

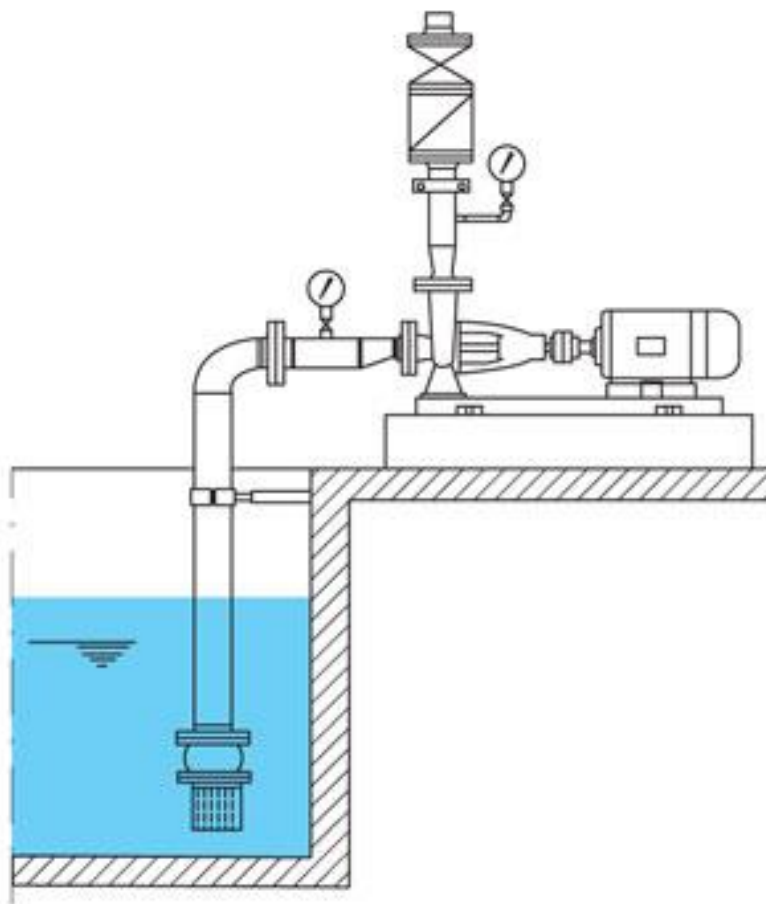
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення лабораторних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення лабораторних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Гідравлічні та аеродинамічні машини» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. А. Сироватський, А. С. Карагяур, Т. О. Шевченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 46 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. А. Сироватський,
д-р техн. наук, професор А. С. Карагяур,
канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко

Рецензент

О. П. Галкіна, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 21 від 27.06.2025.

Методичні рекомендації призначені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія». Подано методику виконання лабораторних робіт, характеристику засобів, пристроїв і приладів, послідовність виконання вимірювань. Наведено завдання і контрольні запитання для самостійного вивчення.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| Лабораторна робота № 1 Пуск і зупинка відцентрового насоса | 6 |
| Лабораторна робота № 2 Зняття характеристик (Q – H) відцентрового насоса № 1 за різних частот обертання робочого колеса..... | 12 |
| Лабораторна робота № 3 Зняття характеристик (Q – H) відцентрового насоса № 2 за різних частот обертання робочого колеса..... | 18 |
| Лабораторна робота № 4 Зняття спільних характеристик (Q – H) у разі паралельної роботи двох відцентрових насосів | 19 |
| Лабораторна робота № 5 Зняття спільних характеристики (Q – H) у разі послідовної роботи двох відцентрових насосів..... | 24 |
| ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ..... | 28 |
| Завдання № 1 Спільна робота насосів і трубопровідної мережі..... | 28 |
| Завдання № 2 Розрахунок заглиблення машинного залу насосної станції | 29 |
| Завдання № 3 Визначення висоти наземної частини будівлі насосної станції..... | 33 |
| Завдання № 4 Розрахунок потужності однопоршневого компресора | 37 |
| Перелік питань для самостійного вивчення | 39 |
| Список рекомендованих джерел | 43 |
| Додаток А | 44 |

ВСТУП

Лабораторні заняття з навчальної дисципліни «Гідравлічні та аеродинамічні машини» передбачають виконання таких лабораторних робіт:

1. Лабораторна робота № 1 Пуск і зупинка відцентрового насоса.
2. Лабораторна робота № 2 Зняття характеристик $Q - H$ відцентрового насоса № 1 за різних частот обертання робочого колеса.
3. Лабораторна робота № 3 Зняття характеристик $Q - H$ відцентрового насоса № 2 за різних частот обертання робочого колеса.
4. Лабораторна робота № 4 Зняття спільних характеристик $Q - H$ у разі паралельної роботи двох відцентрових насосів.
5. Лабораторна робота № 5 Зняття спільних характеристик $Q - H$ у разі послідовної роботи двох відцентрових насосів.

Мета проведення лабораторних робіт: ознайомлення здобувачів з конструкціями насосів; знайомство з приладами для вимірювання тиску (напору) і витрати води; засвоєння методики стендових випробувань насосів; засвоєння правил пуску і зупинки відцентрових насосів; зняття (отримання) робочих характеристик насосів.

Перед виконанням вказаних лабораторних робіт студент зобов'язаний ознайомитися з лекційним матеріалом, що стосується кожної з них, а також пройти інструктаж з техніки безпеки під час експлуатації насосів.

Після проведення експериментальних вимірювань кожен студент повинен провести необхідні розрахунки, побудувати графіки, скласти і захистити індивідуальний звіт про лабораторну роботу.

Методика проведення вимірювань

Насоси широко застосовують у різних сферах народного господарства. Вони різноманітні за принципом дії та конструктивним виконанням і повинні надійно працювати за будь-яких умов. Ці умови часто помітно змінюються під час використання того самого насоса. Тому, щоб передбачити можливість нормальної роботи того або іншого насоса в заданих умовах, необхідно мати всі його характеристики, що зазвичай одержують дослідним шляхом на спеціальних лабораторних стендах або на натурній виробничій установці, де працює насос під час експлуатації.

Випробування насосів можна розділити на п'ять видів: параметричні, контрольні, на надійність, ресурсні й дослідницькі.

Параметричні випробування дають можливість визначити зміну зовнішніх параметрів насоса залежно від зміни умов його роботи (наприклад, характеристики мережі). Результати цих досліджень зазвичай подають у вигляді узагальнених графіків H , N , η , $\Delta h_{\text{дон}} = f(Q)$, якщо $n = \text{const}$, які називають характеристиками насоса й розділяють їх на енергетичні – H , N , $\Delta h_{\text{дон}} = f(Q)$ та кавітаційні – $h_{\text{дон}} = f(Q)$.

За енергетичними характеристиками насоса можна визначити можливість підйому ним рідини із заданою подачею на задану висоту у разі заданої

характеристики мережі, а також потужності, що повинна при цьому підводитись до насоса.

Кавітаційна характеристика дає змогу визначити позначку установки насоса стосовно рівня джерела, за якої забезпечується безперебійна робота насоса протягом тривалого періоду експлуатації без істотних пошкоджень його робочих органів.

Контрольні випробування проводять для підтвердження того, що параметри насоса перебувають у припустимих межах (наприклад, для ухвалення рішення про придатність насоса до подальшої експлуатації).

Випробування на надійність дають можливість одержати показники надійності насоса, тобто оцінити безвідмовність його роботи в обговорених умовах експлуатації.

Ресурсні випробування визначають дійсні показники безвідмовності, довговічності й ремонтпридатності випробуваного насоса.

Дослідницькі випробування мають найрізноманітніший характер і часто вимагають застосування складної і дорогої вимірювальної апаратури. Основна мета цих випробувань – поліпшення різних показників насоса (економічність, надійність, збільшення ресурсу, спрощення технології виробництва тощо).

З усіх перерахованих вище випробувань для фахівців із водопостачання та водовідведення найбільший інтерес становлять параметричні випробування, тому що їхні результати необхідні не тільки для оцінки можливості використання у заданих умовах насоса тієї чи іншої марки, але й для аналізу роботи всієї гідравлічної мережі, в яку впроваджений насос, у процесі експлуатації. Тому більшість випробувань насосів, що викладаються нижче в лабораторних роботах, мають характер, близький до параметричних випробувань.

Під час виконання лабораторних робіт із випробування насосів необхідно користуватися такими параметрами відцентрового насоса:

1. Подача – кількість рідини, що подається насосом за одиницю часу. Найчастіше користуються поняттям об'ємної подачі Q , яка вимірюється у $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{л}/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{год}$ і тому подібних одиницях.

2. Напір – питома енергія, що передається насосом одиниці ваги рідини, що перекачується. Напір позначається буквою H і вимірюється в метрах стовпа рідини.

3. Тиск – питома енергія, що передається насосом одиниці об'єму рідини, що перекачується. Тиск позначається буквою P і вимірюється у Па , барах, $\text{кг}/\text{см}^2$, $\text{т}/\text{м}^2$, атмосферах і тому подібних одиницях.

Потрібно мати на увазі, що між тиском і напором існує відомий із гідравліки взаємозв'язок, який описується такою формулою:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}, \quad (1.1)$$

де ρ – густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – прискорення сили земного тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Подачу насоса Q найчастіше визначають шляхом вимірювання об'ємної витрати рідини за одиницю часу в напірній лінії за насосом. Вимір витрати у всмоктувальних лініях небажано, тому що наявність там вакууму може внести додаткові похибки у виміри.

Напір насоса H – визначають за показами манометра, приєднаного до напірного патрубку і вакуумметра (мановакуумметра), приєднаного до всмоктувального патрубка насоса, тобто:

$$H = \frac{P_{\text{ман}} + P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{нап}}^2 - V_{\text{всм}}^2}{2g}$$

де $P_{\text{ман}}$ і $P_{\text{вак}}$ – показання відповідно манометра і вакуумметра, Па;

$V_{\text{нап}}$ і $V_{\text{всм}}$ – швидкість руху потоку води відповідно в напірному і всмоктувальному патрубках насоса, м/с;

ρ і g – густина рідини й прискорення вільного падіння, кг/м^3 і м/с^2 .

Під час виконання лабораторних робіт можна обирати $\rho = 1\,000\ \text{кг/м}^3$, $g = 9,81\ \text{м/с}^2$.

Для визначення напору насосу необхідні виміри $P_{\text{ман}}$ і $P_{\text{вак}}$. Інші параметри розраховують за відомими подачею Q і геометричними розмірами трубопроводів. Тиск найчастіше вимірюють манометрами й вакуумметрами. Іноді тим самим приладом можна вимірювати і тиск, і вакуум. Тоді його називають мановакуумметром. Відмінна риса таких приладів полягає в тому, що вони показують не абсолютний тиск у трубці перед приладом (у штуцері приладу), а надлишковий або вакуум від рівня атмосферного тиску. Тому абсолютний тиск у точці приєднання приладу до відповідної трубки визначається за такою формулою:

$$P_{\text{абс}} = P_a + P_m \quad \text{або} \quad P_{\text{абс}} = P_a - P_v, \quad (1.2)$$

де P_m і P_v – відповідно показання манометра й вакуумметра, Па;

P_a – атмосферний тиск, Па.

Останнім часом широкого розповсюдження набули малогабаритні електричні сенсори, в яких тиск, вакуум або перепад тиску перетворюються на електричний сигнал, що надходить далі на вторинний прилад. Такі сенсори мають малі розміри, тому їх можна встановлювати безпосередньо у місці виміру, а сигнали від них передавати на осцилограф, табло, друкувальний пристрій або комп'ютер. Основні недоліки цього способу вимірювання: не завжди висока точність вимірів, велика вартість устаткування і обслуговування.

Лабораторна робота № 1 **Пуск і зупинка відцентрового насоса**

Порядок підготовки до виконання лабораторної роботи

Перед пуском відцентрового насоса необхідно заповнити його корпус і всмоктувальний трубопровід водою (залити насос).

Якщо відмітка осі насоса знаходиться нижче за мінімальну відмітку рівня води у джерелі (насос знаходиться під заливом), то заливання насоса

здійснюється таким чином: відкривається засувка на всмоктувальному трубопроводі і вода самопливом заповнює проточну частину насоса. При цьому засувка на напірному трубопроводі закрита, а розташований у верхній частині корпусу насоса кран для випуску повітря відкритий.

Якщо насос встановлений вище за рівень води в джерелі, заливання насоса може бути здійснено одним з таких способів:

- 1) від напірного трубопроводу або від водопроводу;
- 2) шляхом відсмоктування повітря ежектором;
- 3) шляхом відсмоктування повітря вакуумним насосом.

Перший спосіб заливання насоса від водопроводу інколи застосовується для насосних станцій малої і середньої продуктивності. За такого способу заливання на всмоктувальному трубопроводі повинен установлюватися приймальний клапан (рис. 1.1). Вода заповнює всмоктувальний трубопровід і насос через трубопровід, один кінець якого під'єднаний до напірної лінії або іншого стороннього напірного джерела води, а інший приєднаний до усмоктувального трубопроводу насоса. Заливання насоса продовжують доти, допоки із крана для випуску повітря не починає виходити вода.

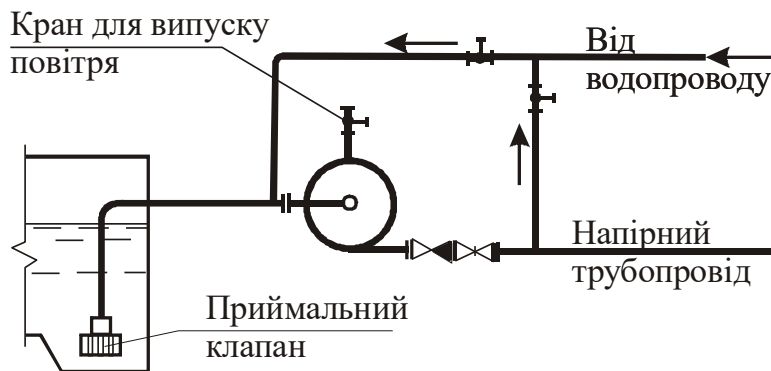


Рисунок 1.1 – Схема заливання насоса із напірного трубопроводу або від водопроводу

Другий спосіб заливання насоса застосовується на насосних установках середньої продуктивності з невеликою геометричною висотою усмоктування (див. рис. 1.2). Ежектор приєднується до верхньої частини корпусу насоса.

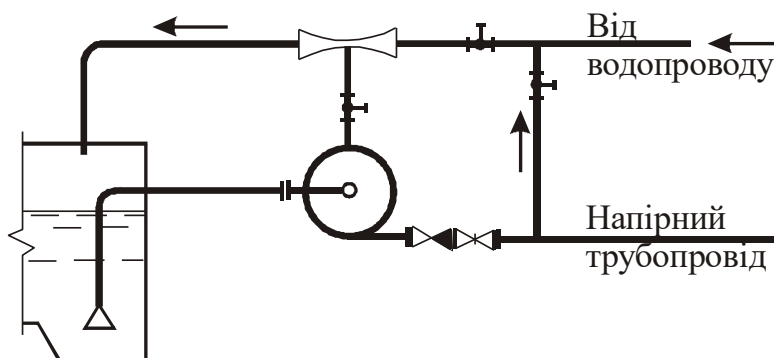


Рисунок 1.2 – Заливання насоса шляхом відсмоктування повітря ежектором

При цьому для роботи ежектора використовується вода, що подається із напірного трубопроводу, або вода, що подається від іншого напірного джерела. Вода заповнює насос і всмоктувальний трубопровід за рахунок вакууму, що створюється ежектором.

Третій спосіб заливання насоса використовується на насосних установках середньої і великої продуктивності (рис. 1.3). Тут застосовується вакуумна установка, яка складається з водокільцевого вакуумного насоса, циркуляційного бака і трубопроводів. Всмоктувальна лінія вакуумного насоса приєднується до верхньої частини корпусу насоса. Напірна лінія приєднується до циркуляційного бака.

Крім того, є трубопровід, який з'єднує всмоктувальну лінію з циркуляційним баком. Така схема вакуумної установки забезпечує безперервну циркуляцію води у вакуумному насосі, необхідну для підтримання водяного кільця і відведення тепла.

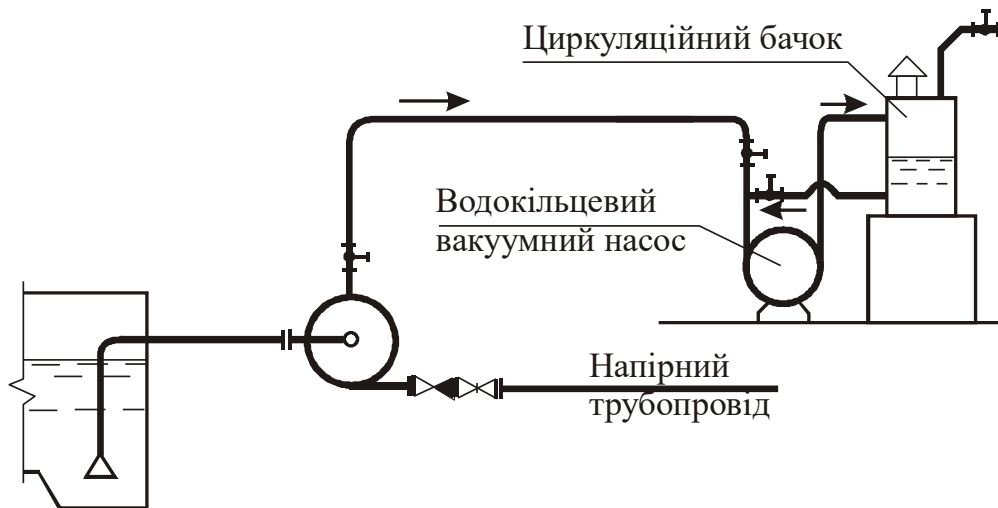


Рисунок 1.3 – Заливання насоса шляхом відсмоктування повітря вакуум-насосом

Вакуумні насоси випускаються таких марок: ВВН-1,5; ВВН-3; ВВН-6; ВВН-12; ВВН-50; РМК-3; РМК-4. Водокільцеві вакуумні насоси типу ВВН мають продуктивність за повітрям 1,27–52 м³/хв, а ротаційні вакуум-насоси типу РМК – 3,6–27 м³/хв (під час установки насосів типу РМК не потрібні циркуляційні баки).

Після ознайомлення з різними способами заливання відцентрових насосів можна сформулювати **правила пуску насоса:**

1. Залити водою насос і всмоктувальний трубопровід із закритими кранами під манометром і вакуумметром, а також із зачиненою засувкою на напірному трубопроводі.

2. Увімкнути електродвигун і, коли насос розвине повну кількість обертів, відкрити крани манометра і вакуумметра і плавно відчинити засувку на напірному трубопроводі. Крім того, треба відкрити крани на трубопроводах, що

подають воду до сальників і для охолодження підшипників, якщо це необхідно.

Правила зупинки відцентрового насоса такі:

1. Повільно закрити засувку на напірному трубопроводі.
2. Вимкнути електродвигун.
3. Закрити крани під манометром і вакуумметром, а також крани на трубопроводах, що подають воду до сальників і підшипників.

Пуск і зупинка насоса можливі також із відчиненою засувкою на напірному трубопроводі. Для цього необхідний зворотний клапан на напірному трубопроводі, який у момент пуску насоса виконує роль закритої засувки. Але під час таких запусків і зупинок насоса у напірних водоводах можуть виникати гідравлічні удари неприпустимої величини, які необхідно перевіряти відповідними розрахунками.

Схема експериментальної насосної установки для проведення лабораторної роботи № 1 подана на рисунках 1.4 і 1.5.

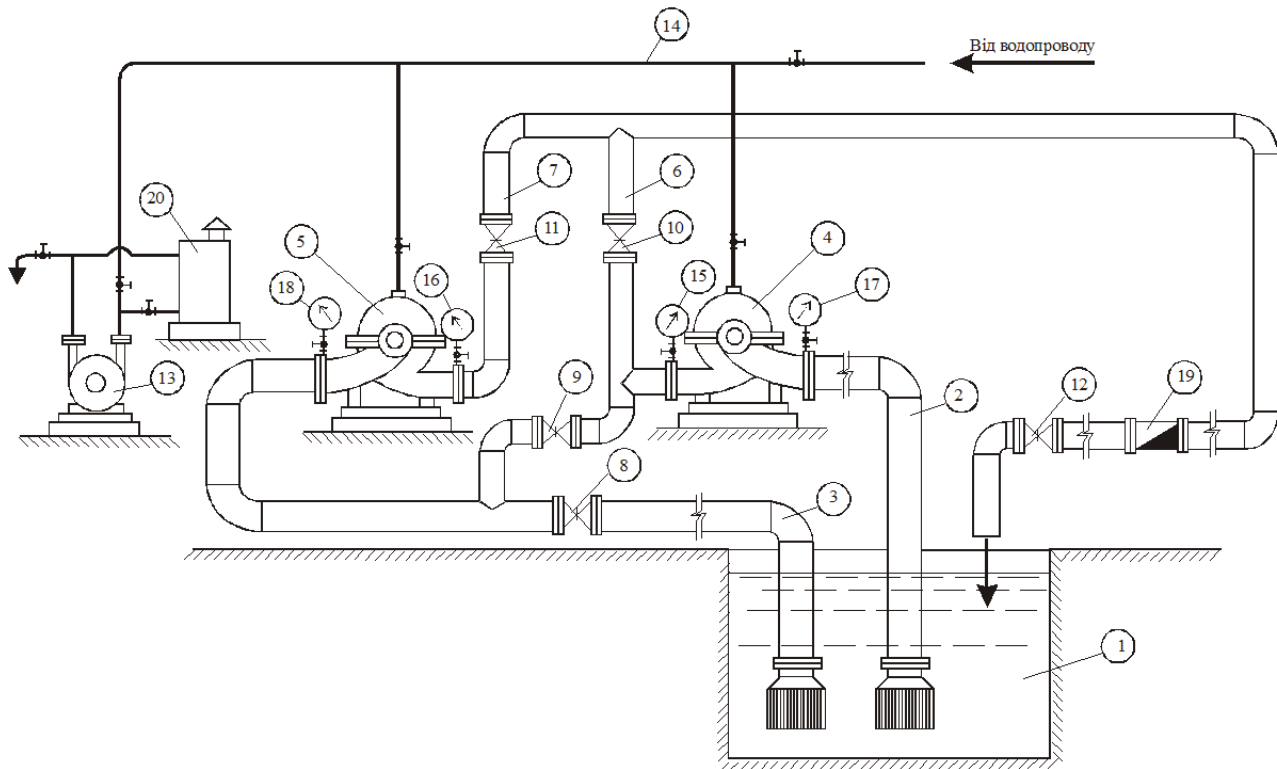


Рисунок 1.4 – Експериментальна установка з двома відцентровими насосами марки Д100-24

Установка складається з таких елементів: циркуляційного резервуару (1) об'ємом 15 м³, всмоктувальних трубопроводів (2) і (3), двох відцентрових насосів (4) і (5) марки Д 100-24 з електродвигунами змінного струму, напірних трубопроводів (6) і (7), засувок на всмоктувальних і напірних трубопроводах (8), (9), (10), (11) і (12), вакуумного насоса (13), трубопроводу внутрішнього водопроводу (14). Для підтримання водяного кільця у вакуумному насосі використовується ємність із водою (20), яка підживлюється від внутрішнього

водопроводу. Крім того, лабораторна установка обладнана вимірювальними приладами: манометрами (15) і (16), вакуумметром (17), мано-вакуумметром (18) і витратоміром (19) турбінного типу.



Рисунок 1.5 – Фото лабораторної установки з відцентровими насосами Д100-24

Порядок проведення лабораторної роботи

Здобувачі мають ознайомитися з експериментальною установкою і вимірювальною апаратурою. Добре засвоївши правила пуску і зупинки відцентрового насоса, студенти повинні кілька разів провести пуск і зупинку насоса на стенді. Заливання насосів можна здійснювати двома способами:

- 1) від внутрішнього водопроводу;
- 2) шляхом відсмоктування повітря вакуумним насосом.

Перший спосіб заливання проводять на відцентровому насосі (4). Для цього його всмоктувальний трубопровід обладнаний приймальним клапаном.

Перед заливанням насоса засувки (9), (10) і (11) мають бути повністю закритими, а засувка (12) відкритою. Далі відкривають кран на водопровідній лінії (14) і вода починає заповнювати всмоктувальний трубопровід (2) і корпус насоса (4). При цьому із верхнього штуцера насоса виходить повітря. Щойно замість повітря зі штуцера починає виходити вода, це свідчить, що всмоктувальний трубопровід і корпус насоса повністю заповнені водою, тобто насос «залитий».

Тоді закривають штуцер на насосі, кран на трубопроводі (14) і вмикають насос. Потім плавно повністю відкривають засувку (10) на напірному трубопроводі (6).

Після чого фіксують показання вакуумметра (17) і манометра (15). Також визначають витрату перекачуваної води шляхом вимірювання секундоміром часу, за який насос перекачує 1 000 л. Відлік об'єму і вимірювання часу проводять на турбінному витратомірі (19). При цьому витрату розраховують за такою формулою, л/с:

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1.3)$$

де W – задана кількість води, що проходить через водомір, л (1 000 л) ;

t – час, за який проходить ця кількість води, с.

Створюваний насосом напір розраховують за такою формулою, м:

$$H = \frac{P_{\text{ман}} + P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{нап}}^2 - V_{\text{всм}}^2}{2g}, \quad (1.4)$$

де $P_{\text{ман}}$ і $P_{\text{вак}}$ – показання відповідно манометра і вакуумметра, Па;

$V_{\text{нап}}$ і $V_{\text{всм}}$ – швидкість руху потоку води відповідно у напірному і всмоктувальному патрубках насоса, м/с;

ρ і g – густина рідини й прискорення вільного падіння, кг/м³ і м/с².

Під час виконання лабораторних робіт можна обирати $\rho = 1\,000$ кг/м³, $g = 9,81$ м/с².

Швидкість руху потоку води в трубопроводі розраховують за такою залежністю:

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (1.5)$$

де ω – площа поперечного перетину труби, м²;

d – діаметр трубопроводу, м.

У цій насосній установці діаметр всмоктувального патрубка становить 150 мм, напірного – 100 мм.

Після закінчення зазначених вимірювань, засувку (10) на напірному трубопроводі (6) плавно зачиняють і вимикають насос. Закривають крани під манометром (15) і вакуумметром (17).

Другий спосіб заливу на прикладі насоса (5) здійснюємо за допомогою вакуум-насоса (13) (ВВН-3), який при $n = 1\,500$ об/хв і вакуумі в 70 % атмосферного тиску має продуктивність 3,2 м³/хв.

Перед заливанням насоса засувки (9), (10) і (11) мають бути повністю зачиненими, а засувки 8 і 12 відчиненими.

Перед пуском вакуум-насоса його циркуляційний бак (20) має бути заповнений водою. Для підтримання водяного кільця і відведення тепла вода у вакуумний насос подається прямоочною схемою від внутрішнього водопроводу (14) зі скиданням у каналізацію.

Після заповнення водою бака (20) вмикають вакуум-насос (13) і відкривають кран на верхньому штуцері насоса (5). Під дією створюваного

вакуум-насосом розрідження, вода із резервуара (1) піднімається уверх до насоса, заповнюючи всмоктувальний трубопровід і корпус насоса. Щойно корпус насоса (5) заповнюється, насос вмикаємо, закриваємо кран на верхньому штуцері і вмикаємо вакуум-насос (13).

Потім плавно повністю відкривають засувку (11) на напірному трубопроводі (7) і проводять всі вимірювання, як і в попередньому випадку. Розраховують витрату і напір насоса.

Після вимірювань засувку (11) на трубопроводі (7) плавно зачиняємо і вмикаємо насос. Закриваємо крани під манометром (16) і мановакуумметром (18).

Оформлення звіту з лабораторної роботи

На титульному аркуші звіту про лабораторну роботу має бути вказано таке: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод, звіт про лабораторну роботу № 1 «Пуск і зупинка відцентрового насоса», прізвище та ініціали здобувача, номер групи, дата виконання роботи.

Оформлений звіт про лабораторну роботу повинен містити: формулювання правил пуску і зупинки насосів, схему установки, короткий опис способів заливання насоса, проведених у роботі, розраховані значення напору і продуктивності кожного з насосів.

Лабораторна робота № 2

Зняття характеристик ($Q - H$) відцентрового насоса № 1 за різних частот обертання робочого колеса

Схема установки для виконання лабораторної роботи

Лабораторна робота № 2 виконується на установці, схема якої подана на рисунках 1.6 і 1.7.

До початку виконання лабораторних робіт необхідно переконатися, що насоси та всмоктувальні трубопроводи заповнені водою. Після заливання насосів кран (19) повинен бути закритим протягом усіх лабораторних робіт.

Лабораторна установка складається з двох відцентрових насосів консольного типу фірми LOWARA марки SEA 80/5/A продуктивністю 30–100 л/хв із напорами 30–21 метр водяного стовпа. Обидва насоси обладнані блоками частотного регулювання серії HYDROWAR типу HV 2.015-M3-5-B-1000-G-B-VO1.2. Ці блоки дозволяють змінювати частоту струму від 50 Гц до 15 Гц. Завдяки цьому швидкість обертання робочого колеса кожного насоса окремо може змінюватися від 2 850 до 855 обертів за хвилину.

Установка працює за оборотною схемою, беручи воду із циркуляційного резервуару (1), який розміщено під насосами, і повертаючи її в цей же резервуар. Схема оснащення насосів трубопроводами та арматурою дозволяє працювати з кожним насосом окремо, а також використовувати обидва насоси одночасно, приєднуючи їх за паралельною, або послідовною схемами. Для вимірювання тиску (напору) насосів лабораторна установка обладнана

манометрами (7) і сенсорами тиску (8) і (9). Показання сенсорів тиску виводяться на дисплеї частотних перетворювачів. Для вимірювання подачі насосів на напірному трубопроводі змонтовано крильчастий лічильник кількості поданої води (6) (водомір).

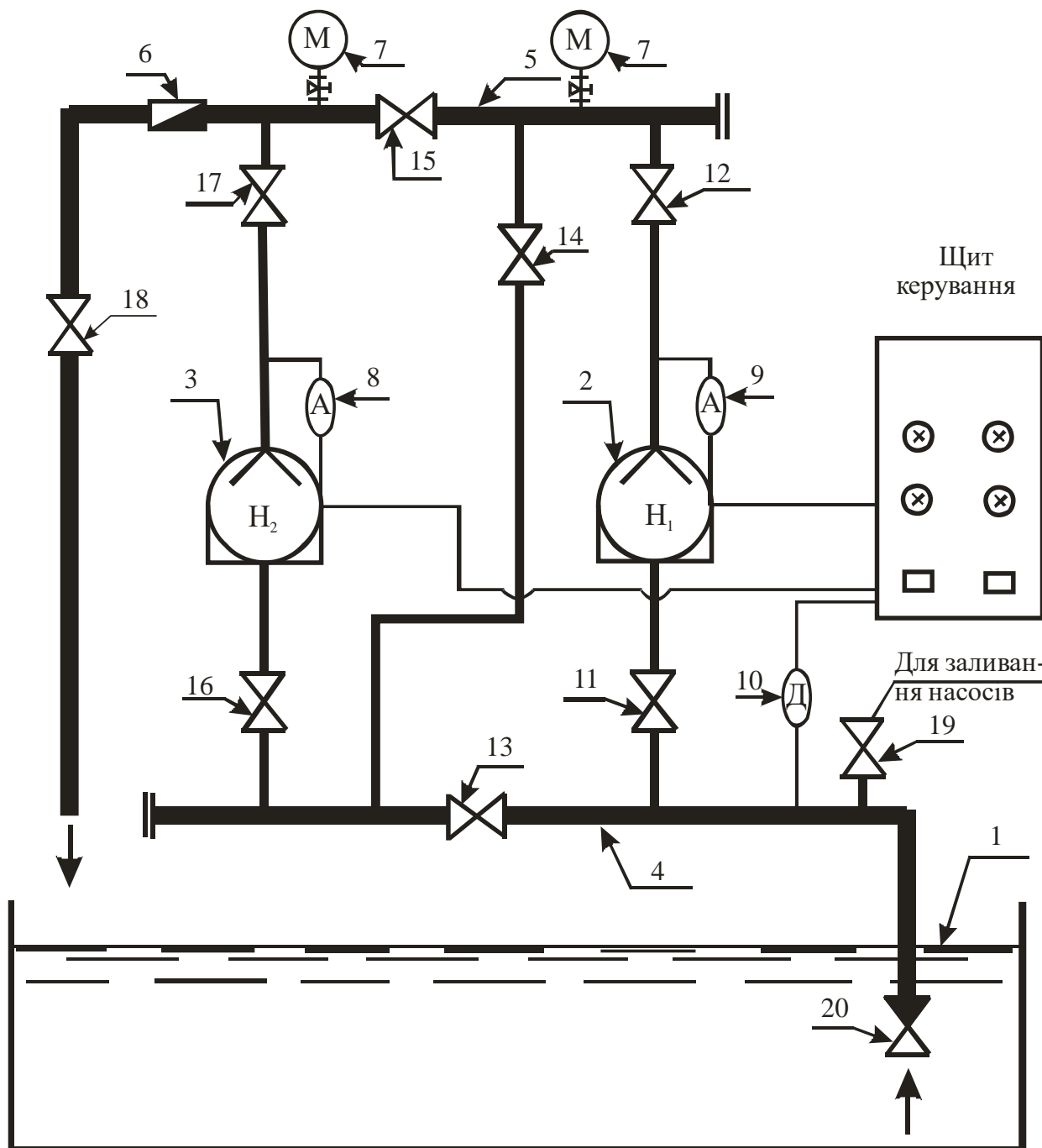


Рисунок 1.6 – Схема лабораторної установки з насосами, які обладнані частотними перетворювачами:

- 1 – циркуляційний резервуар; 2 і 3 – насоси СЕА 80/5/А з блоками частотного регулювання; 4 – всмоктувальний трубопровід; 5 – напірний трубопровід;
- 6 – лічильник кількості води; 7 – манометри; 8 і 9 – сенсори тиску;
- 10 – сенсор «сухого ходу»; 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, і 19 – крани;
- 20 – приймальний клапан



Рисунок 1.7 – Фото лабораторної установки насосів LOWARA з регульованим приводом

Кожен із перетворювачів частоти (ПЧ) має дисплей із сенсорними кнопками. Ці дисплеї мають вигляд, який показано на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Дисплей управління насосом LOWARA

За допомогою сенсорних кнопок можна програмувати ПЧ для роботи в різних режимах, а також вмикати і вимикати насосний агрегат «вручну».

Порядок підготовки до виконання та виконання лабораторної роботи

Крани (16) і (17) на насосі № 2 та кран (14) на перемичці необхідно закрити. Решта кранів (крім 19) повинна бути відкрита.

Для подачі електричного живлення на насосні агрегати потрібно увімкнути автомат-вимикач, через який установка під'єднана до електромережі.

Для установки потрібних параметрів ПЧ і пуску – зупинки насосного агрегату необхідно дотримуватися такої послідовності:

1. Під час подачі живлення ПЧ встановлюються у вихідне положення (головне меню), а на екрані (рис. 1.8) висвічується повідомлення:

| | |
|---------|----------|
| Частота | 0,0 Гц |
| Стоп | 0,00 бар |

2. Короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ переходить до стану:

| | |
|----|----------------------|
| 02 | 02 Частота приводу 1 |
| D2 | X,XX Гц |

У цьому положенні кнопками «вверх» або «вниз» необхідно встановити потрібну частоту, на якій повинен працювати насос.

3. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ переходить до головного меню.

Короткочасним натисканням кнопки «вверх» запускається насосний агрегат, який виходить на задану частоту. При цьому на екрані висвічуються значення частоти струму і тиску (у барах), який створює насос.

Не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання графічної характеристики (Q – H) насоса виміри за вибраної частоти обертання робочого колеса. Для цього, закриваючи або відкриваючи кран (18) на напірному трубопроводі, змінюють подачу насоса. За кожного положення крана вимірюють подачу і відповідний їй тиск (напір) насоса. Для побудови експериментальної графічної характеристики (Q – H) насоса достатньо дослідити 5–6 режимів (тобто отримати 5–6 точок характеристики).

4. Після проведення достатньої кількості вимірювань, не вимикаючи насосний агрегат, короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ переходить до стану, який описано у другому пункті.

Натискуючи кнопки «вверх» або «вниз» необхідно встановити іншу частоту, на якій буде випробовуватися насос. При цьому насосний агрегат не вимикаючись перейде на нову швидкість обертання.

5. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ переходить до головного меню.

Як описано у третьому пункті, не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання графічної характеристики (Q – H) насоса виміри за цієї частоти обертання робочого колеса.

Пункт четвертий можна повторювати кілька разів залежно від того, за яких частот обертання буде випробовуватися насос.

6. Після закінчення усіх вимірювань, які були заплановані, короткочасним натисканням кнопки «вниз» насосний агрегат зупиняється, а ПЧ переходить до головного меню, як описано у першому пункті.

7. Після закінчення лабораторної роботи потрібно вимкнути автомат-вимикач, через який підводився струм до установки.

Визначення дослідних величин

Вимірювання напору

Напір насоса визначається за показаннями манометра і значень тиску, які висвічуються на екрані ПЧ. Ці величини повинні бути приблизно однаковими. При цьому величина напору визначається за такою формулою, м:

$$H = \frac{P}{1\,000 \cdot 9,81}, \quad (1.6)$$

де P – тиск, який розвиває насос (за показаннями манометра та сенсора тиску), Па.

Необхідно зазначити, що манометр і сенсор на установці показують тиск у барах, тому їх потрібно привести до потрібних одиниць виміру тиску, Па:

$$1 \text{ бар} \approx 1 \text{ атм} \approx 1 \text{ кгс/см}^2 = 100\,000 \text{ Па}$$

Враховуючи, що величина вакууму на вході у насос і різниця швидкісних напорів на виході та вході в насос знаходяться в межах похибки манометра, який використовується в лабораторній установці, цими величинами можна знехтувати.

Вимірювання подачі насоса

Під час побудови характеристики насоса його подача визначається за допомогою швидкісного крильчастого водоміра (б), який встановлено на напірному трубопроводі.

Для забезпечення точності водоміра необхідно, щоб він був встановлений на прямолінійній ділянці трубопроводу. При цьому довжина прямолінійної ділянки до водоміра повинна бути не менше 5–10 діаметрів труби, а після водоміра – не менше 3–5 діаметрів труби. Недоліком крильчастого водоміра є неможливість реєстрації миттєвих витрат. Водомір працює як лічильник кількості води, що подається насосом. З огляду на це для визначення витрати в л/с, потрібно вимірювати час, за який через водомір проходить якась кількість води, наприклад 50 л або 100 л.

Тоді подачу (продуктивність) відцентрового насоса можна визначити за формулою

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1.7)$$

де W – задана кількість води, що проходить через водомір, л (50 л або 100 л);

t – час, за який проходить ця кількість води, с.

Зміна витрати насоса, а отже, і режиму його роботи, проводиться за допомогою крана (18), який встановлено на напірному трубопроводі (5).

Оформлення результатів випробувань

Результати випробувань за кожної частоти обертання робочого колеса насоса заносяться до таблиці і складаються відповідні протоколи № 2.1, № 2.2, № 2.3 і № 2.4 для різних частот обертання. Бланки протоколів повинні бути підготовлені заздалегідь.

Використовуючи розрахункові формули, проводять обчислення подач і напорів насоса для усіх режимів роботи.

Протокол № 1.1

Випробування відцентрового насоса № 1

«___» _____ 20__ р.

Марка насоса LOWARA марки СЕА 80/5/А; частота обертання – 2 850 об/хв.; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Таблиця 1.1

| № з/п | Виміряні величини | | | | Обчислені величини | | Примітки |
|-------|---------------------|----|---------|---------|--------------------|-----------|----------|
| | $P_{ман} (P_{дат})$ | | W, Л | t, с | H, м. вод. ст. | Q, л/с | |
| | Бар | Па | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

Робочі характеристики $Q - H$ насоса за різних частот обертання робочого колеса будуються в координатній сітці, по осі абсцис якої відкладають подачу насоса Q в л/с, а по осі ординат – напір насоса H в м. вод. ст. Координатна сітка повинна бути однорідною по всьому полю графіка. Оформлюється графік на міліметрівці, і масштаб вибирається таким, щоб графіки вмістилися на одному аркуші. Приклад експериментального графіка для частоти обертання робочого колеса $n = 2\ 650$ об/хв наведений на рисунку 1.9.

На цьому ж графіку необхідно побудувати розрахункові характеристики $(Q - H)$ насоса для трьох інших частот, за яких проводилися випробування. У якості вихідної потрібно взяти характеристику, яку отримали за номінальної швидкості обертання робочого колеса (тобто з частотою струму 50 Гц).

Журнал лабораторної роботи оформлюється на аркушах формату А4 і вміщує титульний аркуш, чотири протоколи випробувань і графічні характеристики насоса.

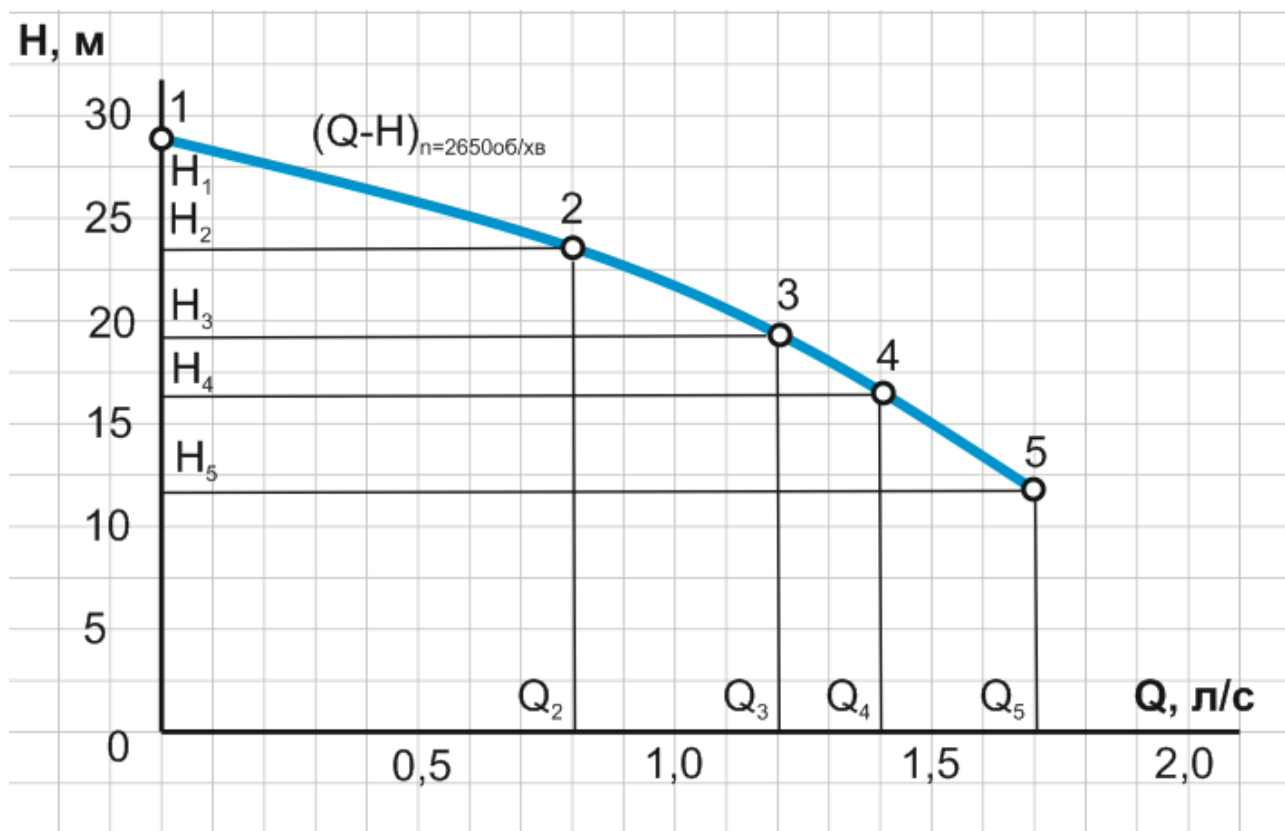


Рисунок 1.9 – Експериментальна характеристика (Q – H) насоса LOWARA з частотою обертання робочого колеса 2 650 об/хв

Лабораторна робота № 3

Зняття характеристик (Q – H) відцентрового насоса № 2 за різних частот обертання робочого колеса

Схема установки для виконання лабораторної роботи

Лабораторна робота № 3 виконується на тій же установці, що і лабораторна робота № 2 (схема і фото представлені на рис. 1.6 і 1.7).

Порядок підготовки до виконання та виконання лабораторної роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи № 3, в якій досліджується насос № 2, аналогічна тій, що проводилася для виконання роботи № 2, коли досліджувався насос № 1. Особливість полягає тільки в тому, що потрібно перемкнути крани для подачі води на насос № 2. З цією метою крани (11) і (12) потрібно закрити, а крани (16) і (17) – відкрити.

Послідовність дій із підготовки ПЧ насосного агрегату № 2 така ж, як і в лабораторній роботі № 2, тільки проводиться вона на відповідному ПЧ.

Визначення дослідних величин

Дослідні величини вимірюються і обчислюються так само, як і під час виконання лабораторної роботи № 2.

Оформлення результатів випробувань

Результати випробувань за кожної частоти обертання робочого колеса насоса заносяться до таблиці і складаються відповідні протоколи № 3.1, № 3.2, № 3.3 і № 3.4 для різних частот обертання. Бланки протоколів повинні бути підготовлені заздалегідь.

Використовуючи розрахункові формули, проводять обчислення подач і напорів насоса для усіх режимів роботи.

Протокол № 1.2

Випробування відцентрового насоса № 2

«___» _____ 20__ г.

Марка насоса LOWARA марки СЕА 80/5/А; частота обертання – 2 850 об/хв.; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Таблиця 1.2

| № з/п | Виміряні величини | | | | Обчислені величини | | Примітки |
|-------|---------------------|----|-----------|-----------|---------------------|-------------|----------|
| | $P_{ман} (P_{дат})$ | | $W,$ л | $t,$ с | $H,$ м. вод. ст. | $Q,$ л/с | |
| | Бар | Па | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| N | | | | | | | |

Робочі характеристики $Q - H$ насоса за різних частот обертання робочого колеса будуються в координатній сітці, по осі абсцис якої відкладають подачу насоса Q в л/с, а по осі ординат – напір насоса H у м. вод. ст. Координатна сітка повинна бути однорідною по всьому полю графіка. Оформлюється графік на міліметрівці, і масштаб вибирається таким, щоб графіки вмістилися на одному аркуші. Приклад експериментального графіка для однієї з частот наведений на рисунку 1.9.

На цьому ж графіку необхідно побудувати розрахункові характеристики $(Q - H)$ насоса для тих частот, за яких проводилися випробування. У якості вихідної необхідно взяти характеристику, яку отримали при номінальній швидкості обертання робочого колеса (тобто при частоті струму 50 Гц).

Журнал лабораторної роботи оформлюється на аркушах формату А4 і вміщує титульний аркуш, чотири протоколи випробувань і графічні характеристики насоса.

Лабораторна робота № 4

Зняття спільних характеристик $(Q - H)$ у разі паралельної роботи двох відцентрових насосів

Необхідно знати, що паралельною роботою відцентрових насосів називається спільна робота декількох насосів на один або декілька напірних

трубопроводів. У разі паралельної роботи насосів певному напору відповідатиме сумарна витрата цих насосів. Спільна робота декількох насосів часто використовується на насосних станціях великої продуктивності, а також у тих випадках, коли необхідне коливання подачі можна забезпечити тією або іншою кількістю паралельно працюючих агрегатів.

У практиці зустрічається паралельна робота двох, трьох, інколи чотирьох або більше відцентрових насосів із однаковими або з різними характеристиками. Збільшення кількості паралельно працюючих насосів не тільки збільшує загальну кількість агрегатів на насосній станції, що приводить до збільшення розмірів машинного залу, ускладнення вузлів комунікацій трубопроводів і незручності в обслуговуванні обладнання, але також дещо збільшує напір і зменшує продуктивність кожного із насосів, що беруть участь у паралельній роботі.

Якщо відомі характеристики $(Q - H)$ кожного із насосів, то сумарна характеристика будується шляхом додавання подач, які розвиваються кожним із насосів у разі однакових напорів. Графічно це виконується так (рис. 1.10).

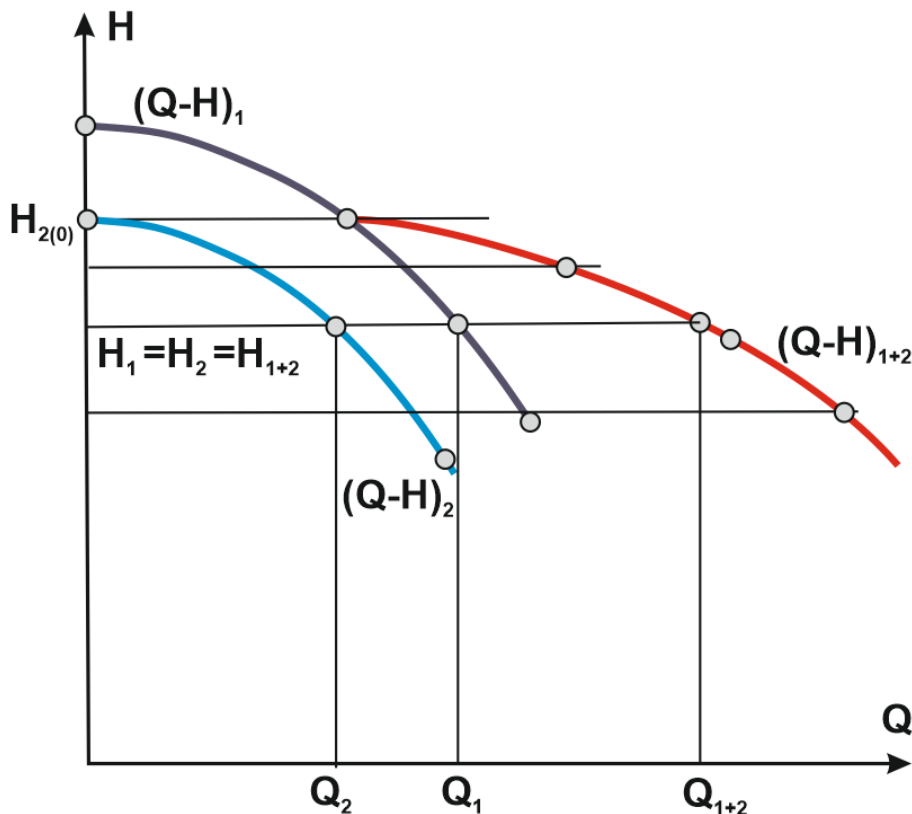


Рисунок 1.10 – Паралельна робота відцентрових насосів

У разі напору H_i проводиться пряма, паралельна осі абсцис (лінія рівних напорів). Визначається, яку подачу розвиває кожен із насосів за цього напору (точки перехрещення проведеної прямої з характеристиками $(Q - H)$ насосів). Ці дві подачі $(Q_1)_i$ і $(Q_2)_i$ додаються, і отримана сума дає спільну подачу двох насосів за цього напору $(Q_{1+2})_i$. Отриману точку з координатами $(Q_{1+2})_i$; H_i наносять на графік. Таким чином отримують низку точок за різних значень напору H_i . Через ці точки проводять плавну криву $(Q - H)_{1+2}$, яка і буде сумарною характеристикою двох насосів у разі паралельної роботи.

Схема установки для виконання лабораторної роботи

Лабораторна робота № 4 виконується на тій же установці, що і лабораторні роботи № 2 і № 3 (схема і фото подані на рис. 1.6 і 1.7).

Порядок підготовки до виконання та виконання лабораторної роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи № 4, в якій досліджується паралельна робота насосів № 1 і № 2, полягає у виставленні потрібних параметрів на ПЧ кожного із насосів та у відповідному перемиканні кранів. При цьому кран (14) повинен бути закритим, а решта (крім 19) – відкриті.

Послідовність дій із підготовки ПЧ кожного насосного агрегата така сама, як і в лабораторній роботі № 2, тільки проводиться вона на відповідному ПЧ.

Для установки потрібних параметрів ПЧ і пуску – зупинки насосного агрегата потрібно дотримуватися такої послідовності:

1. Під час подачі живлення обидва ПЧ встановлюються у вихідне положення (головне меню), а на екранах висвічуються повідомлення:

| | |
|---------|----------|
| Частота | 0,0 Гц |
| Стоп | 0,00 бар |

2. Короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ на насосі № 1 переходить до стану:

| | |
|----|----------------------|
| 02 | 02 Частота приводу 1 |
| D2 | X,XX Гц |

У цьому положенні кнопками «вверх» або «вниз» необхідно встановити частоту 50 Гц, на якій повинен працювати цей насос.

3. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 1 переходить до головного меню.

4. Короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ на насосі № 2 переходить до стану:

| | |
|----|----------------------|
| 02 | 02 Частота приводу 1 |
| D2 | X,XX Гц |

У цьому положенні кнопками «вверх» або «вниз» необхідно встановити потрібну частоту, на якій повинен працювати цей насос. Спочатку проводяться вимірювання за однакових частот (50 Гц) для обох насосів. У подальшому частота для насоса № 1 залишається незмінною (50 Гц), а для насоса № 2 змінюється.

5. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 2 переходить до головного меню.

6. Короткочасним натисканням кнопок «вверх» на обох ПЧ запускаються обидва насосні агрегати, які виходять кожен на свою задану частоту. При цьому

на екранах висвічуються значення частот струму і тисків (у барах), які створюють насоси.

Не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання сумарної характеристики (Q–H) насосів виміри за вибраних частот обертання робочих коліс. Для цього, зариваючи або відкриваючи кран (18) на напірному трубопроводі, змінюють сумарну подачу насосів. За кожного положення крана вимірюють подачу і відповідний їй тиск (напір) насосів.

7. Після проведення достатньої кількості вимірювань, не вимикаючи насосні агрегати, короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ насоса № 2 переходить до стану, який описано у четвертому пункті.

Натискуючи кнопки «вверх» або «вниз» потрібно встановити іншу частоту, на якій буде працювати цей насос. При цьому насосний агрегат не вимикаючись перейде на нову швидкість обертання.

8. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 2 переводиться до головного меню.

Як описано у шостому пункті, не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання сумарної характеристики (Q – H) насосів виміри за цих частот обертання робочих коліс.

Пункт 7-ий можна повторити кілька разів залежно від того, за яких частотах обертання будуть випробовуватися насоси.

9. Після закінчення усіх вимірювань, які були заплановані, короткочасним натисканням кнопок «вниз» на ПЧ обох насосних агрегатів вони зупиняються, а ПЧ переходять до головного меню, який описано у першому пункті.

10. Після закінчення лабораторної роботи потрібно вимкнути автомат-вимикач, через який підводився струм до установки.

Визначення дослідних величин

Дослідні величини вимірюються і обчислюються так само, як і під час виконання лабораторної роботи № 2.

Оформлення результатів випробувань

Результати випробувань паралельної роботи двох насосів, за кожної комбінації частот обертання робочих коліс насосів заносяться до таблиці і складаються відповідні протоколи № 4.1, № 4.2, № 4.3...№ 4.8 для різних комбінацій частот обертання. Бланки протоколів повинні бути підготовлені заздалегідь.

Використовуючи розрахункові формули, проводять обчислення подач і напорів насосів для усіх режимів роботи.

Протокол № 1.3

Випробування двох паралельно працюючих насосів

«_____» _____ 20____ г.

Насос №1 – LOWARA марки CEA 80/5/A; частота обертання – 2 850 об/хв.; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Насос №2 – LOWARA марки СЕА 80/5/А; частота обертання – 2 850 об/хв.; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Таблиця 1.3

| № з/п | Виміряні величини | | | | Обчислені величини | |
|-------|--|----|--|----|--------------------|--------|
| | Насос № 1 | | Насос № 2. | | W, л | t, с |
| | P _{1ман} (P _{1дат}) | | P _{2ман} , (P _{2дат}) | | | |
| | Бар | Па | Бар | Па | Н, м. вод. ст. | Q, л/с |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| ... | | | | | | |
| n | | | | | | |

Побудова робочої характеристики (Q – H) у разі паралельної роботи двох насосів за обчисленими даними аналогічна побудові подібної характеристики у лабораторних роботах № 2 і № 3.

Крім того, необхідно на цьому ж графіку нанести характеристики (Q – H) насоса № 1 і насоса № 2 (перенести з лабораторних робіт № 2 і № 3) та побудувати для порівняння теоретичні характеристики (Q – H) паралельної роботи двох насосів.

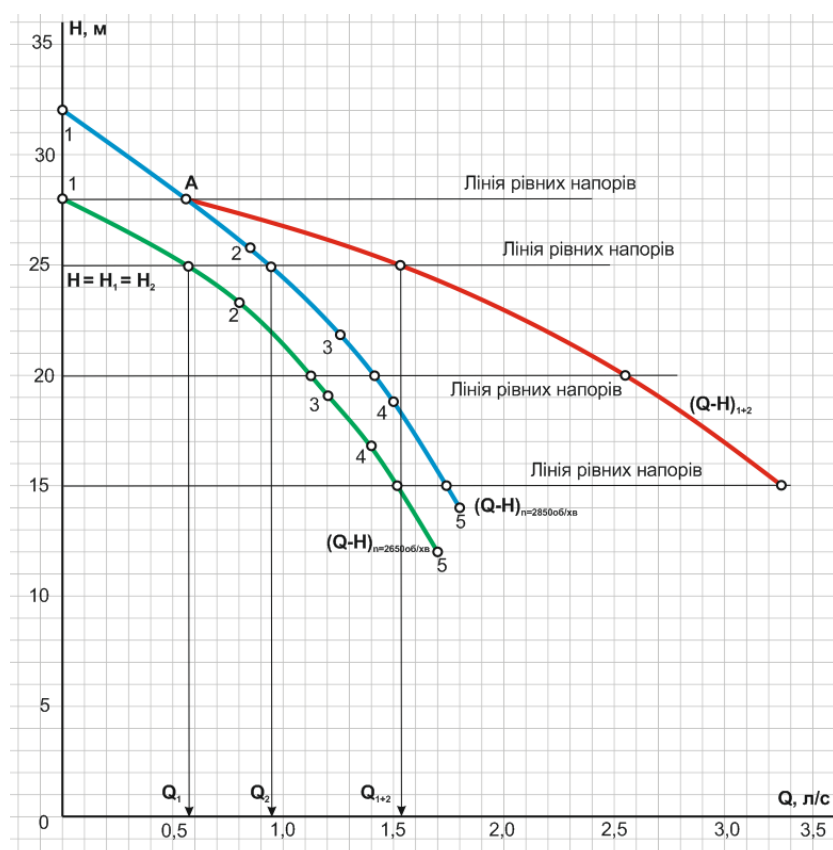


Рисунок 1.11 – Побудова спільної характеристики насосів із різними частотами обертання у разі їхнього паралельного ввімкнення

Приклад такої побудови для насосів LOWARA з частотами обертання $n = 2\ 850$ об/хв (насос № 1) і $n = 2\ 650$ об/хв (насос № 2) показаний на рисунку 1.11.

Журнал лабораторної роботи оформлюється на аркушах формату А4 і вміщує титульний аркуш, 8 протоколів випробувань і графічні характеристики сумісної паралельної роботи насосів (експериментальні та теоретичні).

Лабораторна робота № 5

Зняття спільних характеристики (Q – H) у разі послідовної роботи двох відцентрових насосів

Послідовна робота насосів використовується в тих випадках, коли один насос не може забезпечити необхідний напір.

Послідовна робота відцентрових насосів полягає у спільній роботі декількох насосів, за якої перший насос бере воду із резервуара і подає її у всмоктувальний патрубок другого насоса, а останній – у напірний трубопровід. При цьому сумарна подача усіх насосів дорівнює подачі одного (першого) насоса (тому що тільки він бере воду із резервуара), а сумарний напір насосів буде дорівнювати сумі напорів усіх насосів, що працюють послідовно.

У практиці може зустрічатися послідовна робота відцентрових насосів із однаковими або з різними характеристиками.

Для побудови сумарної характеристики насосів, які працюють послідовно, необхідно скласти ординати характеристик Q – H цих насосів у разі однакових подач (рис. 1.12). Тобто спільний напір, який створюють насоси у разі послідовної роботи, дорівнює сумі напорів, які створюють окремі насоси за однакових подач. У випадку послідовної роботи двох однакових насосів ординати характеристики Q – H подвоюються.

Послідовність дій із підготовки ПЧ кожного насосного агрегата така ж, як і в лабораторній роботі № 2, тільки проводиться вона на відповідному ПЧ.

Для установки потрібних параметрів ПЧ і пуску – зупинки насосного агрегату необхідно дотримуватися такої послідовності:

1. Під час подачі живлення обидва ПЧ встановлюються у вихідне положення (головне меню), а на екранах висвічуються повідомлення:

| | | |
|--|---------|----------|
| | Частота | 0,0 Гц |
| | Стоп | 0,00 бар |

2. Короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ на насосі № 1 переходить до стану:

| | |
|----|----------------------|
| 02 | 02 Частота приводу 1 |
| D2 | X,XX Гц |

У цьому положенні кнопками «вверх» або «вниз» необхідно встановити частоту 50 Гц, на якій повинен працювати цей насос.

3. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 1 переходить до головного меню.

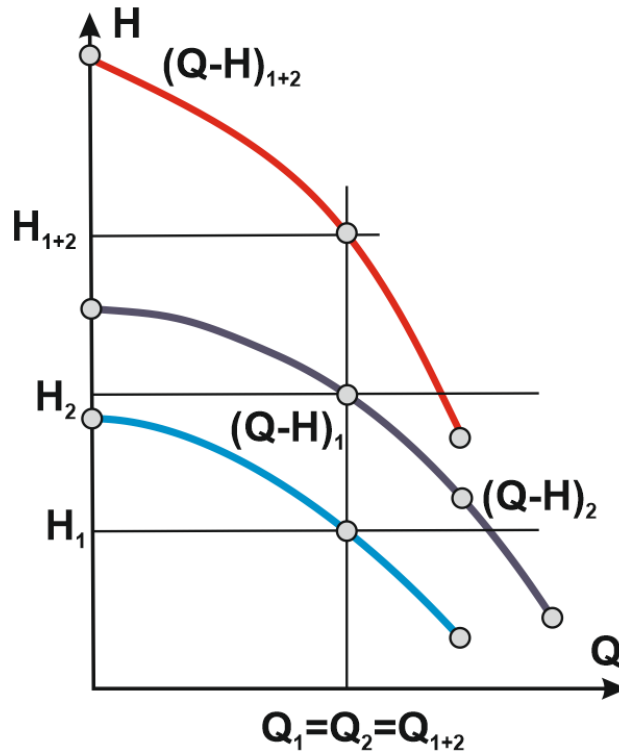


Рисунок 1.12 – Послідовна робота відцентрових насосів

Схема установки для виконання лабораторної роботи

Лабораторна робота № 5 виконується на тій же установці, що і лабораторна робота № 2 (схема і фото подані на рис. 1.6 і 1.7).

Порядок підготовки до виконання та виконання лабораторної роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи № 5, у якій досліджується послідовна робота насосів № 1 і № 2, полягає у виставленні потрібних параметрів на ПЧ кожного із насосів та у відповідному перемиканні кранів. При цьому крани (13), (15) і (19) повинні бути закритими, а решта – відкриті.

4. Короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ на насосі № 2 переходить до стану:

| | |
|----|----------------------|
| 02 | 02 Частота приводу 1 |
| D2 | X,XX Гц |

У цьому положенні кнопками «вверх» або «вниз» необхідно встановити потрібну частоту, на якій повинен працювати цей насос. Спочатку проводяться вимірювання за однакових частот (50 Гц) для обох насосів. У подальшому частота для насоса № 1 залишається незмінною (50 Гц), а для насоса № 2 змінюється.

5. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 2 переводиться до головного меню.

6. Короткочасним натисканням кнопок «вверх» на обох ПЧ запускаються обидва насосні агрегати, які виходять кожен на свою задану частоту. При цьому

на екранах висвічуються значення частот струму і тисків (у барах), які створюють насоси.

Не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання сумарної характеристики (Q – H) насосів виміри за вибраних частот обертання робочих коліс. Для цього, закриваючи або відкриваючи кран (18) на напірному трубопроводі, змінюють подачу насосів. За кожного положення крана вимірюють подачу і відповідний їй тиск (напір) насосів.

7. Після проведення достатньої кількості вимірювань, не вимикаючи насосні агрегати, короткочасним натисканням кнопки «вправо» ПЧ насоса № 2 переводиться до стану, який описано у четвертому пункті.

Натискуючи кнопки «вверх» або «вниз» потрібно встановити іншу частоту, на якій буде працювати цей насос. При цьому насосний агрегат не вимикаючись перейде на нову швидкість обертання.

8. Короткочасним натисканням кнопки «вліво» ПЧ насоса № 2 переходить до головного меню.

Як описано у шостому пункті, не змінюючи налаштувань ПЧ, проводять усі необхідні для отримання сумарної характеристики (Q–H) насосів виміри за цих частот обертання робочих коліс.

Пункт 7-ий можна повторити кілька разів залежно від того, за яких частотах обертання будуть випробовуватися насоси.

9. Після закінчення усіх вимірювань, які були заплановані, короткочасним натисканням кнопок «вниз» на ПЧ обох насосних агрегатів вони зупиняються, а ПЧ переходять до головного меню, який описано у першому пункті.

10. Після закінчення лабораторної роботи необхідно вимкнути автомат-вимикач, через який підводився струм до установки.

Визначення дослідних величин

Дослідні величини вимірюються і обчислюються так само, як і під час виконання лабораторної роботи № 2. При цьому тиск вимірюється після другого насоса.

Оформлення результатів випробувань

Результати випробувань послідовної роботи двох насосів за кожної комбінації частот обертання робочих коліс насосів заносяться до таблиці і складаються відповідні протоколи № 5.1, № 5.2, № 5.3 і № 5.4 для різних комбінацій частот обертання. Бланки протоколів повинні бути підготовлені заздалегідь.

Використовуючи розрахункові формули, проводять обчислення подач і напорів насосів для усіх режимів роботи.

Протокол № 1.4

Випробування двох послідовно працюючих насосів

«___» _____ 20__ г.

Насос № 1 – LOWARA марки СЕА 80/5/А; частота обертання – 2 850 об/хв; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Насос № 2 – LOWARA марки СЕА 80/5/А; частота обертання – 2 850 об/хв; частота струму – 50 Гц; робоча рідина – вода.

Таблиця 1.4

| № з/п | Виміряні величини | | | Обчислені величини | | Примітки | |
|-------|-----------------------|----|--------|--------------------|------------------|----------|----------|
| | $P_{2ман} (P_{2дат})$ | | $W, Л$ | $t, с$ | $H, м. вод. ст.$ | | $Q, л/с$ |
| | Бар | Па | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

Побудова робочої характеристики (Q – H) у разі послідовної роботи двох насосів за обчисленими даними аналогічна побудові подібної характеристики у лабораторних роботах № 2, № 3 і № 4.

Крім того, необхідно на цьому ж графіку нанести характеристики (Q – H) першого та другого насосів (перенести з лабораторних робіт № 2 і № 3) та побудувати для порівняння теоретичну характеристику (Q – H) послідовної роботи двох насосів.

Приклад такої побудови для насосів LOWARA з частотами обертання $n = 2\ 850$ об/хв (насос № 1) і $n = 2\ 650$ об/хв (насос № 2) показаний на рисунку 1.13.

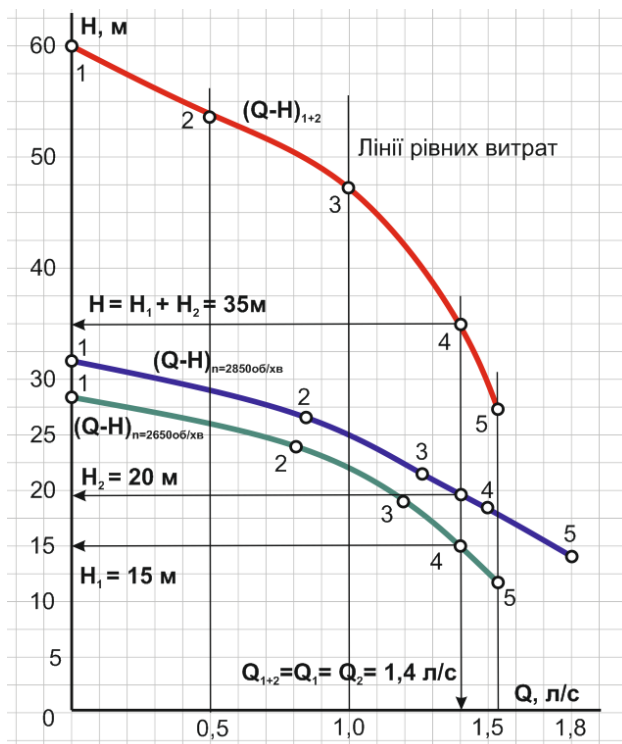


Рисунок 1.13 – Побудова спільної характеристики насосів із різними частотами обертання під час їхнього послідовного ввімкнення

Журнал лабораторної роботи оформлюється на аркушах формату А4 і вміщує титульний аркуш, 4 протоколи випробувань і графічні характеристики спільної паралельної роботи насосів (експериментальні та теоретичні).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Завдання № 1

Сумісна робота насосів і трубопроводної мережі

Насос із номінальним діаметром робочого колеса перекачує воду за напірним трубопроводом (рис. 1.14) із всмоктувального резервуара у напірний (рівні води в резервуарах є постійними). Коефіцієнт опору системи трубопроводів S (для розмірності витрати $\text{м}^3/\text{год}$). Величиною необхідного вільного напору можна знехтувати. Визначити подачу насоса Q , його напір H , споживану потужність N , кавітаційний запас Δh і ККД η . Характеристики насоса необхідно обирати за номінального діаметра робочого колеса. Варіанти насосів обирати за даними таблиці А.1 додатка А.



Рисунок 1.14 – Схема для самостійного завдання № 1

Порядок розв'язання завдання

1. Проводимо пошук у відкритих джерелах інформацію про характеристики заданого насоса.
2. Будуємо поле координат і переносимо характеристики $(Q - H)$, $(Q - N)$, $(Q - \eta)$ і $(Q - \Delta h)$ насоса з каталогу (відкритого джерела) на своє поле в масштабі.
3. Будуємо характеристику трубопроводу шляхом підстановки у рівняння характеристики довільних значень Q (5–6 точок) і отримання відповідних їм значень H до перехрещення характеристики трубопроводу з характеристикою $(Q - H)$ насоса. Точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавною кривою. Методику побудови графічної характеристики трубопроводу розглянуто у межах теми 4 лекційного курсу і практичних занять № 6 і № 7. Розрахунок зручно проводити у табличній формі.
4. Визначаємо координати Q і H робочої точки системи А (точки перехрещення характеристики трубопроводу з характеристикою $(Q - H)$ насоса).

5. За отриманим значенням витрати системи Q з характеристик насоса визначаємо значення його робочих параметрів H , N і $KКД$. Приклад оформлення результатів побудови наведено на рисунку 1.15.

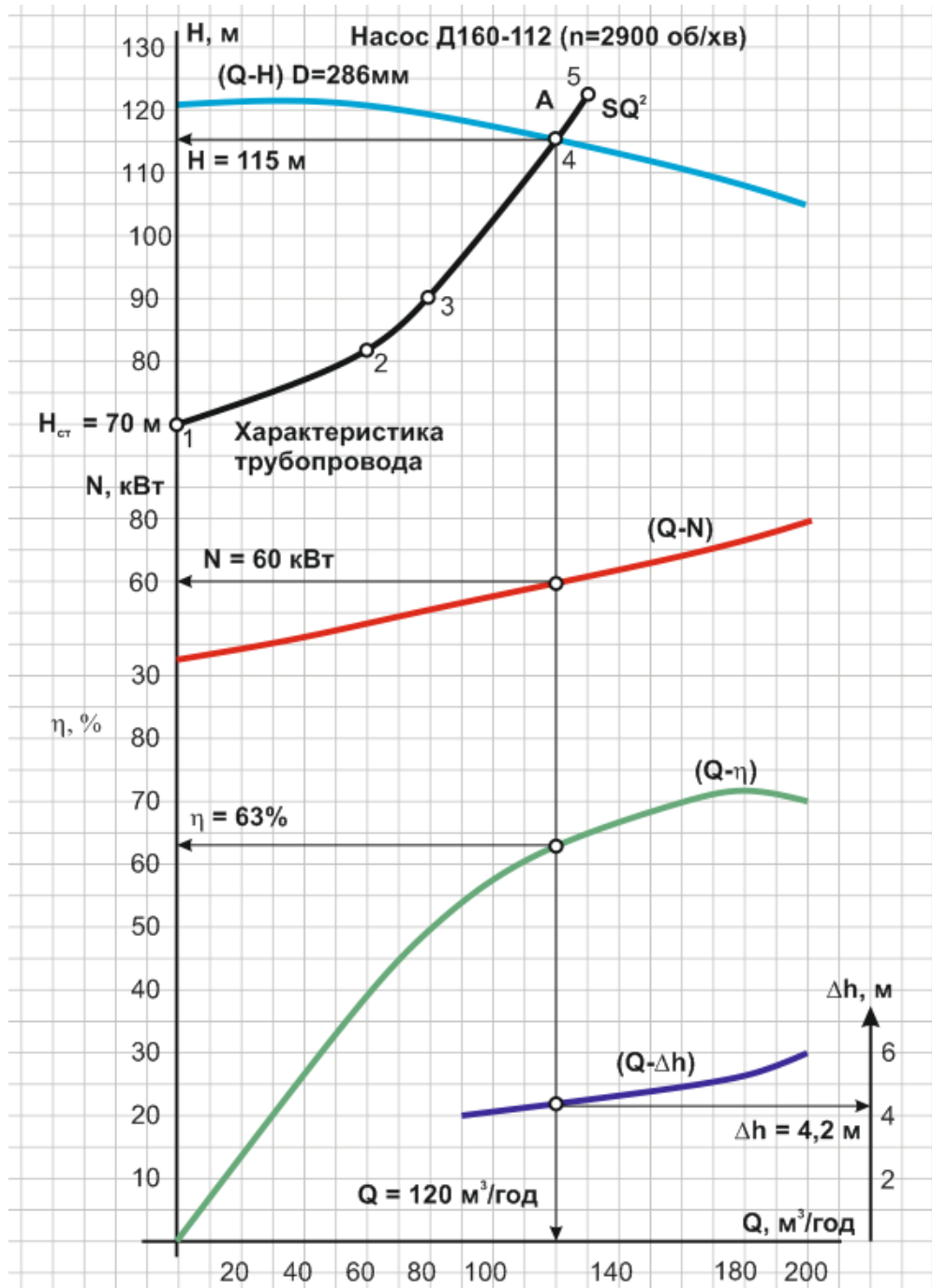


Рисунок 1.15 – Приклад побудови спільної характеристики роботи насоса і системи трубопроводів

Завдання № 2

Розрахунок заглиблення машинного залу насосної станції

Визначити заглиблення насосної станції I підйому I категорії надійності дії роздільного типу під час відбору води з поверхневого джерела, якщо відомо: вибраний насос перекачує витрату Q , м³/год. Повні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі складають $h_{вс}$, м. Мінімальна відмітка рівня

води у всмоктувальній камері водозабору Z_{min} , м а відмітка рівня землі коло насосної – Z_3 , м. Всмоктувальний і напірний колектори станції розміщені за межами машинного залу станції. Вихідні дані для завдання наведені у таблиці А.2 додатка А.

Порядок розв'язання завдання

1. Обираємо варіант схеми розміщення насосів відносно рівня води у всмоктувальній камері водозабору за ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, п. 11.3.

2. Проводимо пошук у відкритих джерелах інформації щодо геометричних розмірів і графічних характеристик заданого насосного агрегата. Приклад конструктивного креслення насоса наведений на рисунку 1.16.

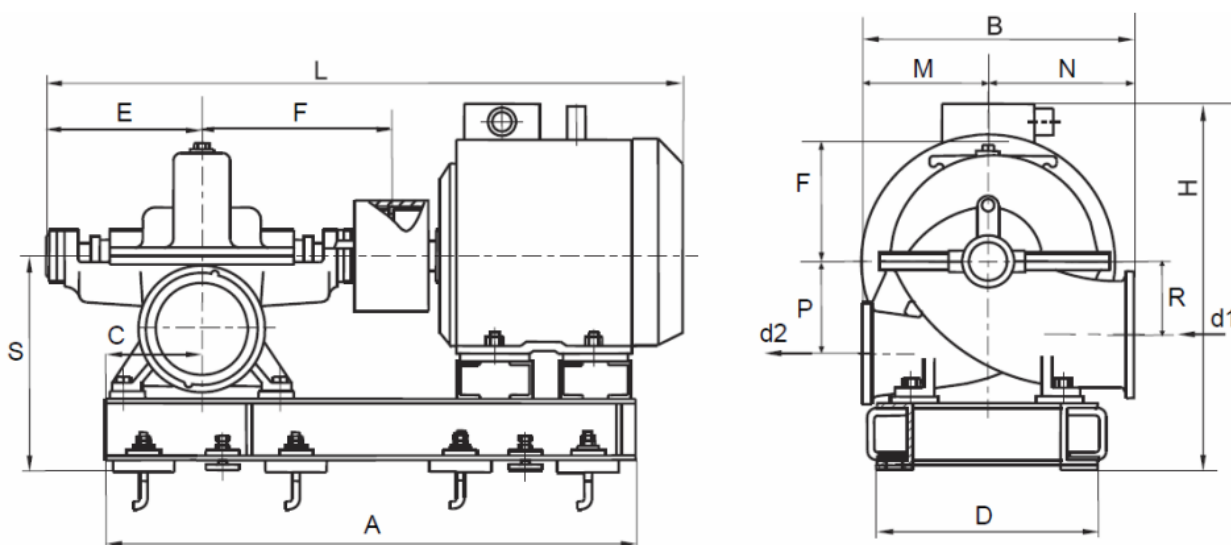


Рисунок 1.16 – Конструктивні креслення насоса

3. Розраховуємо геодезичну позначку осі насоса з урахуванням його розташування «під заливом» відносно мінімального рівня води у всмоктувальній камері водозабору. Схема визначення позначки осі насоса наведена на рисунку 1.17. Розрахунок проводити за такою формулою:

$$Z_{в.н.} = Z_{min} - h_{кр} - (0,3 \div 0,5\text{м}), \quad (1.8)$$

де $h_{кр}$ – висота кришки насоса (відстань від верхньої частини корпусу до його осі), м. На рисунку 1.16 показана літерою F. За браком даних про цю величину, для попередніх розрахунків її можна обирати рівною половині діаметра робочого колеса ($D_{р.к.}/2$).

4. Проведемо перевірку на можливість виникнення кавітаційних явищ шляхом розрахунку позначки осі насоса з урахуванням геометричної висоти всмоктування. Визначимо величину геометричної висоти всмоктування за такою формулою, м:

$$Z_{в.н.} = Z_{min} + H_{г.в.}, \quad (1.9)$$

$$H_{г.в.} = H_a - \Delta h - h_t - h_{вс} - \frac{V_{вс.п.}^2}{2g}, \quad (1.10)$$

де $H_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск у місцевості, де планується розміщувати насос, м;
 h_t – тиск насиченої пари води, що перекачується, м (температуру води, що перекачується для цього завдання можна обрати $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 $V_{\text{в.п.}}$ – швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса, м/с;
 Δh – кавітаційний запас насоса, м.

Величини $H_{\text{атм}}$, h_t і $V_{\text{в.п.}}$, а також методика їх визначення розглядалися в межах практичного заняття № 3. Кавітаційний запас Δh обираємо за характеристиками насоса залежно від його продуктивності Q , м³/год. Приклад визначення величини кавітаційного запасу залежно від заданої продуктивності насоса наведено на рисунку 1.18.

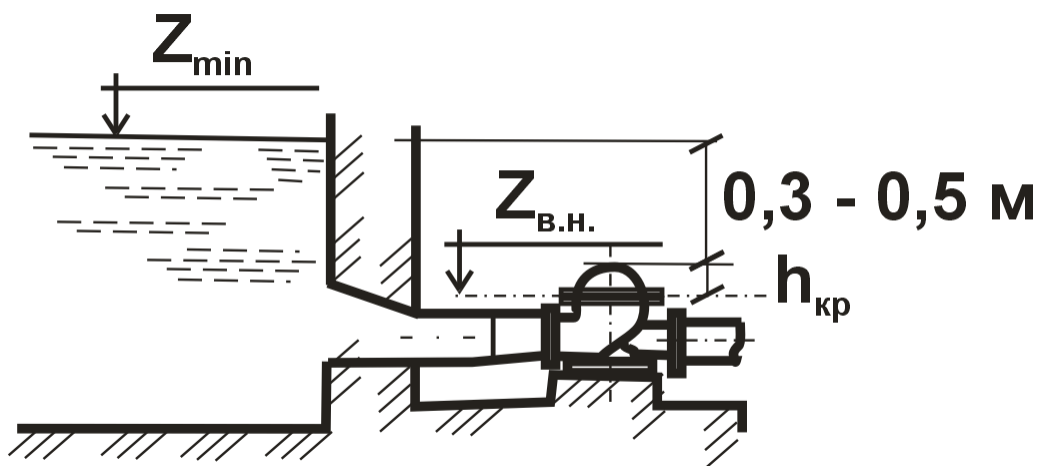


Рисунок 1.17 – Визначення позначки осі насоса за умови його розташування «під заливом»

5. З отриманих значень позначки (п. 3 і п. 4) вибираємо найменшу.

6. Визначаємо діаметри всмоктувального і напірного трубопроводів насоса всередині машинного залу, знаючи продуктивність насоса Q , м³/год і рекомендовані швидкості руху води (ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, п. 11.8, табл. 36 і п. 11.12).

7. Використовуючи конструктивні креслення насоса, розраховані діаметри всмоктувальної і напірної труби, допустимі відстані (ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, п. 12.65) і можливе розташування фасонних частин (переходів) розраховуємо позначку підлоги машинного залу станції: з боку всмоктувальних труб, з боку насоса і з боку напірних труб. Схема для розрахунку позначки рівня підлоги показана на рисунку 1.19.

$$Z_{\text{п1}} = Z_{\text{в.н.}} - R + d_{\text{в.п.}}/2 - d_{\text{вс}} - h, \quad (1.11)$$

$$Z_{\text{п2}} = Z_{\text{в.н.}} - P - d_{\text{н.п.}}/2 - h, \quad (1.12)$$

$$Z_{\text{п3}} = Z_{\text{в.н.}} - S - h_{\text{ф}}, \quad (1.13)$$

де S – висота рами насоса, тобто відстань від його осі до верху фундаменту, м;

P – відстань від осі насоса до осі напірного патрубку, м;

R – відстань від осі насоса до осі всмоктувального патрубку, м;

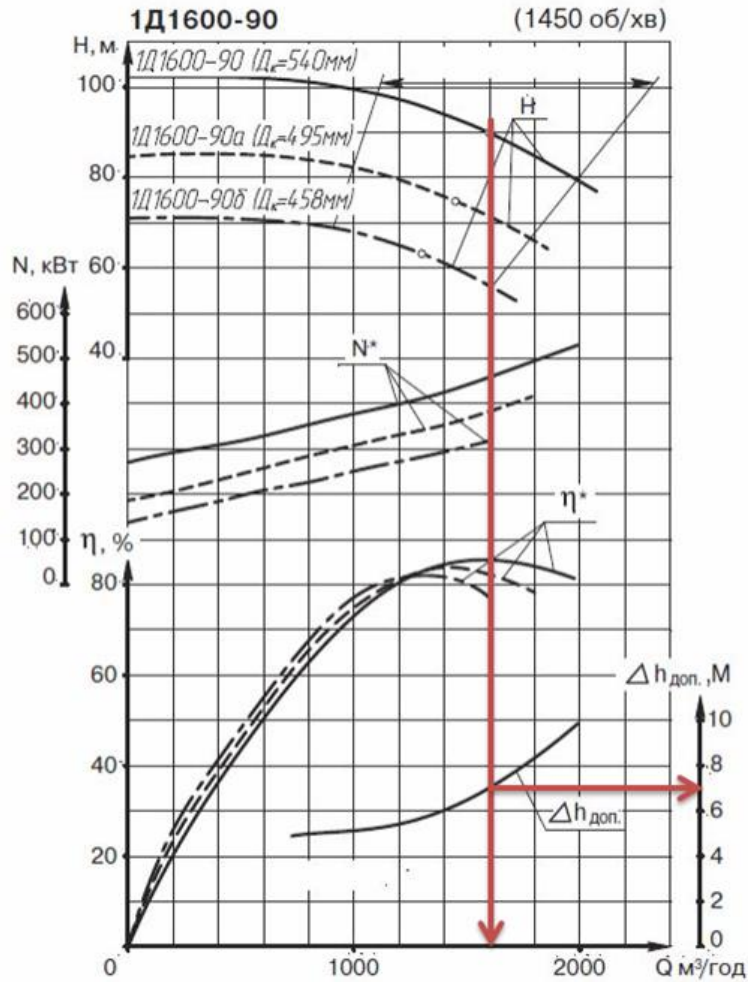


Рисунок 1.18 – Визначення величини кавітаційного запасу Δh залежно від продуктивності насоса Q

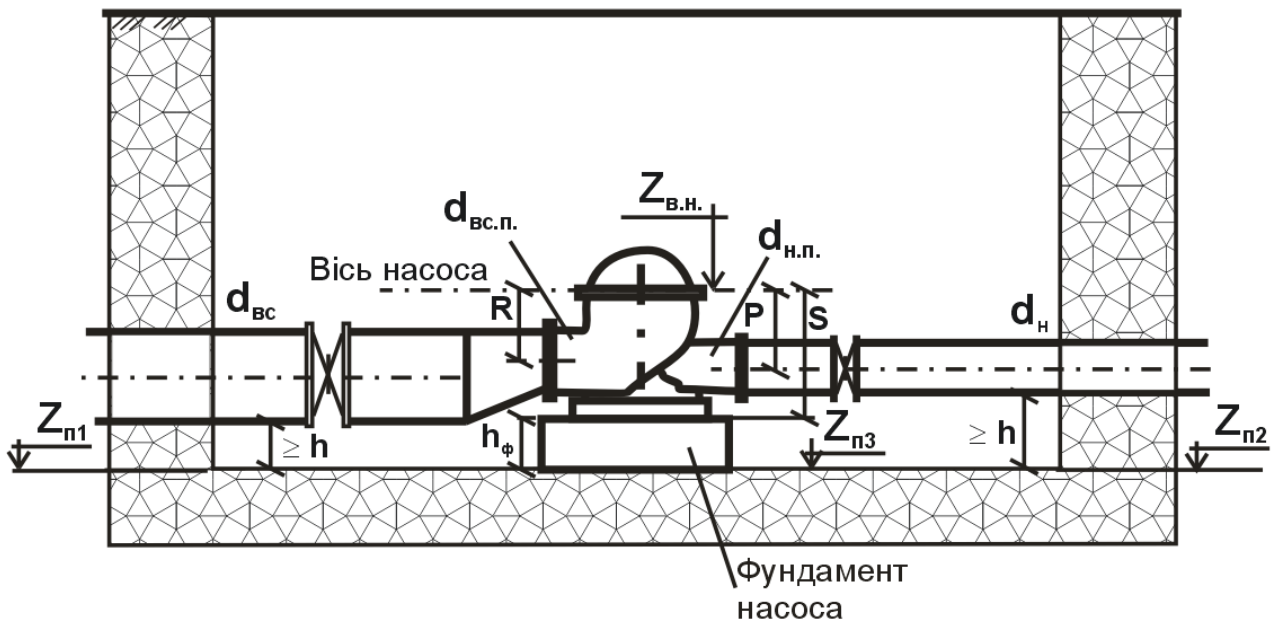


Рисунок 1.19 – Визначення позначки рівня підлоги $Z_{п}$ машинного залу насосної станції

$d_{н.н}$ і $d_{вс.н}$ – відповідно діаметри напірного і всмоктувального патрубків насоса, м;

d_n і $d_{вс}$ – відповідно діаметри напірного і всмоктувального трубопроводів, м;

h – нормативна мінімальна відстань від низу труби до рівня підлоги станції, м;

h_{ϕ} – висота фундаменту під насосний агрегат, м (для умов завдання можна обирати $h_{\phi} = 200$ мм).

З отриманих значень рівня підлоги $Z_{п}$ вибираємо найменше значення.

Розраховуємо необхідне заглиблення насосної станції як різницю рівня поверхні землі в місці будівництва і розрахованої позначки рівня підлоги $Z_{п}$.
Схема визначення заглиблення станції показана на рисунку 1.20.

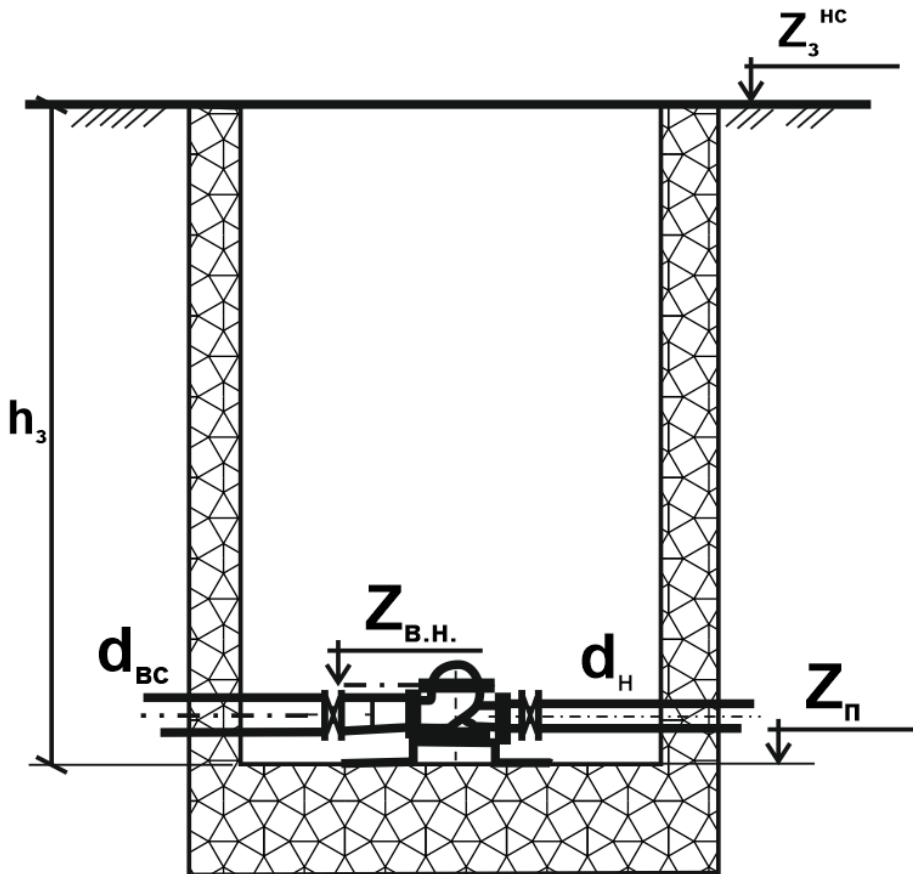


Рисунок 1.20 – Розрахунок заглиблення машинного залу станції

Завдання № 3

Визначення висоти наземної частини будівлі насосної станції

Визначити висоту наземної частини будівлі і вибрати вантажно-підйомне обладнання напівзаглибленої насосної станції, якщо відомо: на станції встановлені *насоси*, всмоктувальні трубопроводи обладнані засувками $d_{всм}$, мм, а напірні – $d_{нан}$, мм. Ширина будівлі складає B , м, довжина, L , м, заглиблення, h , м. Вихідні дані для завдання подані у таблиці А.3 додатка А.

Порядок розв'язання завдання

1. З відкритих джерел збираємо інформацію щодо габаритних розмірів і маси встановленого обладнання, а також графічних характеристик насоса. Під час вибору арматури необхідно взяти до уваги максимально можливий тиск у трубопроводах і те, що засувки обираються з електроприводом. Схеми з конструктивними розмірами насосів і арматури показані на рисунках 1.21 і 1.22. Дані результатів збору інформації зручно подати у вигляді таблиці 1.5.

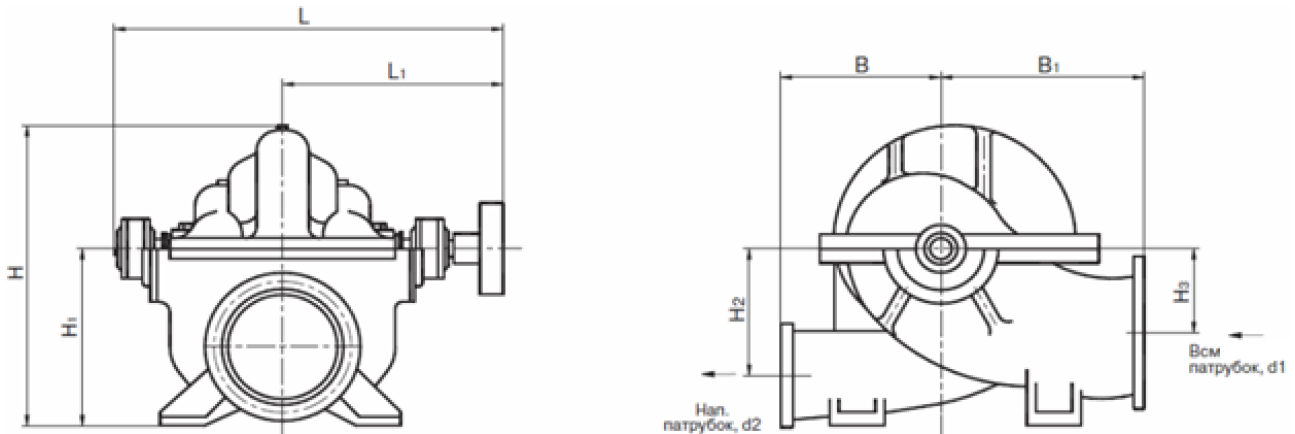


Рисунок 1.21 – Конструктивні розміри насоса

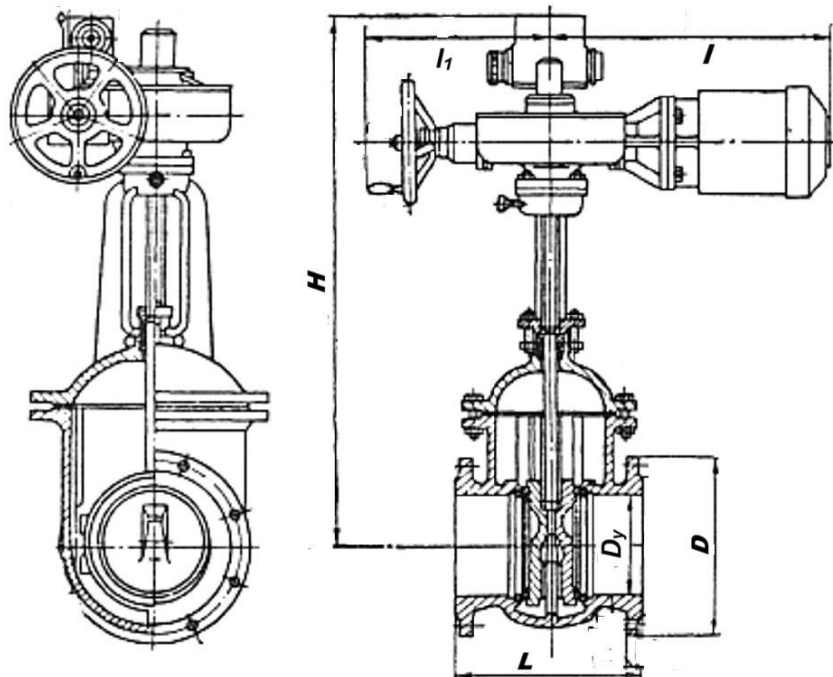


Рисунок 1.22 – Конструктивні розміри засувки з електроприводом

2. Обираємо транспортний засіб для перевезення вантажу і мінімальні розміри монтажного майданчика. Вибір проводимо за даними відкритих джерел або за даними таблиці 1.6. Під час вибору транспортного засобу необхідно взяти до уваги максимальну масу вантажу і його найбільші габаритні розміри (табл. 1.5). Дані заносимо у таблицю 1.7.

Таблиця 1.5 – Відомість установленого обладнання

| Обладнання | Маса, кг | Габарити, мм | | |
|---|----------|--------------|---------|--------|
| | | Висота | Довжина | Ширина |
| Насос | | | | |
| Всмоктувальна засувка, марка, d , мм; P , МПа | | | | |
| Напірна засувка, марка, d , мм; P , МПа | | | | |

Таблиця 1.6 – Характеристики транспортних засобів і мінімальні розміри монтажного майданчика

| Марка автомобіля | УАЗ-451М | ГАЗ-51А | ЗИЛ-130 | МАЗ-500 | КрАЗ-257 |
|--|----------|---------|---------|---------|----------|
| Вантажопідйомність, т | 1 | 2,5 | 5 | 8 | 12 |
| Розміри автомобіля, мм: | | | | | |
| – довжина | 4 360 | 5 730 | 8 680 | 7 140 | 9 660 |
| – ширина | 1 940 | 2 250 | 2 500 | 2 500 | 2 650 |
| – висота | 2 070 | 2 130 | 2 400 | 2 650 | 2 620 |
| Розміри платформи (кузова), мм: | | | | | |
| – довжина | 2 730 | 3 070 | 3 750 | 4 810 | 5 770 |
| – ширина | 1 820 | 2 070 | 2 330 | 2 480 | 2 480 |
| – висота | 700 | 1 200 | 1 370 | 1 500 | 1 520 |
| Мінімальні розміри монтажної площадки, мм: | | | | | |
| – довжина | 3 430 | 3 770 | 4 450 | 5 510 | 6 000 |
| – ширина | 3 220 | 3 470 | 3 720 | 3 880 | 3 880 |

За даними відкритих джерел вибираємо вантажно-підйомне обладнання. Під час вибору необхідно взяти до уваги масу обладнання, проліт (ширину будівлі) і необхідність застосування електричного приводу (ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, п. 14.3, п. 14.4). Приклад схеми електричної кран-балки (балочного крану) показаний на рисунку 1.23.

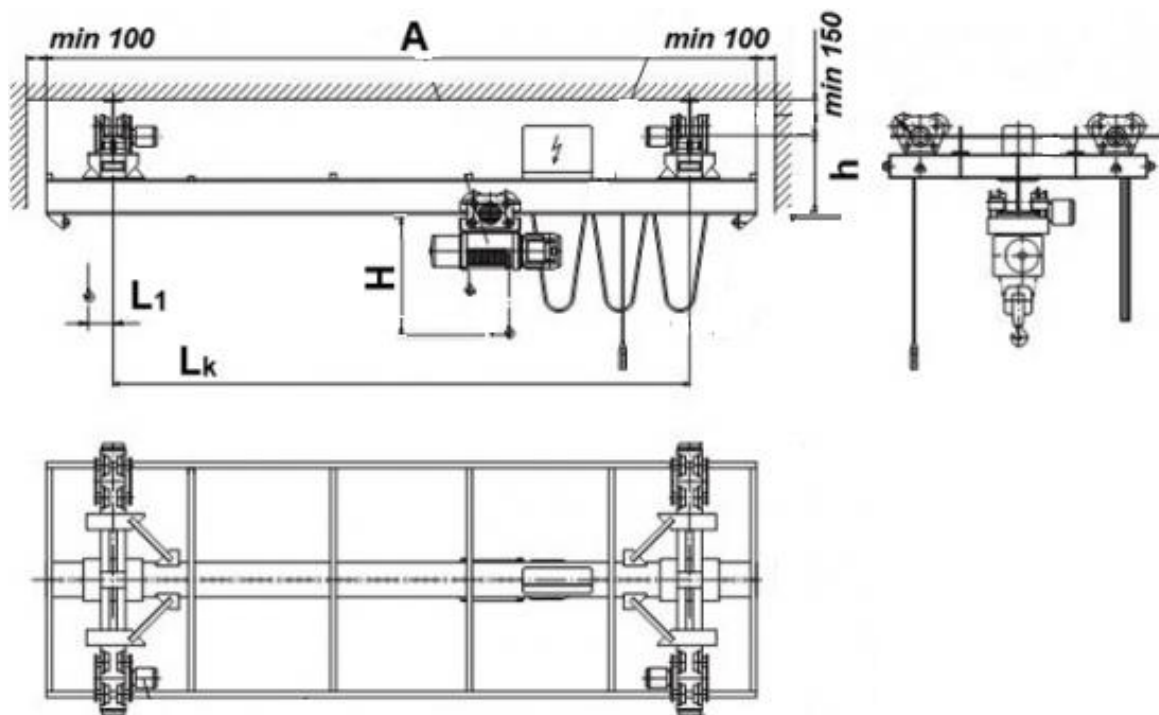


Рисунок 1.23 – Конструктивні розміри електроприводного балочного крану

Таблиця 1.7 – Відомості про транспортний засіб і розміри монтажного майданчика

| | |
|--|--|
| Транспортний засіб | |
| Вантажопідйомність, т | |
| Розміри платформи (кузова), мм | |
| Довжина | |
| Ширина | |
| Висота | |
| Мінімальні розміри монтажного майданчика, мм | |
| Довжина | |
| Ширина | |

3. Розраховуємо висоту наземної частини будівлі насосної станції за такою формулою, м:

$$H_{\text{буд}} = h_{\text{тр}} + 0,3 + h_{\text{в}} + h_{\text{с}} + h_{\text{кр}} \quad (1.14)$$

де $h_{\text{тр}}$ – висота платформи транспортного засобу, м (табл. 2.3);

$h_{\text{в}}$ – висота найвищого вантажу, м (табл. 2.1);

$h_{\text{с}}$ – довжина строп крану, м (можна обирати $h_{\text{с}} = 0,5-1,0$ м);

$h_{\text{кр}}$ – висота крану (відстань від низу крюка в стягнутому вигляді до низу балок перекриття), м (за схемою на рис. 1.23, $h_{\text{кр}} = h + H$).

Отримане число округлюємо до найбільшого кратного 1,2 м.

Схема визначення висоти наземної частини станції показана на рисунку 1.24.

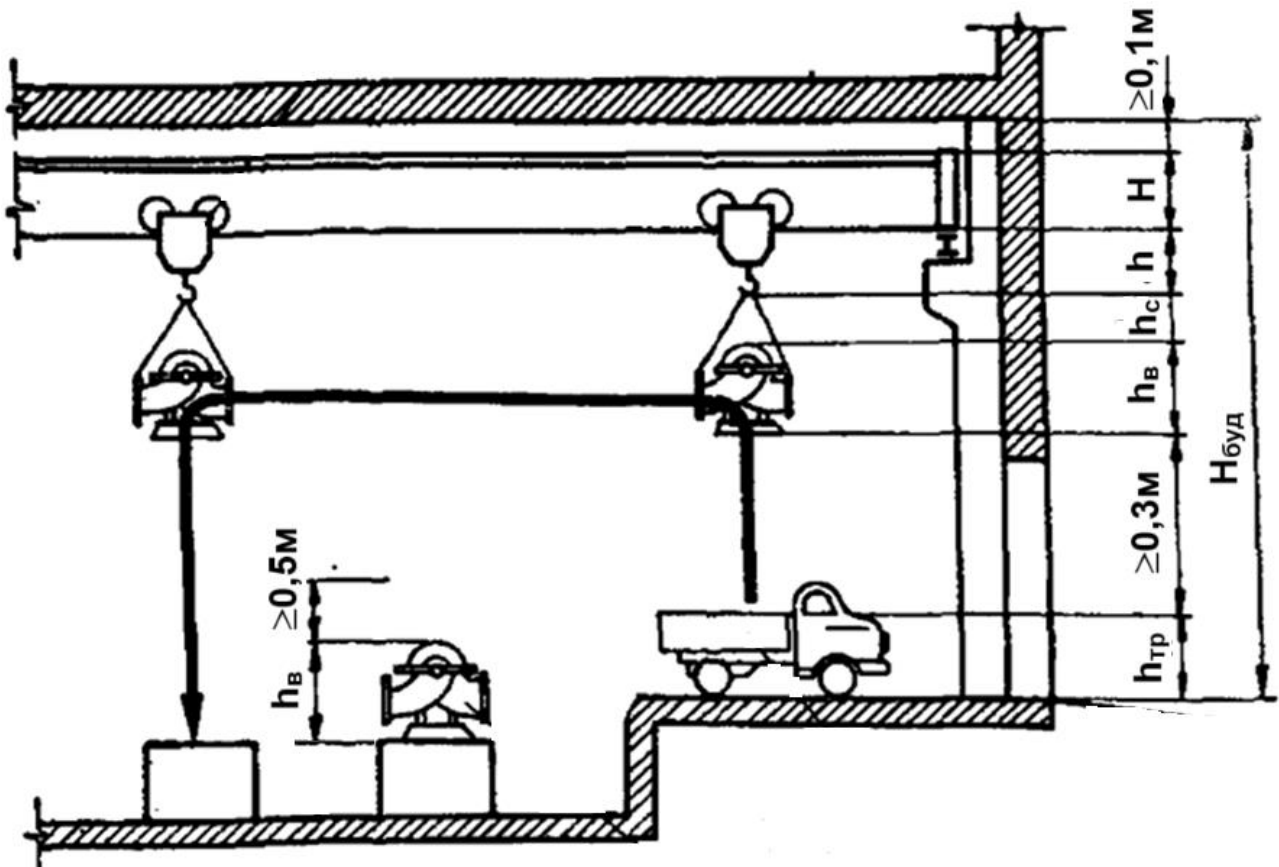


Рисунок 1.24 – Схема визначення висоти наземної частини станції

Завдання № 4

Розрахунок потужності однопоршневого компресора

Розрахувати потужність однопоршневого компресора, який перекачує повітря, для трьох режимів: ізотермічного, адіабатного та політропного, якщо відомо: об'єм робочої камери V_1 , л, тиск стиснення P_2 , атм, теплоємність за політропного процесу, c , Дж/(кг·К), частота обертання колінвала ω , об/хв. Початковий тиск P_1 дорівнює атмосферному, показник адіабати дорівнює $k = 2,5$. Вихідні дані для завдання подані в таблиці А.4 додатка А.

Порядок розв'язання завдання

1. Розраховуємо числове значення кутової швидкості обертання ν колінвала компресора за такою формулою, c^{-1} :

$$\nu = \frac{2\pi\omega}{60} . \quad (1.15)$$

2. Знаходимо показник політропи n за такою залежністю:

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v} , \quad (1.16)$$

де c_p – теплоємність газу, якщо $P = \text{const}$, Дж/(кг×К);

c_v – теплоємність газу, якщо $V = \text{const}$, Дж/(кг×К).

Числові значення вказаних теплоємностей газу (повітря), що стискається визначимо за такими формулами:

$$c_p = \frac{k}{k-1} R, \quad (1.17)$$

$$c_v = \frac{R}{k-1}, \quad (1.18)$$

де R – універсальна газова стала, $R = 8,31 \text{ м}^2\text{кг}/(\text{с}^2\text{моль}\cdot\text{К})$.

3. Знайдемо об'єм газу (повітря) V_2 після стиснення за ізотермічного, адіабатного і політропного процесах в поршні компресора з огляду на умови:

– за ізотермічного стиснення:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2}; \quad (1.19)$$

– за адіабатного стиснення:

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}}; \quad (1.20)$$

– за політропного стиснення:

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \rightarrow V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (1.21)$$

4. Роботу, яку виконує поршневий компресор під час стиснення газу, Дж, для всіх трьох видів стиснення (ізотермічного, адіабатного і політропного) визначимо за такими формулами:

– за ізотермічного стиснення:

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = -P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}; \quad (1.22)$$

– за адіабатного стиснення:

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = -\frac{1}{k-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = -\frac{1}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]; \quad (1.23)$$

– за політропного стиснення:

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = -\frac{1}{n-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = -\frac{1}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (1.24)$$

5. Розраховуємо роботу A , яку виконує поршневий компресор за один цикл для кожного типу стиснення, Дж:

$$A = P_1 V_1 + A_{12} - P_2 V_2. \quad (1.25)$$

6. Визначаємо потужність однопоршневого компресора N за ізотермічного, адіабатного і політропного стиснення повітря, Вт:

$$N = A \cdot \nu.$$

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

Змістовий модуль 1 Види гідравлічних та аеродинамічних машин

Тема 1 Будова, принцип дії і параметри роботи гідравлічних та аеродинамічних машин

1. Історія розвитку гідравлічних машин.
2. Конструкція і принцип дії теплових насосів (насоси Гемфрі, термосифонні насоси).
3. Насоси електричного типу (електромагнітні, електроіскрові, магнітострикційні). Будова і принцип дії.
4. Способи розрахунку втрат напора на тертя по довжині трубопроводу і втрат на подолання місцевих опорів. Основні залежності.

Тема 2 Теорія відцентрових насосів

1. Вплив дійсного характеру руху рідини в робочому колесі на теоретичний напір насоса.
2. Профіль лопаток робочого колеса відцентрового насоса.
3. Пристрої відведення рідини від робочого колеса насоса.
4. Заходи боротьби і попередження кавітаційних явищ у відцентрових насосах.
5. Теоретичні характеристики відцентрових насосів.

Тема 3 Робочі характеристики насосів

1. Складові коефіцієнта корисної дії відцентрових насосів. Гідравлічний, об'ємний і механічний ККД.
2. Кавітаційні випробування відцентрових насосів.
3. Теорія подібності відцентрових насосів. Кінематична, геометрична і динамічна подібність.
4. Вплив форми лопаток робочого колеса на числове значення коефіцієнта швидкохідності насоса.

Тема 4 Паралельна робота насосів і трубопроводів

1. Типи графічних характеристик ($Q - H$) відцентрових насосів. Коефіцієнт крутизни.
2. Аналітичний спосіб визначення координат робочої точки системи.
3. Паралельна робота кількох однотипних насосів на систему трубопроводів різного діаметра.
4. Паралельна робота насосів із лабільними характеристиками. Явище помпажу.

Тема 5 Послідовна робота насосів

1. Явище перевантаження двигуна відцентрового насоса. Причини, суть.

2. Гідромуфти. Схема будови і принцип дії.
3. Регулювання роботи насосів електромагнітними муфтами ковзання. Схема будови і принцип дії ЕМК.
4. Частотні перетворювачі на відцентрових насосах. Сфера і перспективи використання.

Тема 6 Конструкції насосів

1. Ґрунтові, піскові і шламкові насоси.
2. Насоси для хімічно активних рідин.
3. Осьові (пропелерні) та напівосьові (діагональні) насоси.
4. Штангові і гвинтові насоси.
5. Шнекові насоси.
6. Гідравлічний таран.

Змістовий модуль 2 Насосні станції водопостачання та водовідведення

Тема 7 Типи насосних станцій

1. Насосні станції перекачування атмосферних вод на мережах зливової каналізації.
2. Мулові насосні станції і станції перекачування осадів.
3. Насосні установки реагентного господарства очисних станцій.
4. Конструкції підвищувальних установок.

Тема 8 Водопровідні насосні станції I підйому

1. Конструкції станцій I підйому роздільного і об'єднаного типів.
2. Берегові і руслові насосні станції.
3. Індивідуальні і групові водозабори з підземних джерел.
4. Обладнання гирла свердловин у станціях підземних джерел.

Тема 9 Водопровідні насосні станції II підйому

1. Інтегральний спосіб розрахунку регулюючих ємностей.
2. Особливості розрахунку необхідного напору насосів під час роботи на мережу з баштою, контррезервуаром і без регулюючої ємності.
3. Особливості розрахунку продуктивності насосів II підйому під час роботи на мережу з баштою, контррезервуаром і без регулюючої ємності.
4. Подача і напір протипожежних насосних установок.

Тема 10 Насосні станції систем водовідведення

1. Місцеві каналізаційні насосні станції і установки.
2. Насосні станції систем водовідведення роздільного і об'єднаного типу.
3. Методики розрахунку необхідної місткості приймального резервуара.
4. Конструкція каналізаційних насосних станцій значного заглиблення.

5. Насосні станції водовідведення із занурювальними насосами «сухої» установки.

Тема 11 Проектування насосних станцій

1. Графічні робочі характеристики відцентрових насосів світових брендів і країн Європи (Grundfos, Flygt, Vilo, ABS, Pedrollo, Calpeda).
2. Схеми розміщення насосних агрегатів у станціях круглої форми.
3. Особливості розрахунку, проектування і будівництва всмоктувальних комунікацій насосних станцій.
4. Схеми трубопроводних комунікацій всередині машинного залу станції. Варіанти, особливості, переваги і недоліки.
5. Камери перемикання водоводів. Конструкція, функції і склад обладнання.

Тема 12 Допоміжне обладнання насосних станцій

1. Сучасні конструкції дискових засувки і засувки шибєрного типу в насосних станціях.
2. Типи і конструкція вантажопідйомних пристроїв насосних станцій. Сфера і умови застосування.
3. Дренажні і осушувальні системи насосних станцій. Призначення, склад обладнання, схеми.
4. Конструкції гасників гідравлічного удару. Гасники системи В. М. Папіна. Схема будови і принцип дії.

Змістовий модуль 3 Повітродувні станції

Тема 13 Вентилятори, повітродувки

1. Класифікація і сфера застосування вентиляторів. Конструктивні виконання відцентрових вентиляторів.
2. Вентилятори осьового типу. Конструкція, умови і сфера використання.
3. Графічні характеристики відцентрових вентиляторів. Основні робочі параметри.
4. Шестеренні, пластинчасті та зубчасті повітродувки.
5. Пристрої Лисхольма і Рутса.

Тема 14 Компресори

1. Повний напір (тиск) компресора. Ступінь стиснення газів.
2. Типові схеми компресорних установок.
3. Ротаційні і водокільцеві компресори.
4. Багатоступеневе стиснення газів у компресорах.
5. Індикаторні діаграми дійсного робочого процесу в компресорах.

Тема 15 Теорія повітродувних установок

1. Переваги відцентрових повітродувок порівняно з іншими видами компресорів.
2. Види процесів стиснення газів у компресорах (ізотермічне, адіабатне і політропне стиснення).
3. Нестійка робота повітродувки.
4. Сумісна робота повітродувки і повітроводної мережі. Графічні характеристики.

Тема 16 Повітродувні станції

1. Склад обладнання і схеми комунікації повітродувної станції аеротенків очисних споруд каналізації.
2. Специфіка каскадного регулювання роботи повітродувок.
3. Основне та допоміжне устаткування повітродувних станцій. Вимірювальні прилади.
4. Конструкції і типи ресиверів, фільтрів і осушувальних пристроїв повітродувних і компресорних станцій. Конструкції, вибір, особливості.

Самостійна складова освітньої компоненти вміщує три етапи за змістовними модулями. Перший етап: завдання № 1 і три питання з переліку на вибір здобувача. Другий етап: завдання № 2 і № 3 та три питання з переліку на вибір здобувача. Третій етап: завдання № 4 і чотири питання з переліку на вибір здобувача.

Виконані завдання для самостійної роботи оформлюються окремо за кожним етапом на аркушах формату А4 і супроводжуються необхідними розрахунками, графічними побудовами і схемами. На титульному аркуші обов'язково вказується така інформація: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод, завдання із самостійної роботи, прізвище і ініціали здобувача, номер групи, дата виконання роботи. Рекомендований формат файлів завдання – *.PDF. Завдання завантажуються особисто здобувачем у команду Teams і дистанційний курс Moodle цієї освітньої компоненти не пізніше закінчення відповідного модульного тижня.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водозабірні споруди і насосна станція першого підйому : навч. посіб. / С. М. Епоян, О. Г. Друшляк, В. А. Сташук [та ін.] ; Харківський національний університет будівництва та архітектури. – Харків : ХНУБА, 2012. – 67 с.
2. Герасимов Г. Г. Гідравлічні та аеродинамічні машини : підручник / Г. Г. Герасимов. – Рівне : НУВГП, 2008. – 241 с.
3. Гурин В. А. Гідроаеродинамічні машини та насосні станції. Конструкції, експлуатація, надійність : словник-підручник / В. А. Гурин, Ю. П. Євресенко ; НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2008. – 186 с.
4. ДБН В.2.5–64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 113 с.
5. ДБН В.2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 168 с.
6. ДБН В.2.5–74:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 134 с.
7. Коренькова Т. В. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом : навч. посіб. / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук ; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2013. – 200 с.
8. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація : підручник / В. С. Кравченко. – Київ : Кондор, 2011. – 288 с.
9. Насосні та повітродувні станції : навч. посіб. / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 195 с.
10. Омельченко О. В. Гідравлічні машини : навч. посіб. / О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун ; Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. – 100 с.
11. Панченко В. О. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій : навч. посіб. / В. О. Панченко, В. Ф. Герман, О. В. Івченко [та ін.]. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 270 с.
12. Срібнюк С. М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії застосування / С. М. Срібнюк. – Київ : ЦНЛ, 2022. – 328 с.
13. Срібнюк С. М. Насоси і насосні установки. Розрахунки, застосування і випробування / С. М. Срібнюк. – Київ : ЦНЛ, 2022. – 312 с.
14. Шевченко Т. О. Насосні та повітродувні станції : конспект лекцій для студентів 3, 4 курсів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Т. О. Шевченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 220 с.

ДОДАТОК А
Вихідні дані до завдань

Таблиця А.1 – Вихідні дані для завдання № 1

| Варіант | Насос | Номинальна частота обертання, об/хв | S | A , м |
|---------|-------------|--|--------------|---------|
| 1 | Д200-36 | 1 450 | 0,000 5 | 15 |
| 2 | Д320-50 | 1 450 | 0,000 333 | 20 |
| 3 | Д200-90 | 2 900 | 0,001 25 | 40 |
| 4 | 1Д250-125 | 2 900 | 0,000 51 | 80 |
| 5 | 1Д315-71 | 2 900 | 0,002 93 | 40 |
| 6 | 1Д315-50 | 2 900 | 0,002 93 | 20 |
| 7 | 1Д500-63 | 1 450 | 0,000 156 | 40 |
| 8 | 1Д630-90 | 1 450 | 0,000 102 | 40 |
| 9 | 1Д630-125 | 1 450 | 0,000 081 6 | 80 |
| 10 | 1Д800-56 | 1 450 | 0,000 023 4 | 40 |
| 11 | 1Д1250-63 | 1 450 | 0,000 013 9 | 40 |
| 12 | 1Д1250-125 | 1 450 | 0,000 020 4 | 80 |
| 13 | 1Д1600-90 | 1 450 | 0,000 019 5 | 40 |
| 14 | 2Д2000-21 | 980 | 0,000 002 5 | 10 |
| 15 | Д2000-100-2 | 980 | 0,000 01 | 60 |
| 16 | Д2500-62-2 | 980 | 0,000 004 12 | 30 |
| 17 | Д3200-33-2 | 980 | 0,000 001 54 | 10 |
| 18 | Д3200-75-2 | 980 | 0,000 008 88 | 20 |
| 19 | Д4000-95-2 | 980 | 0,000 003 79 | 60 |
| 20 | Д6300-80-2 | 730 | 0,000 001 67 | 20 |

Таблиця А.2 – Вихідні дані для завдання № 2

| Варіант | Насос | Q , м ³ /год | $h_{вс}$, м | Z_{min} , м | Z_3 , м |
|---------|----------|---------------------------|--------------|---------------|-----------|
| 1 | Д3200-75 | 3 400 | 2,5 | 1 500,00 | 1 502,00 |
| 2 | Д1250-63 | 1 400 | 2,5 | 1 500,00 | 1 502,00 |
| 3 | Д1250-63 | 1 300 | 2,5 | 1 500,00 | 1 503,00 |
| 4 | Д1600-90 | 1 700 | 1,5 | 1 250,00 | 1 253,00 |
| 5 | Д315-71 | 325 | 2,5 | 1 800,00 | 1 802,00 |
| 6 | Д3200-75 | 3 800 | 1,5 | 2 000,00 | 2 003,00 |
| 7 | Д4000-95 | 4 800 | 2,0 | 900,00 | 902,00 |
| 8 | Д2500-62 | 3 000 | 2,5 | 1 000,00 | 1 003,00 |
| 9 | Д630-90 | 900 | 2,0 | 2 000,00 | 2 002,00 |
| 10 | Д6300-27 | 6 400 | 1,5 | 1 750,00 | 1 753,00 |
| 11 | Д3200-75 | 3 400 | 2,5 | 1 500,00 | 1 502,00 |
| 12 | Д1250-63 | 1 400 | 2,0 | 1 000,00 | 1 003,00 |
| 13 | Д1250-63 | 1 700 | 2,5 | 1 500,00 | 1 503,00 |
| 14 | Д1600-90 | 1 400 | 1,5 | 1 250,00 | 1 253,00 |
| 15 | Д315-71 | 325 | 2,0 | 1 750,00 | 1 752,00 |
| 16 | Д3200-75 | 3 600 | 1,5 | 2 000,00 | 2 002,00 |
| 17 | Д1250-63 | 1 200 | 1,5 | 800,00 | 802,00 |
| 18 | Д630-90 | 800 | 2,5 | 1 000,00 | 1 002,00 |
| 19 | Д3200-75 | 3 300 | 1,5 | 1 000,00 | 1 002,00 |
| 20 | Д4000-95 | 4 600 | 2,5 | 800,00 | 802,00 |

Таблиця А.3 – Вихідні дані для завдання № 3

| Варіант | Насоси | $d_{всм}$, мм | $d_{нап}$, мм | B , м | L , м, | h , м |
|---------|------------|----------------|----------------|---------|----------|---------|
| 1 | Д2000-100 | 800 | 600 | 9,0 | 18,0 | 4,0 |
| 2 | Д2000-100 | 800 | 500 | 9,0 | 24,0 | 5,0 |
| 3 | Д12500-24 | 1 200 | 1 000 | 18,0 | 30,0 | 6,0 |
| 4 | Д3200-75 | 800 | 600 | 9,0 | 12,0 | 7,0 |
| 5 | Д 3200-75 | 800 | 800 | 9,0 | 18,0 | 8,0 |
| 6 | Д 4000-95 | 1 000 | 1 000 | 12,0 | 24,0 | 4,0 |
| 7 | Д 6300-27 | 1 000 | 800 | 12,0 | 30,0 | 5,0 |
| 8 | Д 6300-27 | 800 | 800 | 12,0 | 12,0 | 6,0 |
| 9 | Д 2000-100 | 1 000 | 600 | 9,0 | 18,0 | 7,0 |
| 10 | Д 2000-100 | 800 | 600 | 9,0 | 24,0 | 8,0 |
| 11 | Д2000-100 | 800 | 600 | 9,0 | 30,0 | 4,0 |
| 12 | Д2000-100 | 800 | 500 | 9,0 | 12,0 | 5,0 |
| 13 | Д12500-24 | 1 200 | 1 000 | 18,0 | 18,0 | 6,0 |
| 14 | Д3200-75 | 800 | 600 | 9,0 | 24,0 | 7,0 |
| 15 | Д 3200-75 | 800 | 800 | 9,0 | 30,0 | 8,0 |
| 16 | Д 4000-95 | 1 000 | 1 000 | 12,0 | 12,0 | 6,0 |
| 17 | Д2000-100 | 1 000 | 800 | 9,0 | 24,0 | 6,0 |
| 18 | Д3200-75 | 1 000 | 800 | 12,0 | 18,0 | 6,0 |
| 19 | Д 6300-27 | 1 000 | 800 | 9,0 | 12,0 | 6,0 |
| 20 | Д 4000-95 | 1 000 | 1 000 | 9,0 | 24,0 | 8,0 |

Таблиця А.4 – Вихідні дані для завдання № 5

| Варіант | V_1 , л | P_2 , атм | c , Дж/(кг·К) | ω , об/хв |
|---------|-----------|-------------|-----------------|------------------|
| 1 | 3 | 15 | 4,2 | 1 200 |
| 2 | 2 | 20 | 3,8 | 1 300 |
| 3 | 1 | 12 | 3,5 | 1 400 |
| 4 | 2 | 11 | 4,1 | 1 000 |
| 5 | 1 | 12 | 3,9 | 1 100 |
| 6 | 3 | 13 | 4,2 | 1 200 |
| 7 | 2 | 14 | 4,3 | 1 300 |
| 8 | 1 | 15 | 4,2 | 1 200 |
| 9 | 3 | 16 | 4,2 | 1 100 |
| 10 | 2 | 15 | 4,2 | 1 000 |
| 11 | 4 | 14 | 3,8 | 1 100 |
| 12 | 3 | 13 | 3,9 | 1 200 |
| 13 | 2 | 12 | 4,1 | 1 300 |
| 14 | 4 | 11 | 4,0 | 1 400 |
| 15 | 5 | 13 | 4,2 | 1 200 |
| 16 | 1 | 15 | 4,1 | 1 300 |
| 17 | 2 | 14 | 4,0 | 1 400 |
| 18 | 3 | 13 | 3,9 | 1 200 |
| 19 | 4 | 12 | 3,8 | 1 300 |
| 20 | 5 | 15 | 4,1 | 1 200 |

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до проведення лабораторних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладачі: **СИРОВАТСЬКИЙ** Олександр Анатолійович,
КАРАГЯУР Андрій Степанович,
ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *Б. О. Хільська*
Комп'ютерне верстання *О. А. Сироватський, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 557М

Підп. до друку 23.12.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,7.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.