

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5
«ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА»
З ДИСЦИПЛІНИ
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
«ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ
І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ»

Затверджено на засіданні кафедри
процесів, апаратів та
загальної хімічної технології
Протокол № 10 від 22.06.2016 р.

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №5 «Дослідження роботи відцентрового насоса» з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів спеціальності «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» / Укл. С.О. Опарін – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2017. – 15 с.

Укладач С.О. Опарін, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.В. Кравченко, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №5 «Дослідження роботи відцентрового насоса» з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів спеціальності «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Укладач ОПАРІН Сергій Олександрович

Редактор О.Г. Нефедова
Коректор О.Г. Нефедова

Підписано до друку 12.09.17. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Умов. друк. арк. 0,63. Обл.-вид. арк. 0,67. Тираж 100 прим. Зам. № 76. Свідоцтво дк № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Мета роботи — ознайомитися з будовою та принципом дії насосної установки, на основі дослідних та розрахункових даних побудувати графік роботи насоса на мережу та встановити параметри його роботи.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Загальні поняття

У хімічній промисловості важливе значення має транспортування рідких або газоподібних продуктів трубопроводами як всередині підприємства між окремими апаратами та установками, так і за його межами.

Рух рідин по трубопроводах і через апарати пов'язаний з витратами енергії. При переміщенні рідини трубопроводами, а також і з нижчого рівня на вищий застосовують насоси.

Насоси — гідравлічні машини, які перетворюють механічну енергію двигуна на енергію переміщуваної рідини, підвищуючи її тиск.

Розрізняють насоси двох основних типів: динамічні та об'ємні.

В *динамічних* насосах рідина переміщується при взаємодії сил на незамкнений об'єм рідини, який безперервно сполучається із входом у насос і виходом з нього.

Динамічні насоси по виду сил, що діють на рідину, поділяються на лопатеві та насоси тертя.

В *об'ємних* насосах рідина переміщується при зміні замкнутого об'єму рідини, який періодично сполучається із входом у насос і виходом з нього.

Група *об'ємних насосів* включає насоси, у яких рідина витісняється із замкнутого простору тілом, що рухається зворотно-поступально (поршневі, плунжерні, діафрагмові насоси) або мають обертальний рух (шестеренні, пластинчасті, гвинтові насоси).

Лопатеві насоси діляться на відцентрові та осьові. У відцентрових насосах рідина рухається через робоче колесо від його центру до периферії, а в осьових — у напрямку осі колеса.

Відцентрові насоси характеризуються більшою продуктивністю та відносно невисоким напором, який вони розвивають. Відцентрові насоси не мають перепускних клапанів, що дозволяє транспортувати рідини з високою в'язкістю, пасти, суспензії, які містять 15-20% твердої фази, та різні розчини.

В *насосах тертя* рідина переміщується переважно під впливом сил тертя. До насосів тертя відносяться вихрові і струминні насоси.

1.2. Основні параметри насосів

Основними параметрами насоса будь-якого типу є продуктивність, напір і потужність.

Продуктивність, або подача, (Q , $\text{м}^3/\text{с}$) визначається об'ємом рідини, що подається насосом в нагнітальний трубопровід в одиницю часу.

Напір (H , м) характеризує питому енергію, яка передається насосом одиниці маси рідини, що перекачується.

Корисна потужність (N_k , кВт), яка витрачається насосом на передачу енергії рідині, – дорівнює добутку питомої енергії (H) на вагову витрату рідини ($\rho g Q$):

$$N_k = \rho g Q \cdot H = Q \cdot \Delta p, \quad (1.2.1)$$

де Δp – різниця тисків, створюваних насосом, $\Delta p = \rho g H$.

Потужність на валу (N_e , кВт) більше корисної потужності у зв'язку з втратами енергії в насосі, які враховуються коефіцієнтом корисної дії (ККД) насоса η_n :

$$N_e = N_k / \eta_n = \rho g Q \cdot H / \eta_n, \quad (1.2.2)$$

1.3. Напір насоса

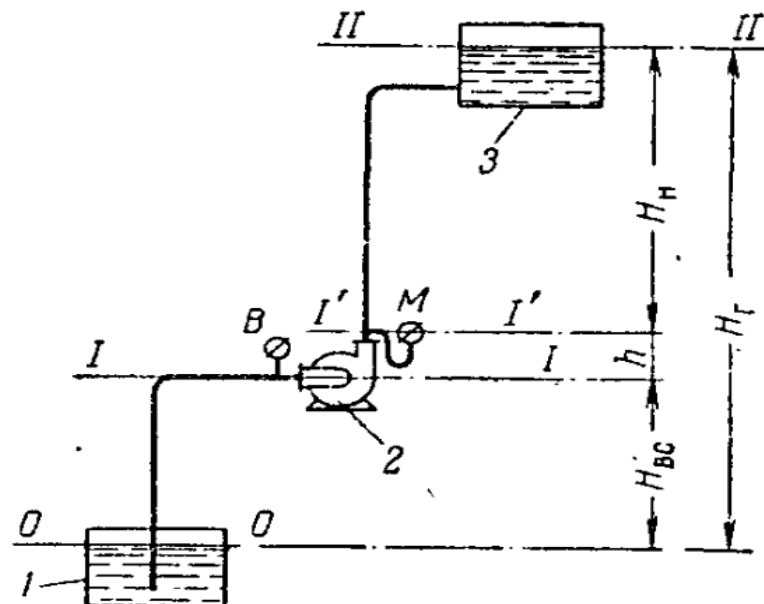


Рисунок 1.3.1 – Схема насосної установки:

1- приймальна ємкість; 2 – насос;

3 – напірна ємкість;

М – манометр; В – вакуумметр.

Напір насоса можна визначити за формулою

$$H = h + \frac{p_n - p_{вс}}{\rho g} + \frac{\omega_n^2 - \omega_{вс}^2}{2g}, \quad (1.3.1)$$

де h – відстань по вертикалі між рівнями встановлення манометра та вакуумметра;

$p_n, p_{вс}$ – тиск в нагнітальному та всмоктуючому трубопроводі;

$\omega_n^2, \omega_{вс}^2$ – швидкості руху рідини в нагнітальному та всмоктуючому трубопроводі;

ρ – густина рідини.

Також напір насоса можна визначити за формулою

$$H = H_z + \frac{p_2 - p_0}{\rho g} + h_{ем}, \quad (1.3.2)$$

де H_z – геометрична висота подачі рідини;

p_2, p_0 – тиск в напірній та приймальній ємності;

$h_{ем}$ – сумарні втрати напору.

1.4. Відцентрові насоси

Типи відцентрових насосів та їх принцип дії

У відцентрових насосах всмоктування і нагнітання рідини відбувається рівномірно і безперервно під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні робочого колеса з лопатками, який встановлено в спіралеподібний корпус.

В одноступінчастому відцентровому насосі (рис. 1.4.1) рідина із всмоктувального трубопроводу 1 надходить вздовж вісі робочого колеса 2 в корпус 3 насоса і, потрапляючи на лопатки 4, набуває обертального руху. Відцентрова сила відкидає рідину в канал змінного перерізу між корпусом і робочим колесом, в якому швидкість рідини зменшується до значення, рівного швидкості в нагнітальному трубопроводі 5. При цьому, як впливає з рівняння Бернуллі, відбувається перетворення кінетичної енергії потоку рідини в статичний напір, що забезпечує підвищення тиску рідини. На вході в колесо створюється знижений тиск, і рідина з прийомної ємності безперервно надходить у насос.

Тиск, що розвивається відцентровим насосом, залежить від швидкості обертання робочого колеса. Внаслідок значних зазорів між колесом і корпусом насоса розрідження, що виникає при обертанні колеса, недостатньо для підйому рідини по всмоктуючому трубопроводу, якщо він і корпус насоса не заповнені рідиною. Тому перед пуском відцентровий насос заправляють перекачуваною рідиною. Щоб рідина не виливалася з насоса і всмоктуючого трубопроводу при

заливці насоса або при короткочасних зупинках його, на кінці всмоктуючої труби, зануреним у рідину, встановлюють зворотній клапан з сіткою (на малюнку не показаний).

Напір одноступінчастих відцентрових насосів (з одним робочим колесом) обмежений і не перевищує 50 м.

Для створення більш високих напорів застосовують *багатоступінчасті* насоси (рис. 1.4.2), які мають декілька робочих коліс 1 в загальному корпусі 2, розташованих послідовно на одному валу 3. Рідина, що виходить з першого колеса, надходить по спеціальному відвідному каналу 4 в корпусі насоса в друге колесо, де їй повідомляється додаткова енергія, з другого колеса через відвідний канал у третє колесо і т. д. Таким чином, орієнтовно (без урахування втрат) можна вважати, що напір багатоступінчатого насоса дорівнює напору одного колеса, помноженому на число коліс. Число робочих коліс в багатоступінчастому насосі зазвичай не перевищує п'яти.

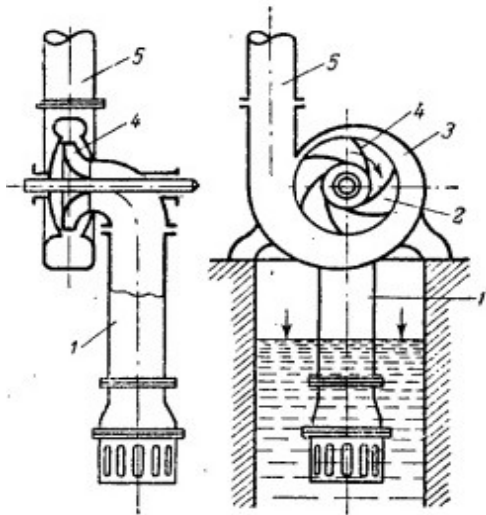


Рисунок 1.4.1 – Одноступінчастий відцентровий насос.

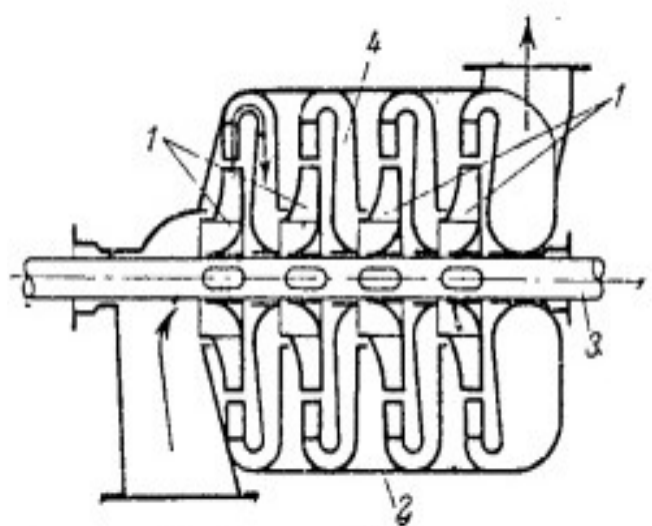


Рисунок 1.4.2 – Багатоступінчастий відцентровий насос.

Закони пропорційності

Між частотою обертання, напором, продуктивністю і потужністю існують залежності, користуючись якими можна дібрати частоту обертання насоса n_2 для заданих умов його роботи Q_2 та H_2 і визначити потужність, яку він споживає, N_2 , якщо відомі значення Q_1 , H_1 , N_1 при частоті обертання n_1 .

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2; \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3. \quad (1.4.1)$$

Рівняння (1.4.1) носять назву *закону пропорційності відцентрових машин*.

Закони пропорційності дотримуються при зміні числа обертів не більше ніж вдвічі рази.

Характеристика насосів

Для вибору насоса користуються його *характеристикою* (рис. 1.4.3), яка є графічною залежністю напору (або тиску), потужності і ККД від продуктивності при сталій частоті обертання.

Характеристики будують при стендових випробуваннях насоса. Для того, щоб зняти таку характеристику, насос запускають на постійну частоту обертання при закритій затулці на напірному патрубку, потім затулку поступово відкривають і за різного ступеня відкривання вимірюють продуктивність та досягнутий напір. Таким чином, робоча характеристика насоса складається з трьох кривих $\Delta P = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$, $\eta = f_3(Q)$, користуючись якими, обирають тип і розмір насоса.

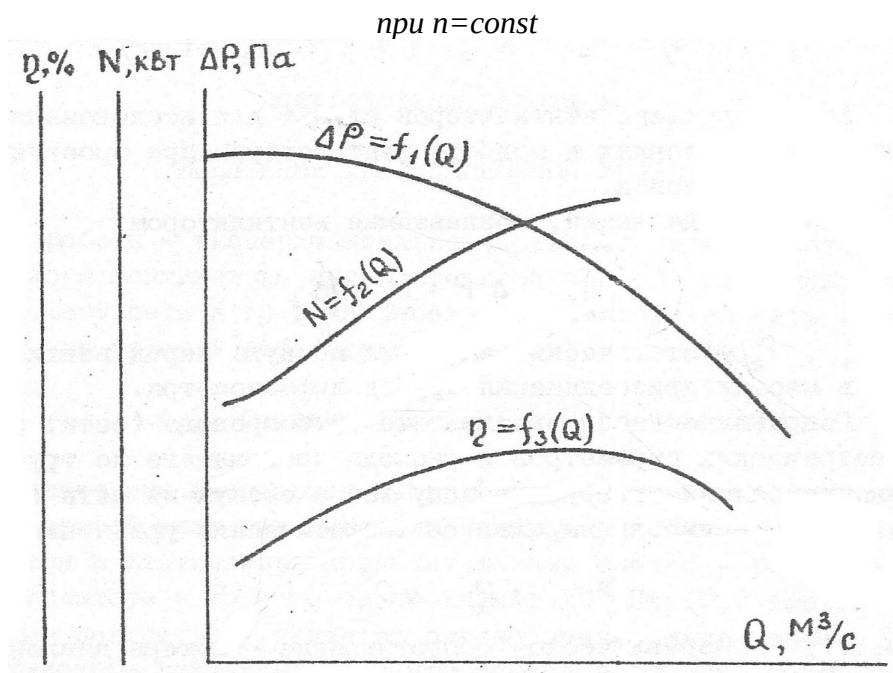


Рисунок 1.4.3 – Характеристика насоса.

1.5. Характеристика мережі

Залежність гідравлічного опору мережі, по якій перекачується рідина, від витрати рідини ($H_m = f(Q)$ або $H_m = f(Q)$ називається *характеристикою мережі* (див. рис. 1.6.1.).

Ця залежність пов'язує витрату і повний напір, який необхідний для подолання гідравлічного опору трубопроводу.

Гідравлічний опір мережі залежить від довжини, діаметра, шорсткості трубопроводу, швидкості подачі, виду та кількості місцевих опорів.

Гідравлічний опір може бути визначений за формулою

$$h_{em} = h_{mp} + h_{m.o.} \quad (1.5.1)$$

де h_{mp} , $h_{m.o.}$ – напір втрачений на подолання тертя та місцевих опорів.

Тоді

$$h_{em} = \lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_{m.o.} \frac{\omega^2}{2} = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_{m.o.} \right) \frac{\omega^2}{2g}. \quad (1.5.2)$$

Якщо виразити швидкість через $\omega = \frac{Q}{S}$, то отримаємо:

$$h_{em} = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_{m.o.} \right) \frac{Q^2}{S^2 \cdot 2g} = K \cdot Q^2, \quad (1.5.3)$$

$$\text{де } K = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_{m.o.} \right) \frac{1}{S^2 \cdot 2g};$$

λ – коефіцієнт тертя;

ℓ – довжина трубопроводу;

d – діаметр;

$\sum \xi_{i.l.}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

S – площа поперечного перерізу трубопроводу;

Q – витрата рідини.

Повний напір рідини в мережі:

$$H_m = H_z + \kappa Q_2, \quad (1.5.4)$$

де H_z – геометрична висота підйому рідини;

$$H_z = H_{z.v.} + H_{z.n.}, \quad (1.5.5)$$

де $H_{z.v.}$, $H_{z.n.}$ – геометрична висота, відповідно всмоктування і нагнітання рідини.

1.6. Робота насосів на мережу

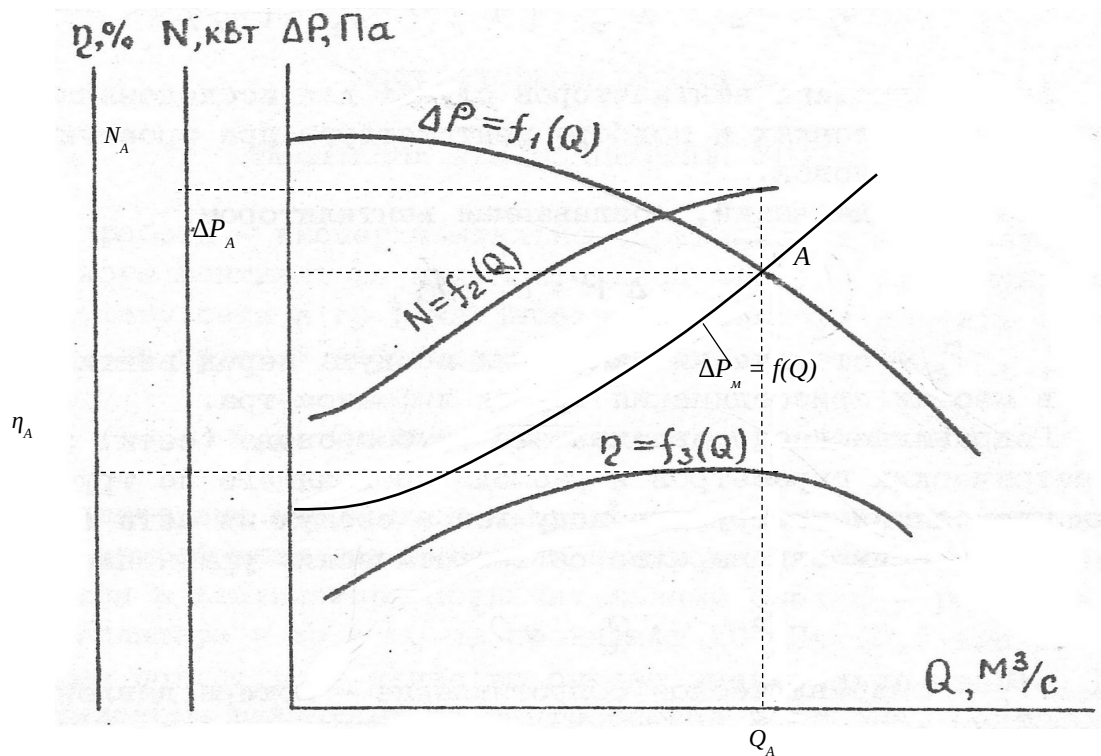


Рисунок 1.6.1 – Графік роботи відцентрового насоса на мережу .

Визначити параметри, яким буде відповідати робота насоса, підключеного до мережі, можливо тільки при порівнянні характеристик насоса і трубопроводу .

Точка перетину характеристики мережі – $\Delta P_m = f(Q)$ і характеристики насоса – $\Delta P = f_1(Q)$ називається *робочою точкою А*.

Робоча точка показує найбільшу продуктивність та напір насоса при роботі на даній мережі.

Цією точкою визначається граничний режим роботи насоса: подача Q , напір H , потужність N та η .

1.7. Спільна робота насосів

При *паралельному з'єднанні* загальну характеристику насосів одержують додаванням абсцис характеристик кожного з насосів для даного напору. На рис. 1.7.1 показана характеристика двох однакових насосів, що працюють паралельно. Поєднання характеристики мережі із загальною характеристикою насосів показує, що робоча точка В в цьому випадку відповідає продуктивності більшій, ніж продуктивність одного насоса (точка А). Проте загальна продуктивність завжди буде меншою суми продуктивностей насосів, що працюють окремо один від одного, що пов'язано з параболічною формою характеристики мережі. Чим крутіше ця характеристика, тим менше приріст продуктивності. Тому паралельне включення насосів використовують для збільшення продуктивності насосної установки, коли характеристика мережі є досить пологою. Збільшення напору при цьому незначне.

На рис. 1.7.1 наведена загальна характеристика двох однакових насосів, з'єднаних послідовно. Точка перетину цієї характеристики з характеристикою мережі (робоча точка В) відповідає сумарним напору і продуктивності послідовно з'єднаних насосів, що працюють на дану мережу. При такому з'єднанні насосів вдасться значно збільшити напір, якщо характеристика мережі є досить крутою.

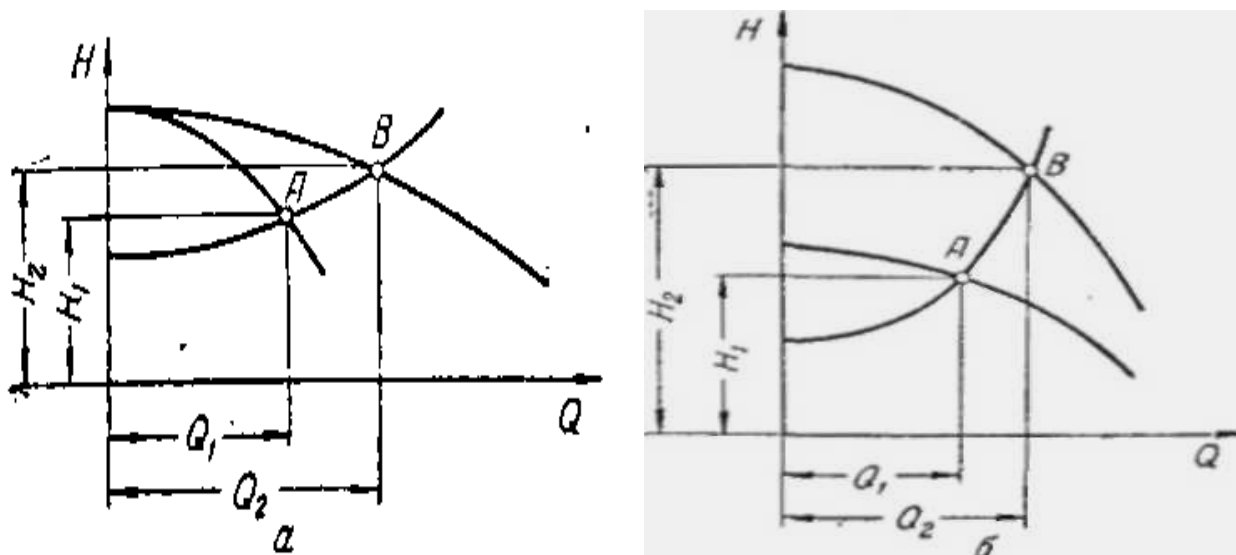


Рисунок 1.7.1 – Спільна робота насосів:

а – послідовне з'єднання б – паралельне з'єднання

2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Установка (рис. 2.1.) складається з відцентрового насоса 5, встановленого на одному валу з електродвигуном, витратного бака 1, всмоктуючого та нагнітального трубопроводів, вентилів 2 і 6 та контрольно-вимірювальних приладів: вакуумметра 4, манометра 7, ротаметра 8, вольтметра 9, амперметра 10, реостата 12.

Витратний бак встановлено вище рівня насоса, що дає можливість не робити залив насоса перед пуском, спрощуючи експлуатацію установки. Вода з нагнітального трубопроводу потрапляє до витратного бака. Така замкнена схема гарантує безперебійне живлення водою установки і робить її незалежною від трубопроводу.

Перед пуском відцентрового насоса необхідно переконатись у тому, що вентиль 2 на всмоктувальній лінії відкрито, а на нагнітальній – закрито (пуск при відкритому вентилі викличе перевантаження двигуна або призведе до розриву струменя рідини).

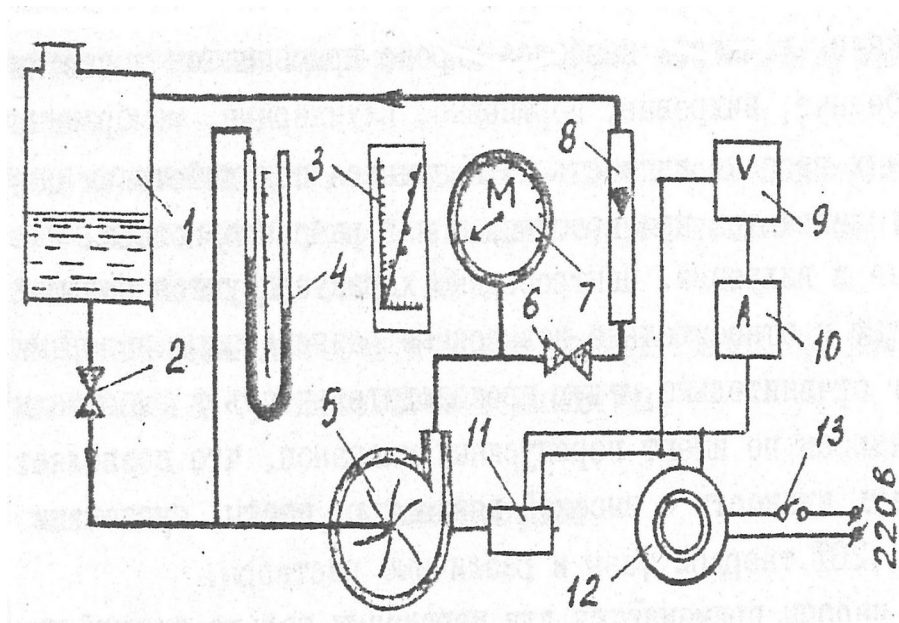


Рисунок 2.1. – Схема лабораторної установки:

1 – витратний бак; 2, 6 – вентиля; 3 – градуювальний графік ротаметра; 4 – вакуумметр; 5 – відцентровий насос; 7 – манометр; 8 – ротаметр; 9 – вольтметр; 10 – амперметр; 11- електродвигун; 12 - реостат.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. Зняття характеристики насоса

Перед пуском насоса клапан 2 на всмоктуючій лінії повинен бути відкритим, а на нагнітальній лінії клапан закрито (див. рис. 1).

Вмикають тумблер і поворотом рукоятки реостату 12 встановлюють задану викладачем напругу, яку контролюють за показаннями вольтметра. Частота обертання електродвигуна повинна бути сталою. У таблицю заносять показання вакуумметра 4, манометра 7, ротаметра 8, вольтметра 9, амперметра 10. Відкривають затулку 6 і встановлюють поплавковий ротаметр на відмітку від 0 до 100 поділок через довільні інтервали і знімають показання приладів. Дослід повторюють 5-6 разів.

3.2. Зняття характеристики мережі

Величину витрат при повністю відкритій затулці 6 регулюють зміною частоти обертання електродвигуна. Витрату Q змінюють 5-6 разів.

4. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ

1. Розрахунок характеристики насоса

Подачу Q насоса визначають за показами ротаметра 8 і перераховують по градувальному графіку $3(\text{м}^3) \text{ с} \cdot 10^{-3}$, який розташовано на щиті установки.

Напір насоса визначається за формулою

$$H = P_n - P_{\text{вс}} + h, \quad (4.1)$$

де $P_n, P_{\text{вс}}$ – показання, відповідно, манометра і вакуумметра, мм вод. ст.;

h – відстань по вертикалі між місцем приєднання манометра і вакуумметра, $h=0,1$ м.

Потужність N , яка споживається насосною установкою, визначається за показаннями амперметра 10 і вольтметра 9, кВт:

$$N = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000}, \quad (4.2)$$

де U – показання вольтметра, Вт;

I – показання амперметра, А;

φ – коефіцієнт потужності, для даного електродвигуна $\cos \varphi=0,97$.

ККД насосної установки:

$$\eta = \frac{Q \rho g H}{1000}. \quad (4.3)$$

Figure 2

Figure 3

Figure 4

Figure 5

	Independent variable			Dependent variable				
	Independent variable	Independent variable	Independent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable
	Independent variable	Independent variable	Independent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable
Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2
Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3
Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4
Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5

	Independent variable			Dependent variable				
	Independent variable	Independent variable	Independent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable
	Independent variable	Independent variable	Independent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable	Dependent variable
Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2	Figure 2
Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3	Figure 3
Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4	Figure 4
Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5	Figure 5

2. Розрахунок характеристики насоса

Витрату рідини визначають за ротаметром 8.

Для розрахунку характеристики мережі необхідно знати діаметр, довжину трубопроводу, кількість і вид місцевих опорів, швидкість потоку та інші параметри, за якими можна визначити коефіцієнт пропорційності K .

Дані для розрахунку коефіцієнта K наводять в табл. 4.1.

Суму місцевих опорів $\sum \xi_{i, \text{л.}}$ розраховують за даними табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Місцевий опір	Кількість місцевих опорів	Значення коефіцієнтів місцевих опорів $\sum \xi_{i, \text{л.}}$
Вихід рідини з баку	1	[2, табл. XIII]
Поворот на 90°	6	
Вентиль	2	
Вхід рідини в бак	1	

Коефіцієнт тертя розраховують за формулою

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \text{ при числі Рейнольдса } \text{Re} < 2300;$$

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \text{ при числі Рейнольдса } \text{Re} > 2300,$$

або визначають по [2, рис. 5.1].

Коефіцієнт K визначають за формулою

$$K = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_{i, \text{л.}} \right) \frac{1}{S^2 \cdot 2g}, \quad (4.4.)$$

Довжина трубопроводу $\ell=1000$ мм; діаметр $d=10$ мм.

Напір мережі розраховують за формулою

$$H_m = H_z + k Q_2, \quad (4.5.)$$

де H_z – геометрична висота підйому рідини, $H_z=0,4$ м.

За розрахунковими даними будують характеристику насоса, мережі і визначають робочу точку та встановлюють параметри роботи насоса на мережу (див. рис. 1.6.1).

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва лабораторної роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема установки та її опис.
4. Таблиця даних.
5. Розрахунки.
6. Висновки.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Мета роботи.
2. Що таке насоси?
3. Назвати типи насосів залежно, від принципу дії.
4. Назвіть основні параметри роботи насоса.
5. Що таке продуктивність насоса?
6. Що таке напір насоса?
7. Формула розрахунку потужності насоса. Розшифровка величин.
8. Формули розрахунку напору насоса. Розшифровка величин.
9. Навести схему одноступінчастого відцентрового насоса.
10. Навести принцип дії одноступінчастого відцентрового насоса.
11. Закони пропорційності. Формули. Розшифровка величин.
12. Навести характеристику насоса.
13. Навести характеристику мережі. Рівняння мережі.
14. Навести спільну характеристику насоса та мережі.
15. Що показує робоча точка.
16. Навести характеристику насосів при паралельному з'єднанні.
17. Навести характеристику насосів при послідовному з'єднанні.
18. Як дослідним шляхом зняти характеристику насоса?
19. Як дослідним шляхом зняти характеристику мережі?
20. Що треба зробити на установці, щоб характеристика мережі стала крутішою або пологішою?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
2. Павлов К.Ф., Романков А.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1981. – 576 с.