

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**М. М. СЕМЕНОВ, Д. М. СОЛОМОНЮК,
Ю. О. ШАПОВАЛОВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«Нагнітачі та теплові двигуни»**

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2021

УДК 621.65(076.5)
С30

Автори:

М. М. Семенов, доцент;

Д. М. Соломонюк, канд. техн. наук, асистент;

Ю. О. Шаповалов, канд. техн. наук, доц.

Рецензент Б. В. Димо, канд. техн. наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Семенов М. М.

С30 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Нагнітачі та теплові двигуни» / М. М. Семенов, Д. М. Соломонюк,
Ю. О. Шаповалов. – Миколаїв : НУК, 2021. – 56 с.

Уміщено опис шести лабораторних робіт і методичні аспекти їх виконання та обробки експериментальних даних. Роботи охоплюють коло знань з пристрою та принципу дії нагнітачів та методиці їх експериментального дослідження, побудови напірно-витратних характеристик, регулювання продуктивності і сприяють розвитку у студентів навичок необхідних для проведення самостійного експериментального дослідження нагнітачів та їх експлуатації.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 144 «Теплоенергетика».

УДК 621.65(076.5)

© Семенов М. М., Соломонюк Д. М.,
Шаповалов Ю. О., 2021

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2021

ЗМІСТ

МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	4
ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	5
ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	7
Лабораторна робота № 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ПРИСТРОЮ І РОБОТИ НАГНІТАЧІВ ТА ЇХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ. СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	9
Лабораторна робота № 2. ПОБУДОВА НАПІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГНІТАЧІВ	14
Лабораторна робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ АРМАТУРИ В МЕРЕЖІ	24
Лабораторна робота № 4. ДРОСЕЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НАГНІТАЧА	31
Лабораторна робота № 5. РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НАГНІТАЧА ПЕРЕПУСКОМ	36
Лабораторна робота № 6. ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА НАГНІТАЧІВ У МЕРЕЖІ	40
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	45
ДОДАТОК А Теплофізичні властивості води на лінії насичення	46
ДОДАТОК Б Протокол проведення лабораторної роботи	47
ДОДАТОК В Обробка результатів виконання лабораторної роботи	48
ДОДАТОК Г Гідравлічний розрахунок трубопроводів	49

МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета вивчення курсу – вивчення конструкції та принципу дії нагнітачів, методів їх експериментального дослідження, визначення параметрів на різних режимах роботи, побудови напірно-витратних характеристик, регулювання продуктивності.

Завдання вивчення курсу – набуття студентами навиків експериментального дослідження нагнітачів та визначення їх параметрів.

Зв'язок з іншими дисциплінами – для вивчення дисципліни необхідні знання, отримані з курсів «Вищої математики», «Фізики», «Технічної термодинаміки», «Гідрогазодинаміки», «Теплотехнічних вимірів та приладів». У свою чергу, знання, отримані з дисципліни «Нагнітачі та теплові двигуни», використовуються при вивченні дисциплін «Топки та котельні установки ТЕС і промислових підприємств, парогенератори АЕС», «Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів», «Системи розподілу енергетичних і матеріальних носіїв та основи їх проектування», а також при курсовому і дипломному проектуванні.

Лабораторні роботи охоплюють коло знань з пристрою та принципу дії нагнітачів і методики їх експериментального дослідження, побудови напірно-витратних характеристик, регулювання продуктивності і сприяють розвитку у студентів навичок, необхідних для проведення самостійного експериментального дослідження нагнітачів та їх експлуатації.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Колектив авторів висловлює подяку зав. лабораторією кафедри ЕСЕУ та Т Козинцю С. А. за створення експериментального стенду.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Перед виконанням робіт необхідно вивчити основні теоретичні положення, ознайомитись з пристроєм та принципом дії нагнітачів, схемою лабораторного стенду, методиками проведення дослідження та обробки їх результатів, підготувати протоколи для реєстрації експериментальних даних.

Студенти повинні проводити дослідження відповідно до методики виконання лабораторних робіт, отримані данні необхідно занести до таблиці для запису результатів вимірювань. Особливістю виконання даного курсу лабораторних робіт є те, що вони проводяться на одному експериментальному стенді, схема якого змінюється в залежності від поставленої задачі дослідження. При цьому результати, отримані при виконанні однієї роботи, використовуються при виконанні іншої роботи. Тому старання проведення дослідження та точна обробка даних є умовою для якісного виконання не тільки поточної лабораторної роботи, а й наступних.

Після завершення лабораторних робіт кожен студент повинен скласти звіт, в якому наводяться основні теоретичні положення, схема лабораторної установки, необхідні розрахунки в супроводі з необхідним поясненнями, оцінка похибки вимірювання кожного параметра. Числові значення похибок необхідно занести до таблиці для запису результатів вимірювань і розрахунків. Деякі довідкові матеріали, необхідні для виконання робіт та проведення аналізу, наведені в додатках.

Оскільки при обробці експериментальних даних потрібно поводити велику кількість однотипних розрахунків, студентам рекомендується виконувати їх за допомогою ПЗ Excell, MathCad та ін.

Слід зауважити, що наразі для характеристики втрат енергії у мережах використовується величина втрат тиску робочого тіла ΔP (Па), і енергію, що передається рідині у нагнітачі, також часто характеризують підвищенням тиску у нагнітачі ΔP_H (Па). Проте традиційно напір насоса вимірюється у висоті водяного стовпу, на який насос може підняти рідину у стандартних умовах, H_H (м вод. ст.), а втрати енергії потоку характеризуються втратами напору ΔH (м вод. ст.). На практиці можуть зустрітись випадки в яких використовуються як зміни напору, так і зміни тиску. Тому

при обробці експериментальних даних і представленні результатів допускається використовувати одну з цих величин на вибір студента (зв'язок між ними приведено у додатку Г), проте вимагається, щоб протягом всього курсу студент дотримувався однієї розмірності.

Звіт завершується аргументованим висновком. Звіт подається студентом при складанні заліку з даної дисципліни.

Наведені в лабораторних роботах методики можуть використовуватися при визначенні параметрів нагнітачів, що працюють у теплових мережах, системах енергетичних установок, господарсько-питних водопроводах; системах підготовці додаткової води для електростанцій, що працюють на органічному або ядерному паливі; парових та водогрійних котельних різного призначення.

Знання і досвід, отримані під час виконання лабораторних робіт і обробці результатів дослідів, дозволять студентам у реальних умовах проектування та експлуатації організувати оптимальний режим роботи нагнітачів і мереж.

Замість лабораторних робіт, запропонованих у даних вказівках, студенти можуть виконати роботи дослідницького характеру, пов'язані з дослідженням роботи нагнітачів у системах енергетичних установок, у різного роду мережах теплопостачання або розподілу технологічних робочих тіл та теплоносіїв промислових і комунальних підприємств.

ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

До виконання лабораторних робіт студенти допускаються лише після інструктажу з техніки безпеки, що проводиться викладачем, який веде заняття, або завідуючим лабораторією з відповідним записом в спеціальному журналі та підписами кожного студента. Інструкція з техніки безпеки до кожної роботи знаходиться на загальному стенді інструктивних документів у лабораторії. Журнал інструктажу зберігається у завідуючого лабораторією.

Приступати до виконання лабораторних робіт без інструктажу з техніки безпеки, а також при незнанні експериментальної установки й порядку проведення дослідів не дозволяється.

Включати установку в роботу без дозволу викладача або учбового майстра забороняється.

Збирання схеми, внесення будь-яких змін до неї слід виконувати лише при вимкненому електроживленні. Виконувати будь-які перемикання в схемах забороняється.

Робоче місце в процесі виконання робіт має бути організоване – вільне від сторонніх предметів (книг, конспектів т. ін.).

На робочому місці повинно знаходитись не менше двох осіб. Виконувати лабораторні роботи поодиноці заборонено.

Вихідна ємність заповнюється водою таким чином, щоб насоси були повністю занурені у воду.

Перед початком роботи студент повинен перевірити герметичність вихідної та приймальної ємності і пересвідчитись у відсутності протікань.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ проводити дослідження при наявності протікань води.

Якщо під час роботи з'явилось протікання води, необхідно зупинити насоси переведенням їх вимикачів у положенні «Вимк.» і від'єднати стенд від джерела енергії.

Перед початком роботи студент повинен перевірити, що вимикачі насосів знаходяться у положенні «Вимк».

Спочатку насоси підключаються до електричної мережі стенду, а після цього стенд під'єднується до зовнішнього джерела енергії.

Насоси слід пускати до дії переведенням їх вимикачів у положенні «Ввімк.».

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ пускати і зупиняти насоси шляхом їх під'єднання/від'єднання від мережі стенду при знаходженні їх вимикачів у положенні «Ввімк.».

При виникненні будь-яких несправностей необхідно зупинити проведення лабораторної роботи, вимкнути установки та повідомити про це учбового майстра, завідуючого лабораторією або викладача.

Студенти, які знаходяться в лабораторії, повинні дотримуватися дисципліни, підтримувати порядок і бути гранично уважними.

Лабораторна робота № 1
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ
З ПРИСТРОЮ І РОБОТИ НАГНІТАЧІВ
ТА ЇХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ.
СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

I. Мета роботи

Отримання студентом основної інформації про конструкцію та принцип дії нагнітачів, зокрема відцентрових насосів, ознайомлення з методами їх дослідження, вивчення схеми та пристрою експериментального стенду.

II. Основні теоретичні положення

II.1. Класифікація нагнітачів

Нагнітач – гідравлічна машина, в якій відбувається перетворення механічної енергії в енергію потоку рідини

За принципом дії нагнітачі поділяють на:

об'ємні – працюють за принципом витиснення, коли тиск середовища, що переміщується, підвищується у результаті зміни об'єму робочої камери. Енергія робочому тілу передається шляхом його безпосереднього стиснення робочим органом нагнітача. Можуть бути постійної і періодичної дії.

динамічні (лопаткові) – працюють за принципом силової взаємодії з середовищем. Енергія робочому тілу передається внаслідок закручування його колесом, що обертається. Нагнітачі постійної дії.

струминні (ежектори) – енергія робочому тілу передається шляхом його змішування зі струменем активного робочого середовища. Нагнітачі постійної дії.

За призначенням нагнітачі поділяють на:

насоси – для перекачування рідин;

вентилятори – для нагнітання газів до тиску 2–12 кПа;

газодувки (повітрядувні машини) – для нагнітання газів до тиску 15–30 кПа;

компресори – для нагнітання газів до тиску більше 30 кПа.

П.2. Конструкція та принцип дії лопаткових відцентрових насосів

Основним елементом лопаткових відцентрових насосів (рис. 1) є лопаткове колесо 6, яке розташоване в спіральній камері 4. Під час обертання колеса рідина, яка надходить в осьовому напрямку через всмоктувальну трубу 1, відхиляється від цього напрямку на 90° і надходить в міжлопаткові канали. Там потік закручується та під дією відцентрової сили виштовхується в спіральну камеру 4. При виході з робочого колеса швидкість рідини поступово зменшується у завитку та вихідному дифузорі і переходить у тиск. Через нагнітальний патрубок нагнітача рідина спрямовується в нагнітальний трубопровід.

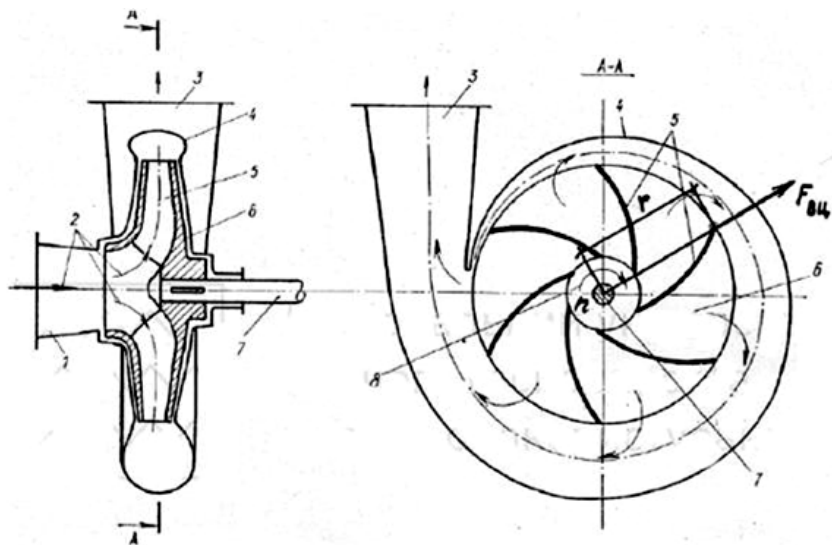


Рис. 1. Схема одноступінчастого лопаткового відцентрового насоса:

1 – всмоктувальний патрубок; 2 – напрям потоку рідини; 3 – нагнітальний патрубок; 4 – спіральна камера (корпус насоса); 5 – лопаті робочого колеса; 6 – робоче колесо; 7 – вал; 8 – напрям обертання робочого колеса

Відцентрові насоси досить прості за конструкцією, мають порівняно високий ККД, плавну подачу, але вона залежить від тиску середовища. Відцентрові нагнітачі використовуються як насоси, так і вентилятори, а також як багатоступеневі компресори.

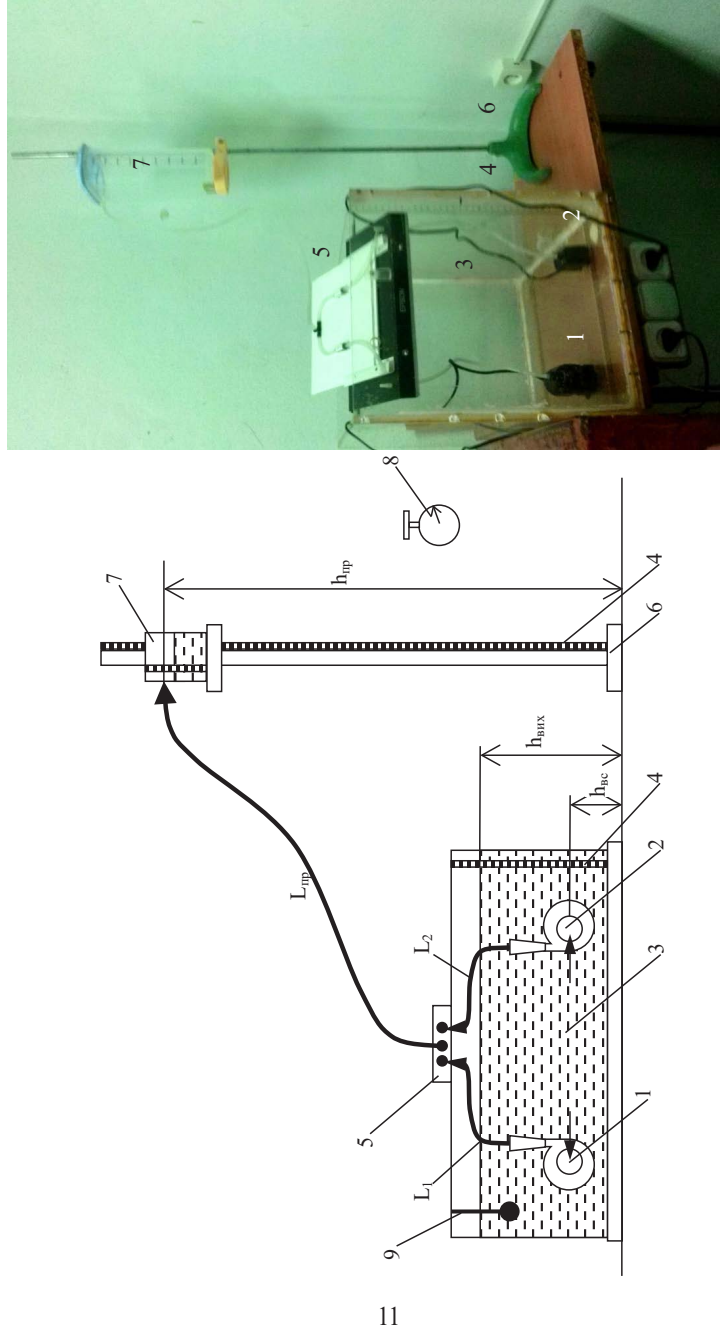


Рис. 2. Схема і зовнішній вигляд лабораторного стенду:

1 – насос № 1; 2 – насос № 2; 3 – вихідна ємність; 4 – шкала; 5 – монтажна ділянка; 6 – стійка з полицею; 7 – приймальна ємність зі шкалою; 8 – таймер; 9 – термометр.

III. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 2 і 3) складається з вихідної ємності (3), в якій розміщено два занурених насоса (1 і 2) різної продуктивності, монтажної ділянки з арматурою (рис. 3) і приймальної ємності 7, яка розміщена на стійці з полицею 6.

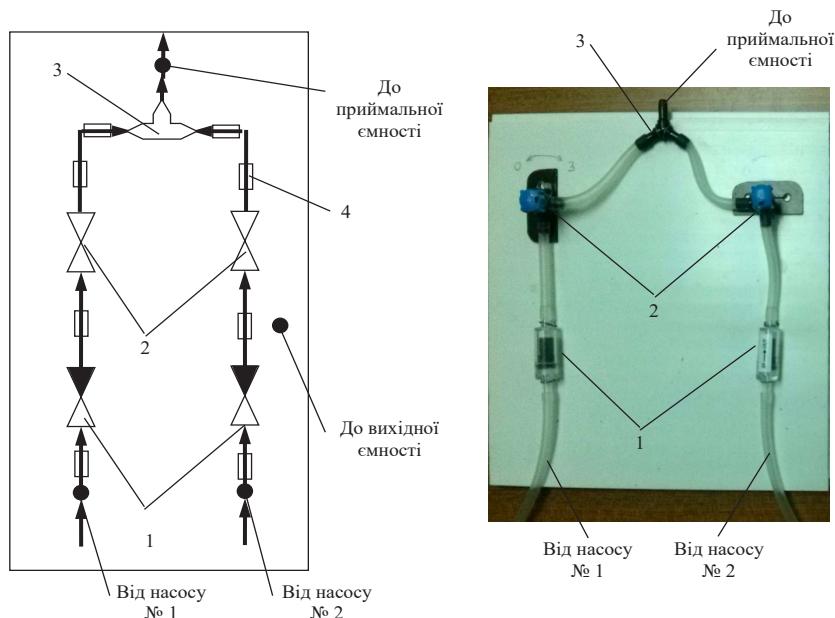


Рис. 3. Схема монтажної ділянки і зразок розміщення обладнання на ній:

1 – зворотний клапан; 2 – запірний клапан; 3 – трійник; 4 – опора

Перед початком роботи в залежності від мети дослідження студенти збирають на монтажній ділянці схему підключення насосів (1 і 2) до приймальної ємності (7). Вихідна ємність (3) заповнюється водою таким чином, щоб насоси були повністю занурені у воду.

Під час дослідження студенти включають у роботу один із насосів, який через арматуру на монтажній ділянці починає перекачувати воду із вхідної ємності до приймальної. Змінюючи висоту приймальної ємності (7) або положення робочих органів арматури, що розміщені на монтажній ділянці (5), студент може збільшувати, або зменшувати кількість води, що перекачується із вихідної ємності до приймальної.

Час перекачування рідини фіксується таймером (8). Для визначення теплофізичних властивостей води студенти за допомогою спиртового термометра (9) вимірюють її температуру, за якою із таблиці Додатку А отримують дані, необхідні для проведення розрахунків.

На вихідній (3) та приймальній (7) ємностях і стійці (6) нанесені шкали за допомогою яких студенти можуть визначити рівень рідини у вихідній ємності ($h_{\text{вих}}$), висоту всмоктувальних патрубків насосів ($h_{\text{вс}}$), висоту отвору підведення рідини у приймальну ємність ($h_{\text{пр}}$) і об'єм перекачаної рідини

Об'єм і площа вихідної ємності значно більші ніж приймальної, завдяки чому при розрахунках можна знехтувати зміною рівня води у ній під час роботи.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Вивчити конструкції стенду та правила безпеки при проведенні лабораторних робіт,

IV.2. Розібрати нагнітач, виконати ескіз його конструкції, визначити розміри основних елементів.

V. Зміст звіту

V.1. Опис лабораторної установки, її схема, основні положення виконання лабораторних робіт і правил безпеки.

V.2. Ескіз конструкції насоса, опис його роботи.

Контрольні запитання

1. Що таке нагнітачі і як вони класифікуються за принципом дії?
2. Як нагнітачі класифікуються за призначенням?
3. Кратко опишіть принцип дії об'ємного (динамічного, струминного) нагнітача.
4. Опишіть конструкцію відцентрового нагнітача
5. Опишіть принцип дії відцентрового нагнітача
6. Дайте опис лабораторного стенду і коротко опишіть загальний порядок проведення роботи.
7. Яким чином можна змінити витрату рідини, що перекачується насосом до приймальної ємності?
8. Чому площа вихідної ємності повинна бути значно більшою, ніж у приймальної?
9. Навіщо стенд обладнано термометром?

Лабораторна робота № 2

ПОБУДОВА НАПІРНИХ

ХАРАКТЕРИСТИК НАГНІТАЧІВ

I. Мета роботи

Поглиблення знань про характеристики нагнітачів, практичне освоєння методик експериментального дослідження нагнітачів, побудови їх напірних характеристик і розрахунку опору водяних мереж; набуття навичок проведення вимірювання параметрів нагнітачів.

II. Основні теоретичні положення

II.1. Основні параметри нагнітачів.

Нагнітачі характеризуються:

– напором (H_H , м вод. ст.) – різницею між тиском на виході з нагнітача ($H_{\text{вих}}$, м вод. ст.) і тиском на вході ($H_{\text{вх}}$, м вод. ст.):

$$H_H = H_{\text{вих}} - H_{\text{вх}}.$$

Традиційно напір може вимірюватись метрах водяного стовпа, проте в СІ для цієї мети застосовуються Паскалі, тому у сучасній літературі можуть використовувати величину збільшення повного тиску у нагнітачі (ΔP_H , Па), як різницю між тиском на виході з нагнітача ($P_{\text{вих}}$, Па) і тиском на вході ($P_{\text{вх}}$, Па):

$$\Delta P_H = P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}.$$

Взаємозв'язок між цими величинами показано у Додатку Г;

– подачею (Q , м³/год, л/с) – кількістю робочого тіла, що перекачується нагнітачем за певний проміжок часу;

– ступенем підвищення тиску – відношення тиску на виході з машини до тиску на вході: $\varepsilon = P_2/P_1$ (здебільшого використовується при стисканні газів);

– потужністю (N_p , Вт), що передана нагнітачем до робочого тіла: $N_p = Q \cdot H$;

– потужністю (N_H , Вт), що споживає нагнітач;

– ККД (η) – відношенням потужності, що передана до потоку робочого тіла, до потужності, що спожита нагнітачем, $\eta = N_p/N_H$;

– припустимою висотою всмоктування ($\Delta h_{\text{доп}}$, м вод. ст.) або кавітаційним запасом ($\Delta P_{\text{доп}}$, Па) – різницею між тиском на вході до

нагнітача ($h_{\text{вх}}$, м вод. ст., або $P_{\text{вх}}$, Па) і тиском насичення при температурі робочого тіла ($h_{\text{с}}$, м вод. ст. або $P_{\text{с}}$, Па):

$$\Delta h_{\text{доп}} = h_{\text{вх}} - h_{\text{с}} \text{ або } \Delta P_{\text{доп}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{с}}.$$

II.2. Напірні характеристики нагнітачів.

Залежності напору $H_{\text{н}}$ насосу, його потужності $N_{\text{н}}$, коефіцієнта корисної дії η , допустимого кавітаційного запасу $\Delta h_{\text{доп}}$ від подачі Q при заданому діаметрі робочого колеса $D_{\text{рк}}$ насосу і постійної частоти обертання n називаються характеристиками (характеристичними лініями) насоса (рис. 4). Скорочено робочі характеристики насоса записуються так:

$H_{\text{н}} = f(Q)$ або $\Delta P_{\text{н}} = f(Q)$ – напірна,

$N_{\text{н}} = f(Q)$ – потужності,

$\eta = f(Q)$ – ККД,

$\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$ або $\Delta P_{\text{доп}} = f(Q)$ – кавітаційна.

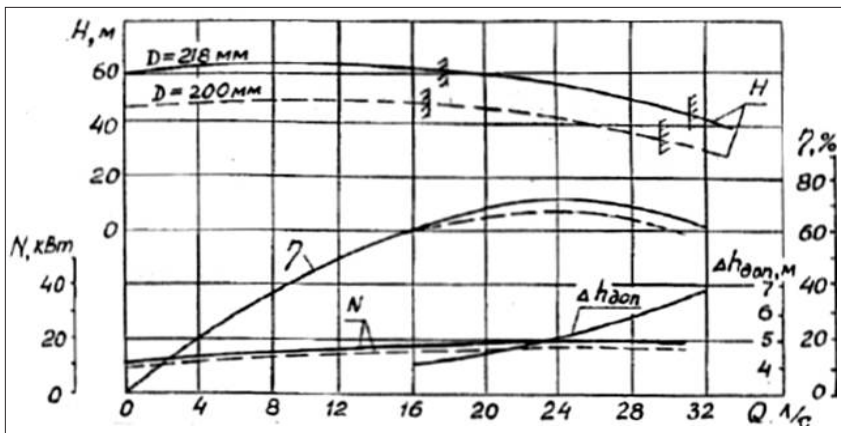


Рис. 4. Робочі характеристики відцентрового насосу К90/55 ($n=2900$ об/хв)

Напірні характеристики відцентрових насосів можуть бути двох типів – стабільні (спадаючі) і нестабільні. Спадаючі характеризуються монотонним зниженням напору при збільшенні витрати, тобто максимальна подача насосу $H_{\text{нmax}}$ приходить на $Q = 0$. Вони поділяються на повільноспадаючі та крутоспадаючі. Нестабільні

характеристики мають висхідну ділянку (тобто точка з $H_{H \max}$ знаходиться при $Q > 0$).

Режим роботи насоса з максимальним ККД $\eta_{\max}$ називають оптимальним. Цьому режиму відповідають номінальні значення подачі $Q_{\text{опт}}$, напору $H_{H \text{ опт}}$, потужності $N_{\text{опт}}$.

II.3. Визначення напору насосу

Геометричною висотою всмоктування ($H_{\text{ГВ}}$) називають різницю відмітки вісі насоса (рівень Т-Т) і відмітки рівня рідини у вихідній ємності (рівень НБ):

$$H_{\text{ГВ}} = H_{\text{Т-Т}} - H_{\text{НБ}}$$

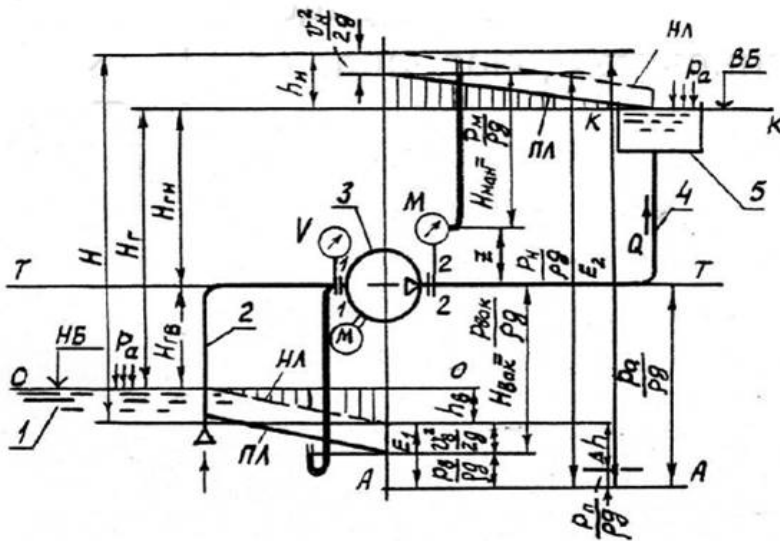


Рис. 5. Схема насосної установки з розміщенням приладів і позначенням основних розрахункових величин:

1 – вихідна ємність; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – насосний агрегат; 4 – напірний трубопровід; 5 – приймальна ємність; V – вакуумметр; М – манометр.

Геометрична висота всмоктування ($H_{\text{ГВ}}$) – це різниця між відміткою рівня води в напірному резервуарі ($H_{\text{ВБ}}$) і відміткою вісі насоса: $H_{\text{ГВ}} = H_{\text{ВБ}} - H_{\text{Т-Т}}$

Сума геометричної висоти всмоктування і геометричної висоти нагнітання становить геометричний напір H_{Γ} : $H_{\Gamma} = H_{\text{ГВ}} + H_{\text{ГН}} = H_{\text{ВБ}} - H_{\text{НБ}}$

Енергія, яку насос надає рідині, витрачається на піднімання її на висоту H_{Γ} та подолання гідравлічних опорів у всмоктувальному трубопроводі ($h_{\text{вх}}$) і напірному трубопроводі ($h_{\text{вих}}$), тому напір насоса (м вод. ст.):

$$H_{\text{Н}} = H_{\Gamma} + h_{\text{вх}} + h_{\text{вих}}$$

Приведена формула визначає напір насоса в умовах проектування.

З іншої сторони – напором насоса називають різницю питомих енергій у напірному і всмоктувальному патрубках насоса: $H_{\text{Н}} = E_{\text{вих}} - E_{\text{вх}}$

Питома енергія (м вод. ст.) у загальному випадку визначається так:

$$E = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{w^2}{2g},$$

де z – енергія положення, тобто відстань по вертикалі від місця вимірювання тиску до площини порівняння, P – абсолютний тиск, w – середня (за площею) швидкість рідини, ρ – густина рідини, g – прискорення вільного падіння.

Якщо записати цю величину для вхідного і вихідного патрубків, матимемо наступний вираз для величини напору в умовах проектування:

$$H_{\text{Н}} = \frac{P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}}{\rho g} + \frac{w_{\text{вих}}^2 - w_{\text{вх}}^2}{2g} + (Z_{\text{вих}} - Z_{\text{вх}}).$$

В умовах експлуатації тиск на виході насосу вимірюється манометром (М), а розрідження на вході до насосу – вакуумметром (В). Тому напір в умовах експлуатації можна було б визначити, як різницю у показках цих приладів ($P_{\text{м}}$ – тиск, що показує манометр, $P_{\text{в}}$ – розрідження, що показує вакуумметр):

$$H_{\text{Н}} = (P_{\text{м}} - P_{\text{в}}) / \rho g$$

Проте внаслідок того, що прилади розміщуються на різних рівнях їх показання корегують на висоту їх розміщення над патрубками насоса, а різницю між їх показаннями – відповідно на різницю їх висот (z). Оскільки часто вхідний і вихідний патрубки насосів виготовляють різного діаметру, необхідно також врахувати вплив зміни швидкісного напору. Тоді

$$H_{\text{Н}} = \frac{P_{\text{м}} - P_{\text{в}}}{\rho g} + \frac{w_{\text{вих}}^2 - w_{\text{вх}}^2}{2g} + z \quad \text{або} \quad \Delta P_{\text{Н}} = (P_{\text{м}} - P_{\text{в}}) + \frac{w_{\text{вих}}^2 - w_{\text{вх}}^2}{2} \rho + \rho g z.$$

Напірну характеристику насоса отримують на спеціальних стендах шляхом зміни гідродинамічної складової опору системи на нагнітанні насосу. Це зазвичай виконують прикриттям регулюючої засувки на напорі нагнітача.

У даному курсі лабораторних робіт для насоса, зануреного у воду, опір вхідного трубопроводу відсутній, опір системи змінюватиметься шляхом зміни висоти приймальної ємності. В даному випадку напір насосу буде витрачатись на підйом води на висоту $h_{пр}$ та подолання опору системи, який можна розрахувати за матеріалами додатку Г.

Лабораторний стенд збирається так, як показано на рис. 2. Для вимірювання напору насосу необхідно під'єднати трубку, що йде до приймальної ємності, безпосередньо до трубки що йде від насоса (рис. 6).

III. Опис лабораторної установки

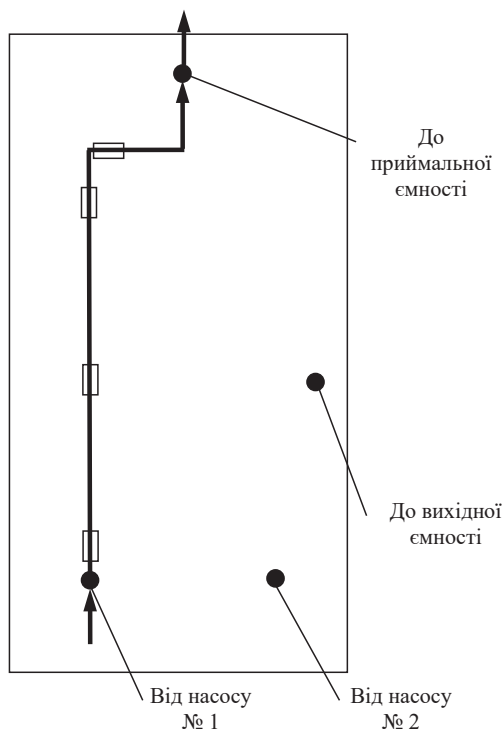


Рис. 6. Схема під'єднання насоса № 1 на монтажній ділянці при отриманні його напірної характеристики

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Зібрати лабораторний стенд (рис. 2 і 6).

IV.2. За допомогою лінійки виміряти довжини трубопроводів (рис. 2):

- від насосу № 1 до точки під'єднання до монтажної ділянки ($L_1, \text{м}$);

- від насосу № 2 до точки під'єднання до монтажної ділянки ($L_2, \text{м}$);

- до приймальної ємності ($L_{\text{пр}}, \text{м}$)

і занести до протоколу.

IV.3. Визначити кількість і тип місцевих опорів, що присутні на трасі від насосів до приймальної ємності і занести до протоколу.

IV.4. Визначити висоти розміщення всмоктувальних патрубків насосів $h_{\text{вс}}$.

IV.5. Залити у вихідну ємність воду. Виміряти висоту рівня $h_{\text{вих}}$.

IV.6. За допомогою спиртового термометра виміряти температуру води $t_{\text{в}}$.

IV.7. Перевірити, що вмикачі насосів знаходяться у положенні «Викл.» Підключити насоси до мережі, підключити стенд до мережі.

IV.8. Визначити мінімальну висоту приймальної ємності ($h_{\text{пр max}}$), при якій висота отвору для підведення води у ємність дорівнює максимальній висоті підйому води на монтажній ділянці (див. рис. 7).

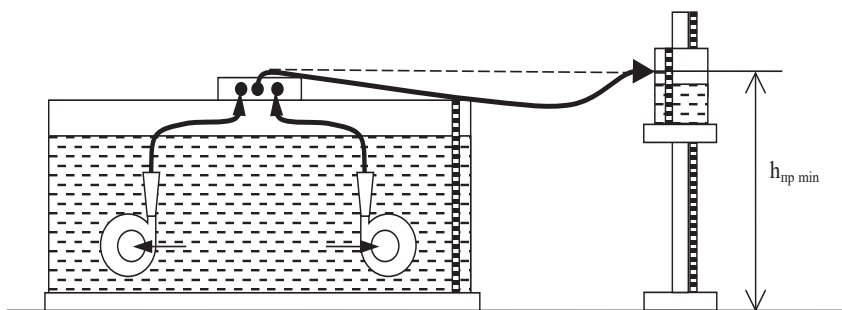


Рис. 7. Визначення мінімальної висоти приймальної ємності

IV.9. Визначити максимальну висоту приймальної ємності ($h_{\text{пр max}}$) на яку насос може підняти воду. Для цього треба:

9.1. Встановити ємність на мінімальну висоту.

9.2. Запустити досліджуваний насос переведенням його вмикача у положення «Вкл.».

9.3. Плавню піднімати ємність поки до неї не перестане подаватись вода.

9.4. Зупинити насос переведенням його вмикача у положення «Вимк.».

9.5. Визначити по шкалі на стійці висоту ємності, яка і буде $h_{\text{пр max}}$.

IV.10. Обрати 4-5 значень висоти приймальної ємності $h_{\text{пр i}}$ (від $h_{\text{пр max}}$ до $h_{\text{пр min}}$), при яких буде проводитись дослідження насосу.

IV.11. Провести дослідження насосу:

11.1. Встановити приймальну ємність на висоту $h_{\text{пр}}$.

11.2. Запустити досліджуваний насос переведенням його вмикача у положення «Ввімк.».

11.3. Заповнити систему від насосу до приймальної ємності водою.

11.4. Коли в приймальну ємність почне поступати вода включити таймер.

11.5. Заповнити приймальну ємність, зупинити насос переведенням його вмикача у положення «Вимк.», зупинити таймер і визначити час перекачування води (τ , с).

11.6. За шкалою визначити об'єм води, що потрапила у приймальну ємність (V , л).

11.7. Повторити заміри два рази при постійній висоті ємності $h_{\text{пр}}$ (пп. 11.2 – 11.6).

IV.12. Виконати п. IV.11 для всіх висот $h_{\text{пр i}}$.

IV.13. Аналогічним чином отримати напірну характеристику нагнітача № 2.

V. Обробка результатів

V.1. Розраховуються геометричні параметри трубопроводу: загальна довжина трубки $L_{\text{тр}}$, м; площа перетину трубки $S_{\text{тр}}$, м².

V.2. Для кожної висоти розміщення приймальної ємності визначається:

2.1. За температурою води $t_{\text{в}}$ із таблиці Додатку А знаходяться її теплофізичні властивості: густина $\rho_{\text{в}}$, кг/м³; динамічна в'язкість води $\nu_{\text{в}}$, м²/с.

2.2. Висота гідростатичного стовпу, на який піднято воду

$$h_{\text{п}} = h_{\text{пр}} - h_{\text{вих}}$$

2.3. Об'єм води, що перекачана насосом (усереднено по всім замірам)

$$V_{\text{сер}} = \frac{\sum_i^{n_{\text{зам}}} V_i}{n_{\text{зам}}}$$

2.4. Час перекачування води (усереднено по всім замірам)

$$\tau_{\text{сер}} = \frac{\sum_i^{n_{\text{зам}}} \tau_i}{n_{\text{зам}}}$$

2.5. Об'ємна витрата насосу

$$Q = V_{\text{сер}} / \tau_{\text{сер}}$$

2.6. Втрати тиску при підйомі води на висоту $h_{\text{п}}$

$$\Delta P_h = \rho \cdot g \cdot h_{\text{п}}$$

2.7. Швидкість води у трубці

$$w = \frac{Q}{\rho_{\text{в}} S_{\text{тр}}}$$

2.8. Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_{\text{тр}}}{\nu_{\text{в}}};$$

2.9. Коефіцієнт опору тертя (за додатком Г)

$$\xi_{\text{тер}} = \frac{64}{\text{Re}}, \text{ якщо } \text{Re} \leq 2200$$

$$\xi_{\text{тер}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}}, \text{ якщо } \text{Re} > 2,2 \cdot 10^3 - 10^5,$$

$$\xi_{\text{тер}} = 0,032 + \frac{0,221}{\text{Re}^{0,237}}, \text{ якщо } \text{Re} > 10^5 - 10^8$$

2.10. Опір тертя у трубці (за додатком Г)

$$\Delta P_{\text{тер}} = \frac{L_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}} \xi_{\text{тер}} \frac{\rho_{\text{в}} \cdot w^2}{2}$$

2.11. Місцеві втрати тиску з вихідною швидкістю при потрап-
лянні води у приймальну ємність (за додатком Г)

$$\Delta P_{\text{мз}} = \zeta_3 \frac{\rho_6 \cdot w^2}{2};$$

2.12. Місцеві втрати тиску у місцях з'єднання труб (звуженнях
каналу) (за додатком Г)

$$\Delta P_{\text{мз}} = \zeta_3 \frac{\rho_6 \cdot w^2}{2}$$

2.13. Місцеві втрати тиску у трійнику (за додатком Г)

$$\Delta P_{\text{мтр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho_6 \cdot w^2}{2}$$

2.14. Визначення напору насосу (дорівнює втратам тиску
у мережі)

$$\Delta P_{\text{н}} = \Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{г}} + \Delta P_{\text{тер}} + \Delta P_{\text{мвих.}} + n_3 \Delta P_{\text{мз}} + n_{\text{тр}} \Delta P_{\text{мтр}}.$$

2.15. Визначається напір насосу (дорівнює сумарним втратам
напору у мережі)

$$H_{\text{н}} = H_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{сум}} / (\rho_v \cdot g).$$

V.3. Будується напірна характеристика насосу $H_{\text{н}} = f(Q)$ або
 $\Delta P_{\text{н}} = f(Q)$.

V.4. Для другого насосу побудова характеристик виконується
аналогічно.

VI. Зміст звіту

VI.1. Короткий опис лабораторної установки, основні відомо-
сті з теорії, необхідні рисунки;

VI.2. Таблиці з результатами дослідів;

VI.3. Таблиці з результатами розрахунків;

VI.4. Графіки $H_{\text{н}} = f(Q)$ або $\Delta P_{\text{н}} = f(Q)$ для обох насосів;

VI.5. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Дати визначення основним параметрам нагнітачів.
2. Чому дорівнює повний тиск, що створюється нагнітачем?
3. Як визначається напір насоса?
4. Що таке напір насоса «в умовах проектування» і «в умовах експлуатації»? Яка між ними різниця?

5. Описати способи вимірювання витрати рідини.
6. Описати способи вимірювання тиску рідини.
7. Що таке напірна характеристика нагнітачів і як вона будується?
8. Що таке стабільна напірна характеристика? Нестабільна напірна характеристика?
9. Загальні втрати тиску у трубопроводі та їх складові.
10. Як розраховуються втрати тиску на тертя?
11. Як розраховуються місцеві втрати тиску?
12. Як розраховуються втрати тиску від підйому рідини?
13. Яким чином можна пояснити наявність максимуму для ККД?
14. Коли має місце максимальна витрата робочого середовища у нагнітачі зі стабільною характеристикою? З нестабільною характеристикою?

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ АРМАТУРИ У МЕРЕЖІ

I. Мета роботи

Практичне освоєння методик експериментального визначення характеристик елементів мереж.

II. Основні теоретичні положення

II.1. Розміщення насосу у мережі

Насос, вентилятор або компресор завжди працюють не окремо, а у якійсь мережі. Мережею називають всі трубопроводи і апарати, через які нагнітач перекачує рідину або газ.

При установці насоса в гідравлічній мережі на його напірній лінії встановлюються зворотний клапан, запірний клапан, клапан-регулятор.

Зворотний клапан необхідний для того, щоб запобігти зворотному руху рідини із системи в насос при відключенні електроенергії і зупинці насосу. Зворотний рух небезпечний тим, що він приводить до обертання ротора у зворотний бік, тобто насос починає працювати в режимі гідротурбіни. В цьому режимі частота обертання ротора значно зростає і насос руйнується.

Запірний клапан необхідний для відключення непрацюючого насоса від мережі. Також він необхідний для пуску насосу, який повинен відбуватися при закритому клапані на напорі, щоб уникнути перевантаження двигуна. Після того, як двигун вийде на робочий режим, клапан поволі відкривається, щоб уникнути гідроудару. Великі магістральні насоси запускають при відкритому на 10-15% клапані, щоб не відбулося кипіння рідини в корпусі насоса.

Клапан-регулятор призначений для зміни витрати робочого тіла, що перекачується нагнітачем по мережі, шляхом відкриття-прикриття його робочого органу (дросельне регулювання).

II.2. Характеристика мережі (трубопроводу, водогону)

Напір насосу H_H (м вод. ст.), що подає воду до трубопроводу, повинен перевищити геометричний напір H_Γ (м вод. ст.) на величину гідравлічних втрат напору у всмоктувальному трубопроводі $h_{\text{вх}}$ (м вод. ст.) і у нагнітальному трубопроводі $h_{\text{вих}}$ (м вод. ст.):

$$H_H = H_\Gamma + h_{\text{вх}} + h_{\text{вих}} = H_M$$

або, якщо записати втрати у трубопроводах через втрати тиску, то підвищення тиску у нагнітачі ΔP_H (Па) повинно бути таким, щоб подолати втрати тиску на підйом води ΔP_Γ (Па), гідравлічні втрати тиску у всмоктувальному трубопроводі $\Delta P_{вх}$ (Па) і у нагнітальному трубопроводі $\Delta P_{вих}$ (Па):

$$\Delta P_H = \Delta P_\Gamma + \Delta P_{вх} + \Delta P_{вих} = \Delta P_M$$

Вказані величини (ΔP_M і H_M) змінюються в залежності від витрати води у мережі. Залежність між втратами тиску у трубопроводі і витратою робочого тіла в ньому $\Delta P_M = f(Q)$ або $H_M = f(Q)$ називають характеристикою мережі. Зразки характеристик мереж приведені на рис. 8 (поз. 2–5), також там нанесена характеристика нагнітача (поз. 1).

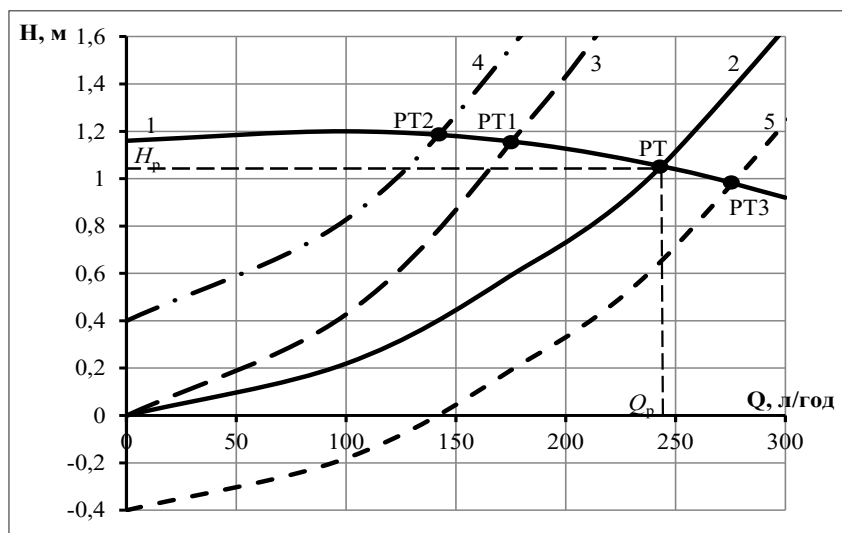


Рис. 8 – Зразки гідравлічних характеристик водяних мереж:

1 – робоча характеристика насоса; 2 – 5 – гідравлічні характеристики мереж.

Чим більше опір мережі, тим вище проходить її гідравлічна характеристика (порівняйте лінії 2 та 3). Збільшення опору існуючої мережі може відбуватись внаслідок встановлення додаткової арматури, прикриття робочих органів регуляторів, забруднення трубопроводів, фільтрів, апаратів.

Якщо приймальна ємність розміщується вище рівня, на якому встановлено нагнітач, то гідравлічна характеристика мережі починається вище відмітки «0» (порівняйте лінії 3 та 4), а якщо ємність розміщується нижче нагнітача, то гідравлічна характеристика починається з від'ємної величини (порівняйте лінії 2 та 5).

Продуктивність і напір, які встановлюються при роботі насоса на мережу, залежать як від характеристики насоса, так і від характеристики мережі. Перетин цих характеристик дає робочу точку (РТ), якій відповідають робоча продуктивність нагнітача (Q_p) і його робочий напір (H_n) та опір системи ($H_M = H_n = H_p$).

III. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд збирається так, як показано на рис. 2. Для вимірювання опору зворотного клапана необхідно зібрати на монтажній ділянці схему, що показана на рис. 9, а, для визначення характеристики клапана-регулятора – рис. 9, б.

При встановленні зворотного клапана необхідно перевірити, щоб напрямок стрілки на його корпусі співпадав з напрямком руху рідини від насосу.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Визначення опору зворотного клапана у мережі:

1.1. Зібрати стенд, як показано на рис. 9, а.

1.2. Встановити приймальну ємність на задану висоту $h_{пр}$.

1.3. Визначити подачу та напір насоса, як описано у п. IV.11 ЛР № 2.

IV.2. Визначення опору клапана-регулятора у мережі (побудова його характеристики):

2.1. Зібрати стенд, як показано на рис. 9, б.

2.2. Встановити приймальну ємність на задану висоту $h_{пр}$.

2.3. Для декількох положень запірного органа клапана від повністю відкритого ($POS = 100\%$) до мінімально відкритого ($POS = min$) визначити подачу та напір насоса, як описано у п. IV.11 ЛР № 2.

V. Обробка результатів

V.1. За результатами ЛР № 2 побудувати напірно-витратну характеристику насосу (рис. 10).

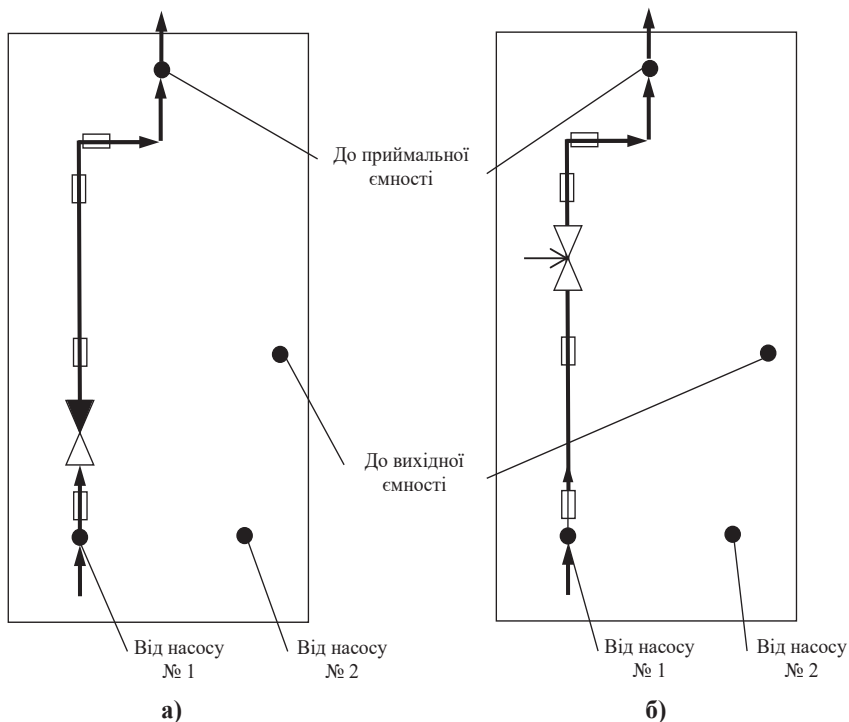


Рис. 9. Схема під'єднання насосу № 1 на монтажній ділянці при визначенні опору зворотного клапана (а) і клапана-регулятора (б)

V.2. Для висоти приймальної ємності $h_{пр}$, на якій проводилось дослідження мережі з арматурою, будується гідравлічна характеристика мережі без клапанів:

2.1. діапазон витрат $[Q_{min}; Q_{max}]$, в якому побудована характеристика насоса, поділяється на декілька відрізків з витратами Q_i .

2.2. Для кожної витрати Q_i за пп. 2.6–2.14 ЛР № 2 визначаються втрати тиску у мережі ΔP_{Mi} або напору H_{Mi} .

2.3. За отриманими значеннями Q_i та ΔP_{Mi} або Q_i та H_{Mi} будується характеристика мережі $H_M = f(Q)$ або $\Delta P_M = f(Q)$ (рис. 10)

V.3. Визначення опору зворотного клапану у мережі:

3.1. За отриманими експериментальними даними визначити витрату $Q_{МК}$ і втрати тиску (напору) у мережі з встановленим зворотним клапаном $\Delta P_{МК}(H_{МК})$, як сказано у п. V.2 ЛР № 2.

3.2. Нанести отриману точку на напірну характеристику насоса (рис. 10).

3.3. Оскільки опір системи з клапаном більший опору системи без клапана, отримана експериментальна точка лежить вище гідравлічної характеристики системи без клапана (рис. 10). Різниця між втратами тиску у мережі з клапаном $\Delta P_{\text{МК}}(H_{\text{МК}})$ і у мережі без клапана $\Delta P_{\text{МБК}}(H_{\text{МБК}})$ при однаковій витраті $Q_{\text{к}}$ дасть втрати тиску (напору) на клапані:

$$\Delta H_{\text{к}} = H_{\text{МК}} - H_{\text{МБК}} \text{ або } \Delta P_{\text{к}} = \Delta P_{\text{МК}} - \Delta P_{\text{МБК}}$$

3.4. Визначаємо коефіцієнт опору клапану

$$\zeta_{\text{к}} = \Delta P_{\text{к}} / \frac{\rho_{\text{в}} \cdot w^2}{2} \text{ або } \zeta_{\text{к}} = \Delta H_{\text{к}} / \frac{w^2}{2g}$$

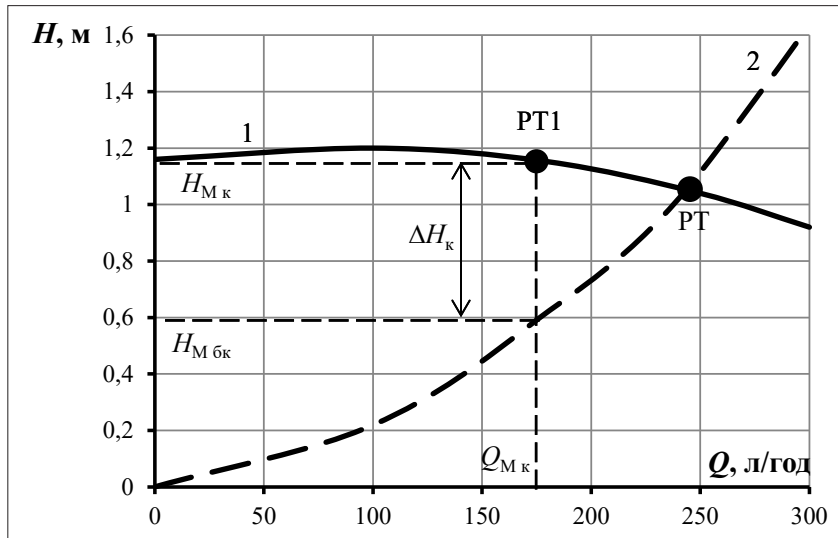


Рис. 10. Визначення опору зворотного клапана:

1 – робоча характеристика насоса; 2 – гідравлічна характеристики мережі без клапана; PT і PT1 – робоча точка мережі без клапана і з клапаном відповідно

V.4. Визначення опору клапана-регулятора у мережі і побудова його характеристики (рис. 11):

4.1. Для кожного положення робочого органу клапана-регулятора (POS) визначити витрату $Q_{\text{МК}}$ і втрати тиску (напору) у мережі

з встановленим клапаном-регулятором $\Delta P_{M\kappa}(H_{M\kappa})$, як сказано у п. V.2 ЛР № 2.

4.2. Нанести отримані точки на напірну характеристику насоса (рис. 11);

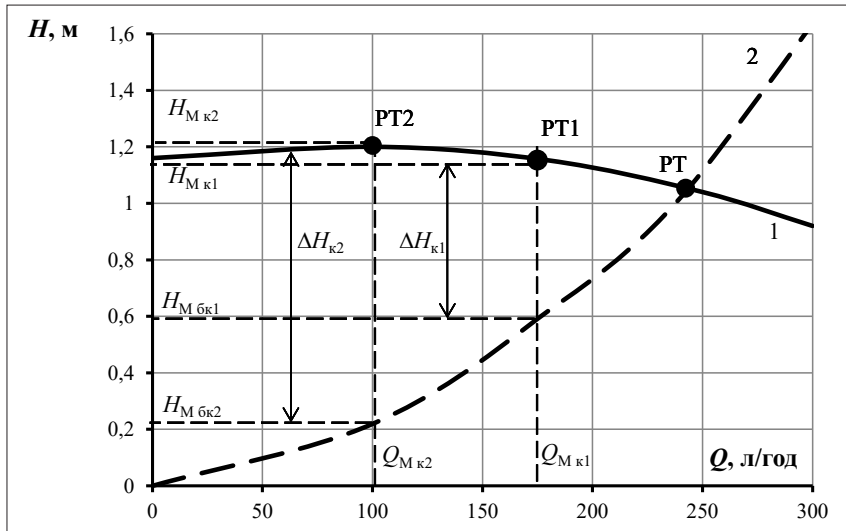


Рис. 11. Визначення опору клапана-регулятора

(позначення ті ж, що й на рис. 10)

4.3. Для положення робочого органу клапана-регулятора визначити коефіцієнт його опору, як сказано у пп. 3.3–3.4 даної лабораторної роботи (рис. 11).

4.4. За отриманими даними побудувати залежність коефіцієнта опору клапана-регулятора від положення його запірного органу (рис. 12).

VI. Зміст звіту

V.1. Короткий опис лабораторної установки, основні відомості з теорії, необхідні рисунки.

V.2. Таблиці з результатами дослідів.

V.3. Таблиці з результатами розрахунків.

V.4. Графіки $H = f(Q)$ або $\Delta P = f(Q)$ для досліджуваного насосу та мережі без клапанів з нанесеними параметрами мережі з клапанами (рис. 10 і 11).

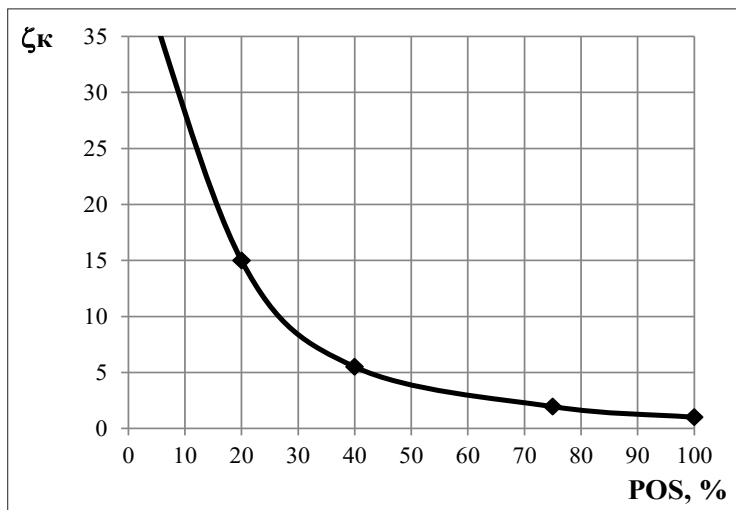


Рис. 12. Залежність коефіцієнта опору клапана-регулятора від положення його запірного органу (POS)

V.5. Значення коефіцієнта опору зворотного клапана и залежність коефіцієнта опору клапана-регулятора від положення його запірного органу (рис. 12).

V.6. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Яке призначення зворотного клапана на напорі нагнітача?
2. Яке призначення запірного клапана на напорі нагнітача?
3. Яке призначення клапана-регулятора?
4. Що таке характеристика мережі?
5. Чому дорівнює напір насоса, що працює на мережу?
6. Як будується характеристика мережі?
7. Як змінюється характеристика мережі, при збільшенні/зменшенні її опору? Розміщенні приймальної ємності над нагнітачем? Розміщенні приймальної ємності під нагнітачем?
8. Як встановлюються продуктивність і напір нагнітача при його роботі на мережу?
9. Що таке робоча точка?
10. Як визначається коефіцієнт місцевого опору елементу мережі?

Лабораторна робота № 4

ДРОСЕЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ

НАГНІТАЧА

I. Мета роботи

Практичне освоєння регулювання подачі нагнітача дроселюванням.

II. Основні теоретичні положення

II.1. Способи регулювання роботи нагнітачів

Витрата рідини в трубопроводній мережі повинна змінюватись в залежності від потреб споживачів. Штучну зміну подачі і напору, які створюються насосами відповідно до потреб мережі, називають регулюванням подачі насосної установки (станції). Подача нагнітача може бути змінена різними методами, які поділяються на методи, що впливають на характеристику мережі, або методи, що впливають на характеристику нагнітача.

Основний спосіб регулювання подачі – ступінчастий (дискретний), шляхом включення додаткових насосів у разі потреби у збільшенні витрати води у мережі, та їх відключення, коли витрату у мережі потрібно зменшити.

Плавне (недискретне) регулювання подачі відцентрових нагнітачів може бути

- якісним – шляхом зміни частоти обертання вала нагнітача;
- кількісним – шляхом дроселювання потоку затвором (засувкою), що встановлена на нагнітальному трубопроводі, або зливом частини рідини назад до вихідної ємності (байпасування).

II.2. Зміна подачі нагнітача збільшенням опору системи (дросельне регулювання)

Нехай характеристики насосу і мережі (рис. 13) перетинаються у робочій точці з витратою Q_p та H_p , а потрібно забезпечити у мережі витрату $Q_{\text{зад}}$ ($Q_{\text{зад}} < Q_p$). Для зменшення подачі нагнітача з Q_p до $Q_{\text{зад}}$, прикривають засувку на його напірному трубопроводі. Опір мережі зросте та її характеристика при витраті $Q_{\text{зад}}$ підніметься. При цьому напір насоса дорівнюватиме величині H_n , втрати напору у мережі без клапану – H_m , а їх різниця $\Delta H_k = H_n - H_m$ – втратам напору на засувці при її прикритті.

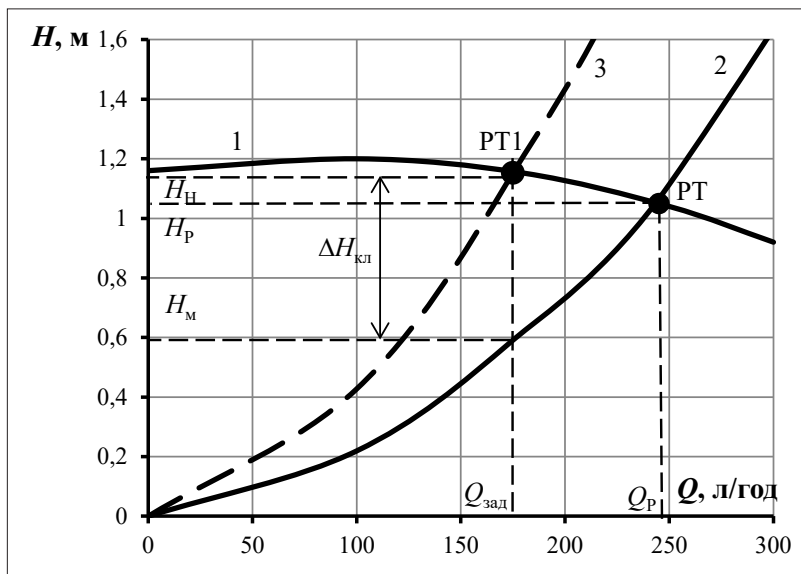


Рис. 13. Зміна подачі нагнітача збільшенням опору системи:

1 – робоча характеристика насоса; 2 – гідравлічна характеристики мережі при повністю відкритому клапані; 3 – гідравлічна характеристики мережі при частково прикритому клапані; PT і PT1 – робочі точки при повністю відкритому і при частково прикритому клапані

Для збільшення подачі, засувка відкривається, опір мережі зменшиться, та її характеристика опуститься.

III. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд збирається так, як показано на рис. 2, насос необхідно під'єднати до мережі через зворотний клапан та клапан-регулятор, як показано на рис. 14.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Зібрати стенд, як показано на рис. 14.

IV.2. Встановити приймальну ємність на задану висоту $h_{пр}$.

IV.3. Для декількох положень запірного органа клапана від повністю відкритого ($POS = 100\%$) до мінімально відкритого ($POS = min$) визначити подачу та напір насоса, як описано у п. IV.11 ЛР № 2.

IV.4. Повторити дослідження для другого насоса.

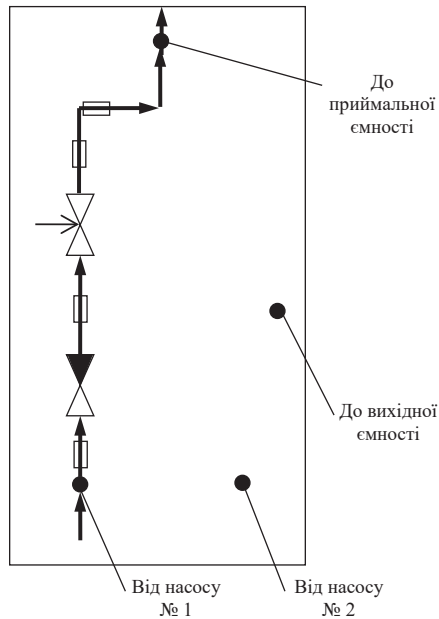


Рис. 14. Схема під'єднання насосу № 1 на монтажній ділянці для виконання регулювання його роботи збільшенням опору системи

V. Обробка результатів

V.1. Для кожного положення робочого органу клапана-регулятора (POS) визначити витрату Q і втрати тиску (напору) у мережі ΔP (H), як сказано у п. V.2 ЛР № 2. При цьому слід врахувати додаткові втрати тиску (напору) у мережі, які не враховувались у п. V.2 ЛР № 2, а саме:

- місцеві втрати тиску у зворотному клапані

$$\Delta P_{\text{мзв}} = \zeta_{\text{зв}} \frac{\rho_6 \cdot w^2}{2}$$

- місцеві втрати тиску у клапані-регуляторі

$$\Delta P_{\text{мр}} = \zeta_{\text{р}}(\text{POS}) \frac{\rho_6 \cdot w^2}{2}$$

де $\zeta_{\text{зв}}$ – коефіцієнт опору зворотного клапана (за результатами ЛР № 3), $\zeta_{\text{р}}(\text{POS})$ – коефіцієнт опору клапана-регулятора в залежності від положення його робочого органу (за результатами ЛР № 3).

Втрати тиску у мережі у такому випадку дорівнюватимуть:

$$\Delta P_M = \Delta P_h + \Delta P_{\text{тер}} + \Delta P_{\text{м вих.}} + n_z \Delta P_{\text{м з}} + n_{\text{тр}} \Delta P_{\text{м тр}} + \Delta P_{\text{м зв}} + \Delta P_{\text{м р}}$$

V.2. Побудувати графік залежності витрати води у мережі від положення робочого органу клапана-регулятора $Q = f(\text{POS})$, зразок якого показано на рис. 15.

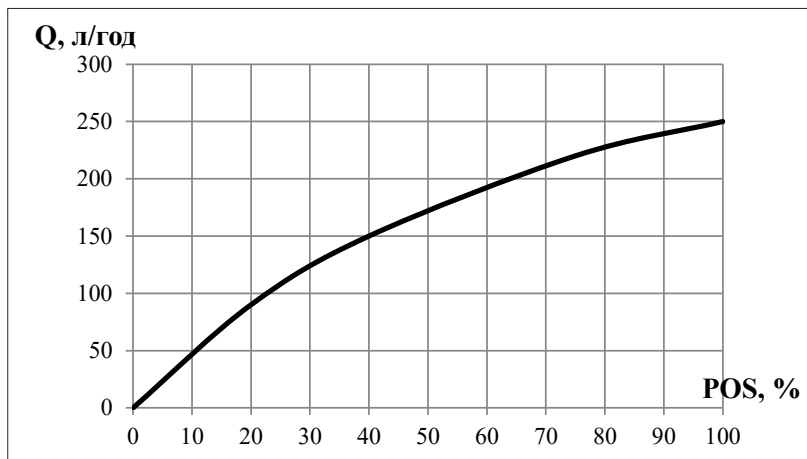


Рис. 15. Зміна витрати води у мережі в залежності від положення робочого органу клапана-регулятора

V.3. Побудувати графік залежності напору насоса від витрати води в мережі $H_H = f(Q)$. Якщо робота виконана правильно, він повинен співпадати з напірною характеристикою насоса, яка була отримана у ЛР № 1.

V.4. Аналогічним чином обробити дані, отримані при роботі другого насоса.

VI. Зміст звіту

VI.1. Короткий опис лабораторної установки, основні відомості з теорії, необхідні рисунки.

VI.2. Таблиці з результатами дослідів.

VI.3. Таблиці з результатами розрахунків.

VI.4. Графік $Q = f(\text{POS})$ для досліджуваних насосів та мережі (рис. 15).

VI.5. Графіки $H = f(Q)$ або $\Delta P = f(Q)$ для досліджуваних насосів, побудовані за даними ЛР № 2 і ЛР № 4.

VI.6. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке регулювання насосної установки?
2. Назвіть способи регулювання подачі нагнітача.
3. Що таке ступінчастий спосіб регулювання подачі?
4. Назвіть плавні способи регулювання подачі.
5. Опишіть як відбувається зміна подачі нагнітача при дросельному регулюванні.

Лабораторна робота № 5

РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НАГНІТАЧА ПЕРЕПУСКОМ

I. Мета роботи

Практичне освоєння регулювання подачі нагнітача перепуском частини води повз споживача.

II. Основні теоретичні положення

При регулюванні роботи нагнітача перепуском частина робочого тіла, яка ним нагнітається, подається назад до вихідної ємності по байпасній лінії (див. рис. 16).

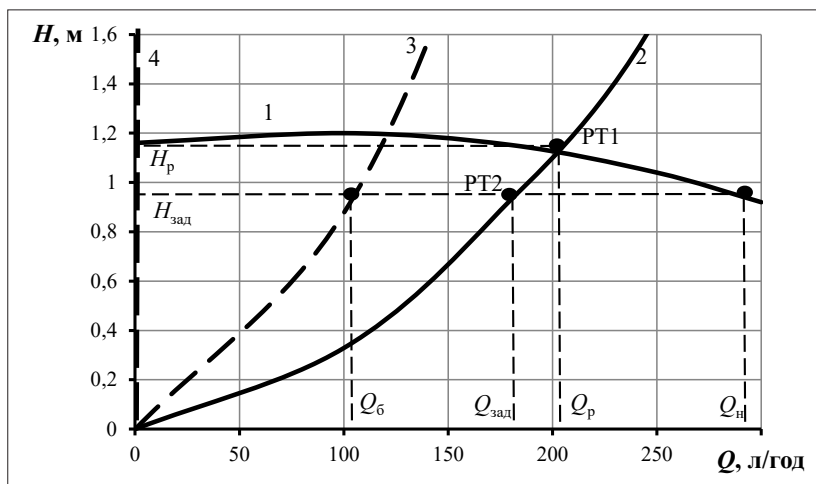


Рис. 16. Регулювання роботи насоса перепуском:

1 – робоча характеристика насоса; 2 – гідравлічна характеристики мережі; 3 – гідравлічна характеристика байпасу при частково відкритому клапані; 4 – гідравлічна характеристика байпасу при повністю закритому клапані.

При повністю закритому клапані на перепуску витрата через байпас дорівнює 0, опір байпасної лінії стає нескінченно великим, а її характеристика $H_0 = f(Q)$ – вертикальною. Характеристика мережі $H_m = f(Q)$ перетинається з характеристикою насоса $H_n = f(Q)$ у робочій точці $PT1$, витрата води у мережі дорівнює Q_p , напір насоса H_p .

Нехай необхідно знизити витрату води в мережі до величини $Q_{\text{зад}}$. Для цього відкривається клапан на байпасі, опір перепускної лінії зменшується, її характеристика зміщується вниз, і частина рідини в кількості $Q_{\text{б}}$ повертається до вихідної ємності. В мережу йде робоче тіло з витратою $Q_{\text{зад}}$, а подача нагнітача $Q_{\text{Н}}$ дорівнює

$$Q_{\text{Н}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{зад}}.$$

Опір мережі при витраті $Q_{\text{зад}}$ задає напір насоса $H_{\text{зад}}$. Таким же буде перепад на байпасній лінії.

III. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд збирається так, як показано на рис. 2, насос необхідно під'єднати до мережі через зворотний клапан, клапан-регулятор та трійник (рис. 17). Від бокового відгалуження трійника слід зробити злив води через клапан-регулятор до вихідної ємності.

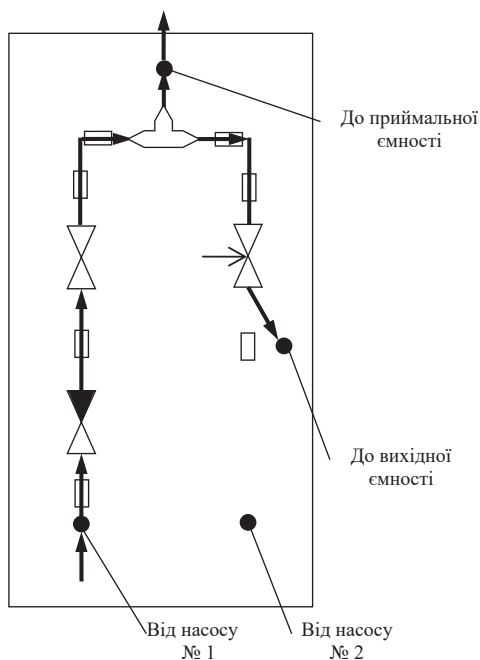


Рис. 17. Схема під'єднання насоса № 1 на монтажній ділянці для виконання регулювання його роботи перепуском

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Дослідження виконуються для обох насосів.

IV.2. Зібрати стенд, як показано на рис. 17.

IV.3. Встановити приймальну ємність на задану висоту $h_{\text{пр}}$.

IV.4. Для декількох положень запірного органа клапана від повністю закритого (POS = 0 %) до повністю відкритого (POS = 100 %) визначити подачу та напір насоса, як описано у п. IV.11 ЛР № 2.

V. Обробка результатів

V.1. Обробити результати для обох насосів.

V.2. Для кожного положення робочого органу клапана-регулятора (POS) визначити:

2.1) витрату Q_m і втрати тиску (напору) в мережі $\Delta P_m(H_m)$, як сказано у п. V.2 ЛР № 2. При цьому слід врахувати додаткові втрати тиску (напору) в мережі, які не враховувались у п. V.2 ЛР № 2, а саме:

- місцеві втрати тиску у зворотному клапані (див. п. V.1 ЛР № 4);
- місцеві втрати тиску у запірному клапані (див. п. V.1 ЛР № 4). При розрахунку втрат тиску на запірному клапані коефіцієнт опору розраховується за характеристикою, що отримана у ЛР № 3, позиція регулюючого органу клапана приймається POS=100 %;

- місцеві втрати тиску у трійнику (за додатком Г):

$$\Delta P_{\text{м тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho_g \cdot w^2}{2},$$

де $\zeta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт місцевого опору трійника (обирається в залежності від напрямку проходу рідини крізь нього).

Втрати тиску у мережі у такому випадку дорівнюватимуть:

$$\Delta P_m = \Delta P_h + \Delta P_{\text{тер}} + \Delta P_{\text{м вих.}} + n_3 \Delta P_{\text{м з}} + n_{\text{тр}} \Delta P_{\text{м тр}} + \Delta P_{\text{м зв}} + \Delta P_{\text{м р}};$$

2.2) подачу насоса Q_n за втратами тиску (напору) в мережі $\Delta P_m(H_m)$ і характеристикою, що отримана у ЛР № 2 (див. рис. 16);

2.3) витрату води через байпасну лінію Q_b .

V.3. Побудувати графіки залежності витрати води від положення робочого органу клапана-регулятора на байпасній лінії (зразок показано на рис. 18):

- у мережі $Q_m = f(\text{POS})$;
- у байпасній лінії $Q_b = f(\text{POS})$;
- від насоса $Q_n = f(\text{POS})$.

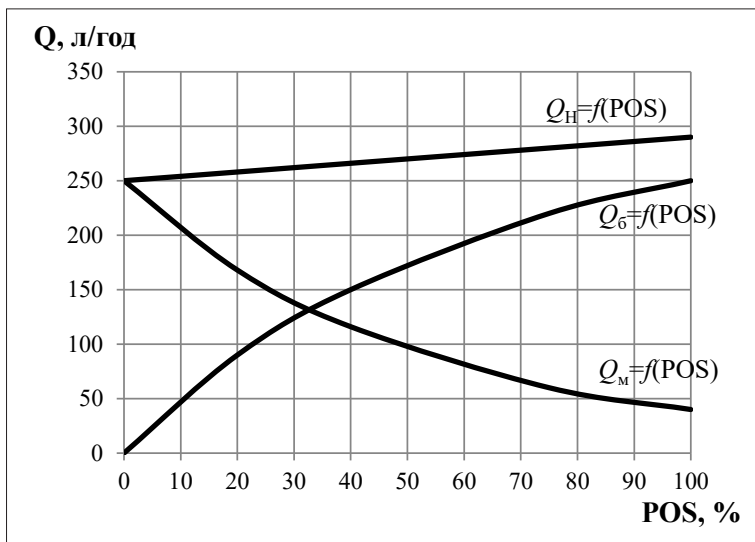


Рис. 18. Зміна витрати води в залежності від положення робочого органу клапана-регулятора на байпасній лінії

VI. Зміст звіту

VI.1. Короткий опис лабораторної установки, основні відомості з теорії, необхідні рисунки.

VI.2. Таблиці з результатами дослідів.

VI.3. Таблиці з результатами розрахунків.

VI.4. Графіки $Q_M = f(POS)$, $Q_H = f(POS)$, $Q_6 = f(POS)$ при роботі з насосами № 1 і № 2 (рис. 18).

VI.5. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке регулювання насосної установки?
2. Назвіть способи регулювання подачі нагнітача.
3. Що таке ступінчастий спосіб регулювання подачі?
4. Назвіть плавні способи регулювання подачі.
5. Опишіть, як відбувається зміна подачі нагнітача при регулюванні перепуском.
6. Чим регулювання перепуском відрізняється від дросельного регулювання?

Лабораторна робота № 6

ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА

НАГНІТАЧІВ У МЕРЕЖІ

I. Мета роботи

Вивчення особливостей паралельної роботи нагнітачів у мережі.

II. Основні теоретичні положення

Якщо один насос не забезпечує подачу необхідної кількості рідини в трубопроводі, тоді включають разом у паралельну роботу два або більше насосів. У цьому випадку кожен насос має окремий всмоктувальний трубопровід і спільний напірний трубопровід. Витрата води у системі знаходиться графічним методом накладання характеристик (див. рис. 19).

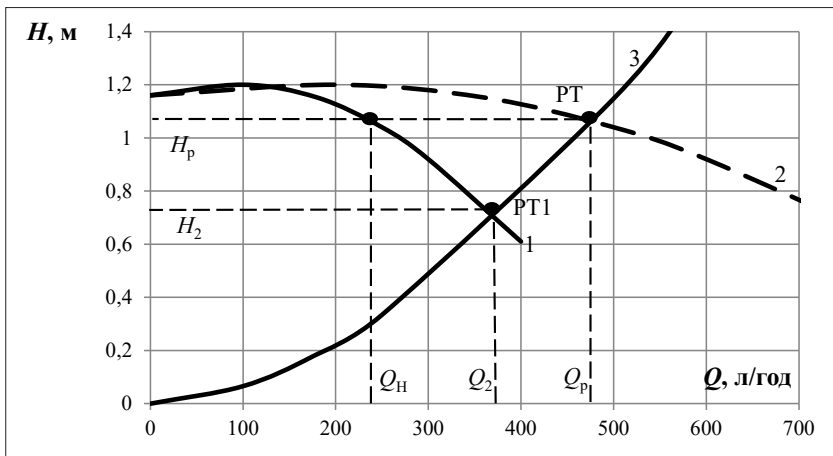


Рис. 19. Паралельна робота однакових насосів на одну мережу:

1 – робоча характеристика насоса; 2 – робоча характеристика двох однакових насосів при їх паралельній роботі; 3 – гідравлічна характеристики мережі.

У випадку, коли насоси однакові, для побудови сумарної напірної характеристики паралельної роботи двох насосів $H_{н\text{ сум}} = f(Q)$ необхідно подвоїти подачу одного насоса при заданому напорі

$H_{\text{зад}}; Q_{\text{н сум}} = 2 \cdot Q_{\text{н}}$. Щоб визначити режим роботи насосів, треба побудувати на цьому ж графіку характеристику мережі $H_{\text{м}} = f(Q)$ і знайти робочу точку РТ перетину обох характеристик.

Коли один насос працює на вказану мережу, їх робоча точка буде РТ1, при цьому подача насоса буде Q_2 при напорі H_2 . При паралельній роботі насосів до мережі подається $Q_{\text{р}}$ води при $H_{\text{р}}$, при цьому подача одного насоса $Q_{\text{н}} = Q_{\text{р}}/2$. Видно (рис. 19), що при одинарній роботі подача насоса була більшою, ніж при парній: $Q_2 > Q_{\text{н}}$. Ця різниця між подачею насоса, коли він працює на мережу один, і подачею, коли він працює паралельно, називається дефіцитом подачі:

$$Q_{\text{деф}} = Q_2 - Q_{\text{н}}$$

При паралельній роботі двох різних насосів на один трубопровід їх сумарна характеристика будується за наступним правилом: при заданому напорі подачі насосів додаються. Точка перетину цієї характеристики характеристикою мережі (див. рис. 20) визначає режим роботи насосів із сумарною подачею

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{н1}} + Q_{\text{н2}}$$

і однаковим напором $H_{\text{р}}$.

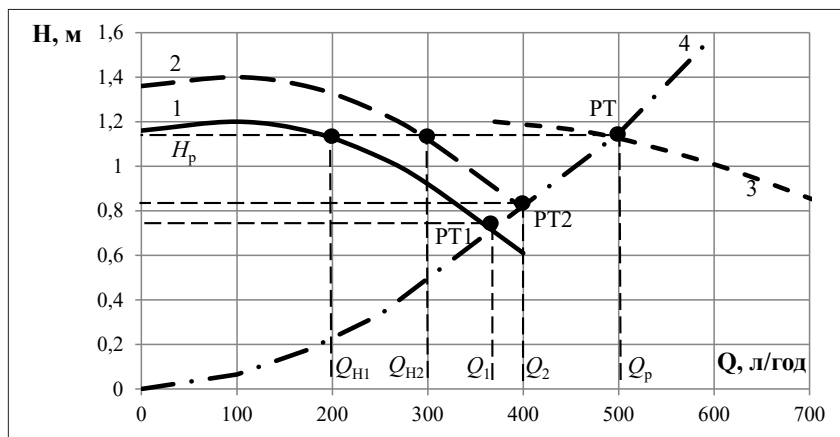


Рис. 20. Паралельна робота різних насосів на одну мережу:

- 1 – робоча характеристика насоса № 1; 2 – робоча характеристика насоса № 2;
- 3 – робоча характеристика двох різних насосів при їх паралельній роботі;
- 4 – гідралічна характеристики мережі.

Із рис. 20 також видно, що обидва насоси працюють кожен зі своїм дефіцитом подачі:

$$Q_{\text{деф1}} = Q_1 - Q_{\text{Н1}},$$

$$Q_{\text{деф2}} = Q_2 - Q_{text{Н2}}.$$

III. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд збирається так, як показано на рис. 2. Обидва насоси необхідно під'єднати до трійника через зворотний клапан і клапан-регулятор (рис. 21).

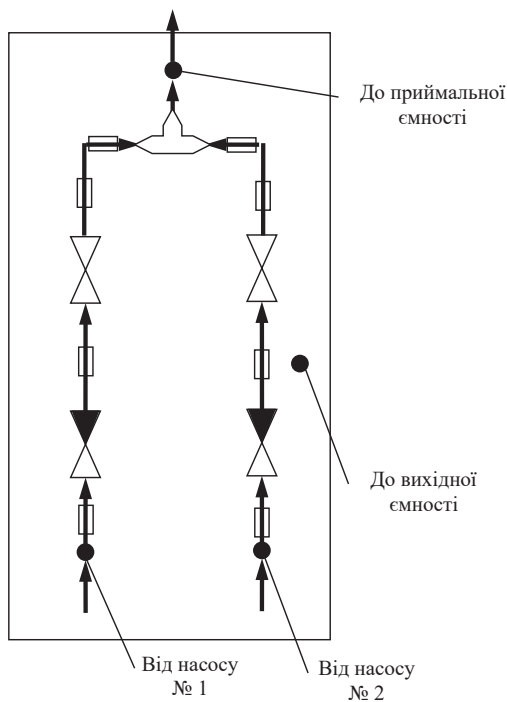


Рис. 21. Схема під'єднання насосів на монтажній ділянці

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

IV.1. Зібрати схему.

IV.2. Провести дослідження аналогічно ЛР № 2 при двох одночасно працюючих насосах.

V. Обробка результатів

V.1. Обробити отримані дані по кожному вимірюванню, як описано у ЛР № 2. При обробці результатів втрати тиску (напору) розраховувати тільки на лінії від трійника до приймальної ємності $\Delta P_{\text{сум}} (\Delta H_{\text{сум}})$ за сумарною витратою, що визначена в результаті замірювань.

V.2. Побудувати характеристику мережі $H_{\text{сум}} = f(Q_{\text{сум}})$ або $\Delta P_{\text{сум}} = f(Q_{\text{сум}})$ за результатами дослідження.

V.3. За існуючими характеристиками насосів № 1 і № 2 побудувати розрахункову сумісну характеристику їх роботи $H_{\text{сум р}} = f(Q_{\text{сум р}})$ і порівняти з результатами досліджень. Пояснити розбіжності.

V.4. Для кожного вимірювання за побудованою сумісною характеристикою і характеристиками насосів, отриманими у ЛР № 2, визначити дефіцит подачі насосів № 1 і № 2 (рис. 20). Побудувати їх графіки у вигляді залежностей $Q_{\text{деф}} = f(H)$.

VI. Зміст звіту

VI.1. Короткий опис лабораторної установки, основні відомості з теорії, необхідні рисунки.

VI.2. Таблиці з результатами дослідів.

VI.3. Таблиці з результатами розрахунків.

VI.4. Графіки сумісної характеристики насосів, що отримана в результаті замірів, $H_{\text{сум}} = f(Q_{\text{сум}})$, і в результаті складання характеристик насосів № 1 і № 2 $H_{\text{сум р}} = f(Q_{\text{сум р}})$.

VI.5. Графіки дефіциту подачі $Q_{\text{деф}} = f(H)$ для ЛР № 1 і ЛР № 2.

VI.6. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке регулювання насосної установки?
2. Назвіть способи регулювання подачі нагнітача.
3. Що таке ступінчастий спосіб регулювання подачі?
4. Назвіть плавні способи регулювання подачі
5. Запишіть умову паралельної роботи декількох насосів на загальний трубопровід.
6. Як будується сумісна характеристика двох однакових насосів при їх паралельній роботі
7. Як будується сумісна характеристика двох різних насосів при їх паралельній роботі

8. Як, знаючи сумісну та індивідуальні характеристики насосів, визначити їх подачі при паралельній роботі?

9. Як знайти робочу точку паралельно працюючих на загальний трубопровід нагнітачів?

10. Що таке дефіцит подачі насоса?

11. Як зміняться основні параметри насосів, які працюють паралельно, при відключенні одного з них?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Френкель М. И.** Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования. – М.: Машиностроение, 1969. – 744 с.
2. **Шерстюк А. Н.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. **Черкасский В. М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
4. **Дурнов П. И.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Київ; Одеса: Вища школа, 1985. – 264 с.
5. **Поляков В. В.** Насосы и вентиляторы. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.
6. **Карасев В. В.** Насосные и воздухоудные станции. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 326 с.
7. **Срібнюк С. М.** Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії і застосування : навчальний посібник. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 328 с.
8. **Мандрус В. І.** Гідравлічні та аеродинамічні машини. – Львів: Магнолія, 2006. – 328 с.
9. **Герасимов Г. Г.** Гідравлічні та аеродинамічні машини: підручник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 241 с.

Додаток А

**Теплофізичні властивості води на лінії
насичення**

t, °C	P_s МПа	ρ кг/м ³	C_p , кДж/(кг К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
0	0,0006	999,9	4,212	55,1	1,789	13,67
20	0,0023	998,2	4,183	60,0	1,006	7,02
40	0,0074	992,2	4,174	63,5	0,659	4,31
60	0,0199	983,2	4,178	66,0	0,478	2,98
80	0,0474	971,8	4,195	67,6	0,366	2,21
100	0,1013	968,4	4,220	68,3	0,291	1,75
120	0,1985	943,1	4,250	68,7	0,252	1,47
140	0,3614	926,1	4,287	68,6	0,216	1,25
160	0,618	907,4	4,346	68,4	0,191	1,11
180	1,003	886,9	4,411	61,6	0,173	1,00
220	2,320	840,3	4,614	64,6	0,148	0,89
260	4,694	784,0	4,949	60,6	0,135	0,87
300	8,592	712,5	5,736	54,1	0,128	0,97
340	14,608	610,1	8,164	45,8	0,127	1,38

Додаток Б

Протокол проведення лабораторної роботи

№ _____

Дата проведення дослідження _____

Виконавці: студенти гр. _____

Нагнітач № _____

Температура води t_v _____ °C

Параметри схеми (рис. _____)

Довжина ділянок трубки:

– від насоса № 1 до точки під'єднання до монтажної ділянки: $L_1 =$ _____ м;

– від насоса № 2 до точки під'єднання до монтажної ділянки: $L_2 =$ _____ м;

– на монтажній ділянці $L_m =$ _____ м;

– до приймальної ємності: $L_{пр} =$ _____ м.

Кількість: з'єднань трубок $n_z =$ _____; трійників $n_{тр} =$ _____

Встановлена арматура та її кількість:

Клапан зворотний _____ Клапан запірний _____ Клапан регулювальний _____

№ досліду	№ заміру	Рівень води у вихідній ємності $h_{вих}, \text{ м}$	Висота приймальної ємності $h_{пр}, \text{ м}$	Об'єм перекачаної рідини $V, \text{ л}$	Час перекачування рідини $\tau, \text{ с}$
1	1				
	2				
	3				
2	1				
	2				
	3				
3	1				
	2				
	3				
4	1				
	2				
	3				
5	1				
	2				
	3				

Підпис викладача _____

Додаток В

Обробка результатів виконання лабораторної роботи

№ _____

Дата проведення дослідження _____

Виконавці: студенти гр. _____

Нагнітач № _____

Додаткові величини:

Діаметр трубки, м

$d_{\text{тр}} = 0,003$

Загальна довжина трубки, м

$L_{\text{тр}} =$

Площа перетину трубки, м²

$S_{\text{тр}} =$

Температура води, °С

$t_{\text{в}} =$

Густина води, кг/м³

$\rho_{\text{в}} =$

Динамічна в'язкість води, м²/с

$\nu_{\text{в}} =$

Прискорення вільного падіння, м²/с

$g = 9,8$

№ досліду	1	2	3	4	5
Висота підйому рідини $h_{\text{п}}$, м					
Об'єм перекачаної рідини V , л					
Час перекачування рідини τ , с					
Витрата рідини Q , л/с					
Гідростатичний тиск стовпу води ΔP_h , Па					
Швидкість рідини w , м/с					
Re					
Коефіцієнт опору тертя $\xi_{\text{тер}}$					
Втрати тиску на тертя $\Delta P_{\text{тер}}$, Па					
Втрати з вихідною швидкістю $\Delta P_{\text{м вих}}$, Па					
Місцеві втрати тиску у місцях з'єднання труб $\Delta P_{\text{м з'}}$, Па					
Місцеві втрати тиску у трійнику $\Delta P_{\text{м тр}}$, Па					
Напір насоса ΔP , Па					

Гідрравлічний розрахунок трубопроводів

У процесі гідрравлічного розрахунку мережа розбивається на окремі ділянки. Для кожної ділянки визначаються втрати тиску, після чого вони складаються та визначаються сумарні гідрравлічні втрати для всього трубопроводу.

Втрати тиску на ділянці трубопроводу ΔP , як правило, розкладають на окремі складові: опір тертя $\Delta P_{\text{тер}}$, місцеві опори $\Delta P_{\text{м}}$, опір внаслідок підйому рідини $\Delta P_{\text{н}}$, опір внаслідок різниці динамічних напорів на вході і виході з трубопроводу $\Delta P_{\text{д}}$:

$$\Delta P_{\text{тер}} = \frac{L}{d} \xi_{\text{тер}} \frac{\rho \cdot w^2}{2},$$

$$\Delta P_{\text{м}} = \zeta_{\text{м}} \frac{\rho \cdot w^2}{2},$$

$$\Delta P_{\text{н}} = \rho \cdot g \cdot h,$$

$$\Delta P_{\text{д}} = \frac{\rho_{\text{вих}} \cdot w_{\text{вих}}^2}{2} - \frac{\rho_{\text{вх}} \cdot w_{\text{вх}}^2}{2},$$

де $\xi_{\text{тер}}$ – коефіцієнт опору тертя; $\zeta_{\text{м}}$ – коефіцієнт місцевого опору; ρ – густина теплоносія; w – швидкість теплоносія, L – довжина ділянки, d – еквівалентний діаметр; h – висота підйому теплоносія.

Індекси «вх» і «вих» відповідають параметрам теплоносія на вході та виході з ділянки. Параметри без індексів узяті при середніх значеннях температури і тиску теплоносія на ділянці.

При течії рідини в прямих каналах $\xi_{\text{тер}}$ визначають за формулами:

– для ламінарної течії ($\text{Re} < 2200$)

$$\xi_{\text{тер}} = \frac{A}{\text{Re}},$$

де $A = 64$ для круглого каналу;

– для турбулентного режиму

$$\xi_{\text{тер}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad \text{при } \text{Re} > 2,2 \cdot 10^3 - 105;$$

$$\xi_{\text{тер}} = 0,032 + \frac{0,221}{\text{Re}^{0.237}} \quad \text{при } \text{Re} > 105 - 108.$$

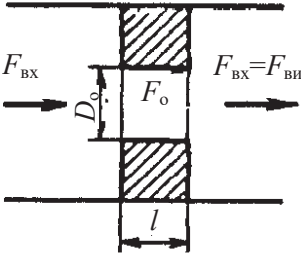
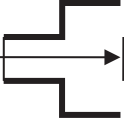
Вплив шорсткості враховують тільки при турбулентній течії теплоносія. Якщо товщина витіснення пограничного шару δ^* менша за середню висоту виступів шорсткості Δ , коефіцієнт $\xi_{\text{тер}}$ визначають за формулою:

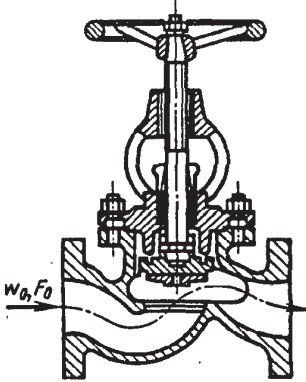
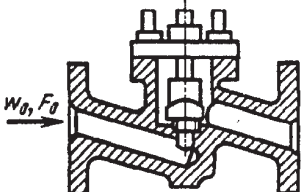
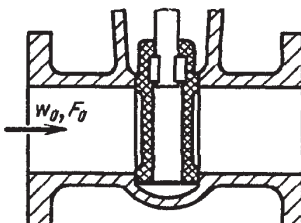
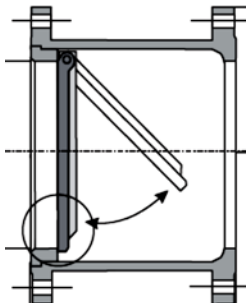
$$\xi_{\text{тер}} = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \lg \left(\frac{r}{\Delta}\right)\right)^2},$$

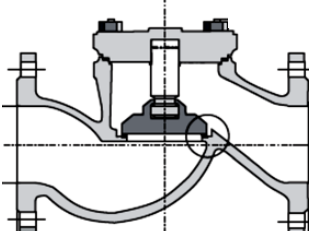
де r – внутрішній радіус труби.

Для деяких найбільш характерних місцевих опорів можна використати наступні дані (значення ζ_m наведені до швидкості у вхідному перерізі)

різке звуження потоку		$\zeta_m = \left(1 - \frac{F_{\text{ВХ}}}{F_{\text{ВЫХ}}}\right)^2$
різке розширення потоку		$\zeta_m = 0,5 \left(1 - \frac{F_{\text{ВХ}}}{F_{\text{ВЫХ}}}\right)$
різкий поворот на 90°		$\zeta_m = 1,5$
різкий поворот на будь-який кут (φ)		$\zeta_m = \zeta_{m\ 90^\circ} \frac{\phi^\circ}{90^\circ}$
Трійник на прохід		$\zeta_m = 1,0$
Трійник у відгалуженні		$\zeta_m = 1,5$

Трійник протитечійний		$\zeta_M = 3,0$
Трійник штаноподібний протитечійний		$\zeta_M = 1,5$
дросельна шайба (діафрагма з тонкими краями)		$\zeta_M = \left(1 + 0,707 \left(1 - F_O / F_{BX}\right)^{-0,5}\right)^2 \times$ $\times \left(1 - F_{BX} / F_O\right)^2$
діафрагма з товстими краями		$\zeta_M = \left(0,5 \left(1 - F_O / F_{BX}\right)^{0,75} + \right.$ $\left. + \tau \left(1 - F_O / F_{BX}\right)^{1,375} + \left(1 - F_O / F_{BX}\right)^2 + \xi_{тер} \frac{l}{D_o}\right) \left(F_{BX} / F_O\right)^2$ $\tau = (2,4 - \bar{l}) \cdot 10^{-\varphi(\bar{l})}$ $\varphi(\bar{l}) = 0,25 + \frac{0,535 \cdot \bar{l}^8}{0,05 + \bar{l}^7}$ $\bar{l} = \frac{l}{D_o}$
вихід потоку у необмежений простір		$\zeta_M = 1$

Клапан запірний прохідний сальниковий (засувка типу «Рей»)		$\zeta_M = 3,4$
Клапан запірний прохідний штампований		$\zeta_M = 7,8$
Засувка клинкетна		$\zeta_M = 0,2$ (при повному відкритті)
Клапан зворотний повертальний		$\zeta_M = 1,5$

Клапан зворотний підйомний		$\zeta_M = 5$
-------------------------------	---	---------------

Часто замість втрат тиску в мережі використовують величину втрати напору (ΔH), яка вимірюється у метрах водяного стовпа. Залежність між втратами тиску і втратами напору має наступний вигляд:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}.$$

НОТАТКИ

НОТАТКИ

Навчальне видання

**СЕМЕНОВ Микола Миколайович
СОЛОМОНЮК Денис Миколайович
ШАПОВАЛОВ Юрій Олександрович**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«Нагнітачі та теплові двигуни»**

Верстка – Семенченко Ю. С.

Коректор – Вакула О. Є.

Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Умовно-друк. арк. 3,26. Наклад 100. Замовлення № 2705-43.

Видавець і виготовлювач
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.mk.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6402 від 19.09.2018 р.