклад, для студента, який має шифр залікової книжки 2-3025, номери задач знаходяться на перетині рядка 2 по горизонталі і рядка 5 по вертикалі; при шифрі 2-3025 розв'язуються задачі з номерами №8, 11, 23, 37, 50.

Таблиця 8.4

Номери задач контрольної роботи

Передостання цифра шифру залікової книжки	***Остання цифра шифру залікової книжки***									
	0	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
0	*9,14,25,38, 41*	*8,16,23,39, 50*	*10,15, 22,31, 43*	*1,17,26, 32,44*	*2,19,28, 37,45*	*7,18,29, 36,42*	*6,11,30, 33,47*	*5,20,21, 34,46*	*4,13,27, 35,48*	*3,12,24, 40,49*
1	*4,17,28,36,42*	*5,19,22,38, 47*	*6,18,29, 37,41*	*7,11,30, 39,43*	*8,20,25, 31,44*	*9,12,21, 33,45*	*1,13,24, 40,48*	*3,15,26, 32,50*	*2,16,30, 34,49*	*4,19,27, 33,44*
2	*3,15,29,32,45*	*4,17,28,36, 43*	*5,20,26, 34,48*	*6,18,24, 35,41*	*9,12,21, 33,42*	*8,11,23, 37,50*	*9,14,27, 38,45*	*7,16,29, 31,43*	*10,12, 22,39, 46*	*1,13,25, 34,47*
3	*6,11,30,38,43*	*3,12,22,40, 45*	*9,17,24, 36,50*	*5,20,28, 33,47*	*4,18,23, 32,49*	*1,19,25, 35,44*	*7,16,23, 39,42*	*2,14,27, 37,48*	*5,15,26, 31,42*	*10,11, 29,40, 46*
4	*8,12,25,39,44*	*7,11,26,37, 42*	*8,13,21, 33,45*	*9,14,23, 38,49*	*10,20, 24,35, 41*	*2,15,28, 40,46*	*1,19,29, 36,47*	*4,18,22, 34,50*	*3,17,25, 32,43*	*5,16,30, 31,48*

Продовження таблиці 8.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	*1,20,27,35,47*	*9,13,25,33, 44*	*7,12,28, 39,41*	*3,16,22, 31,50*	*5,14,30, 38,48*	*10,18, 26,36, 49*	*2,15,21, 34,46*	*8,11,23, 40,42*	*7,19,29, 37,45*	*6,17,22, 32,50*
6	*5,16,26,37,48*	*1,15,24,39, 41*	*4,11,30, 35,44*	*2,13,25, 36,46*	*6,17,22, 34,43*	*3,14,27, 31,41*	*8,12,28, 32,50*	*9,19,30, 33,45*	*1,18,21, 38,47*	*7,20,23, 39,42*
7	*2,13,21,31,46*	*10,14, 27,32, 47*	*1,16,23, 38,42*	*4,12,29, 34,45*	*3,11,26, 36,50*	*5,17,22, 39,43*	*10,18, 25,35, 41*	*6,13,24, 38,44*	*8,20,28, 40,49*	*9,15,21, 37,50*
8	*10,18, 22,33, 49*	*2,20,21,31, 46*	*3,14,25, 32,47*	*8,15,27, 37,42*	*1,13,29, 39,46*	*4,16,24, 34,48*	*5,17,26, 31,43*	*10,12, 28,35, 41*	*6,11,23, 36,44*	*2,18,26, 38,45*
9	*7,19,23,34,50*	*6,18,29,35, 48*	*2,20,27, 40,46*	*10,11, 21,32, 50*	*7,15,25, 33,47*	*6,13,30, 38,42*	*3,20,22, 37,44*	*1,17,25, 36,49*	*9,14,24, 39,50*	*8,13,28, 35,41*

8.4.1. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

(дані для розв'язування задач 1-10 наведені в таблицях 8.5, 8.6)

Задача 1

Визначити приведену п'єзометричну висоту h_x підняття прісної води в закритому п'єзометрі, що відповідає абсолютному гідростатичному тиску в точці A, якщо покази відкритого п'єзометра h, при атмосферному тиску p_{am}, відстань від вільної поверхні рідини в резервуарі до точок A і B відповідають h_1, і h_2 (Схема 1.1).

Задача 2

Закритий резервуар з морською водою обладнаний відкритим і закритим п'єзометрами. Визначити приведену п'єзометричну висоту h_x підняття води в закритому п'єзометрі, що відповідає абсолютному гідростатичному тиску в точці A, якщо покази відкритого п'єзометра h при атмосферному тиску P_{am}, а точка A розміщена вище точки B на величину h_1 (Схема 1.2).

Задача 3

Визначити абсолютний гідростатичний тиск в точці A закритого резервуара з дистильованою водою, якщо при атмосферному тиску p_{am} висота стовпчика ртуті в трубці диференціального манометра h, а лінія розподілу між ртуттю і водою розташована нижче точки B на величину h_1, точка B – вище точки A на величину h_2 (Схема 1.3)

Задача 4

Закритий резервуар обладнаний диференціальним манометром, який встановлений в точці B, і закритим п'єзометром. Визначити приведену п'єзометричну висоту h_x підняття прісної води в закритому п'єзометрі, що відповідає абсолютному гідростатичному тиску в точці A, якщо при атмосферному тиску P_{am} висота стовпчика ртуті в трубці диференціального манометра h, а точка A розміщується на глибині h_1 від вільної поверхні (Схема 1.4).

Задача 5

Визначити при атмосферному тиску p_{am} висоту h_x підняття ртуті в диференціальному манометрі, що приєднаний до закритого резервуара в точці B, частково заповненого дистильованою водою, якщо глибина занурення точки A від вільної поверхні резервуара h_1, приведена п'єзометрична висота підняття води в закритому п'єзометрі, що відповідає абсолютному гідростатичному тиску в точці A, h_2 (Схема 1.5).

Задача 6

До двох резервуарів A і B, що заповненні морською водою, приєднано диференціальний ртутний манометр. Скласти рівняння рівноваги відносно площини рівного тиску і визначити різницю тисків в резервуарах A і B, якщо відстань від осі резервуарів до меніска ртуті рівні h_1 і h_2 (Схема 1.6).

Задача 7

Диференціальний ртутний манометр приєднаний до двох закритих резервуарів з прісною водою, тиск в резервуарі A дорівнює p_A. Визначити тиск в резервуарі B – p_B, склавши рівняння рівноваги відносно площини рівного тиску, визначити різницю показів ртутного диференціального манометра h (Схема 1.7).

Задача 8

Резервуари A і B частково заповнені водою, яка має різну густину (відповідно ρ_A = 998 кг/м^3, ρ_B = 1029 кг/м^3) і газом, причому до резервуара A приєднаний балон з газом. Висота стовпа ртуті в трубці диференціального манометра h, а відстані від осі резервуара до меніска ртуті рівні h_1 і h_2. Який тиск необхідно створити тиск p_0 в балоні, щоб отримати тиск p_B на вільній поверхні в резервуарі B? (Схема 1.8).

Задача 9

До двох резервуарів A і B, які заповнені нафтою, приєднано диференціальний ртутний манометр. Визначити різницю тисків в точках A і B, склавши рівняння рівноваги відносно площини рівного тиску. Різниця показів манометра h (Схема 1.9).

Задача 10

Резервуари A і B частково заповнені прісною водою і газом. Визначити надлишковий тиск газу на поверхні води в закритому резервуарі B, якщо надлишковий тиск на поверхні води в закритому резервуарі A дорівнює p_A, різниця рівнів ртуті в двохколінному диференціальному манометрі h, меніск ртуті в лівій трубці манометра нижче рівня води на величину h_1, в правій трубці h_3 = 0,25 h_1, висота підняття ртуті в правій трубці манометра h_2. Простір між рівнями ртуті в манометрі заповнено етиловим спиртом (Схема 1.10).

Таблиця 8.5

Вихідні дані для розв'язування задач 1-10

Вихідні дані	Номера задач									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, м	0,7	1,2	0,6	0,3	-	-	0,3	0,17	0.28	0,35
h_1, м	-	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	-	0,4	-	0,8
h_2, м	0,2	-	0,3	-	11,7	0,2	-	0,13	-	0,3
p_A, кПа	-	-	-	-	-	-	210	-	-	99
p_B, кПа	-	-	-	-	-	-	-	112	-	-

Таблиця 8.6

Питома вага і густина деяких рідин

№ п/п	Назва рідини	Густина, кг/м^3	Питома вага кн./м^3
1	Прісна вода	999,73	9,804
2	Морська вода	1020-1030	10,00278-10,1001
3	Дистильована вода	992,22	9,734
4	Ртуть	13546	132,841
5	Нафта	700-900	6,86465-8,826

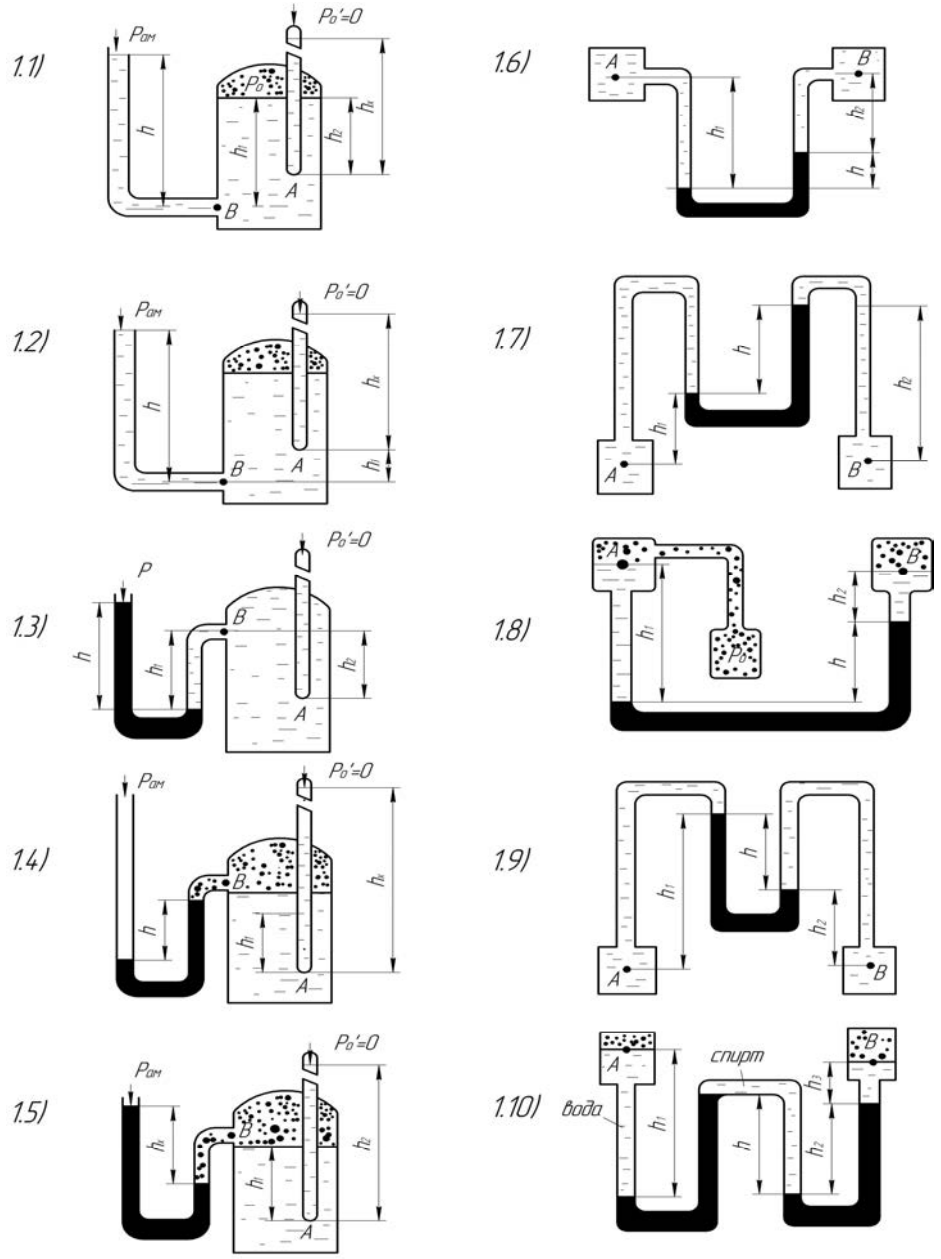


Рис. 8.1. Схеми до задач 1-10

8.4.2. ГІДРОСТАТИЧНІ МАШИНИ

(дані для розв'язування задач 11-20 наведені в таблиці 8.7)

Задача 11

Гідравлічний прес з діаметрами поршнів D і d використовується для отримання виноградного соку. До малого поршня прикладена сила P. Визначити з яким зусиллям великий поршень діє на виноград, якщо к.п.д. гідравлічного преса $\eta = 0{,}8$ (Схема 2.1).

Задача 12

При ремонті сільськогосподарської техніки і обладнання широко використовується гідравлічний домкрат з діаметрами поршнів D і d. Визначити зусилля P, яке необхідно прикласти до малого поршня, щоб підняти вантаж вагою G (Схема 2.2).

Задача 13

Два вертикальних циліндри заповнені рідиною і з'єднуються між собою. В циліндрах розміщено поршні (лівий-діаметром d, правий-діаметром D), які знаходяться в рівновазі, причому, над правим поршнем знаходиться повітря при атмосферному тиску $p = 98{,}1$ кПа. Визначити яку необхідно прикласти силу P до лівого поршня, що направлена вертикально вверх, щоб тиск повітря над правим поршнем зменшився на 15%. Тертям і масою поршня можна знехтувати (Схема 2.3).

Задача 14

Система, яка складається з двох вертикальних циліндрів, що з'єднані між собою, заповнена рідиною. В циліндрах знаходяться поршні діаметрами D і d. В просторі над правим поршнем – повітря при атмосферному тиску $p = 98{,}1$ кПа. Як зміниться тиск повітря над правим поршнем, якщо до лівого поршня прикласти вертикально в низ силу P? Тертям знехтувати (Схема 2.4).

Задача 15

Два циліндри, що з'єднані між собою заповнені водою. В лівому циліндрі знаходиться поршень діаметром d, який врівноважується стовпом рідини $H = 0{,}35$ м в правому циліндрі. Визначити вагу поршня G. (Схема 2.5).

Задача 16

Визначити висоту підняття води поршневим насосом, якщо тиск пари $p = 170$ кПа, а діаметри циліндрів D і d. Втратами в системі знехтувати (Схема 2.6).

Задача 17

Для підвищення гідростатичного тиску необхідно створити мультиплікатор з такими параметрами: тиск на вході $p_1 = 30$ кПа, тиск рідини на виході в 100 раз більший, діаметр малого поршня d. Визначити діаметр великого поршня D, і тиск на виході p_2 (Схема 2.7).

Задача 18

Для накопичення енергії використовується вантажний гідравлічний акумулятор з діаметром плунжера D, вага якого G і хід $H = 6$ м. Визначити яку енергію запасає акумулятор, якщо к.п.д. акумулятора $\eta = 0{,}85$ (Схема 2.8).

Задача 19

Циліндричний резервуар діаметром D і вагою G, заповнений водою на висоту $a = 0{,}5$ м, висить на поршні діаметром d. До поршня через блоки підвішений вантаж, що утримує систему в рівновазі. Визначити вакуум в посудині, що забезпечує рівновагу в циліндрі. Тертям в системі знехтувати (Схема 2.9).

Задача 20

На циліндричній посудині, що заповнена повітрям, висить плунжер діаметром d і вагою G. Визначити вакуум в посудині, що забезпечує рівновагу плунжера. Тертям в системі знехтувати (Схема 2.10).

Таблиця 8.7

Вихідні дані для розв'язування задач 11-20

Вихідні дані	**Номера задач**									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D, мм	340	250	400	600	-	300	-	250	900	-
d, мм	15	25	300	300	200	150	40	-	850	170
P, кН	0,245	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-
G, кН	-	19,6	-	-	-	-	-	500	0,20	0,15

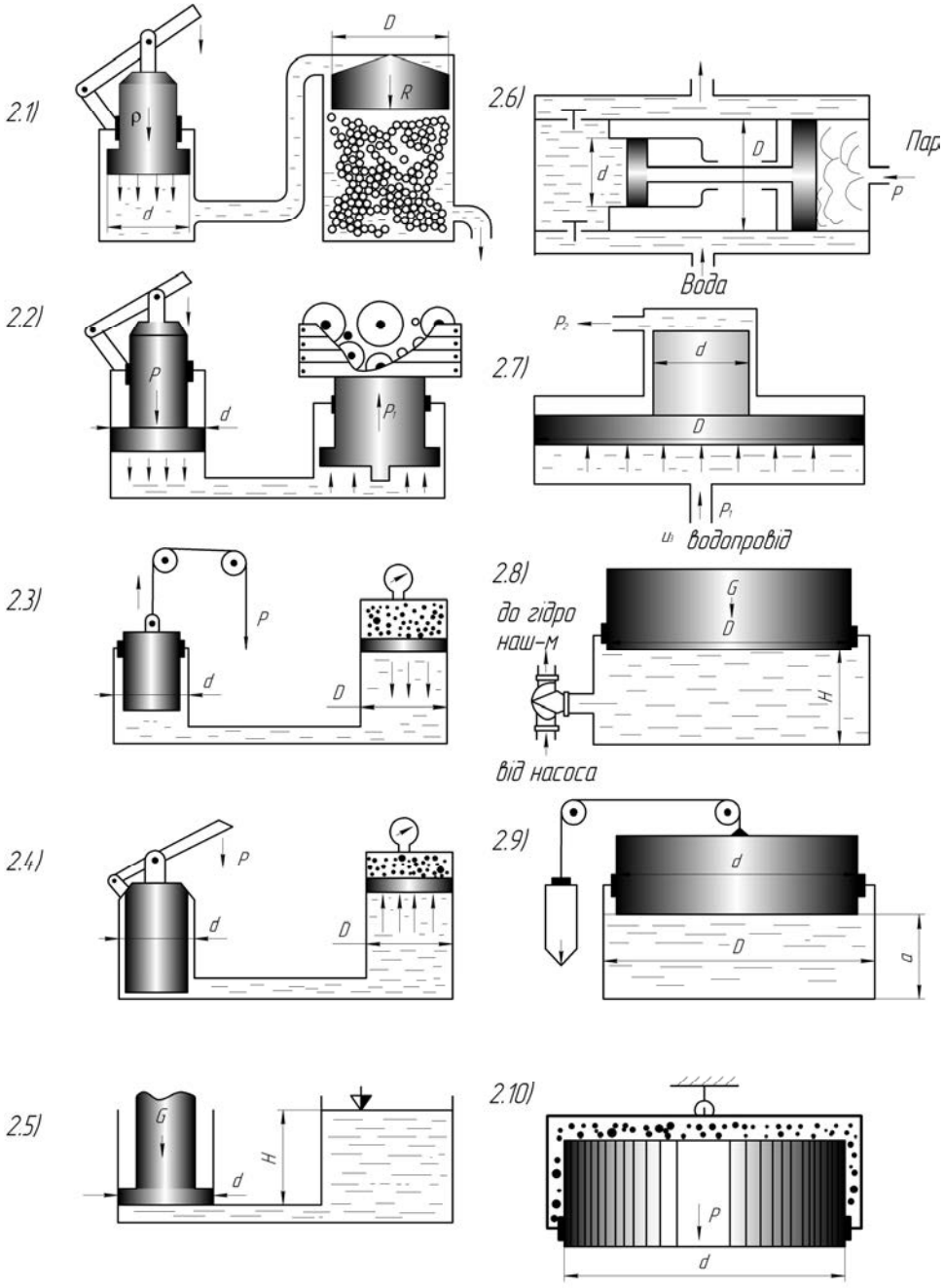


Рис. 8.2. Схеми до задач 11-20

8.4.3. ДІЯ ТИСКУ НА ПЛОСКУ СТІНКУ

(дані для розв'язування задач 21-30 наведені в таблиці 8.8)

В задачах 21-30 необхідно побудувати епюру гідростатичного тиску.

Задача 21

Шлюзове вікно закрите щитом трикутної форми шириною a. За щитом води немає, а глибина води перед ним дорівнює – h_1, при цьому горизонт води перед щитом співпадає з його вершиною. Визначити силу гідростатичного тиску і розміщення центра тиску на щит (Схема 3.1).

Задача 22

Плоский квадратний щит шириною b встановлений з кутом нахилу до горизонту α. Глибина води перед щитом h_1, за щитом – h_2. Визначити силу абсолютного гідростатичного тиску і центр тиску рідини на щит (Схема 3.2).

Задача 23

Для випуску залишків води використовується донний водовипуск, прямокутний затвор якого має розміри a і b, кут нахилу α. Глибина води від її вільної поверхні до нижньої кромки затвора – h_1. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску рідини на затвор водовипуска (Схема 3.3).

Задача 24

Затвор донного водовипуску трикутної форми має ширину a і висоту b. Кут нахилу затвора α, нижня кромка затвора знаходиться в воді на глибині h_1. Визначити силу абсолютного гідростатичного тиску рідини і розміщення центра тиску на затвор (Схема 3.4).

Задача 25

Цистерна діаметром D = 1,4 м керосином (густиною $\rho_к$ = 830 кг/м^3) на глибину h_1. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску F, яку необхідно прикласти для відкриття кришки A цистерни, а також знайти точку прикладання цієї сили (Схема 3.5).

Задача 26

Отвір шлюзу – регулятора перекритий плоским металевим затвором висотою а шириною b і товщиною c = 0,25 b, питома вага матеріалу з якого він виготовлений γ = 11 кН/м^3. Глибина води зліва від затвора h_1, а справа h_2. Коефіцієнт тертя ковзання f = 0,45. Визначити початкову силу тяги T, яка необхідна для відкриття затвора, рівнодіючу силу тиску води на затвор, і розміщення центра її прикладання (Схема 3.6).

Задача 27

Прямокутний щит висотою, шириною b і товщиною c = 0,25 b, масою m = 1,8 т, з кутом нахилу α**,** що перекриває отвір в греблі. Нижня

кромка щита знаходиться в воді на глибині h_1, коефіцієнт тертя ковзання його направляючих $f = 0{,}3$. Визначити силу тяги T, яка необхідна для підняття щита вверх (Схема 3.7).

Задача 28

Плоский прямокутний щит розмірами a і b, вагою $G = 26$ кН, перекриває вихідний отвір резервуара. Глибина води перед щитом від вільної поверхні до нижньої його кромки h_1, за щитом – h_2. Визначити початкову силу тяги T троса, яка необхідна для відкриття щита. Тертям в шарнірах знехтувати (Схема 3.8).

Задача29

Для створення підпору в річці використовується гребля Шануана, яка являє собою плоский прямокутний щит, який може обертатися навколо горизонтальної осі O. Кут нахилу щита α, глибина води перед щитом h_1, за щитом – h_2. Визначити розміщення осі обертання щита X_0, при якому в випадку збільшення верхнього рівня води вище греблі, щит перекидався би під її тиском (Схема 3.9).

Задача 30

Іригаційний канал перекривається плоским квадратним щитом шириною a, вагою $G = 20$ кН, з кутом нахилу α. Глибина води перед щитом h_1, а за ним – h_2. Визначити, нехтуючи тертям в шарнірі, початкову силу тяги T, яку необхідно прикласти для підняття щита (Схема 10).

Таблиця 8.8

Вихідні дані для розв'язування задач 21-30

Вихідні дані	**Номера задач**									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
h_1, м	6	8	12	11	0,7	5	9	8	3	2,2
h_2, м	-	2	-	-	-	2,5	-	4	1	1
a, м	2	-	1,5	1,5	-	4	1,9	6	-	6
b, м	-	4	3	2	-	2	1,5	7	-	-
$\alpha°$	-	45	60	45	-	-	70	-	60	60

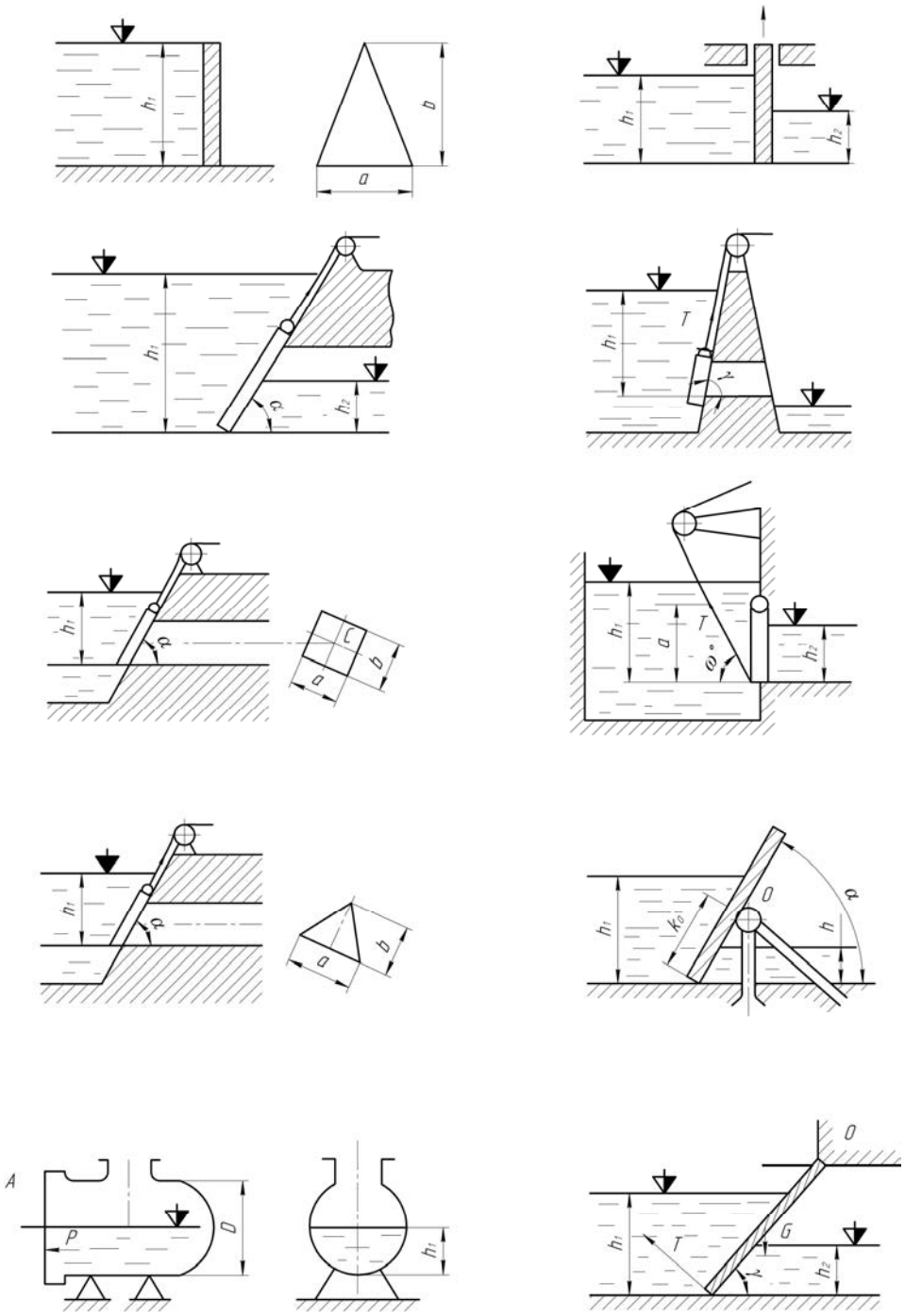


Рис. 8.3. Схеми до задач 21-30

8.4.4. ДОВГІ ТРУБОПРОВОДИ. ПАРАЛЕЛЬНЕ І ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ТРУБ. СИЛЬФОННИЙ ТРУБОПРОВІД. ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР.

(дані для розв'язування задач 31-40 наведені в таблиці 8.9)

Задача 31

З пункту A прокладена водопровідна сітка: з послідовним і паралельним з'єднаннями стальних трубопроводів, що були в експлуатації, до двох водойм на різних відмітках і постійною різницею рівнів H. Вода подається з однієї водойми в іншу за допомогою сифона з кутами повороту α і β, який виконаний з стального трубопроводу діаметром d. Від нижньої водойми відходить стальний трубопровід довжиною L і діаметром d, який закінчується заслінкою. На останній ділянці послідовного з'єднання трубопроводів є рівномірно розподілена шляхова об'ємна витрата q і об'ємна витрата в кінці трубопроводу Q_2 (Схема 4.1).

Визначити:

1. Об'ємну витрату в сифоні.
2. Розподіл об'ємної витрати води Q_1 в паралельних вітках водопроводу.
3. Втрати напору по довжині трубопроводу на ділянках послідовного з'єднання.
4. Підвищення тиску Δp в трубопроводі при миттєвому закритті заслінки.

Задача 32

З джерела A вода подається в розгалужену сітку. Магістральний трубопровід має послідовні ділянки з об'ємною витратою Q_2, довжиною L, діаметрами d, $d/2$, $d/3$, і паралельні вітки з об'ємною витратою Q_1, які мають діаметри $d/2$. На одній з ділянок є шляхова витрата води q. По відгалуженню вода подається в резервуар, який з'єднується за допомогою сифонного трубопроводу з другим резервуаром. Різниця рівнів в резервуарах H. Сифонний трубопровід виконаний з кутами повороту α і β, має сітку з зворотнім клапаном. Від нижнього резервуара відходить чавунний трубопровід з товщиною стінок e, в якому перед закриттям заслінки був тиск p_0,а тиск після миттєвого закриття заслінки зріс до p (Схема 4.2).

Визначити:

1. Розподіл витрати в вітках трубопроводу на паралельних ділянках.
2. Втрати напору на послідовних ділянках трубопроводу.
3. Початкову швидкість V_0 руху води в чавунному трубопроводі з заслінкою
4. Діаметр сифона.

Задача 33

В тепличному комбінаті стальні трубопроводи для подачі живильного розчину (кінематична в'язкість $\nu = 0{,}01$ см^2/с) розгалужуються на три ділянки: послідовна з шляховою витратою води Q та об'ємною витратою Q_2, паралельна з об'ємною витратою Q_1, та ділянкою довжиною L, товщиною стіни e та об'ємною витратою Q, в кінці якого встановлена заслінка. Резервуари з живильним розчином з'єднуються за допомогою сифона з кутами повороту α и β. Рух в сифоні відбувається з різницею напору H. Послідовні та паралельні ділянки трубопроводу мають довжину L, діаметри d, $d/2$, $d/3$, $d/4$ (Схема 4.3).

Визначити:

1. Підвищення тиску Δp при миттєвому закриті заслінки.
2. Розподіл витрат в паралельних вітках ділянки.
3. Втрати напору h_1, h_2, h_3 на послідовних ділянках трубопроводу.

Задача 34

З пункту A вода подається по чавунному трубопроводі у відкриті резервуари з різницею між верхньою та нижньою відмітками – H. Резервуари з'єднуються за допомогою сифона з об'ємною витратою $Q_{сиф}$, виконаного з чавунних труб з кутами повороту α і β. Трубопровід з об'ємною витратою Q_2 складається з послідовних ділянок кожний довжиною L та діаметрами d, $d/2$, $d/4$. Паралельна ділянка складається з двох віток кожна довжиною L та діаметром $d/2$. Від нижнього резервуара відходить чавунний трубопровід з товщиною стінок e та діаметром d, який закінчується заслінкою. Початковий надлишковий тиск в трубопроводі – p_0 початкова швидкість – V_0 (Схема 4.4).

Визначити:

1. Втрати напору по довжині трубопроводу при послідовному з'єднані.
2. Розподіл витрат Q_1 в трубопроводі на ділянках з паралельним з'єднанням.
3. Напруження σ при миттєвому закриті заслінки на трубопроводі.
4. Діаметр сифона.

Задача 35

З нафтосховища A нафта подається в накопичувальний резервуар, де підтримується постійний рівень. З резервуара накопичувача нафта потрапляє в приймальний резервуар під напором H за допомогою сифонного нафтопроводу діаметром d під кутами α і β. Від сховища A по чавунному трубопроводу нафта підводиться до двох паралельних віток кожна довжиною L та діаметром $d/2$ з об'ємною витратою Q_1. Система послідовно з'єднаних трубопроводів складається з двох ділянок кожна

довжиною L, діаметрами d, $d/2$ з об'ємною витратою Q_2. Третя ділянка, крім транзитної об'ємної витрати Q_1, має рівномірно розподілену шляхову об'ємну витрату q. Від приймального резервуара відходить чавунний трубопровід діаметром d, з товщиною стінок e і об'ємною витратою Q, який закінчується заслінкою (Схема 4.5).

Визначити:

1. Об'ємну витрату в сифоні.
2. Підвищення тиску Δp в чавунному трубопроводі при миттєвому закритті заслінки.
3. Втрати напору по довжині трубопроводу на ділянках послідовного з'єднання.
4. Розподіл витрати нафти на паралельних ділянках нафтопроводу.

Задача 36

Водопровідна сітка, виконана з чавунних трубопроводів з товщиною стінок e, складається з послідовних та паралельних ділянок, двох резервуарів, які з'єднані між собою сифоном, з нижнього резервуара відходить чавунний трубопровід з об'ємною витратою Q_2 з заслінкою. Одна з послідовних віток має шляхову об'ємну витрату q. Рівень рідини в резервуарах відрізняється на величину H. Сифонний трубопровід з кутами повороту α і β, має зворотний клапан з сіткою і пропускає об'ємну витрату $Q_{сиф.}$. Перед закриттям заслінки тиск P_0, після миттєвого закриття заслінки тиск перед заслінкою P (Схема 4.6).

Визначити:

1. Розподіл об'ємної витрати Q_1 в трубопроводах при паралельному з'єднанні.
2. Діаметр сифона.
3. Втрати напору по довжині послідовно з'єднаних ділянок трубопроводу.
4. Визначити початкову швидкість V_0 в чавунному трубопроводі.

Задача 37

Два басейни з'єднуються чавунним сифоном, який має зворотній клапан з сіткою з кутами повороту α і β. Рівні води відрізняються на величину Н. Від нижнього басейна відходить бетонна труба діаметром d і довжиною L, з об'ємною витратою Q, з заслінкою. Магістральні азбестоцементні труби мають послідовні та паралельні ділянки. Об'ємна витрата в трубопроводі з паралельними ділянками – Q_1, з послідовним з'єднанням ділянок – Q_2. На кінцевій ділянці послідовного з'єднання відбувається рівномірна шляхова витрата q (Схема 4.7).

Визначити:

1. Розподіл витрати по паралельних вітках.

2. Втрати напору на паралельних ділянках.
3. Збільшення тиску Δp в трубопроводі при миттєвому закритті заслінки.
4. Об'ємну витрату в сифоні $Q_{сиф.}$

Задача 38

З джерела A вода подається в накопичувальний резервуар, де підтримується постійний рівень. З резервуара накопичувача вода подається в приймальний резервуар за допомогою стального сифонного водопроводу, який має кути повороту α і β, що пропускає об'ємну витрату $Q_{сиф.}$. Стальний трубопровід діаметром d і довжиною L, з товщиною стінок e, який відходить від нижнього резервуара, закінчується заслінкою. Система послідовно з'єднаних трубопроводів з довжиною L, діаметрами d, $d/2$, $d/3$, $d/4$ пропускає транзитом з джерела A об'ємну витрату Q_2 до споживачів. Система трубопроводів з паралельними вітками закінчується послідовною ділянкою з рівномірним розподілом шляхової об'ємної витрати q (Схема 4.8).

Визначити:

1. Підвищення тиску Δp в трубопроводі при миттєвому закритті заслінки.
2. Діаметр сифона.
3. Розподіл витрати в трубопроводі з паралельним з'єднанням.
4. Втрати напору на ділянках трубопроводу при послідовному з'єднанні.

Задача 39

Два сховища з керосином з'єднуються стальним сифоном, який має довжину L, і діаметр d. Рівні керосину в сховищах відрізняються на величину H. Від нижнього сховища відходить стальна труба діаметром d з заслінкою і товщиною стінок e. З пункту A відходять стальні трубопроводи з послідовним і паралельним з'єднанням, які мають об'ємну витрату відповідно Q_2 і Q_1. На другій ділянці послідовного з'єднання здійснюється рівномірне шляхове роздавання води q (Схема 4.9).

Визначити:

1. Об'ємну витрату в сифоні при заданому діаметрі.
2. Втрати напору на ділянках з послідовним з'єднанням.
3. Початкову швидкість V_0 руху керосину в стальному трубопроводі, при якій тиск при миттєвому закритті заслінки досягає величини p, якщо перед закриттям заслінки в трубопроводі був тиск p_0.
4. Розподіл витрати в паралельних вітках трубопроводу.

Задача 40

З джерела A вода подається по чавунному трубопроводу в водойму з швидкістю V_0, де підтримується рівень і який з'єднаний з другою во-

доймою за допомогою сифона. Чавунний сифон має діаметр d, кути повороту α і β. Від другої водойми відходить чавунний трубопровід діаметр d з товщиною стінки e, в якому перед закриттям заслінки створюється тиск p_0. Друга ділянка системи водопостачання має трубопровід з паралельним і послідовним з'єднанням. Шляхова об'ємна витрата в кінці послідовної ділянки складає q (Схема 4.10).

Визначити:

1. Розподіл витрат в паралельних вітках трубопроводу.
2. Втрати напору в послідовно з'єднаних трубопроводах.
3. Об'ємну витрату в сифоні Q.
4. Напруження σ в стінках трубопроводу при миттєвому закритті заслінки, якщо до закриття вода в ньому рухалася з швидкістю V_0.

Таблиця 8.9

Вихідні дані для розв'язування задач 31-40

Вихідні дані	Номери задач									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Діаметр трубопроводу $d\times10^{-1}$, м	6	3	6	2	2,5	3	3	3	2,5	2
Довжина трубопроводу $L\times10^{2}$, м	8	5	3	3	4	4	2,5	2	2,5	3
Витрата води $Q_1\times10^{-4}$, м^3/с	6	18	20	12	20	29,5	25	15	17	4
Витрата води $Q_2\times10^{-4}$, м^3/с	1,1	12	12	3	20	35	30	9	16	-
Шляхова витрата води на 1 м.п. $Q\times10^{-2}$, л/с	4	3	6	10	3,5	2	2	5	3	1,8
Кут повороту сифону α, град.	45	90	60	90	45	90	45	90	45	60
Кут повороту сифону β, град.	60	90	90	90	90	90	90	90	90	60
Різниця рівнів в резервуарах (напір) Н, м	1	3	1,1	1,2	1,3	2	2,6	2	1,4	2,4
Витрата сифону $Q_{сиф.}\times10^{-3}$, м^3/с	-	27	-	35	-	28	-	25	-	-
Витрата води в трубопроводі з заслінкою $Q\times10^{-3}$, м^3/с	-	-	120	-	35	-	21	-	-	-
Тиск перед закриттям заслінки $p_0\times10^{5}$, Па	-	1,2	-	0,6	-	6	-	-	4	1,3
Тиск після миттєвого закриття заслінки $p\times10^{6}$, Па	-	1,9	-	-	-	1,7	-	-	2,2	-
Товщина стінок трубопроводу e, мм	7	7	8	7	5	12	8	10	7	7
Швидкість руху рідини в трубопроводі до закриття заслінки V_0, м/с	1,3	-	-	1,2	-	-	-	-	-	1,1

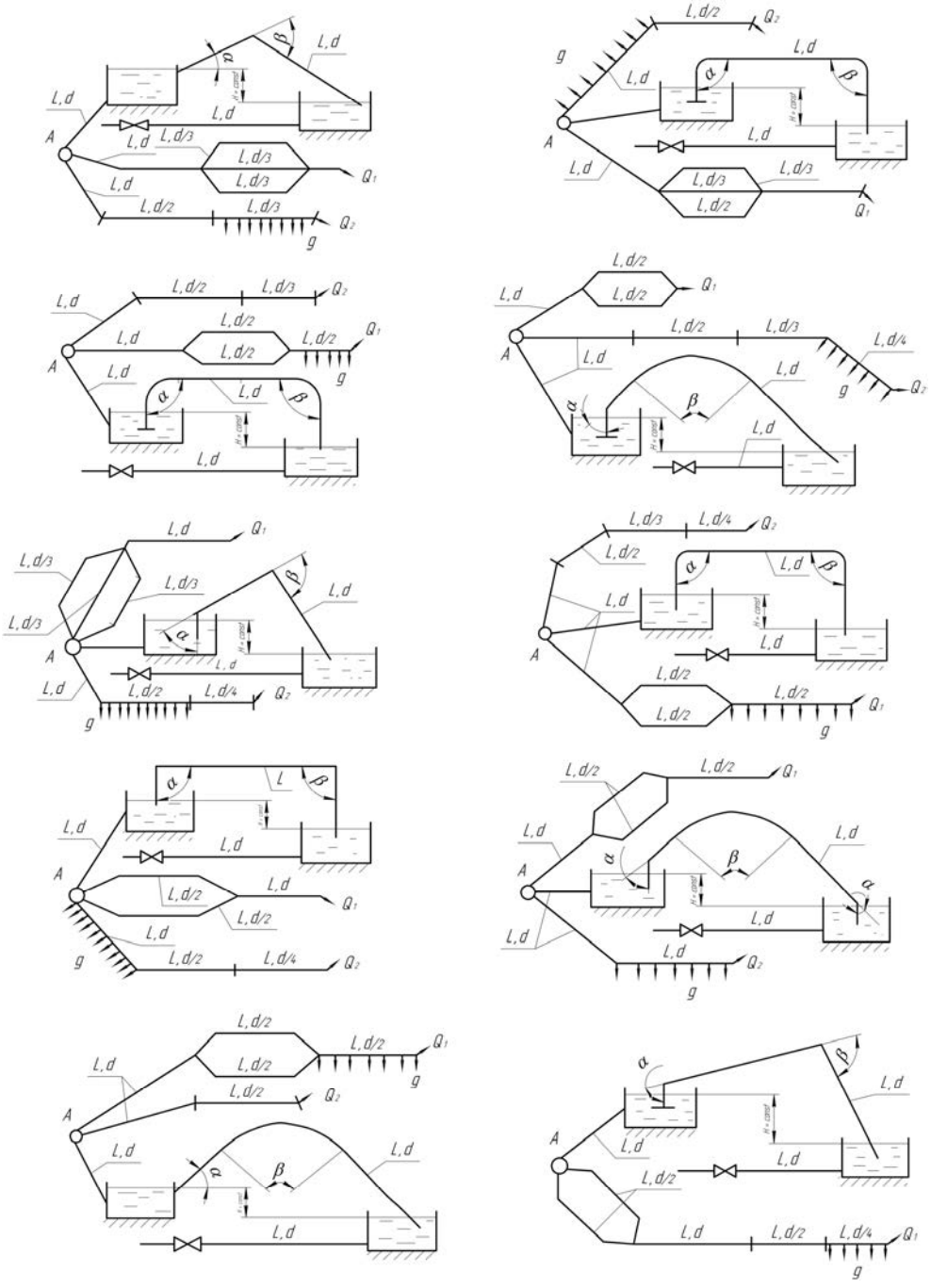


Рис.8.4. Схеми до задач 31-40

8.4.5. МІСЦЕВІ ОПОРИ. ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ.

(дані для розв'язування задач 41-50 наведені в таблиці 8.10;порівняти витрату води через насадку з витратою через отвір в тонкій стінці того самого діаметра. Коефіцієнт витрати для отвору $\mu = 0{,}62$; при розрахунку коротких трубопроводів роботою насадки знехтувати і навпаки).

Задача 41

З відкритого резервуару при постійному напорі H_1 вода при температурі $t = 50°C$ витікає з однієї сторони в атмосферу по короткому трубопроводі діаметром d_1 і довжиною L_1 з шорсткістю стінок $\Delta = 1$ мм, заслінкою, коефіцієнт опору якої $\xi_з$ і на кінці дифузором $\xi_{диф.} = 0{,}9$, площа живого перерізу якого за розширенням $S_2 = 2S_1$, з іншої сторони вода подається в другий резервуар через затоплений зовнішній циліндричний насадок (насадок Вентурі). Різниця рівнів між ними H. Насадок має діаметр $d_н$, і довжину $L_н = 5\ d_н$ і коефіцієнт витрати насадка $\mu_н$ (Схема 5.1).

Визначити:

1. Швидкість витікання V_2, витрату води Q_2 і коефіцієнт гідравлічного тертя λ по короткому трубопроводу.
2. Витрату води через насадок $Q_н$.

Задача 42

До відкритого резервуара з правої сторони приєднаний короткий стальний трубопровід, який складається з двох ділянок довжиною L_1 і L_2, діаметрами d_1 і d_2 і обладнаний краном, коефіцієнт опору якого $\xi_{кр}$. Витікання води температурою $t = 10°C$ відбувається по короткому трубопроводу в атмосферу при сталому напорі H_1. З лівої сторони приєднаний внутрішній циліндричний насадок (насадок Борда) діаметром $d_н$, і довжиною $L_н = 5\ d_н$ з коефіцієнтом витрати насадка $\mu_н$, витікання відбувається при різниці рівнів в резервуарах H (Схема 5.2).

Визначити:

1. Швидкість V і витрату Q води яка витікає з короткого трубопроводу.
2. Витрату води через насадок $Q_н$.

Задача 43

До закритого резервуару, на вільній поверхні якого діє манометричний тиск $p_м$, з правої сторони приєднаний чавунний трубопровід який має змінний переріз з діаметрами d_1 і d_2. На першій ділянці довжиною L_1 встановлений вентиль, коефіцієнт опору якого $\xi_в$. Друга ділянка довжиною L_2 закінчується соплом діаметром $d_c = d_1$ з коефіцієнтом опору $\xi_c = 0{,}06$ (коефіцієнт стискання струмини на виході з сопла $\varepsilon = 1$). З лівої сторони знаходиться затоплений конічно-збіжний насадок з діаметром

вихідного перерізу $d_н$, витікання з якого відбувається при постійній різниці рівнів H і коефіцієнтом витрати $\mu_н$, довжиною $L_н = 5\ d_н$.Трубопровід і насадок приєднані на одному рівні H_1, температура води t = 10°С (Схема 5.3).

Визначити:

1. Швидкість витікання $V_с$ і витрату $Q_с$, води що витікає з сопла.
2. Витрату води через затоплений насадок $Q_н$.

Задача 44

Витікання відбувається з відкритого резервуара в атмосферу при постійному напорі води H_1 по короткому трубопроводі змінного поперечного перерізу діаметрами d_1 і d_2, і довжинами L_1 і L_2, для яких коефіцієнти гідравлічного тертя відповідно рівні λ_1 і λ_2. На другій ділянці трубопроводу є два коліна з плавним поворотом і зниженням трубопроводу на H_2 = 1,5 м і заслінка, коефіцієнт опору кожного повороту $\xi_к$, коефіцієнт опору заслінки $\xi_з$. Витікання з конічно-розбіжного насадка з діаметром вихідного перерізу $d_н$, і довжиною $L_н = 5\ d_н$ відбувається під рівень при постійній різниці рівнів H. Коефіцієнт швидкості і коефіцієнт витрати насадка однакові $\varphi_н = \mu_н$ (Схема 5.4).

Визначити:

1. Швидкість витікання $V_{тр}$ і витрату $Q_{тр}$ води яка витікає з короткого трубопроводу.
2. Швидкість витікання $V_н$ і витрату $Q_н$ води яка витікає з затопленого конічно-розбіжного насадка.

Задача 45

З відкритого резервуару по короткому стальному трубопроводу поперечного перерізу діаметром d_1 і довжиною L_1 з краном, коефіцієнт опору якого $\xi_{кр}$, який закінчується соплом $d_с = 0{,}5d_1$, витікає вода в атмосферу при t = 30°С. Витікання відбувається під напором H_1. З другої сторони до резервуару приєднаний коноїдальний насадок діаметром вихідного сопла $d_н$ і довжиною $L_н = 5\ d_н$, витікання з якого відбувається при різниці рівнів в резервуарах H з коефіцієнтом витрати насадка $\mu_н$ (Схема 5.5).

Визначити:

1. Швидкість витікання з сопла $V_с$ і витрату $Q_с$ води яка витікає з короткого трубопроводу.
2. Витрату води через затоплений коноїдальний насадок $Q_н$.

Задача 46

Вода при температурі t = 15°С з резервуару A подається в резервуар B по трубопроводу, який складається з двох ділянок довжиною L_1 і L_2, діаметрами d_1 і d_2. Коефіцієнти гідравлічного тертя λ. Коефіцієнт

втрат при вході в трубу $\xi_{вх}$. З другої сторони на такому ж рівні до резервуару А приєднаний зовнішній циліндричний насадок (насадок Вентурі) діаметром $d_н$, і довжиною $L_н = 5\ d_н$. Коефіцієнт швидкості насадка $\varphi_н$ (Схема 5.6).

Визначити:

1. Напір H_1 який потрібно підтримувати в баку A, щоб заповнити бак B, об'ємом $W_в = 1{,}8$ м^3 за 30 хв.
2. Швидкість витікання води через насадок з урахуванням, що в резервуарі A знаходиться під напором H_1, який визначений з попередньої умови.

Задача 47

Вода при температурі $t = 20$°С з резервуару A подається в резервуар В з швидкістю $V = 0{,}5$ м/с по стальному трубопроводу діаметром d_1 і довжиною L_1. Рівень води в баку A підтримується постійним H_1. Коефіцієнти опорів: при вході в трубу $\xi_{вх}$; коліна без заокруглення $\xi_{кол.1}$; коліна з заокругленням $\xi_{кол.2}$. На глибині H_1 до резервуару приєднаний внутрішній циліндричний насадок (насадок Борда) діаметром $d_н$, і довжиною $L_н = 5\ d_н$ при коефіцієнті швидкості для насадка $\varphi_н$ (Схема 5.7).

Визначити:

1. Час заповнення водою резервуару B об'ємом $W_в = 1{,}15$ м^3 і втрати напору в трубопроводі.
2. Швидкість витікання води з насадка $V_н$.

Задача 48

З резервуару A, який заповнений водою на висоту H_1 і знаходиться під манометричним тиском $p_м$, вода подається в резервуар В на висоту $H_2 = H_1 + H$ по стальному трубопроводу довжиною L_1 і діаметром d_1, з коліном і заслінкою, коефіцієнт опору заслінки $\xi_з$ кожного коліна з заокругленням $\xi_{кол}$ при коефіцієнт гідравлічного тертя λ_1. До резервуару А на глибині H_1 приєднаний конічно-збіжний насадок з діаметром вихідного перерізу $d_н$ і довжиною $L_н = 5\ d_н$, витікання з якого відбувається в атмосферу з коефіцієнтом витрати $\mu_н$ і швидкості насадка $\varphi_н$. Кінематична в'язкість води $\nu = 1{,}24\times10^{-6}$ м^2/с. Швидкісним напором і зміною рівня води в баку A знехтувати (Схема 5.8).

Визначити:

1. Режим руху, швидкість $V_{тр}$ і витрату $Q_{тр}$ води яка витікає з трубопроводу.
2. Швидкість $V_н$ і витрату $Q_н$ води яка витікає з конічно-збіжного насадка.

Задача 49

В резервуар A, на вільній поверхні якого діє надлишковий тиск $p_м$, вода температурою $t = 15$°С надходить в резервуар В по трубопроводу

змінного перерізу, який складається з двох ділянок довжиною L_1 і L_2, діаметрами d_1 і d_2, з заслінкою і коліном, коефіцієнти опорів: коліна $\xi_{1к}$, повністю відкритої заслінки $\xi_з$ і втрат на вході в трубопровід $\xi_{вх}$ і відповідно коефіцієнти гідравлічного тертя на першій ділянці λ_1, на другій – λ_2. Різниця рівнів в резервуарах $H_2 = H_1 + H$.

На глибині H_1 до резервуару A приєднаний конічно-розбіжний насадок з діаметром вихідного перерізу $d_н$ і довжиною $L_н = 5\ d_н$ витікання з якого відбувається в атмосферу з коефіцієнтами швидкості і витрати насадка $\varphi_н = \mu_н$. Швидкісним напором і зміною рівня води резервуарі A знехтувати (Схема 5.9).

Визначити:

1. Режим руху, швидкість $V_{тр}$ і витрату води $Q_{тр}$ яка надходить в резервуар B по трубопроводу.
2. Швидкість $V_н$ і витрату води $Q_н$ яка витікає з конічно-розбіжного насадка.

Задача 50

Вода при температурі t = 20°С подається з резервуару A в резервуар B по короткому трубопроводу, який складається з двох ділянок довжиною L_1 і L_2, діаметрами d_1 і d_2 коефіцієнтом гідравлічного тертя λ, що обладнаний краном з коефіцієнтом опору $\xi_{кр}$. Різниця рівнів в резервуарах H. На глибині H_1 до резервуару A приєднаний коноїдальний насадок з діаметром вихідного перерізу $d_н$ і довжиною $L_н = 5\ d_н$, коефіцієнт витрати насадка $\mu_н$ (Схема 5.10).

Визначити:

1. Витрату $Q_{тр}$ води яка надходить в резервуар B по короткому трубопроводу.
2. Витрату води через коноїдальний насадок $Q_н$.

Таблиця 8.10

Вихідні дані для розв'язування задач 41-50

Вихідні дані	Номери задач									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Довжина трубопроводу L_1, м	6	5	12	1,2	5	10	16	5	10	9
Довжина трубопроводу L_2, м	-	12	6	4	-	12	-	-	14	12
Діаметр труб $d_1 \times 10^{-2}$, м	0,8	2,0	1,2	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	0,8
Діаметр труб $d_2 \times 10^{-2}$, м	-	1,0	2,5	1,0	-	0,8	-	-	0,8	1,5
Діаметр насадка $d_н \times 10^{-2}$, м	1,0	1,0	1,2	2,0	0,8	1,0	1,0	1,0	2,0	0,8
Напір в резервуарі Н, м	2	2,5	2,5	3	2	-	-	1,5	3	4
Напір в резервуарі H_1, м	6	-	8,5	9	8	-	7	5	6	7
Манометричний тиск $p_м$, кПа	-	-	400	-	-	-	-	150	200	-

Продовження таблиці 8.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коефіцієнт витрати насадка $\mu_н$	0,82	0,71	0,94	0,45	0,97	-	-	0,94	0,45	0,97
Коефіцієнт швидкості для насадка $\varphi_н$.	-	-	-	0,45	-	0,82	0,71	0,96	0,45	-
Коефіцієнт опору заслінки $\xi_з$ (вентиля $\xi_в$)	2,5	-	4	8	-	-	-	9	5	-
Коефіцієнт гідравлічного тертя λ_1	-	-	-	0,04	-	-	-	0,04	0,025	0,032
Коефіцієнт гідравлічного тертя λ_2	-	-	-	0,025	-	0,03	-	-	0,04	-
Коефіцієнт опору коліна $\xi_{кол.1}$	-	-	-	0,15	-	-	0,25	0,25	0,4	-
Коефіцієнт опору коліна $\xi_{кол.2}$	-	-	-	0,15	-	-	0,14	0,25	-	-
Коефіцієнт опору крана $\xi_{кр}$	-	3	-	-	2,5	-	1,5	-	-	4,2
Коефіцієнт втрат при вході в трубу $\xi_{вх}$	-	-	-	-	-	0,5	0,5	-	0,5	-

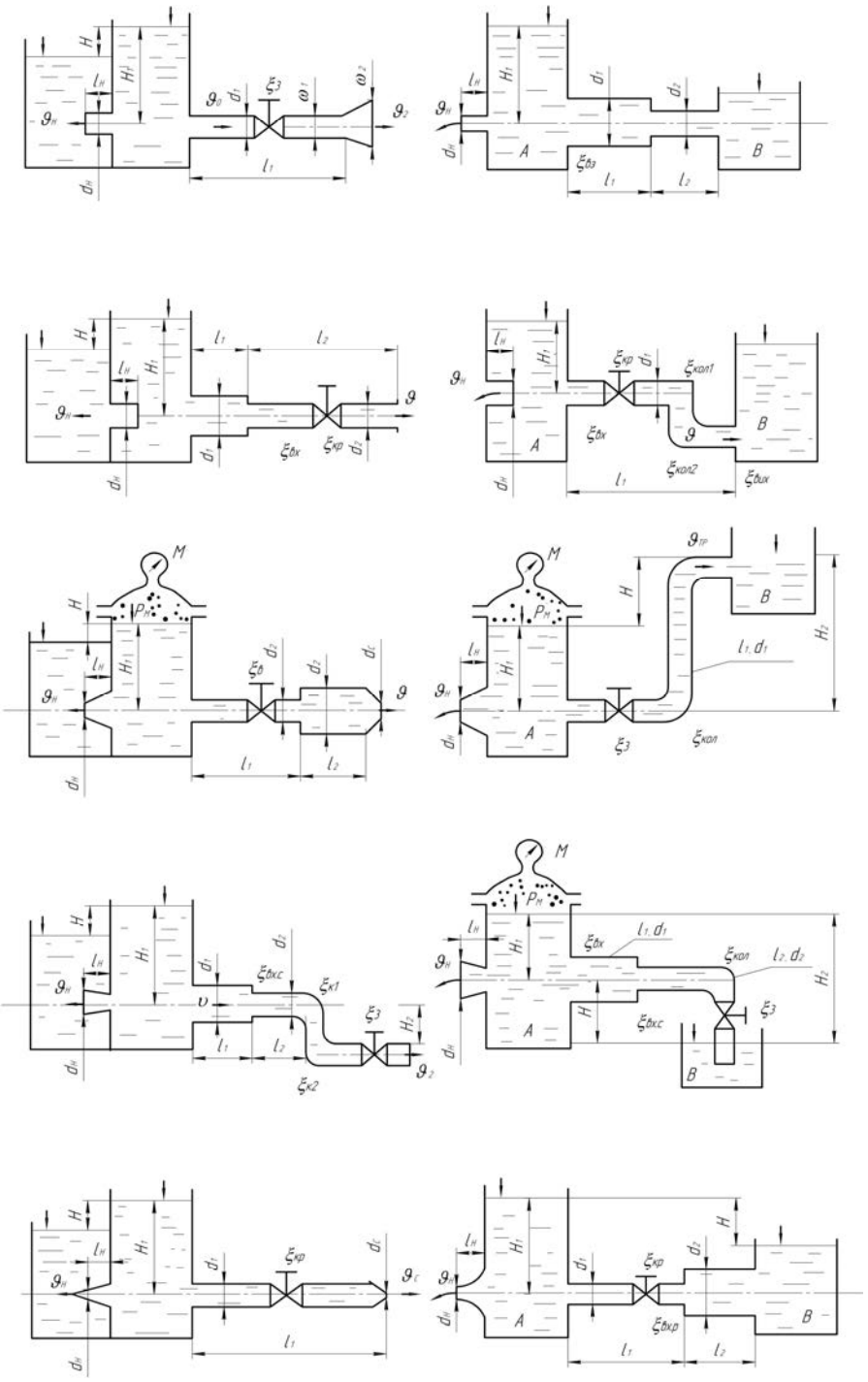


Рис.8.5. Схеми до задач 41-50

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 3-110).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 3-91).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 3-125).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 3-112).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 5-72).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев;–Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с. (с. 4-60).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 3-137).

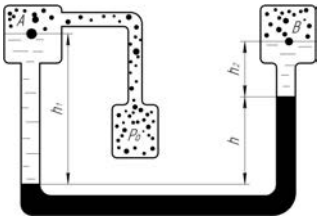
8.5. Приклад виконання контрольної роботи

По шифру залікової книжки вибираємо номери задач. Наприклад 8, 20, 25, 31, 44. З переліку задач вибираємо необхідні і проводимо розрахунки використовуючи рекомендовану літературу.

Задача 8

Резервуари A і B частково заповнені водою, яка має різну густину (відповідно $\rho_A = 998$ кг/м^3, $\rho_B = 1029$ кг/м^3) і газом, причому до резервуара A приєднаний балон з газом. Висота стовпа ртуті в трубці диференціального манометра h, а відстані від осі резервуара до меніска ртуті рівні h_1 і h_2. Який тиск необхідно створити тиск p_0 в балоні, щоб отримати тиск p_B на вільній поверхні в резервуарі B?

Дано
$h = 0{,}17$ м
$h_1 = 0{,}4$ м
$h_2 = 0{,}13$ м
$P_B = 112$ кПа
P_0 –?



Для визначення тиску P_0 який необхідно створити в балоні визначаємо тиск в резервуарі A до якого він приєднаний. Для визначення тису P_A складемо рівняння рівноваги відносно площини рівного тиску О-О.

$$P_A + \rho_A g h_1 = P_B + \rho_B g h_2 + \rho_{рт} g h, \qquad (1)$$

Розв'язавши дане рівняння відносно тиску P_A отримаємо вираз

$$P_A = P_B + \rho_B g h_2 + \rho_{рт} g h - \rho_A g h_1, \qquad (2)$$

де $\rho_{рт}$ – густина рідини (ртуті), $\frac{кг}{м^3}$; $\rho_{рт} = 13546$ $\frac{кг}{м^3}$.[2 табл. 2].

$P_A = 112000 + 1029\ 9{,}81 \cdot 0{,}13 + 13546 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}17 - 998 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}4 = 131986{,}8$ кПа

Згідно основного рівняння гідростатики $P_A = P_0 + \rho_A g h_1$, з цього рівняння можна визначити тиск який необхідно створити в балоні.

$$P_0 = P_A - \rho_A g h_1, \text{ отже} \qquad (3)$$

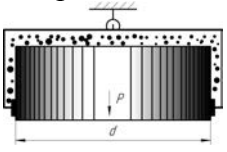
$$P_0 = 131986{,}8 - 998 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}4 = 128070{,}65 \text{ Па} = 128{,}1 \text{ кПа}.$$

Для того щоб в резервуарі B отримати тиск $P_B = 112$ кПа, в балоні необхідно створити тиск в 128,1 кПа з урахуванням показів ртутного диференціального манометра.

Задача 20

На циліндричній посудині, що заповнена повітрям, висить плунжер діаметром d і вагою G. Визначити вакуум в посудині, що забезпечує рівновагу плунжера. Тертям в системі знехтувати.

Дано
$d = 170$ мм
$G = 0{,}15$ кН
$P_{вак}$ – ?



Визначаємо вакуумметричний тиск який необхідно створити для утримання плунжера в рівновазі по формулі 1.1 [1].

$$P_{вак} = \frac{G}{S}, \tag{4}$$

де G – вага плунжера, кН

S – площа поперечного перерізу плунжера, м^2

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{5}$$

де d – діаметр плунжера, м

$$S = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}17^2}{4} = 2{,}27 \cdot 10^{-2}\, м^2$$

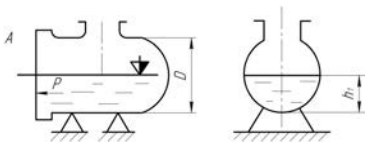
$$P_{вак} = \frac{0{,}15}{2{,}27 \cdot 10^{-2}} = 6{,}61 кПа$$

Отже для того щоб утримати плунжер діаметром 170 мм, вагою 0,15 кН необхідно в системі створити вакуумметричний тиск в 6,61 кПа.

Задача 25

Цистерна діаметром D = 1,4 м керосином (густиною $\rho_к$ = 830 кг/м^3) на глибину h_1. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску F, яку необхідно прикласти для відкриття кришки A цистерни, а також знайти точку прикладання цієї сили. Побудувати епюру гідростатичного тиску.

Дано
h = 0,7 м
F – ?
h_c –?



Визначаємо тиск рідини на стінку по формулі 1.5 [1].

$$P = P_0 + \rho g h, \tag{6}$$

де P_0 – тиск на поверхні рідини, кПа $P_0 = P_{от}$ = 98 кПа

ρ – густина рідини (керосину);

g – прискорення вільного падіння,

h – висота рідини в резервуарі

$$P = 98 + 830 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}7 = 103{,}7 кПа$$

Визначаємо силу тиску на стінку з формули 1.2 [1]

$$P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = P \cdot S, \tag{7}$$

де S – площа на яку діє тиск, м^2.

З умови видно, що резервуар заповнений рівно на половину тому

$$S = \pi R^2 = 3{,}14 \cdot 0{,}7^2 = 1{,}54 м^2$$

$$F = 103{,}7 \cdot 1{,}54 = 159{,}6 кПа$$

Визначаємо точку де прикладена сила F

$$h_c = \frac{1}{3}h = \frac{0,7}{3} = 0,23\ м$$

Для того, щоб відкрити кришку резервуара A необхідно прикласти силу в 159,6 кН, яка буде прикладена на відстані 23 см від дна резервуара.

Задача 31

З пункту A прокладена водопровідна сітка: з послідовним і паралельним з'єднаннями стальних трубопроводів, що були в експлуатації, до двох водойм на різних відмітках і постійною різницею рівнів H. Вода подається з однієї водойми в іншу за допомогою сифона з кутами повороту α і β, який виконаний з стального трубопроводу діаметром d. Від нижньої водойми відходить стальний трубопровід довжиною L і діаметром d, який закінчується заслінкою. На останній ділянці послідовного з'єднання трубопроводів є рівномірно розподілена шляхова об'ємна витрата Q і об'ємна витрата в кінці трубопроводу Q_2.

Визначити:

1. Об'ємну витрату в сифоні.
2. Розподіл об'ємної витрати води Q_1 в паралельних вітках водопроводу.
3. Втрати напору по довжині трубопроводу на ділянках послідовного з'єднання.
4. Підвищення тиску Δp в трубопроводі при миттєвому закритті заслінки.

Дано

$d = 0,6$ м

$L = 108$ м

$Q_1 = 6 \cdot 10^{-4}\ \frac{м^3}{с}$

$Q_2 = 1,1 \cdot 10^{-4}\ \frac{м^3}{с}$

$Q = 4 \cdot 10^{-2}\ л/с$

$\alpha = 45°$

$\beta = 60°$

$H = 1$ м

$e = 7$ мм

$\upsilon_o = 1,3\ м/с$

$Q_{сиф} - ?$

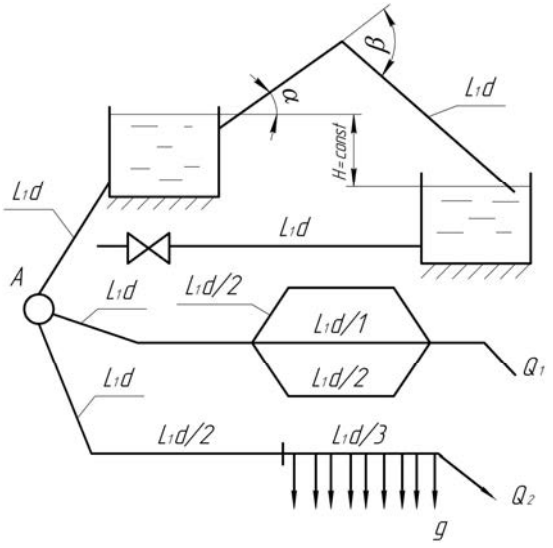
$Q_1' - ?$

$Q_1'' - ?$

$Q_1''' - ?$

$H - ?$

$\Delta p - ?$



1. Визначаємо об'ємну витрату в сифоні по формулі 4.22 [1].

$$Q_{сиф} = \mu_{сист} \cdot S\sqrt{2g \cdot H}\ ; \tag{8}$$

де g – прискорення вільного падіння, $\frac{м}{с^2}$;

H – різниця рівнів рідини в резервуарах, м;

S – площа поперечного перерізу трубопроводу, м^2;

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{9}$$

де d – діаметр трубопроводу, м;

$$\mathrm{S} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,283 \text{ м}^2,$$

$\mu_{сист}$ – коефіцієнт витрати системи, визначаємо по формулі 4.23 [1];

$$\mu_{\text{сист}} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{\text{сист}}}}, \tag{10}$$

де $\xi_{сист}$ – коефіцієнт опору системи;

$$\xi_{сист} = \xi_{вх} + \xi_{45^0} + \xi_{60^0} + \lambda\frac{l}{d} + \xi_{вих}, \tag{11}$$

де $\xi_{вх}$ – коефіцієнт опору при вході в трубопровід;

$\xi_{45°}$ – коефіцієнт опору при повороті трубопроводу на 45°;

$\xi_{60°}$ – коефіцієнт опору при повороті трубопроводу на 60°;

$\xi_{вих}$ – коефіцієнт опору при виході з трубопроводу;

l – довжина трубопроводу, м;

d – діаметр трубопроводу, м;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$$\lambda = 0,11\left(\frac{\Delta_{екв}}{d}\right)^{0,25}, \tag{12}$$

де $\Delta_{екв}$ – еквівалентна шорсткість труб, мм, $\Delta_{екв} = 0,2$ мм [1 додаток 12];

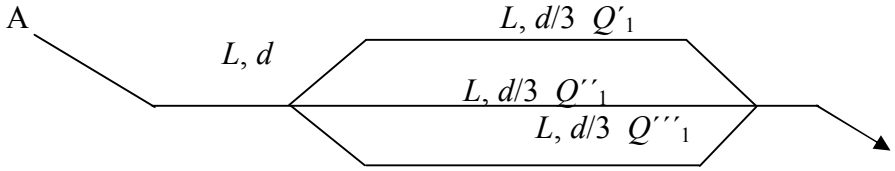
$$\lambda = 0,11\left(\frac{\Delta_{екв}}{600}\right)^{0,25} = 0,0149,$$

$$\xi_{сист} = 0,5 + 0,35 + 0,55 + 0,0149\frac{108}{0,6} + 1 = 5,08,$$

$$\mu_{сист} = \frac{1}{\sqrt{5,08}} = 0,444,$$

$$Q_{сиф} = 0,444 \cdot 0,283\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 0,556 \frac{м^3}{с}.$$

2. Визначаємо розподіл об'ємної витрати води в паралельних вітках.



Визначаємо діаметри трубопроводів на паралельних вітках.

$$d_1 = d_2 = d_3 = \frac{d}{3} = \frac{0,6}{3} = 0,2м,$$

Визначимо розподіл витрати на паралельних вітках по формулі 5.16 (1).

$$Q_i = \sqrt{\frac{H_i}{A_i L_i}}, \qquad (13)$$

де H – втрати опору на ділянці трубопроводу, м;

L_1 – довжина ділянки трубопроводу, м;

A – питомий опір ділянки трубопроводу, с^2/м^6;

питомий опір залежить від матеріалу трубопроводу і діаметра ділянки трубопроводу.

Як видно з умови задачі всі величини, які входять в формулу для визначення витрати однакові. Отже, об'ємна витрата Q_1 буде розділятися на три рівних частини з однаковою витратою.

$$Q_1' = Q_1'' = Q_1''' = \frac{Q_1}{3} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{3} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{м^3}{с};$$

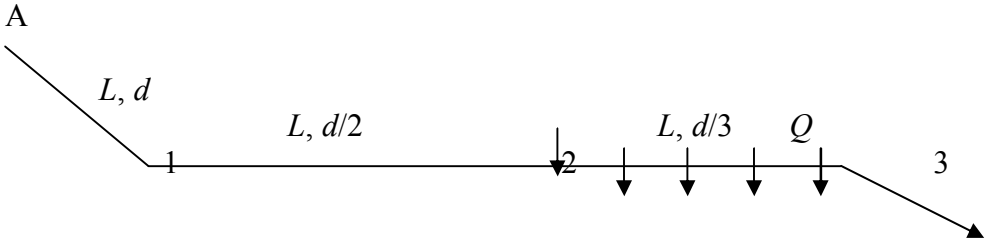
3. Визначаємо втрати напору по довжині трубопроводу на ділянках послідовного з'єднання по формулі 5.21 [1].

$$H = AQ_p^2 L, \qquad (14)$$

де L – довжина ділянки трубопроводу, м;

Q_P – розрахункова витрата на ділянці трубопроводу, м^3/с;

A – питомий опір ділянки трубопроводу, с^2/м^6;



Визначаємо втрати напору на ділянці А-1.

$$h_{A-1} = A_{A-1} Q^2_{p_{A-1}} L_{A-1}, \quad (15)$$

де Q_P – розрахункова витрата на ділянці А-1.

$$Q_p = Q_T + 0{,}55 Q_ш, \quad (16)$$

де $Q_т$ – транзитна витрата, яка проходить через трубопровід $м^3/с$;

$$Q_T = Q_2 = 1{,}1 \cdot 10^{-4} \frac{м^3}{с},$$

$Q_ш$ – шляхова витрата води яка проходить через дану ділянку $м^3/с$;

$$Q_ш = q \cdot L, \quad (17)$$

де Q – шляхова витрата на один погонний метр трубопроводу $м^3/с$;

$$Q_ш = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 108 = 4{,}32 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с},$$

$$Q_p = 1{,}1 \cdot 10^{-4} + 0{,}55 \cdot 4{,}32 \cdot 10^{-3} = 2{,}49 \cdot 10^{-4} \frac{м^3}{с}.$$

$A_{A\text{-}1}$ – питомий опір водопроводу, $\frac{с^2}{м^6}$, для ненових стальних труб і діаметра трубопроводу d = 600 мм, А = 0,0235 $с^2/м^6$ [1 ст. 106];

$$h_{A-1} = 0{,}0235 \cdot \left(2{,}49 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 108 = 1{,}57 \cdot 10^{-5} м,$$

$$h_{1-2} = A_{1-2} Q^2_{p_{1-2}} L_{1-2}, \quad (18)$$

де $A_{1\text{-}2}$ – питомий опір трубопроводу на ділянці 1-2, $с^2/м^6$ для діаметра

$$d_2 = \frac{d}{2} = \frac{0{,}6}{2} = 300 мм,\ A = 0{,}059 \frac{с^2}{м^6}\ \text{[1 ст. 106]},$$

$Q_{P1\text{-}2}$ – розрахункова витрата трубопроводом на ділянці 1-2 $м^3/с$;
$L_{1\text{-}2}$ – довжина ділянки 1-2, м.

$$h_{1-2} = 0{,}059 \cdot \left(2{,}49 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 108 = 3{,}95 \cdot 10^{-5} м,$$

$$h_{2-3} = A_{2-3} Q^2_{p_{2-3}} L_{2-3}, \quad (19)$$

де $A_{2\text{-}3}$ – питомий опір трубопроводу на ділянці 2-3, $с^2/м^6$, для діаметра трубопроводу $d_2 = \frac{d}{3} = \frac{0{,}6}{3} = 200$ *мм*, $A = 6{,}96 \frac{с^2}{м^6}$ [1 ст. 106];

$$h_{2-3} = 6{,}96 \cdot \left(2{,}49 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 108 = 4{,}66 \cdot 10^{-3} м,$$

$$H = h_{A-1} + h_{1-2} + h_{2-3} = 1{,}57 \cdot 10^{-5} + 3{,}95 \cdot 10^{-5} + 4{,}66 \cdot 10^{-3} = 4{,}72 \cdot 10^{-3} м.$$

4. Визначаємо підвищення тиску Δp в трубопроводі при миттєвому закритті заслінки по формулі 5.31 [1].

$$\Delta p = \rho c V_0, \tag{20}$$

де ρ – густина рідини, що проходить по трубопроводу, $\rho \approx 1000 \frac{кг}{м^3}$;

V_0 – швидкість руху води в трубопроводі до миттєвого закриття заслінки, *м*/*с*;

C – швидкість розповсюдження ударної хвилі, *м*/*с*; визначаємо по формулі 5.33 [1].

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_p d}{E_{mp} e}}}, \tag{21}$$

де *d* – діаметр трубопроводу, м;

e– товщина стінки трубопроводу, м;

E_P – модуль пружності рідини (води) E_P = 20,3·108 Па;

E_{mp} – модуль пружності матеріалу трубопроводу (сталі) E_{mp} = 196·109 Па;

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{20,3 \cdot 10^8 \cdot 0,6}{196 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}}} = 1037,15 \frac{м}{с};$$

$$\Delta p = 1000 \cdot 1037,15 \cdot 1,3 = 1,35 \cdot 10^6 \, Па.$$

Отже при миттєвому закритті заслінки тиск збільшується до $1,35 \cdot 10^6$ Па.

Задача 44

Витікання відбувається з відкритого резервуара в атмосферу при постійному напорі води H_1 по короткому трубопроводі змінного поперечного перерізу діаметрами d_1 і d_2, і довжинами L_1 і L_2, для яких коефіцієнти гідравлічного тертя відповідно рівні λ_1 і λ_2. На другій ділянці трубопроводу є два коліна з плавним поворотом і зниженням трубопроводу на H_2 = 1,5 м і заслінка, коефіцієнт опору кожного повороту $\xi_к$, коефіцієнт опору заслінки $\xi_з$. Витікання з конічно-розбіжного насадка з діаметром вихідного перерізу $d_н$, і довжиною $L_н = 5\ d_н$ відбувається під рівень при постійній різниці рівнів Н. Коефіцієнт швидкості і коефіцієнт витрати насадка однакові $\varphi_н = \mu_н$.

Визначити:

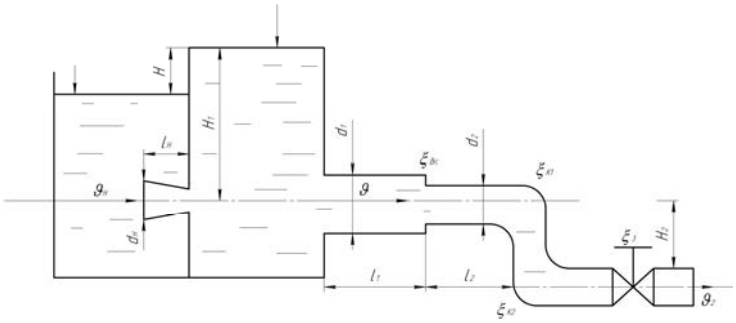
1. Швидкість витікання V_{mp} і витрату Q_{mp} води яка витікає з короткого трубопроводу.

2. Швидкість витікання $V_н$ і витрату $Q_н$ води яка витікає з затопленого конічно-розбіжного насадка.

Дано

$L_1 = 1{,}2$ м
$L_2 = 4$ м
$d_1 = 4 \cdot 10^{-2}$ м
$d_2 = 1 \cdot 10^{-2}$ м
$d_н = 2 \cdot 10^{-2}$ м
$H = 3$ м
$H_1 = 9$ м
$H_2 = 1{,}5$ м
$\mu_н = 0{,}45$
$\xi_3 = 8$
$\lambda_1 = 0{,}04$
$\lambda_2 = 0{,}025$
$\xi_{1к} = 0{,}15$
$\xi_{2к} = 0{,}15$

$\upsilon_{тр} - ?$
$Q_{тр} - ?$
$\upsilon_н - ?$
$Q_н - ?$



1. Визначаємо розхід рідини через короткий трубопровід по формулі 4.25 (1) для випадку коли витікання проходить в атмосферу:

$$Q = \mu_{сист} \cdot S \sqrt{2g \cdot (H_1 + H_2)}, \tag{22}$$

де H_1 – напір в резервуарі, м;

H_2 – напір за рахунок зниження трубопроводу, м;

g – прискорення вільного падіння, $\frac{м}{с^2}$;

S – площа поперечного перерізу трубопроводу, м^2;

$$S = \frac{\pi d_2^2}{4} \tag{23}$$

де d_2 – діаметр трубопроводу, м;

$$S = \frac{3{,}14 \cdot \left(1 \cdot 10^{-2}\right)^{-2}}{4} = 7{,}85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$\mu_{сист}$ – коефіцієнт витрати системи;

$$\mu_{сист} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{сист}}}; \tag{24}$$

де $\xi_{сист}$ – коефіцієнт опору системи;

$$\xi_{сист} = \xi_{вх} + \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} + \xi_{рз} + \xi_{к1} + \xi_{к2} + \xi_з + \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \xi_{вих}; \qquad (25)$$

де $\xi_{вх}$ – коефіцієнт опору на вході в трубопровід, $\xi_{вх} = 0{,}5$ [1ст.77];
l_1 і l_2 – довжини ділянки трубопроводу, м;
d_1 і d_2 – діаметри ділянок трубопроводів, м;
λ_1 λ_2 – коефіцієнт гідравлічного тертя на відповідних ділянках трубопроводів;
$\xi_{рз}$ – коефіцієнт опору при раптовому звуженні трубопроводу $\xi_{рз} = 0{,}37$;
$\xi_{вих}$ – коефіцієнт опору при виході з трубопроводу, $\xi_{вих} = 1$.

$$\xi_{сист} = 0{,}5 + 0{,}04\frac{1{,}2}{4 \cdot 10^{-2}} + 0{,}37 + 0{,}15 + 0{,}15 + 8 + 0{,}025\frac{4}{1 \cdot 10^{-2}} + 1 = 21{,}37;$$

$$\mu_{сист} = \frac{1}{\sqrt{1 + 21{,}37}} = 0{,}211;$$

$$Q = 0{,}211 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot (9 + 1{,}5)} = 2{,}38 \cdot 10^{-4}\ \frac{м^3}{с};$$

2. Визначаємо швидкість руху води по трубопроводу

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{2{,}38 \cdot 10^{-4}}{7{,}85 \cdot 10^{-5}} = 3{,}03\ \frac{м}{с};$$

3. Визначаємо розхід через конічно розбіжний насадок за формулою 4.18 (1):

$$Q = \mu_H \cdot S_H \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_O}; \qquad (26)$$

де μ_H – коефіцієнт витрати насадка;

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

H_o – напір над насадком, м;

$$H_O = H_1 - H = 9 - 3 = 6\ м;$$

$S_н$ – площа вихідного перерізу насадка, м^2;

$$S_H = \frac{\pi \cdot d_H}{4}; \qquad (27)$$

де d_H – діаметр вихідного отвору насадка, м;

$$S_H = \frac{3{,}14 \cdot \left(2 \cdot 10^{-2}\right)^2}{4} = 3{,}14 \cdot 10^{-4} м^2;$$

$$Q_H = 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 6} = 1{,}53 \cdot 10^{-3}\ \frac{м^3}{с};$$

4. Визначаємо швидкість витікання води через насадок

$$V_H = \frac{Q_H}{S_H} = \frac{1{,}53 \cdot 10^{-3}}{3{,}14 \cdot 10^{-4}} = 4{,}88\ \frac{м}{с};$$

Використана література

1. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
2. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.
3. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
5. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.

ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев; – Минск: «Вышейшая школа», 1983 – 288 с.
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И. Лаптев, Л.А. Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с.
8. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.В. Некрасов; – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
9. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення / В.О. Орлов, А.М. Зощук; – Рівне, 2002. – 203 с.

10. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація / В.С. Кравченко; – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
11. Волошин М.М. Теоретичні основи методики навчання технічних дисциплін у вищому закладі освіти аграрно-технічного профілю: Монографія. Вид. 2-е / За ред. Дьоміна А.І., Мозирського В.В. – Кам'янець-Подільський: Абетка-НОВА, 2005. – 336 с.
12. Алексеев Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев; – М.: ИНФРА – М, 2004. – 154 с.
13. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський; – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
14. Штеренлихт Д.В. Гидравлические расчеты / Д.В. Штеренлихт, В.М. Алышев, Л.В. Яковлева; – М.: Колос, 1992. – 287 с.
15. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров – К.: – Вища школа, 1987. – 208 с.
16. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації / П.Д. Хорунжий, В.О. Орлов, О.А. Ткачук та ін.; За ред. П.Д. Хорунжого. – К.: Урожай, 1992. – 296 с.
17. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств / І.І. Ревенко, В.Д. Роговський, В.І. Кравчук та ін.; За ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1994. – 192 с., іл.
18. Український орфографічний словник: понад 175 тис. слів / уклали:
19. В.В. Чумак [та ін.]; за ред. В.Г. Скляренка. – Вид. 9-е, перероб. і доповн. – К.: Довіра, 2009. – 1011 с. – (Словники України).
20. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / С.М. Срібнюк; – Київ Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
21. Сайт http://www.techgidravlika.ru
22. Сайт http://www.twirpx.com
23. Сайт www.hydraulics.at.ua

Додатки

Додаток А – Тип водозабору (додаток Р). Номер рисунка (додаток С)

Додаток Б – Дані для вибору довжин ділянок (м) та геодезичних відміток об'єктів (м)

Додаток В – Відомість добового водопостачання

Додаток Д – Норми водопостачання

Додаток Д.1 – Норми водоспоживання для населення

Додаток Д.2 – Норми водоспоживання для переробних підприємств

Додаток Д.3 – Норми водопостачання в тваринництві

Додаток З – Розподіл добових витрат води за годинами, %

Додаток Е – Режим водоспоживання на господарсько-питні потреби для переробних підприємств

Додаток Ж – Графік Г.А. Муріна для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя

Додаток К – Рекомендовані діаметри труб та швидкість води

Додаток Л – Залежність величин A, c, m від швидкості руху води в напірному трубопроводі [7]

Додаток М – Типові водонапірні башти, які рекомендуються до використання в сільському господарстві

Додаток Н – Технічні характеристики відцентрових свердловинних (занурювальних) насосів типу ЕВВ і ЕЦВ(1)

Додаток П – Робочі характеристики відцентрових насосів [1]

Продовження додатка П – Зведений (сітьовий) графік полів відцентрових насосів

Додаток Р – Схеми водозаборів

Додаток Р.1 – Водозабір русловий і береговий

Додаток Р.2 – Водозабір «свердловина»

Додаток Р.3 – Водозабір «шахтний колодязь»

Додаток С – Схеми водопровідних мереж

Додаток С.1 – Схема тупикової водопровідної мережі (рис. 1)

Додаток С.2 – Схема розімкнутої тупикової мережі (рис. 2)

Додаток Т – Коефіцієнти ζ для деяких місцевих опорів [1]

Додаток У – Рекомендовані значення еквівалентної шорсткості Δe для труб з різних матеріалів [1]

Додаток Ф – Модулі витрат K, м^3/с, і питомі опори A, с^2/м6, для найбільш вживаних діаметрів труб з різних матеріалів у квадратичній області опору* [2]

Додаток Ц – Значення поправочних коефіцієнтів β в залежності від середньої швидкості руху V, м/с, для труб різного діаметра і з різних матеріалів [2]

Додаток Ш – Граничні значення швидкостей $V_{гр}$ і витрат $Q_{гр}$ у залежності від діаметра труб [2]

Додаток Щ – Структура залежностей для визначення коефіцієнта λ та характер впливу швидкості V на втрати напору по довжині [1]

Додаток Ю – Середнє значення коефіцієнтів для найбільш поширених насадок

Додаток А

Тип водозабору (додаток Р). Номер рисунка (додаток С)

Передостання цифра шифру в заліковій книжці	Остання цифра шифру в заліковій книжці									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**0**
1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Руслoвий Рис. 2
2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2
3	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1
4	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2
5	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Руслoвий Рис. 1
6	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1
7	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2
8	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1
9	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Руслoвий Рис. 2
0	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2	Русловий Рис. 1	Береговий Рис. 1	Свердловина Рис. 1	Шахтний колодязь Рис.1	Русловий Рис. 2	Береговий Рис. 2	Свердловина Рис. 2	Шахтний колодязь Рис. 2

Додаток Б

Дані для вибору довжин ділянок (м) та геодезичних відміток об'єктів (м)

Остання цифра шифру в заліковій книжці																							
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		0			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
Передостання цифра шифру в заліковій книжці	1	L_0=100	Z_0=108	L_0=800	Z_0=132	L_0=710	Z_0=117	L_0=380	Z_0=119	L_0=270	Z_0=126	L_0=680	Z_0=116	L_0=628	Z_0=108	L_0=280	Z_0=112	L_0=615	Z_0=129	L_0=575	Z_0=114		
		L_1=600	Z_1=102	L_1=720	Z_1=130	L_1=840	Z_1=105	L_1=490	Z_1=116	L_1=490	Z_1=124	L_1=790	Z_1=100	L_1=735	Z_1=102	L_1=730	Z_1=108	L_1=835	Z_1=125	L_1=690	Z_1=110		
		L_2=540	Z_2=101	L_2=1020	Z_2=128	L_2=1000	Z_2=104	L_2=670	Z_2=106	L_2=730	Z_2=122	L_2=725	Z_2=100	L_2=548	Z_2=100	L_2=650	Z_2=106	L_2=870	Z_2=120	L_2=770	Z_2=108		
		L_3=1100	Z_3=106	L_3=900	Z_3=125	L_3=870	Z_3=100	L_3=980	Z_3=108	L_3=850	Z_3=120	L_3=1015	Z_3=108	L_3=865	Z_3=99	L_3=835	Z_3=106	L_3=770	Z_3=122	L_3=1000	Z_3=106		
		L_4=350	Z_4=103	L_4=520	Z_4=123	L_4=620	Z_4=101	L_4=310	Z_4=108	L_4=320	Z_4=118	L_4=320	Z_4=106	L_4=374	Z_4=100	L_4=455	Z_4=104	L_4=290	Z_4=121	L_4=280	Z_4=104		
		L_5=200	Z_5=106	L_5=610	Z_5=126	L_5=480	Z_5=102	L_5=490	Z_5=118	L_5=480	Z_5=122	L_5=280	Z_5=110	L_5=435	Z_5=101	L_5=380	Z_5=110	L_5=330	Z_5=124	L_5=315	Z_5=107		
	2	L_0=200	Z_0=115	L_0=480	Z_0=117	L_0=760	Z_0=115	L_0=630	Z_0=118	L_0=310	Z_0=118	L_0=250	Z_0=127	L_0=475	Z_0=134	L_0=560	Z_0=130	L_0=410	Z_0=107	L_0=215	Z_0=124		
		L_1=400	Z_1=113	L_1=1100	Z_1=112	L_1=1100	Z_1=108	L_1=750	Z_1=109	L_1=880	Z_1=108	L_1=825	Z_1=124	L_1=685	Z_1=130	L_1=680	Z_1=126	L_1=945	Z_1=104	L_1=820	Z_1=122		
		L_2=680	Z_2=102	L_2=800	Z_2=110	L_2=480	Z_2=107	L_2=670	Z_2=109	L_2=660	Z_2=106	L_2=570	Z_2=123	L_2=920	Z_2=128	L_2=735	Z_2=124	L_2=690	Z_2=100	L_2=675	Z_2=120		
		L_3=760	Z_3=107	L_3=300	Z_3=100	L_3=710	Z_3=105	L_3=820	Z_3=112	L_3=870	Z_3=102	L_3=790	Z_3=120	L_3=786	Z_3=125	L_3=915	Z_3=120	L_3=360	Z_3=99	L_3=930	Z_3=118		
		L_4=300	Z_4=106	L_4=600	Z_4=102	L_4=320	Z_4=108	L_4=402	Z_4=108	L_4=380	Z_4=100	L_4=530	Z_4=122	L_4=325	Z_4=124	L_4=370	Z_4=122	L_4=420	Z_4=98	L_4=340	Z_4=116		
		L_5=420	Z_5=107	L_5=520	Z_5=105	L_5=250	Z_5=110	L_5=307	Z_5=114	L_5=410	Z_5=105	L_5=475	Z_5=125	L_5=480	Z_5=126	L_5=465	Z_5=123	L_5=318	Z_5=102	L_5=385	Z_5=118		
	3	L_0=650	Z_0=128	L_0=380	Z_0=128	L_0=250	Z_0=145	L_0=610	Z_0=125	L_0=720	Z_0=121	L_0=280	Z_0=130	L_0=286	Z_0=116	L_0=580	Z_0=135	L_0=270	Z_0=114	L_0=315	Z_0=131		
		L_1=730	Z_1=120	L_1=1100	Z_1=124	L_1=700	Z_1=140	L_1=730	Z_1=120	L_1=680	Z_1=118	L_1=650	Z_1=125	L_1=775	Z_1=106	L_1=970	Z_1=130	L_1=620	Z_1=108	L_1=845	Z_1=128		
		L_2=510	Z_2=120	L_2=800	Z_2=122	L_2=510	Z_2=139	L_2=540	Z_2=118	L_2=730	Z_2=116	L_2=830	Z_2=120	L_2=970	Z_2=104	L_2=645	Z_2=128	L_2=575	Z_2=107	L_2=520	Z_2=125		
		L_3=1100	Z_3=119	L_3=980	Z_3=112	L_3=830	Z_3=135	L_3=820	Z_3=115	L_3=950	Z_3=115	L_3=975	Z_3=122	L_3=895	Z_3=102	L_3=1115	Z_3=126	L_3=985	Z_3=105	L_3=960	Z_3=125		
		L_4=400	Z_4=118	L_4=620	Z_4=111	L_4=410	Z_4=138	L_4=460	Z_4=114	L_4=400	Z_4=114	L_4=315	Z_4=124	L_4=365	Z_4=102	L_4=326	Z_4=124	L_4=315	Z_4=104	L_4=280	Z_4=124		
		L_5=320	Z_5=120	L_5=450	Z_5=116	L_5=380	Z_5=140	L_5=370	Z_5=118	L_5=520	Z_5=118	L_5=410	Z_5=125	L_5=480	Z_5=104	L_5=280	Z_5=127	L_5=280	Z_5=106	L_5=370	Z_5=126		
	4	L_0=710	Z_0=131	L_0=820	Z_0=141	L_0=280	Z_0=139	L_0=270	Z_0=112	L_0=630	Z_0=123	L_0=630	Z_0=128	L_0=325	Z_0=124	L_0=270	Z_0=123	L_0=630	Z_0=117	L_0=710	Z_0=128		
		L_1=650	Z_1=136	L_1=600	Z_1=136	L_1=670	Z_1=136	L_1=805	Z_1=106	L_1=780	Z_1=121	L_1=785	Z_1=122	L_1=890	Z_1=122	L_1=785	Z_1=119	L_1=490	Z_1=115	L_1=560	Z_1=126		
		L_2=1005	Z_2=130	L_2=480	Z_2=130	L_2=730	Z_2=130	L_2=680	Z_2=104	L_2=580	Z_2=120	L_2=650	Z_2=120	L_2=585	Z_2=120	L_2=720	Z_2=117	L_2=825	Z_2=112	L_2=880	Z_2=120		
		L_3=960	Z_3=124	L_3=930	Z_3=132	L_3=820	Z_3=132	L_3=940	Z_3=100	L_3=940	Z_3=119	L_3=835	Z_3=121	L_3=835	Z_3=118	L_3=975	Z_3=115	L_3=740	Z_3=108	L_3=1010	Z_3=118		
		L_4=580	Z_4=120	L_4=320	Z_4=131	L_4=470	Z_4=134	L_4=320	Z_4=98	L_4=520	Z_4=117	L_4=424	Z_4=120	L_4=520	Z_4=116	L_4=380	Z_4=114	L_4=360	Z_4=108	L_4=305	Z_4=117		
		L_5=610	Z_5=122	L_5=510	Z_5=134	L_5=510	Z_5=136	L_5=480	Z_5=102	L_5=460	Z_5=119	L_5=318	Z_5=124	L_5=385	Z_5=119	L_5=415	Z_5=116	L_5=425	Z_5=110	L_5=285	Z_5=125		
	5	L_0=380	Z_0=118	L_0=1000	Z_0=136	L_0=650	Z_0=136	L_0=310	Z_0=110	$L0$=270	Z_0=127	L_0=570	Z_0=135	L_0=625	Z_0=127	L_0=220	Z_0=138	L_0=315	Z_0=113	L_0=740	Z_0=141		
		L_1=1200	Z_1=116	L_1=790	Z_1=130	L_1=810	Z_1=134	L_1=840	Z_1=100	L_1=840	Z_1=125	L_1=680	Z_1=132	L_1=730	Z_1=125	L_1=680	Z_1=134	L_1=675	Z_1=109	L_1=865	Z_1=138		
		L_2=800	Z_2=108	L_2=630	Z_2=130	L_2=600	Z_2=132	L_2=570	Z_2=98	L_2=630	Z_2=123	L_2=836	Z_2=130	L_2=680	Z_2=120	L_2=935	Z_2=132	L_2=740	Z_2=106	L_2=950	Z_2=136		
		L_3=720	Z_3=102	L_3=950	Z_3=125	L_3=920	Z_3=130	L_3=1100	Z_3=100	L_3=925	Z_3=120	L_3=948	Z_3=128	L_3=890	Z_3=122	L_3=730	Z_3=130	L_3=970	Z_3=106	L_3=260	Z_3=130		
		L_4=500	Z_4=106	L_4=470	Z_4=128	L_4=540	Z_4=128	L_4=300	Z_4=102	L_4=320	Z_4=118	L_4=365	Z_4=126	L_4=435	Z_4=124	L_4=350	Z_4=131	L_4=360	Z_4=105	L_4=315	Z_4=132		
		L_5=480	Z_5=110	L_5=360	Z_5=128	L_5=370	Z_5=132	L_5=280	Z_5=104	L_5=425	Z_5=122	L_5=402	Z_5=130	L_5=570	Z_5=124	L_5=410	Z_5=133	L_5=405	Z_5=108	L_5=420	Z_5=134		

Продовження додатка Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Передостання цифра шифру в заліковій книжці	6	L_0=385	Z_0=126	L_0=275	Z_0=143	L_0=615	Z_0=120	L_0=700	Z_0=120	L_0=275	Z_0=126	L_0=255	Z_0=124	L_0=745	Z_0=135	L_0=265	Z_0=112	L_0=320	Z_0=130	L_0=200	Z_0=114
		L_1=1000	Z_1=122	L_1=720	Z_1=137	L_1=625	Z_1=115	L_1=835	Z_1=108	L_1=640	Z_1=121	L_1=500	Z_1=122	L_1=870	Z_1=132	L_1=615	Z_1=108	L_1=850	Z_1=127	L_1=650	Z_1=108
		L_2=750	Z_2=120	L_2=530	Z_2=136	L_2=530	Z_2=113	L_2=990	Z_2=107	L_2=835	Z_2=120	L_2=720	Z_2=120	L_2=960	Z_2=130	L_2=560	Z_2=107	L_2=525	Z_2=125	L_2=520	Z_2=107
		L_3=960	Z_3=110	L_3=825	Z_3=132	L_3=810	Z_3=111	L_3=880	Z_3=103	L_3=950	Z_3=118	L_3=845	Z_3=118	L_3=255	Z_3=124	L_3=980	Z_3=104	L_3=955	Z_3=124	L_3=970	Z_3=109
		L_4=650	Z_4=109	L_4=415	Z_4=136	L_4=470	Z_4=110	L_4=615	Z_4=101	L_4=330	Z_4=121	L_4=330	Z_4=116	L_4=320	Z_4=126	L_4=320	Z_4=103	L_4=290	Z_4=123	L_4=420	Z_4=107
		L_5=470	Z_5=114	L_5=390	Z_5=137	L_5=385	Z_5=113	L_5=485	Z_5=104	L_5=440	Z_5=122	L_5=475	Z_5=120	L_5=480	Z_5=128	L_5=275	Z_5=105	L_5=360	Z_5=125	L_5=180	Z_5=112
	7	L_0=825	Z_0=143	L_0=290	Z_0=136	L_0=475	Z_0=119	L_0=640	Z_0=120	L_0=670	Z_0=135	L_0=330	Z_0=123	L_0=280	Z_0=122	L_0=625	Z_0=118	L_0=715	Z_0=128	L_0=215	Z_0=139
		L_1=650	Z_1=138	L_1=665	Z_1=133	L_1=1010	Z_1=112	L_1=775	Z_1=119	L_1=815	Z_1=133	L_1=900	Z_1=120	L_1=790	Z_1=118	L_1=480	Z_1=114	L_1=565	Z_1=125	L_1=675	Z_1=134
		L_2=790	Z_2=132	L_2=735	Z_2=127	L_2=785	Z_2=111	L_2=590	Z_2=117	L_2=610	Z_2=130	L_2=610	Z_2=119	L_2=740	Z_2=116	L_2=830	Z_2=111	L_2=870	Z_2=120	L_2=930	Z_2=132
		L_3=925	Z_3=135	L_3=810	Z_3=129	L_3=320	Z_3=100	L_3=945	Z_3=116	L_3=900	Z_3=129	L_3=830	Z_3=116	L_3=980	Z_3=114	L_3=735	Z_3=109	L_3=1000	Z_3=117	L_3=735	Z_3=129
		L_4=310	Z_4=133	L_4=460	Z_4=131	L_4=490	Z_4=102	L_4=530	Z_4=114	L_4=545	Z_4=126	L_4=525	Z_4=113	L_4=375	Z_4=113	L_4=355	Z_4=109	L_4=310	Z_4=116	L_4=360	Z_4=130
		L_5=540	Z_5=134	L_5=520	Z_5=133	L_5=510	Z_5=105	L_5=456	Z_5=116	L_5=375	Z_5=131	L_5=390	Z_5=115	L_5=420	Z_5=115	L_5=430	Z_5=110	L_5=290	Z_5=124	L_5=405	Z_5=131
	8	L_0=950	Z_0=132	L_0=645	Z_0=127	L_0=315	Z_0=113	L_0=265	Z_0=140	L_0=795	Z_0=133	L_0=630	Z_0=128	L_0=415	Z_0=111	L_0=285	Z_0=119	L_0=675	Z_0=117	L_0=735	Z_0=130
		L_1=800	Z_1=128	L_1=720	Z_1=119	L_1=835	Z_1=103	L_1=430	Z_1=137	L_1=710	Z_1=130	L_1=725	Z_1=126	L_1=950	Z_1=108	L_1=780	Z_1=109	L_1=780	Z_1=101	L_1=790	Z_1=123
		L_2=635	Z_2=126	L_2=520	Z_2=119	L_2=560	Z_2=101	L_2=640	Z_2=136	L_2=1025	Z_2=127	L_2=690	Z_2=121	L_2=700	Z_2=104	L_2=975	Z_2=107	L_2=730	Z_2=101	L_2=640	Z_2=121
		L_3=900	Z_3=123	L_3=950	Z_3=118	L_3=1050	Z_3=103	L_3=940	Z_3=133	L_3=870	Z_3=124	L_3=900	Z_3=120	L_3=870	Z_3=103	L_3=900	Z_3=105	L_3=1010	Z_3=107	L_3=840	Z_3=122
		L_4=480	Z_4=125	L_4=375	Z_4=117	L_4=320	Z_4=105	L_4=325	Z_4=131	L_4=530	Z_4=122	L_4=440	Z_4=122	L_4=425	Z_4=102	L_4=370	Z_4=105	L_4=315	Z_4=105	L_4=420	Z_4=120
		L_5=365	Z_5=125	L_5=340	Z_5=119	L_5=290	Z_5=107	L_5=420	Z_5=135	L_5=640	Z_5=125	L_5=665	Z_5=124	L_5=320	Z_5=106	L_5=485	Z_5=107	L_5=290	Z_5=110	L_5=325	Z_5=124
	9	L_0=150	Z_0=106	L_0=715	Z_0=130	L_0=710	Z_0=125	L_0=385	Z_0=120	L_0=280	Z_0=117	L_0=585	Z_0=133	L_0=625	Z_0=111	L_0=285	Z_0=114	L_0=620	Z_0=130	L_0=570	Z_0=113
		L_1=650	Z_1=100	L_1=655	Z_1=129	L_1=675	Z_1=122	L_1=480	Z_1=117	L_1=835	Z_1=109	L_1=960	Z_1=128	L_1=740	Z_1=105	L_1=740	Z_1=108	L_1=840	Z_1=126	L_1=685	Z_1=110
		L_2=570	Z_2=99	L_2=1000	Z_2=124	L_2=720	Z_2=120	L_2=365	Z_2=107	L_2=675	Z_2=107	L_2=650	Z_2=126	L_2=550	Z_2=103	L_2=655	Z_2=107	L_2=865	Z_2=121	L_2=775	Z_2=107
		L_3=1100	Z_3=104	L_3=955	Z_3=123	L_3=945	Z_3=119	L_3=990	Z_3=106	L_3=950	Z_3=103	L_3=1100	Z_3=124	L_3=870	Z_3=102	L_3=830	Z_3=105	L_3=780	Z_3=124	L_3=950	Z_3=105
		L_4=370	Z_4=101	L_4=570	Z_4=119	L_4=380	Z_4=118	L_4=315	Z_4=106	L_4=310	Z_4=102	L_4=325	Z_4=122	L_4=375	Z_4=102	L_4=460	Z_4=102	L_4=300	Z_4=122	L_4=290	Z_4=103
		L_5=220	Z_5=104	L_5=600	Z_5=121	L_5=530	Z_5=122	L_5=500	Z_5=111	L_5=450	Z_5=105	L_5=285	Z_5=125	L_5=420	Z_5=104	L_5=385	Z_5=106	L_5=310	Z_5=124	L_5=330	Z_5=106
	0	L_0=240	Z_0=117	L_0=390	Z_0=114	L_0=755	Z_0=116	L_0=540	Z_0=120	L_0=325	Z_0=119	L_0=260	Z_0=130	L_0=480	Z_0=131	L_0=555	Z_0=129	L_0=575	Z_0=137	L_0=325	Z_0=120
		L_1=380	Z_1=115	L_1=1100	Z_1=112	L_1=1000	Z_1=109	L_1=745	Z_1=111	L_1=890	Z_1=109	L_1=830	Z_1=126	L_1=695	Z_1=127	L_1=685	Z_1=125	L_1=685	Z_1=132	L_1=680	Z_1=116
		L_2=720	Z_2=104	L_2=810	Z_2=104	L_2=485	Z_2=108	L_2=680	Z_2=111	L_2=670	Z_2=107	L_2=565	Z_2=123	L_2=930	Z_2=125	L_2=740	Z_2=123	L_2=830	Z_2=130	L_2=735	Z_2=113
		L_3=670	Z_3=109	L_3=725	Z_3=98	L_3=715	Z_3=106	L_3=810	Z_3=114	L_3=865	Z_3=101	L_3=795	Z_3=119	L_3=785	Z_3=122	L_3=920	Z_3=119	L_3=945	Z_3=127	L_3=980	Z_3=113
		L_4=340	Z_4=108	L_4=480	Z_4=102	L_4=330	Z_4=109	L_4=415	Z_4=110	L_4=400	Z_4=99	L_4=540	Z_4=120	L_4=320	Z_4=121	L_4=375	Z_4=121	L_4=400	Z_4=125	L_4=355	Z_4=112
		L_5=425	Z_5=109	L_5=500	Z_5=106	L_5=260	Z_5=111	L_5=375	Z_5=116	L_5=420	Z_5=104	L_5=465	Z_5=125	L_5=490	Z_5=123	L_5=470	Z_5=122	L_5=410	Z_5=129	L_5=425	Z_5=115

Додаток В

Відомість добового водопостачання

Години доби	Споживачі								Всього, $м^3$/год.	Всього з початку доби, $м^3$
	%	$м^3$/год.	%	$м^3$/год.	%	$м^3$/год.	%	$м^3$/год.		
0-1										
1-2										
2-3										
3-4										
4-5										
5-6										
6-7										
7-8										
8-9										
9-10										
10-11										
11-12										
12-13										
13-14										
14-15										
15-16										
16-17										
17-18										
18-19										
19-20										
20-21										
21-22										
22-23										
23-24										
Всього										

Додаток Д

Норми водопостачання

Додаток Д.1

Норми водоспоживання для населення

Споживач	Норма водоспоживання, л/доб.·людину
Будинки, не обладнання внутрішнім водопроводом та каналізацією, з водокористуванням із водорозбірних колонок	40-60
Будинки, обладнані внутрішнім водопроводом та каналізацією, без ванн	125-160
Будинки, обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією та ваннами з водонагрівниками (водонагрівачами) на твердому паливі	160-230
Лікарні	100-120
Готелі з загальними ваннами	100-120
Лазні	125-180
Школи	15-20

Додаток Д.2

Норми водоспоживання для переробних підприємств

Підприємство	Одиниця вимірювання	Питомі витрати води, $м^3$/добу
Хлібопекарня	1 т хліба	1,8...4,8
Молокоприймальний пункт	1 т молока	4,0...5,2
Плодоовочевий консервний завод	1 т продукції	8,0...28,0
Молокозавод	1 т продукції	7,5...12,0
Цукровий завод	1 т цукру	18,0...25,0
Бойня	1 голову	0,1...0,3
Цегельний завод	1 тис. шт. цеглин	1,3...1,8
М’ясокомбінат	1 т продукції	10,0...40,0

Додаток Д.3

Норми водопостачання в тваринництві

Споживач	Норма водоспоживання, л/доб.·гол.
1	2
Корови молочні	100
Корови м’ясні	70
Молодняк великої рогатої худоби	30
Телята	20
Нетелі	60
Бики	60
Кнури	25
Свиноматки:	
поросні та холості	25
підсисні з приплодом	60
Поросята	5
Ремонтний молодняк	15

Продовження додатка Д.3

1	2
Свині на відгодівлі	15
Жеребці-плідники	70
Коні робочі	60
Коні племінні	80
Молодняк коней: до 1,5 років	45
Вівці дорослі	10
Молодняк овець	5
Ягнята	3
Кури	1,0
Індики	1,5
Качки і гуси	2,0
Кролі	3,0

Додаток З

Розподіл добових витрат води за годинами, %

Години доби	Витрати для комунального сектору		Витрати води на фермах				
	Жилий сектор	Лікарні	В Р Х	Свиноферма	Вівцеферма	Конефер-ма	Птахоферма
0-1	0,75	0,2	0,5	0,9	0,6	3,1	-
1-2	0,75	0,2	1,0	0,6	0,7	2,1	-
2-3	1,0	0,2	0,7	0,6	0,5	1,9	-
3-4	1,0	0,2	0,5	0,6	0,9	1,7	-
4-5	3,0	0,5	2,2	10,4	1,6	1,9	-
5-6	5,5	0,5	2,2	9,6	1,6	1,9	-
6-7	5,5	3,0	4,6	6,6	7,4	3,3	3,0
7-8	5,5	5,0	4,6	3,4	16,0	3,5	6,0
8-9	3,5	8,0	10,2	3,4	10,3	6,1	10,0
9-10	3,5	10,0	5,4	2,1	5,8	9,1	8,0
10-11	6,0	6,0	7,2	3,4	8,6	8,6	8,0
11-12	8,5	10,0	6,1	3,4	2,1	2,9	10,0
12-13	8,5	10,0	4,2	4,8	12,6	3,3	6,0
13-14	6,0	4,0	9,1	5,4	5,1	4,3	6,0
14-15	5,0	4,0	6,6	3,5	3,0	4,8	8,0
15-16	5,0	9,5	2,0	3,5	4,4	2,9	8,0
16-17	3,5	6,5	4,2	5,3	3,5	10,0	8,0
17-18	3,5	6,0	3,6	7,0	3,5	4,8	10,0
18-19	6,0	5,0	8,2	9,4	4,0	2,9	5,0
19-20	6,0	5,0	7,2	7,5	3,5	3,1	4,0
20-21	6,0	2,0	3,5	4,4	2,3	2,6	-
21-22	3,0	0,7	4,6	1,4	1,3	6,5	-
22-23	2,0	3,0	0,8	1,4	0,4	5,3	-
23-24	1,0	0,5	0,8	1,4	0,3	3,4	-
Всього	100	100	100	100	100	100	100

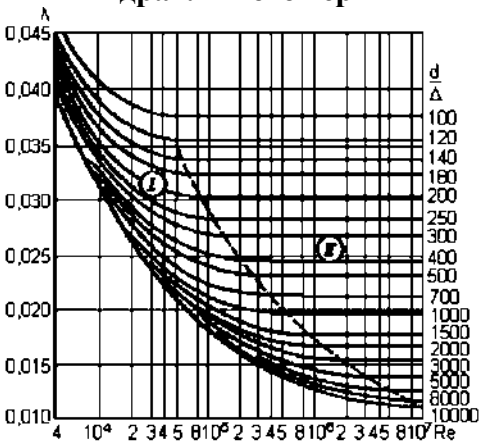
Додаток Е

Режим водоспоживання на господарсько-питні потреби для переробних підприємств

Години	Витрати води при 8-годинній зміні, %		Години	Витрати води при 7-годинній зміні, %	
	гарячі цехи	холодні цехи		гарячі цехи	холодні цехи
0-1	0	0	0-1	0	0
1-2	12,05	6,25	1-2	10	5,8
2-3	12,05	12,5	2-3	13	12,0
3-4	12,05	12,5	3-4	18	21,4
4-5	12,05	18,75	4-5	10	5,9
5-6	12,05	6,25	5-6	13	12,0
6-7	12,05	12,5	6-7	18	21,4
7-8	12,05	12,5	7-7,5	18	21,5
8-8,5	15,65	18,75			

Додаток Ж

Графік Г.А. Муріна для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя



Додаток К

Рекомендовані діаметри труб та швидкість води

Подача води, л/с	0,75-1	1,5-2	2-4	4-8	8-12	12-20	20-30
$d_{тр}$, мм	40	50	80	100	125	150	200
v, м/с	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-07	0,7-0,8	0,8-1,0	1,0-1,2

Додаток Л

Залежність величин А, с, m від швидкості руху води в напірному трубопроводі [7]

ϑ, м/с	***A***	***c***	***m***
□1,2	0,0179	0,867	0,3
□1,2	0,021	0	0,3

Додаток М

Типові водонапірні башти, які рекомендуються до використання в сільському господарстві

Номер типового проекту	Місткість бака, м^3	Розмір бака, м		Висота ствола, м
		діаметр	висота	
901-5 14/70	15	3	2,8	6; 9; 12
901-5 20/70	25	3	4,4	9; 12; 15; 18
901-5 21/70	50	3	7,6	9; 12; 15; 18; 21; 24
901-5 22/70	100	5	6,5	12; 15; 18; 21; 24
901-5 9/70	150	5	8,0	18; 24
901-5 13/70	15	3	2,8	6; 8
901-5 15/70	25	3	4,4	12
901-5 17/70	50	3	7,6	18
БР-15	15	3	2,8	12
БР-25	25	3	4,4	15
БР-50	50	3	7,6	18

Додаток Н

Технічні характеристики відцентрових свердловинних (занурювальних) насосів типу ЕВВ і ЕЦВ(1)

Марка насоса	**Подача Q, м^3/год**	**Напір H, м вод. ст.**	**Потужність електродвигуна $N_{ел}$, кВт**	**Частота обертання $n_{ел}$, хв$^{-1}$**	**ККД насоса η, %**	**Внутрішній діаметр обсадної колони, мм**	**Ресурс до першого кап. ремонту, год.**	**Гарантійний строк використання, місяць**	**Вага, кг**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ЕВВ 4-4-70	4	70	1,6	3000	51	95	12500	12	33
ЕВВ 5-6,3-80	6,3	80	2,8	3000	60	140	12500	12	75
ЕВВ 6-4-130	4,0	130	2,8	2850	57	142	12500	12	98
ЭЦВ 6-4-190	4,0	190	4,5	2850	57	142	12500	12	114
ЭЦВ 6-6,3-125	6,3	125	4,5	2850	60	142	12500	12	105
ЭЦВ 6-10-110	10	110	5,5	2850	64	142	28500	12	105
1ЭЦВ 6-10-185	10	185	8,0	2850	66	142	12500	12	133
2ЭЦВ 8-16-140	16	140	11,0	3000	65	186	12500	12	291
ЭЦВ 8-25-100	25	100	11	3000	66	186	12500	12	160
ЭЦВ 8-25-150	25	150	15	2850	66	186	12500	12	220
ЭЦВ 8-25-300	25	300	32	3000	68	186	–	9	385
ЭЦВ 8-40-65	40	65	11	3000	68,5	186	–	9	207
ЭЦВ 8-40-165	40	165	32	3000	68,5	186	–	9	374
ЭЦВ 10-63-110	63	110	32	2920	70	234	–	9	358
ЭЦВ 10-63-270	63	270	65	2920	71	234	–	9	727
ЭЦВ 10-120-60	120	60	32	2920	71	230	12500	12	491

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЭЦВ 10-160-35М	160	35	22	2925	70	230	12500	12	1320
ЭЦВ 12-160-65	160	65	45	2920	72	281	12500	12	355
ЭЦВ 12-160-100	160	100	65	2925	72	281	12500	12	400
ЭЦВ 12-210-25	210	25	22	2925	74	281	12500	12	250
ЭЦВ 12-210-85	210	85	65	3000	75	281	–	9	580
ЭЦВ 12-255-30М	255	30	32	2920	73	281	12500	12	540
ЭЦВ 12-375-30	375	30	45	2920	76	281	12500	12	365

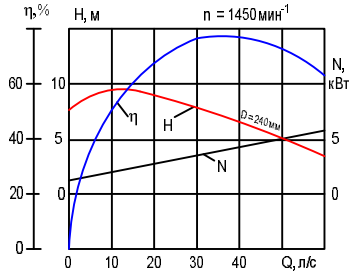
Додаток П

Робочі характеристики відцентрових насосів [1]

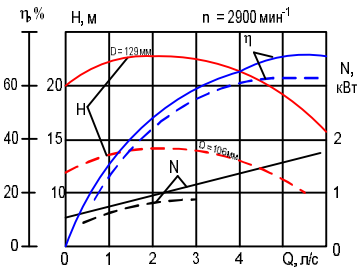
Марки насосів та частота обертання вала насоса*	**Параметри насосів**						
	Q, л/с	Q, м^3/год	H, м вод. ст.	$H^{доп}$ м вод. ст.	η, %	Робоче колесо $D_к$, мм	Усмоктуючий патрубок $d_{ус}$, мм
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
К 20/18а, КМ20/18а (2К-9а, 2КМ-9а) $n_к = 290$ хв$^{-1}$	3	10,8	16,8	8,7	53	118	50
	4	14,4	15,6	7,2	61		
	5	18,0	14,8	5,7	61		
К 20/18, КМ 20/18 (2К-9, 2КМ-9) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	4	14,4	20,0	8,7	64	129	50
	5	18,0	18,8	7,2	68		
	6	21,6	17,5	5,7	67		
К 20/30а, КМ 20/30а (2К-6а, 2КМ-6а) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	5	18,0	26,0	7,2	65	148	50
	6	21,6	24,3	5,7	66		
	7	25,2	22,3	5,0	65		
К20/30, КМ 20/30 (2К-6, 2КМ-6) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	6	21,6	29,9	7,2	65	168	50
	7	25,2	27,9	5,7	66		
	8	28,8	25,0	5,0	64		
К 45/30а, КМ 45/30а (3К-9а, 3КМ-9а) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	10	36,0	22,5	7,0	71	143	75
	12	43,2	20,0	5,0	72		
	14	50,4	17,0	3,0	67		
К 45/30 $n_к = 2900$ хв$^{-1}$, КМ 45/30 (3К-9,3КМ-9) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	10	36,0	34,0	7,0	66	168	75
	12	43,2	31,5	5,0	70		
	14	50,4	28,0	4,0	71		
	16	57,6	25,0	3,0	70		
К 90/20а, КМ90/20а (4К-18а, 4КМ-18а) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	16	57,6	20,0	67,0	76	136	100
	20	72,0	18,0	6,6	80		
	24	86,4	15,0	4,5	75		
К 90/20, КМ 90/20 (4К-18, 4КМ-18) $n_к = 2900$ хв$^{-1}$	16	57,6	26,3	7,2	75	148	100
	20	72,0	24,0	6,7	80		
	24	86,4	21,5	5,8	80		
	28	100,8	18,6	3,5	75		

- У таблиці наведене нове маркування відцентрових насосів за ГОСТ 22247-76, у дужках наведене попереднє маркування цих же насосів. Наприклад: К20/30 (2К-6); УКМ 20/30 (2КМ-6).

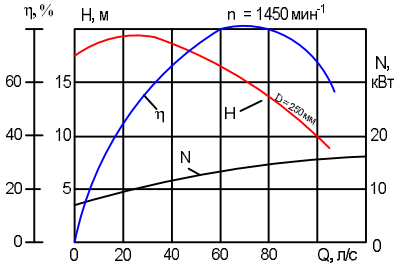
Робочі характеристики відцентрових насосів



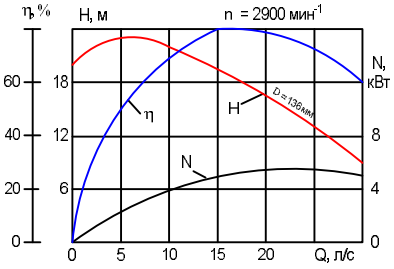
насос К 160 / 20 (6 К – 12)



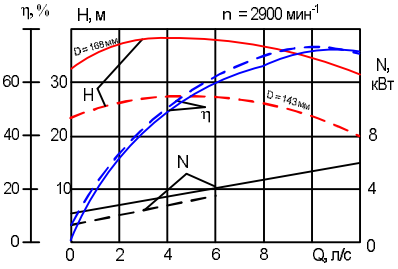
насос К 20 / 18 (2 К – 9)



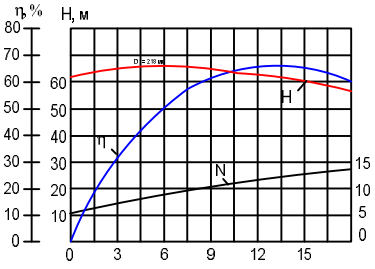
насос К 290 / 18 (6 К – 18)



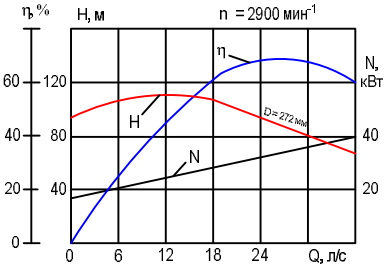
насос К 90 / 20 (4 К – 8)



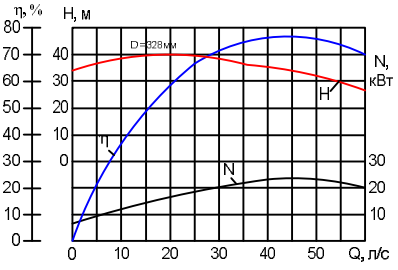
насос К 45 / 30 (3 К – 9)



насос К 45 / 55 (3 К – 6)

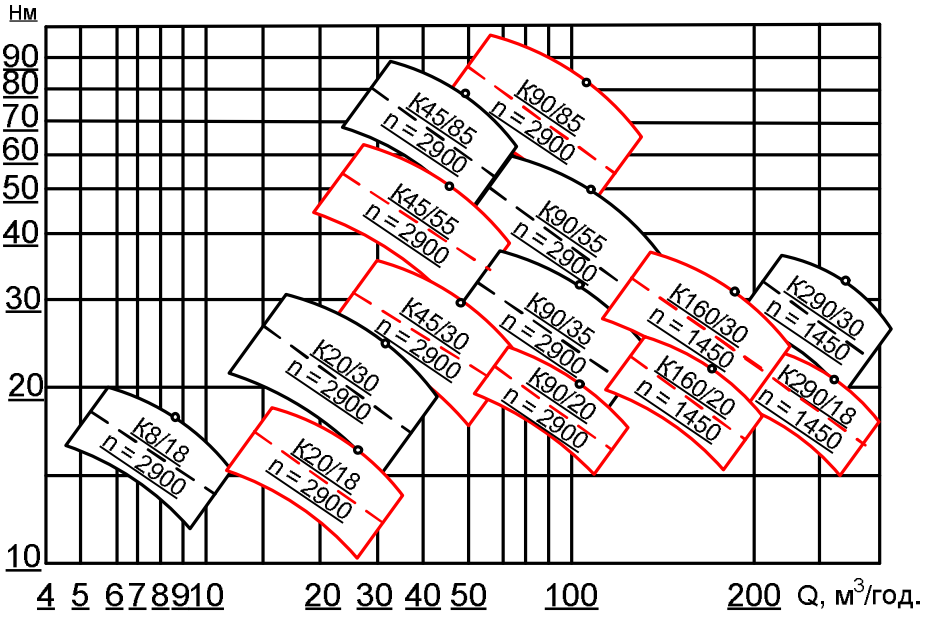


насос К 160 / 30 (6 К – 8)



насос К 90 / 85 (4 К – 8)

Зведений (сітьовий) графік полів відцентрових насосів

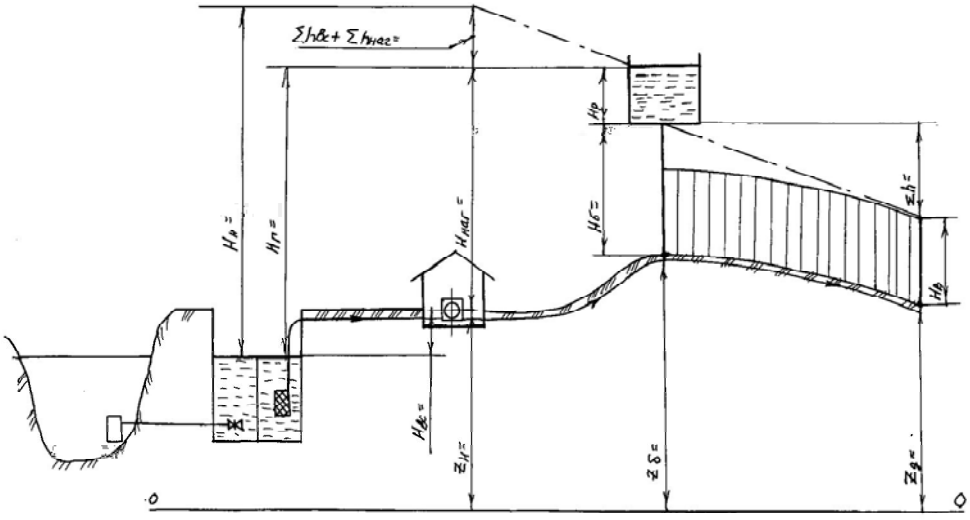


Додаток Р

Схеми водозаборів

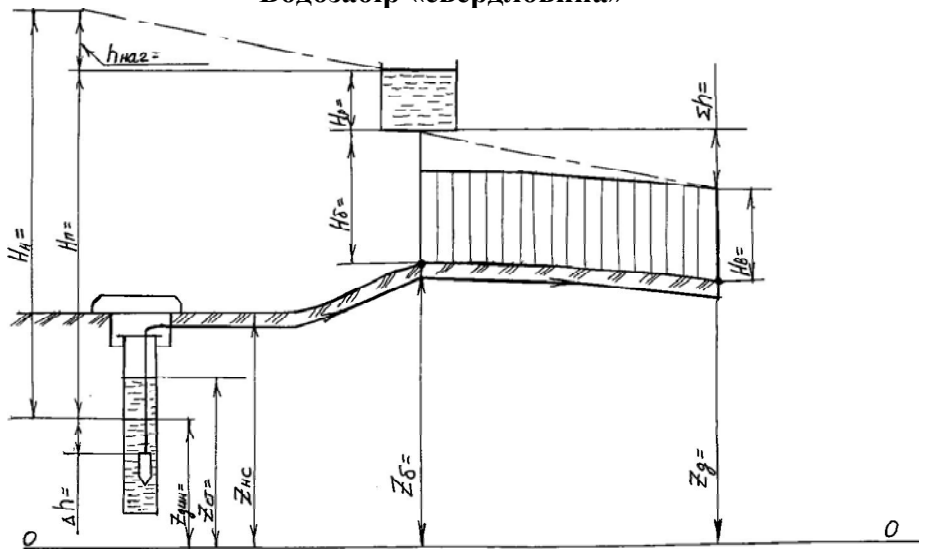
Додаток Р.1

Водозабір русловий і береговий



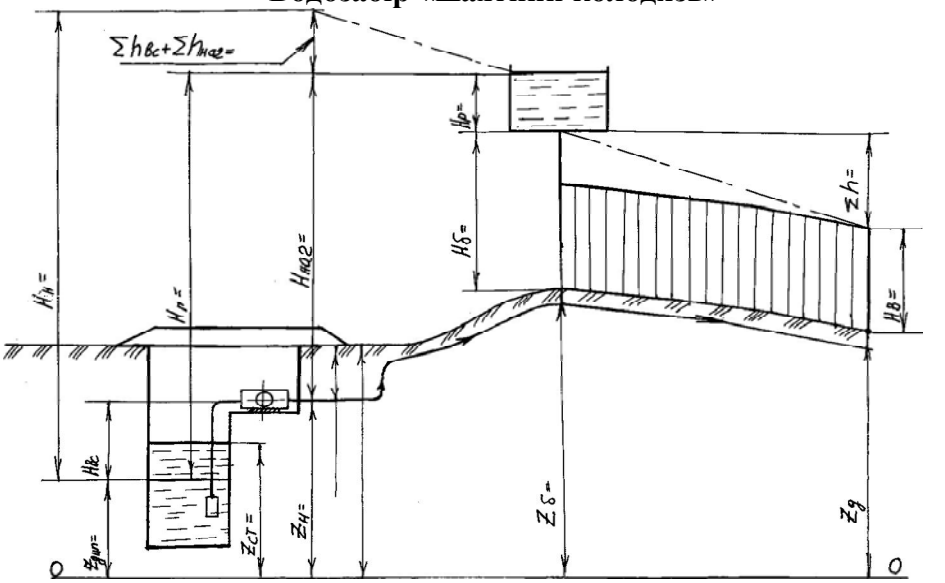
Додаток Р.2

Водозабір «свердловина»



Додаток Р.3

Водозабір «шахтний колодязь»

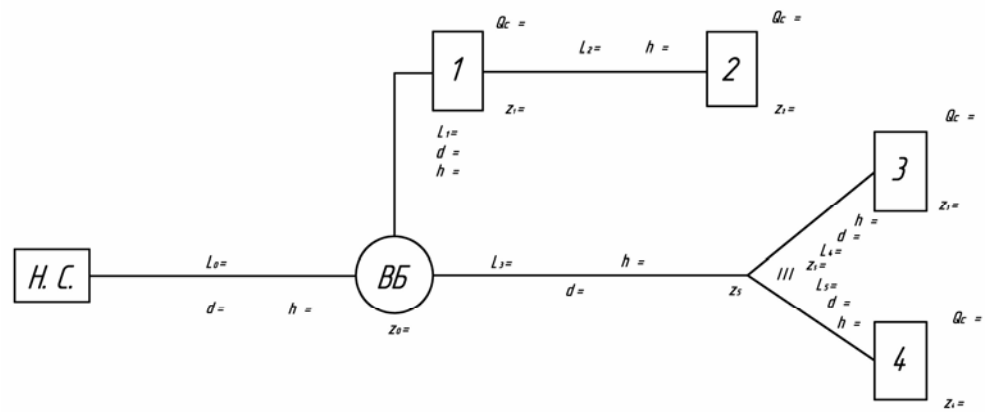


Додаток С

Схеми водопровідних мереж

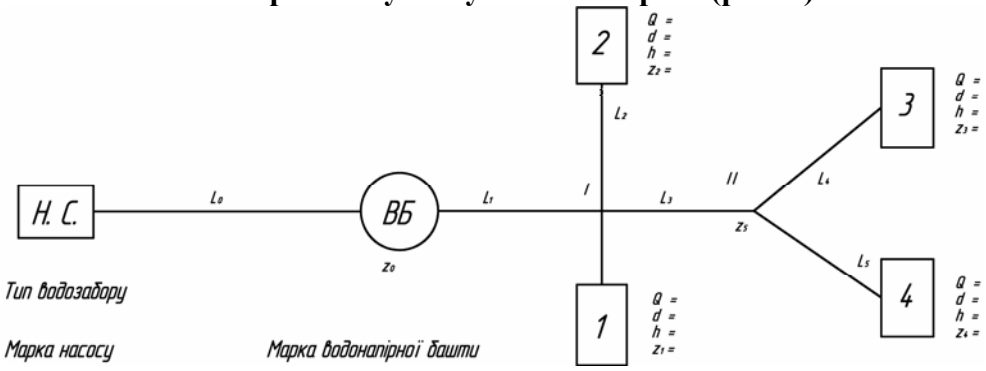
Додаток С.1

Схема тупикової водопровідної мережі (рис. 1)



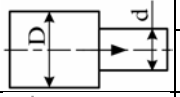
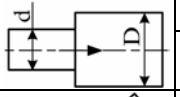
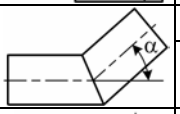
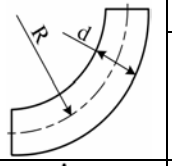
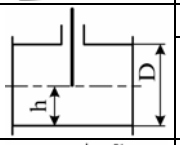
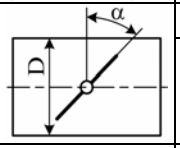
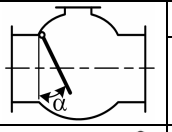
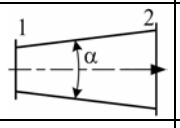
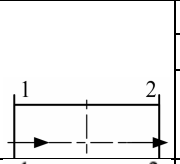
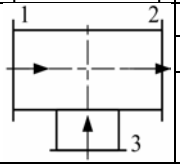
Додаток С.2

Схема розімкнутої тупикової мережі (рис. 2)



Додаток Т

Коефіцієнти ζ для деяких місцевих опорів [1]

Назва опору	Схема вузла опору	Значення коефіцієнта ζ								
1	2	3								
Раптове розширення		$(D/d)^2$	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,01	
		ζ	0	0,04	0,16	0,36	0,64	0,81	0,98	
Раптове звуження		$(d/D)^2$	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,01		
		ζ	0	0,15	0,25	0,34	0,45	0,5		
Різкий поворот труби		α^0	20	40	60	80	90	120	140	
		ζ	0,05	0,14	0,37	0,74	0,99	1,86	2,43	
Плавний поворот трубопроводу при $\alpha = 90^0$		d/R	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
		ζ	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98
Засувка		h/D	1,0	7/8	6/8		5/8	1/2	3/8	2/8	1/8
		ζ	0	0,07	0,26		0,81	2,06	5,52	17,0	97,8
Дросельний клапан		α^0	20	30	40		50	60	70	80	90
		ζ	142,2	55,21	20,23		7,85	2,88	1,11	0,41	0,11
Зворотний клапан		α^0	70	65	55		45	35	25	15	
		ζ	1,7	2,3	4,6		9,5	20	42	90	
Дифузор		$\zeta = k\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$, де					α^0	5	10	15	25
							k	0,14	0,16	0,3	0,62
Трійники: розділення потоків		Q_3/Q_1	0	0,2	0,4			0,6	0,8	1,0	
		ζ_{1-3}	0,95	0,88	0,89			0,95	1,1	1,28	
		ζ_{1-2}	0,04	0,08	-0,05			0,07	0,21	0,35	
Трійники: з'єднання потоків		Q_3/Q_2	0	0,2	0,4			0,6	0,8	1,0	
		ζ_{3-2}	1,2	0,4	0,08			0,47	0,72	0,01	
		ζ_{1-2}	0,04	0,17	0,30			0,41	0,51	0,60	

Додаток У

Рекомендовані значення еквівалентної шорсткості Δ_e для труб з різних матеріалів [1]

Тип труб	Стан труб	Δ_e, мм
Цільнотягнуті стальні	Нові	0,02…0,1
	Бітумізовані	до 0,04
	Водопровідні, уживані в експлуатації	1,2…1,5
	Очищені після багатьох років експлуатації	до 0,04
Цільнозварні стальні	Нові або вживані, але в хорошому стані (зварні або з клепаним з'єднанням)	0,04…0,1
	Нові, бітумізовані	0,05
	Вживані, з рівномірною корозією	0,15
	Покриті лаком, але не позбавлені окислення (забруднені в процесі експлуатації у воді, але без слідів корозії)	0,95…1
Чавунні	Нові	0,25…1
	Асфальтовані	0,12…0,3
	Водопровідні, вживані в експлуатації	1,4
	Очищені після багаторічної експлуатації	0,3…1,5
Бетонні й залізобетонні	При середніх умовах експлуатації	2,5
Азбестоцементні	Нові	0,05…0,1
	При середніх умовах експлуатації	0,6
Керамічні	Глазуровані	1,4
Скляні і з кольорових металів	Нові, технічно гладкі	0,001…0,002

* У чисельнику наведені значення модулів витрати *K*.

Додаток Ф

Модулі витрат *K*, м^3/с, і питомі опори *A*, с^2/м^6, для найбільш вживаних діаметрів труб з різних матеріалів у квадратичній області опору* [2]

Умовний прохід D_y, мм	Матеріал труб				
	Ненові стальні	Ненові чавунні	Азбестоцементні, тип 1, ВТ9	Пластмасові (ПВП, тип СЛ)	Керамічні
1	2	3	4	5	6
50	0,0095 11080	—	—	0,0176 3228,3	0,012 6950
100	0,076 173,1	0,0566 312,1	0,0729 188,16	0,076 173,1	0,035 816,3
125	0,114 76,94	0,102 96,11	—	0,143 48,9	—
150	0,18 30,86	0,164 37,18	0,178 31,56	0,202 24,5	0,214 21,8

Продовження додатка Ф

1	2	3	4	5	6
200	0,379 6,96	0,351 8,11	0,356 7,89	0,493 4,11	0,456 4,81
250	0,676 2,188	0,629 2,52	0,67 2,22	0,874 1,309	0,82 1,49
300	1,085 0,849	1,026 0,95	1,048 0,91	1,188 0,708	1,32 0,57
350	1,637 0,373	1,539 0,422	1,525 0,43	1,624 0,379	—
400	2,319 0,186	2,174 0,211	2,147 0,217	2,219 0,203	—
500	4,117 0,059	3,898 0,0658	3,753 0,071	3,978 0,0632	—

* У чисельнику наведені значення модулів витрати *K*.

Додаток Ц

Значення поправочних коефіцієнтів β в залежності від середньої швидкості руху *V*, м/с, для труб різного діаметра і з різних матеріалів [2]

V, м/с	Матеріал труб					
	Нові стальні	Нові чавунні	Ненові сталь-ні й чавунні	Азбестоцементні й залізобетонні	Пластмасові та скляні	Кера-мічні
0,2	1,244	1,462	1,41	1,308	1,439	1,55
0,4	1,113	1,226	1,20	1,158	1,230	1,20
0,6	1,057	1,115	1,115	1,082	1,123	1,09
0,8	1,021	1,047	1,06	1,034	1,052	1,034
1,0	1,000	1,000	1,03	1,000	1,000	1,000
1,2	0,986	0,965	1,0	0,974	0,960	0,977
1,4	0,972	0,938	1,0	0,953	0,926	0,961
1,8	0,958	0,899	1,0	0,922	0,876	0,94
2,2	0,946	0,871	1,0	0,900	0,837	0,926
2,6	0,937	0,851	1,0	0,883	0,806	0,916
3,0	0,932	0,836	1,0	0,870	0,780	0,910

Додаток Ш

Граничні значення швидкостей *Vгр* і витрат *Qгр* у залежності від діаметра труб [2]

d, мм	$V_{гр}$, м/с	$Q_{гр}$, л/с	*d*, мм	$V_{гр}$, м/с	$Q_{гр}$, л/с
50	0,75	1,5	400	1,15	145
75	0,75	3,3	450	1,20	190
100	0,76	6	500	1,25	245
125	0,82	10	600	1,3	365
150	0,85	15	700	1,35	520
200	0,95	30	800	1,4	705
250	1,02	50	900	1,45	920
300	1,05	74	1000	1,53	1200
350	1,10	106	1100	1,55	1475

Додаток Щ

Структура залежностей для визначення коефіцієнта λ та характер впливу швидкості V на втрати напору по довжині [1]

$\lambda = \frac{64}{R_e}$ $h_{дов} \equiv V$	$\lambda = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{R_e}}$ $h_{дов} \equiv V^{1,75}$	$\lambda = 0{,}11\sqrt[4]{\frac{\Delta_e}{d} + \frac{68}{R_e}}$ $h_{дов} \equiv V^{1,75...2}$	$\lambda = 0{,}11\sqrt[4]{\frac{\Delta_e}{d}}$ $h_{дов} \equiv V^{2}$
	Гідравлічно гладкі труби	Перехідна зона	Квадратична зона
Ламінарний режим	Турбулентний режим		
$R_e < R_{e\,кр} = 2320$	$R_{e\,кр} < R_e < 20\frac{d}{\Delta_e}$	$20\frac{d}{\Delta_e} < R_e < 500\frac{d}{\Delta_e}$	$R_e > 500\frac{d}{\Delta_e}$

Додаток Ю

Середнє значення коефіцієнтів для найбільш поширених насадок

№	Тип насадки	Коефіцієнти		
		φ (швидкості)	ε (стиснення струму)	μ (витрати)
1	Зовнішній циліндричний при l = 3-4d	0,82	1	0,82
	при $l = 20d$	0,73	1	0,73
2	Внутрішній циліндричний при $l = 0{,}5d$	0,98	0,52	0,51
	при l = 3-4d	0,71	1	0,71
3	Конічний, що сходиться при $\alpha = 5^0$	0,92	1	0,92
4	Конічний, що розходиться при $\alpha = 5^0$	0,48	1	0,48
5	Коноїдальний	0,96	1	0,96