

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та  
водного господарства  
Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики  
та гідравлічних машин

**01-06-61М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних та лабораторних завдань з  
дисципліни «Гідравлічні і аеродинамічні машини»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)  
рівня за освітньо-професійною програмою  
«Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
галузі знань 19 «Будівництво та архітектура»  
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол № 5 від 11.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних та лабораторних завдань з дисципліни «Гідравлічні і аеродинамічні машини» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Будівництво та архітектура» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Тимощук В. С. – Рівне : НУВГП, 2025. – 43 с.

Укладач: Тимощук В. С., к.т.н., доцент, доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Відповідальний за випуск: Рябенко О. А., докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Гарант групи забезпеченості спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Караван В. В. к.т.н., доцент.

© В. С. Тимощук, 2025

© НУВГП, 2025

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ВСТУП.....	4
1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАВДАНЬ .....	4
2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ .....	12
3. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧ .....	17
4. ПРИКЛАДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ.....	19
ЛІТЕРАТУРА.....	31
ДОДАТКИ .....	32

## ВСТУП

Як показує інженерна практика, фахівцям в області будівництва та цивільної інженерії приходится вирішувати задачі, пов'язані з використанням гідравлічних машин і аеродинамічних машин.

Дисципліна "Гідравлічні і аеродинамічні машини" є однією з профільюючих дисциплін, що вивчають здобувачі вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Вона повинна надати майбутнім фахівцям необхідні знання в області насосів, навчити їх правильно розуміти робочий процес в них і вміло добирати насоси, повітродувні машини та компресори для різноманітних умов їх застосування.

Метою даних методичних вказівок є допомога студентам самостійно вирішувати задачі з добору насосів та визначення різних режимів їх роботи.

### 1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАВДАНЬ

#### Лабораторна робота № 1.

#### Параметричні дослідження відцентрового насоса

Мета роботи – побудова характеристик  $H - Q$ ,  $N - Q$ ,  $\eta - Q$ , відцентрового насоса при постійних діаметрі та частоті обертання робочого колеса і порівняння їх з даними каталогу.

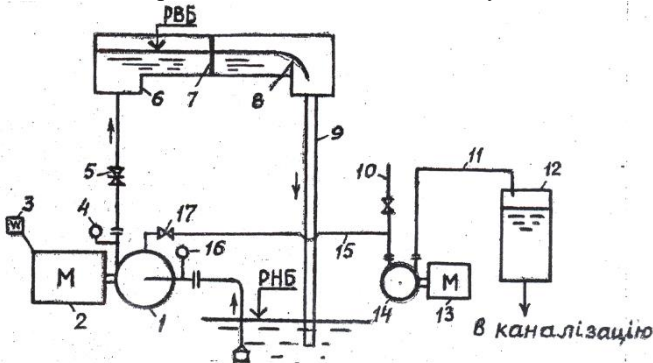


Рис 1.1. Схема лабораторної установки для параметричних досліджень відцентрового насоса:

1 – відцентровий насос; 2, 13 – електродвигун; 3 – ватметр; 4 – манометр; 5 – засувка; 6 – мірний лотік; 7 – п’єзометр; 8 – водозлив; 9 – водоскидна труба; 10 – труба з вентилям для живлення вакуум-насоса від системи водопроводу; 11 – напірна лінія вакуум-насоса; 12 – циркуляційний бачок; 14 – вакуум-насос; 15 – всмоктувальна лінія вакуум насоса; 16 – вакуумметр; 17 вентиль.

$d_e=100$  мм;  $d_n=80$  мм.

Напір насоса  $H$  визначається за формулою

$$H = M + V + Z + (v_n^2 - v_e^2)/(2g), \quad (1.1)$$

де  $M$  – покази манометра, м;  $V$  – покази вакуумметра, м;  $Z$  – відстань по вертикалі між точкою відбору тиску на всмоктувальній лінії і центром коробки манометра на напірній лінії, м;  $v_n$  і  $v_e$  – швидкість руху рідини відповідно в напірному і всмоктувальному патрубках насоса, м/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Потужність насоса  $N$  визначається за залежністю

$$N = N_e \cdot \eta_e, \quad (1.2)$$

де -  $N_e$  – потужність, що споживається електродвигуном, в кВт (вимірюється ватметром);  $\cdot \eta_e$  – ККД електродвигуна (рекомендується прийняти за паспортними даними електродвигуна). Електродвигун А2-61-2;  $\cdot \eta_e = 0,88$ .

ККД насоса визначається за формулою

$$\eta = N_k / N, \quad (1.3)$$

де  $N_k$  – корисна потужність насоса, кВт.

$$N_k = \rho g Q H / 1000 = 9,81 Q H, \quad (1.4)$$

тут  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напір, м.

Таблиця 1.1. – Журнал лабораторної роботи

Параметри	Одиниці вимірів	Номері вимірів									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>А. Дані вимірів</b>											
1	Частота обертання робочого колеса $n$	об/хв									
2	Подача насоса $Q$	л/с									
3	Покази манометра $M$	поділ ок									
		м									
4	Покази вакуумметра $V$	м									
5	Різниця в висотному положенні приладів $Z$	м									
6	Потужність електродвигуна $N_e$	поділ ок									
		кВт									

В. Результати обчислень										
1	Різниця швидкісних напорів $(v_n^2 - v_c^2)/(2g)$	м								
2	Напір насоса $H$	м								
3	Корисна потужність $N_k$	кВт								
4	Потужність насоса $N$	кВт								
5	ККД насоса $\eta$	%								

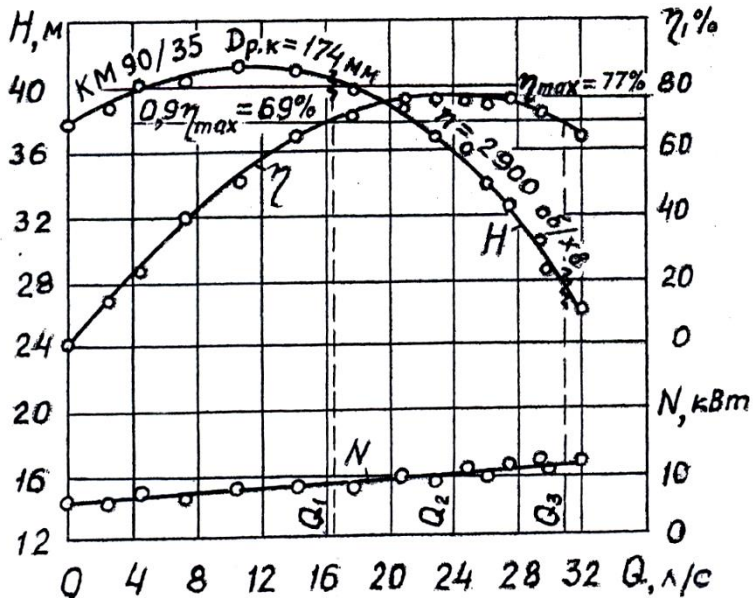


Рис 1.2. Характеристика насоса КМ 90/35;  $D_{p.k}=174$  мм;  $n=2910$  об/хв

## Лабораторна робота № 2 Паралельна робота двох відцентрових насосів

Мета роботи – одержати дослідним шляхом сумарну напірну характеристику паралельної роботи однакових відцентрових насосів і порівняти її з такою ж характеристикою, що побудована розрахунковим шляхом.

Схема лабораторної установки приведена на рис. 2.1. Дослідженню підлягають два насоси марки БЦНМ 3,5/17. В оптимальному режимі роботи такий насос забезпечує подачу  $Q=3,5$  м<sup>3</sup>/год = 0,97 л/с при напорі 17 м. Всмоктувальний і напірний патрубків насоса однакові і мають діаметр 0,04 м.

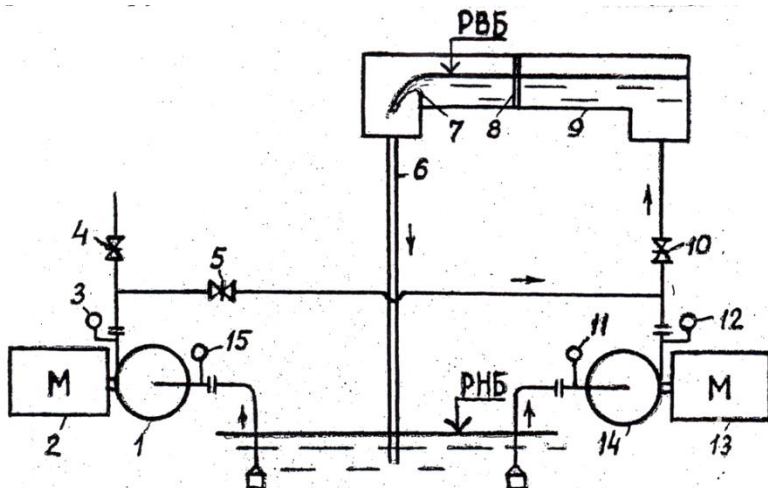


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки для дослідження відцентрових насосів, що працюють паралельно:

1, 14 – відцентрові насоси; 2, 13 – електродвигуни; 3, 12 – манометри; 4, 5, 10 – засувки; 6 – водоскидна труба; 7 – водозлив; 8 – п’єзометр; 9 – мірний лотік; 11, 15 - вакуумметри.

Аналітична характеристика насоса

$$H = H_{\phi} - S_{\phi}Q^2, \quad (2.1)$$

де  $H_{\phi}$ ,  $S_{\phi}$  – відповідно фіктивний напір, та фіктивний опір насоса.

Визначення коефіцієнтів аналітичної залежності

$$S_{\phi} = \frac{H_a - H_b}{Q_b^2 - Q_a^2}; \quad (2.2)$$

$$H_{\phi} = H_a + S_{\phi}Q_a^2. \quad (2.3)$$

Характеристика паралельної роботи двох однакових насосів ( $z_n=2$ ):

- теоретична  $H_{нар} = H_{\phi} - (S_{\phi}/z_n^2) Q^2; \quad (2.4)$

- дослідна  $H_{1+2} = H_{сер} = (H_1 + H_2)/2. \quad (2.5)$

Таблиця 2.1 – Журнал лабораторної роботи

Параметри роботи 1 насоса	Один. вимір	Дослиди							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Подача насоса $Q$	л/с								
Покази манометра $M_1$	м								
Покази манометра $M_2$	м								
Показ вакуумметра $V_2$	м								
Різн. висот. полож. $z$	м								
Напір насоса $H_1$	м								

Напір насоса $H_2$	м									
Напір парал роботи $H_{1+2}$	м									
Подача парал роботи $Q_{пар}$	л/с									
Напір парал роботи $H_{пар}$	м									
Параметри роботи насосів	2	Один. вимір	Досліди							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Подача насоса $Q$	л/с									
Покази манометра $M_1$	м									
Покази манометра $M_2$	м									
Показ вакуумметра $V_2$	м									
Різн. висот. полож. $z$	м									
Напір насоса $H_1$	м									
Напір насоса $H_2$	м									
Напір парал роботи $H_{1+2}$	м									
Подача парал роботи $Q_{пар}$	л/с									
Напір парал роботи $H_{пар}$	м									

### Лабораторна робота № 3 Послідовна робота відцентрових насосів

Мета роботи – одержати дослідним шляхом сумарну напірну характеристику двох однакових відцентрових насосів при їх послідовній роботі і порівняти її з такою ж характеристикою, побудованою розрахунковим шляхом.

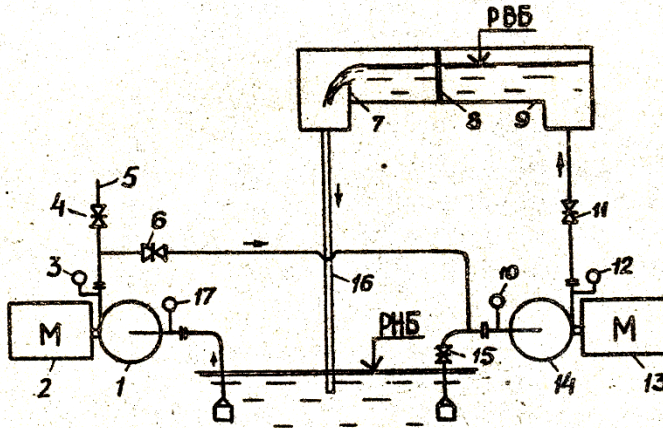


Рис. 3.1. Схема лабораторної установки для дослідження послідовної роботи відцентрових насосів:

1, 14 – відцентрові насоси; 2, 13 – електродвигуни; 3, 12 – манометри; 4, 6, 11, 15 – засувки; 5 – напірна лінія; 7 – водозлив; 8 – п’єзометр; 9 – мірний лотік; 10 – мановакууметр; 16 – водоскидна труба; 17 – вакуумметр.



Напори насосів:

$$H_1 = M_1 + V_1 + z + (v_n^2 - v_b^2)/(2g); \quad (3.1)$$

$$H_2 = M_2 + V_2 + z + (v_n^2 - v_b^2)/(2g); \quad (3.2)$$

Напір насосів при їх послідовній роботі (дослідний):

$$H_{\text{нос доc}} = M_2 + V_1 + z + (v_n^2 - v_b^2)/(2g); \quad (3.3)$$

Втрати напору у з'єднувальній лінії:

$$h_{wз} = M_1 - V_2; \quad (3.4)$$

Приведений напір першого насосу:

$$H_{1np} = H_1 - h_{wз}; \quad (3.5)$$

Напір насосів при їх послідовній роботі (розрахунок):

$$H_{\text{нос}}^{pозп} = H_{1np} + H_2. \quad (3.6)$$

Таблиця 3.1 – Журнал лабораторної роботи

Параметри роботи насосів	Од. ін. ви. мір	Дослиди							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Подача насоса $Q$	л/с								
Покази манометра $M_1$	м								
Покази манометра $M_2$	м								
Покази вакуумметра $V_1$									
Покази мановакуумметра $V_2$	м								
Різниця висотного полож. $z$	м								
Різниця швидкісних напорів $(v_n^2 - v_b^2)/(2g)$	м								
Напір насоса $H_1$	м								
Напір насоса $H_2$	м								
Напір послідов. роботи $H_{\text{нос доc}}$									
Напір послідовн. роботи									
Втрати напору в з'єдн. т-ді $h_{wз}$									
Привед. напір 1 насоса $H_{1np}$	м								
Напір послідов. роботи $H_{\text{нос роз}}$	м								

#### Лабораторна робота № 4 Параметричні випробування вентилятора

**Мета роботи** – аеродинамічні випробування радіального вентилятора і побудова характеристики тиску  $p-Q$ .

*Загальні положення.* Аеродинамічна характеристика вентилятора включає характеристику тиску, яка являє собою залежність повного тиску вентилятора  $p$  від його подачі  $Q$  при визначених: діаметрі робочого колеса  $D$ , частоті обертання  $n$  і густині повітря  $\rho_n$ .

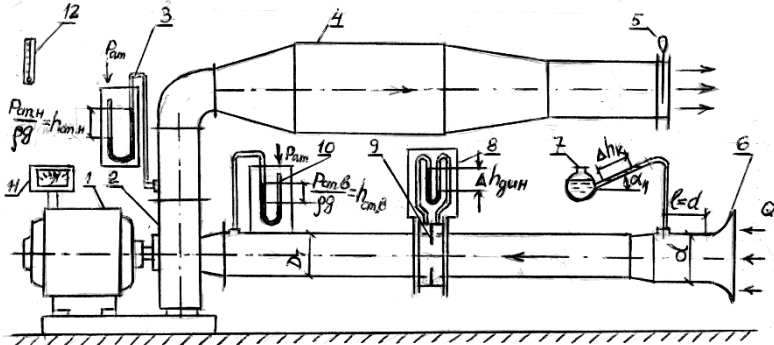


Рис. 4.1. Схема лабораторної установки для аеродинамічних випробувань радіального вентиляторів:  
 1- електродвигун, 2- вентилятор, 3- U-подібний манометр на виході, 4- камера нагнітання; 5- шибєр, 6- вхідний колектор, 7- мікроманометр типу ММН, 8- U-подібний манометр, 9- мірна діафрагма, 10- U-подібний манометр на вході, 11- ватметр, 12- термометр

*Визначення основних параметрів вентиляторів*

Для визначення подачі вентиляторів використовують плавний колектор, який розташований на вході у всмоктувальний трубопровід. Колектор спрофільовано за лемніскаюю. Для такого колектора коефіцієнт місцевого опору дорівнює  $\zeta_{ex} = 0,02$ . Втрати тиску в циліндричному трубопроводі довжиною один калібр ( 1 калібр =  $d_{mp}$ ) можна також оцінити приведеним коефіцієнтом місцевого опору  $\zeta_{mp} = \lambda l/d_{mp} \approx 0,02$ . Швидкість повітря в колекторі (м/с) визначається за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{2 p_k}{(1 + \zeta_{ex} + \zeta_{mp}) \rho_n}} \quad (4.1)$$

Для нормальних умов при густині повітря  $\rho_n = 1,2 \text{ кг/м}^3$  отримаємо розрахункову формулу:

$$v = 1,267 \sqrt{p_k} \quad (4.2)$$

де  $p_k$  – розрідження в колекторі, Па;

Значення розрідження в колекторі  $p_k$  визначають за допомогою мікроманометра:

$$p_k = \rho_{ri} g \Delta h_k 10^{-3} \sin \alpha_l \quad (4.3)$$

де  $\rho_{ri}$  – густина рідини, яка залита в мікроманометр,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\Delta h_k$  – різниця показів за шкалою мікроманометра, мм;  $\alpha_l$  – кут нахилу трубки мікроманометра до горизонту, град; встановлюємо на приладі  $\sin \alpha_l = 0,2$ .

Подача вентиляторів  $Q_k$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) визначається за формулою:

$$Q_k = F_k v = (\pi d_k^2 / 4) v \quad (4.4)$$

де  $d_k$  – діаметр колектора, м.

Швидкості в патрубках:  $v_n = Q_k / f_n$ ;  $v_b = Q_k / f_b$ .

Повний тиск вентилятора складається з повних тисків у всмоктувальному і напірному трубопроводах (Па)

$$p = p_{стн} + p_{дн} + p_{ств} - p_{дв} = \rho g h_{ст.н} 10^{-3} + \rho_{п} v_{н}^2 / 2 + \rho g h_{ст.в} 10^{-3} - \rho_{п} v_{в}^2 / 2 \quad (4.5)$$

де  $\rho$ -густина води,  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $h_{ст.н}$ , і  $h_{ст.в}$  – відповідно різниця показів у напірному і всмоктувальному U-подібних манометрах, мм;  $v_{н}$  і  $v_{в}$ - відповідно швидкості у напірному і всмоктувальному патрубках, м/с.

Корисна потужність вентилятора, Вт

$$N_{кор} = pQ. \quad (4.6)$$

Потужність електродвигуна для приводу вентилятора

$$N_{дв} = KN_{кор} / \eta_{в}, \quad (4.7)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу,  $K=1,5$ ;  $\eta_{в}$  – ККД вентилятора,  $\eta_{в} \approx 0,7$ .

Таблиця 4.1. Параметри установки

Найменування параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Числові значення
Діаметр колектора	$d_k$	м	0,25
Діаметр всмоктувального трубопроводу	$D_в$	м	0,168
Діаметр всмоктувального патрубка	$d_{вп}$	м	0,4
Розміри напірного патрубка: ширина	$a$	м	0,34
довжина	$b$	м	0,34
Площа перерізів: колектора	$F_k$	м <sup>2</sup>	0,049
всмоктувального патрубка	$f_{вп}$	м <sup>2</sup>	0,1256
напірного патрубка	$f_n$	м <sup>2</sup>	0,1156

Таблиця 4.2. Результати вимірювань

Прилади	№ досліду	Покази приладів, мм		Різниця показів, мм
		ліворуч	праворуч	
Мікроамперметр	1			
	2			
	3			
U-подібний манометр на всмоктуванні	1			
	2			
	3			
U-подібний манометр на нагнітанні	1			
	2			
	3			

Таблиця 4.3. Результати випробування радіального вентилятора

Найменування параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	№№ дослідів		
			1	2	3
Різниця показів:					
мікроманометра	$\Delta h_k$	мм			
напірного патрубку	$h_{стн}$	мм			
всмоктувального патрубку	$h_{стн}$	мм			
<b>Результати розрахунків</b>					
Розрідження повітря в колекторі	$p_k$	Па			
Швидкість повітря в колекторі	$v$	м/с			
Подача вентилятора	$Q$	м <sup>3</sup> /с			
Статичні тиски:					
у всмоктуваль. патрубку	$p_{ств}$	Па			
в напірному патрубку	$p_{стн}$	Па			
Динамічні тиски:					
у всмоктуваль. патрубку	$p_{дв}$	Па			
в напірному патрубку	$p_{дн}$	Па			
Повний тиск вентилятора	$p$	Па			
Потужність вентилятора	$N_{кор}$	кВт			
Потужність електродвигуна	$N_{ов}$	кВт			

## 2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

1. При вирішенні окремих завдань необхідно додержуватись таких правил:

- записується умова задачі з вихідними даними;
- при виконанні розрахунків спочатку записуються розрахункові формули, а потім підставляються в них чисельні значення величин і наводиться кінцевий результат обрахувань (див. приклади вирішення задач);
- біля всіх величин проставляються одиниці вимірювання;
- графічна частина роботи (графіки) виконуються в стандартних масштабах.

2. *Основні параметри насосів.* Насосом називається гідравлічна машина для створення потоку рідкого середовища.

Насос характеризують такі основні параметри: подача  $Q$  (м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/год, л/с); напір  $H$  (м); потужність  $N$  (кВт); коефіцієнт корисної дії  $\eta$  (%); частота обертання  $n$  (с<sup>-1</sup>, об/хв); допустимий кавітаційний запас  $\Delta h_{доп}$  (м); допустима вакуумметрична висота всмоктування  $H_{доп}^{бак}$  (м).

*Подачею* насоса називається об'єм рідини, що перекачується ним за одиницю часу.

*Напіром* насоса називається різниця питомих енергій рідини в нагнітальному і всмоктувальному патрубках.

Напір насоса в умовах проектування насосної установки визначається сумою геодезичних висот всмоктування і нагнітання і сумарних гідравлічних втрат напору за формулами:

$$H = H_{з.в.} + H_{з.н.} + h_6 + h_n, \quad (1.1)$$

$$\text{або } H = H_r + \Sigma h \quad (1.2)$$

де  $H_{з.в.}$  – геодезична висота всмоктування, яка визначається різницею відміток осі насоса і рівня води в нижньому б'єфі (рис.1);  $H_{з.н.}$  – геодезична висота нагнітання, яка визначається різницею відміток рівня води у верхньому б'єфі і осі насоса;  $h_6$  і  $h_n$  – втрати напору відповідно у всмоктувальному і напірному трубопроводах.

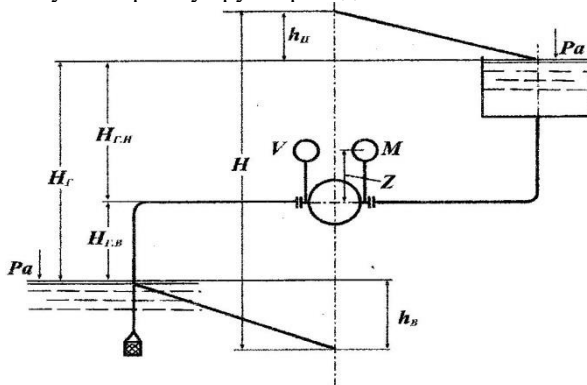


Рис. 1.1. Схема насосної установки.

В умовах експлуатації насосної установки напір насоса визначається показами приладів за формулою:

$$H = M + V + z + \frac{V_n^2 - V_6^2}{2g} \quad (1.3)$$

де  $M$  і  $V$  – покази манометра і вакуумметра в м;  $z$  – відстань по вертикалі від осі корпусу манометра до точки приєднання трубки вакуумметра в м;  $V_n$  і  $V_6$  – середні швидкості протікання рідини відповідно у нагнітальному і всмоктувальному патрубках насоса, м/с.

3. *Подібність насосів.* Попереднє визначення розрахункових параметрів насосів можливе на основі теорії подібності.

Наведені нижче формули подібності насосів дозволяють отримати при відомих параметрах потоку на моделі лопатевого насоса параметри натурального потоку.

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M} \left(\frac{D_H}{D_M}\right)^3 \quad (1.4)$$

$$\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \left(\frac{D_H}{D_M}\right)^2 \quad (1.5)$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3 \left(\frac{D_H}{D_M}\right)^5 \quad (1.6)$$

Для випадку, коли  $D_M = D_H$ , тобто для одного і того ж насоса, формули подібності мають такий вигляд:

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M} \quad (1.7)$$

$$\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \quad (1.8)$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3 \quad (1.9)$$

Останні залежності дозволяють перерахувати параметри насоса з однієї частоти обертання на іншу. Значення допустимого кавітаційного запасу  $\Delta h'_{\text{доп}}$  при частоті обертання  $n_1$  визначається за значенням  $\Delta h_{\text{доп}}$  при частоті обертання  $n$  за такою залежністю

$$\Delta h'_{\text{доп}} = \Delta h_{\text{доп}} \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \quad (1.10)$$

Допустиму вакуумметричну висоту всмоктування при зміні частоти обертання визначають так

$$H'_{\text{вак}} = 10 - (10 - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}) \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \quad (1.11)$$

Коефіцієнт швидкохідності насоса чисельно дорівнює частоті обертання геометрично подібного насоса, який має такі розміри, що при напорі в 1 м він розвиває подачу 75 л/с. Його визначають за формулою

$$n_S = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (1.12)$$

тут  $n$  – частота обертання робочого колеса, об/хв.;  $Q$  і  $H$  – подача ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) і напір (м) при роботі насоса в оптимальному режимі, тобто з максимальним ККД.

Для насосів з двохстороннім входом в формулу підставляють  $Q/2$ , а для секційних насосів – напір, створюваний одним колесом.

За коефіцієнтом швидкохідності насоси класифікуються так:

- відцентрові тихохідні  $50 < n_s < 80$ ,
- відцентрові нормальні  $80 < n_s < 150$ ,
- відцентрові швидкохідні  $150 < n_s < 350$ ,
- діагональні  $350 < n_s < 600$ ,
- осьові  $600 < n_s < 1200$ .

Область використання відцентрових насосів можна розширити шляхом обточування робочих коліс. При цьому використовують такі формули перерахунку параметрів насоса:

$$Q_{обт} = Q \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^k, \quad H_{обт} = H \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^{2k}, \quad N_{обт} = N \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^{3k} \quad (1.13)$$

де  $k$  – коефіцієнт, значення якого для відцентрових насосів приймається рівним 1 при  $n_s < 200$  і 1,5 при  $n_s > 200$ .

ККД насоса зменшується на 1% на кожні 10% обточування робочого колеса при  $n_s=60\dots120$  і на кожні 4% обточування при  $n_s>120$

Рекомендовані максимально допустимі межі обточування коліс:

- при  $60 < n_s < 120$   $15\dots20\%$ ,
- при  $120 < n_s < 200$   $10\dots15\%$ ,
- при  $200 < n_s < 300$   $5\dots10\%$ .

Якщо зазначені межі перевищуються, то ККД насоса значно знижується.

#### 4. Сумісна робота насосів і трубопроводів.

Режим роботи насоса можна визначити графічно побудовою характеристик насоса і трубопроводу. Характеристика трубопроводу будується за такими залежностями:

$$H_{mp} = H_z + \Sigma h_w, \quad \Sigma h_w = h_g + h_n,$$

$$h_g = \left( \Sigma \xi_g + \lambda_g \frac{l_g}{d_g} \right) \frac{V_g^2}{2g}, \quad h_n = (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n}{d_n} \frac{V_n^2}{2g},$$

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}}. \quad (1.14)$$

В наведених залежностях:  $H_z$  – геодезичний напір;  $h_g$  і  $h_n$  – втрати напору у всмоктувальній і напірній лініях насоса;  $d_g$  і  $d_n$  – діаметри відповідних трубопроводів;  $l_g$  і  $l_n$  – довжини трубопроводів;  $V_g$  і  $V_n$  – швидкості руху води;  $\xi_g$  – коефіцієнт місцевого опору у всмоктувальній лінії; 1,05...1,1 – коефіцієнт, який враховує місцеві опори в напірній лінії.

Характеристика трубопроводу це графік залежності напору від витрати. Для встановлення режиму роботи насоса в заданих умовах на графік з напірною характеристикою насоса у тому ж масштабі наносять характеристику трубопроводу (рис. 2).





$$\begin{cases} H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2 \\ H = H_r + S_{\text{тр}} Q^2 \end{cases} \quad (1.16)$$

Останнє рівняння є рівнянням характеристики трубопроводу.

### 3. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧ

Варіант завдання студент вибирає самостійно за шифром залікової книжки.

**Задача 1.** Відцентровим насосом вода із водосховища подається у відвідний канал. Визначити напір насоса, потрібний для його роботи в заданих умовах: подача  $Q$ ; довжина всмоктувальної лінії  $l_e$  і її діаметр  $D_e$ ; довжина напірної лінії  $l_n$  і її діаметр  $D_n$ . Відмітка рівня води у водосховищі  $\nabla 1 = 100\text{м}$ , а відмітка рівня води у відвідному каналі  $\nabla 2$ . На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ( $\xi_c = 3$ ), три коліна ( $\xi_k = 0,4$ ) і ексцентричний перехід ( $\xi_n = 0,18$ ) ( $\xi_{\text{п}} = 0,18$ ).

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Остання цифра шифру									
$Q, \text{л/с}$	75	100	130	150	180	210	250	310	350	400
$D_n, \text{мм}$	200	250	300	300	350	350	400	450	450	500
$D_e, \text{мм}$	300	350	400	400	450	500	500	600	600	700
Передостання цифра шифру										
$l_n, \text{м}$	700	800	800	900	1000	700	900	600	950	1100
$l_e, \text{м}$	20	25	30	35	40	35	30	25	20	30
Третя з кінця цифра шифру										
$\nabla 2, \text{м}$	125	130	135	140	145	150	145	140	135	130

**Задача 2.** Визначити напір насоса діючої насосної установки за такими даними: подача насоса  $Q$ , діаметр всмоктувального патрубку насоса  $d_e$ , діаметр напірного патрубку  $d_n$ , показ манометра  $M$ , показ вакуумметра  $V$ , відстань по вертикалі між точками виміру тиску  $z$ .

Пара- метри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Остання цифра шифру									
$Q$ , л/с	40	100	95	90	85	80	75	70	65	60
$d_n$ , мм	80	200	150	150	150	150	150	150	150	100
$d_b$ , мм	100	250	200	200	200	200	200	200	200	150
Передостання цифра шифру										
$M$ , Мпа	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
$V$ , Мпа	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02
Третя з кінця цифра шифру										
$z$ , м	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3

**Задача 3.** Для насоса ..., користуючись його характеристиками при обертах  $n$ , побудувати нові характеристики при обертах  $n_1$ .

Остання цифра шифру					
	1	2	3	4	5
Марка	K20/30	K45/30	K90/20	K90/35	K90/55
	6	7	8	9	0
Марка	K160/30	K290/30	D200-36	K90/85	D200-95
Передостання цифра шифру					
	1	2	3	4	5
$n_1$ , об/хв	$n-150$	$n-200$	$n-250$	$n-200$	$n-250$
	6	7	8	9	0
$n_1$ , об/хв	$n+150$	$n+150$	$n+150$	$n+150$	$n+150$

**Задача 4.** Добрати насос для забезпечення заданої подачі води в кількості  $Q_3$  із каналу в напірний резервуар з відміткою рівня води в ньому  $\nabla 2$ . Довжина напірного сталевго трубопроводу  $l_n$ , а всмоктувального -  $l_b$ . Відмітка рівня води в каналі  $\nabla 1=100$ м. На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ( $\xi_c=3$ ), три коліна ( $\xi_R=0,4$ ) і ексцентричний перехід ( $\xi_n=0,18$ ).

Пара- метри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Остання цифра шифру									
$Q_3$ , л/с	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Передостання цифра шифру										
$l_n$ , м	700	800	900	1000	600	700	800	1100	900	1000
$l_b$ , м	20	25	30	20	25	30	35	30	25	20
Третя з кінця цифра шифру										
$\nabla 2$ , м	120	125	130	135	140	150	145	140	135	130

**Задача 5.** Побудувати графік паралельної роботи двох насосів, добраних в задачі 4, на напірний трубопровід. Визначити спільну подачу і подачу кожного насоса, напір, потужність, ККД і допустимий кавітаційний запас. Втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях прийняти рівними 3,5 м при максимальному ККД насоса.

**Задача 6.** Насос, добраний в задачі 4, працює на розгалужений трубопровід. Визначити подачу в точки 3 і 4. Вода забирається з джерела з відміткою рівня в ньому  $\nabla 1=100\text{м}$  і подається на відмітку в точці 3 ( $\nabla 3$ ) і в точці 4 ( $\nabla 4$ ). Втратами напору у внутрішньостанційних комунікаціях знехтувати. Довжини ділянок та їх діаметри задаються в таблиці.

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Остання цифра шифру									
$L_{1-2}, \text{ м}$	400	100	300	200	200	300	250	300	350	300
$d_{1-2}, \text{ мм}$	600	400	400	600	700	400	500	400	400	500
Передостання цифра шифру										
$L_{2-3}, \text{ м}$	200	250	300	350	400	450	500	450	400	300
$d_{2-3}, \text{ мм}$	300	250	200	300	400	200	300	300	250	250
Третя з кінця цифра шифру										
$L_{2-4}, \text{ м}$	300	400	450	500	450	400	350	300	250	200
$d_{2-4}, \text{ мм}$	250	150	200	400	250	250	200	250	200	200
Остання цифра шифру										
$\nabla 3, \text{ м}$	110	115	120	112	114	116	110	115	120	113
$\nabla 4, \text{ м}$	113	120	115	118	110	120	115	110	110	108

## 4. ПРИКЛАДИ ВИРШЕННЯ ЗАДАЧ

**Задача 1.** Відцентровим насосом вода із водосховища подається у відвідний канал. Визначити напір насоса, потрібний для його роботи в заданих умовах: подача  $Q=80\text{л/с}$ , довжина всмоктувальної лінії  $l_e=25\text{м}$ , її діаметр  $D_e=300\text{мм}$ ; довжина напірної лінії  $l_n=500\text{м}$ , її діаметр  $D_n=200\text{мм}$ . Відмітка рівня води у відвідному каналі  $\nabla 2=125\text{м}$ , відмітка рівня води у водосховищі  $\nabla 1=75\text{м}$ . на всмоктувальній лінії встановлено приймальний клапан ( $\xi_c=3,7$ ), три коліна ( $\xi_k=0,4$ ) і ексцентричний перехід ( $\xi_n=0,18$ ).

Напір насоса визначаємо за формулою

$$H = H_z + \Sigma h_w,$$

де  $H_z$  - геодезичний напір;

$$H_z = \nabla 2 - \nabla 1 = 125 - 75 = 50 \text{ м},$$

$\Sigma h_w = h_g + h_n$  - втрати напору;

$$h_g = \left( \Sigma \xi_g + \lambda_g \frac{l_g}{d_g} \right) \frac{V_g^2}{2g}, \quad h_n = (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n V_n^2}{d_n 2g},$$

$$\lambda_g = \frac{0,021}{d_g^{0,3}} = \frac{0,021}{0,3^{0,3}} = 0,03,$$

$$\lambda_n = \frac{0,021}{d_n^{0,3}} = \frac{0,021}{0,2^{0,3}} = 0,034.$$

$V_g$  і  $V_n$  – середні швидкості руху води в трубопроводах;

$$V_g = \frac{4Q}{\pi d_g^2} = \frac{4 \cdot 0,08}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,13 \text{ м/с},$$

$$V_n = \frac{4Q}{\pi d_n^2} = \frac{4 \cdot 0,08}{3,14 \cdot 0,2^2} = 2,55 \text{ м/с}.$$

$\Sigma \xi_g$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії,

$$\Sigma \xi_g = \xi_c + 3\xi_k + \xi_n = 3,7 + 3 \cdot 0,4 + 0,18 = 5,08.$$

Отже

$$h_g = \left( 5,08 + 0,03 \frac{25}{0,3} \right) \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 0,5 \text{ м},$$

$$h_n = 1,1 \cdot 0,034 \cdot \frac{500}{0,2} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 31 \text{ м}.$$

Тоді

$$H = 50 + 0,5 + 31 = 81,5 \text{ м}.$$

**Задача 2.** Визначити напір насоса діючої насосної установки за такими даними: подача насоса  $Q = 1300 \text{ л/с}$ , діаметр всмоктувального патрубку насоса  $d_g = 700 \text{ мм}$ , діаметр напірного патрубку  $d_n = 500 \text{ мм}$ , показ манометра  $M = 0,85 \text{ Мпа}$ , показ вакуумметра  $V = 0,015 \text{ Мпа}$ , відстань по вертикалі між точками виміру тиску  $z = 0,5 \text{ м}$ .

Напір насоса визначається за формулою

$$H = M + V + z + \frac{V_n^2 - V_g^2}{2g},$$

де  $M = 0,85 \cdot 100 = 85 \text{ м}$  (тиску 1 Мпа відповідає напір 100 м);

$V = 0,015 \cdot 100 = 1,5 \text{ м}$ ;

$$V_6 = \frac{4Q}{\pi d_6^2} = \frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,7^2} = 3,38 \text{ м/с},$$

$$V_H = \frac{4Q}{\pi d_H^2} = \frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,5^2} = 6,63 \text{ м/с}.$$

Отже

$$H = 85 + 1,5 + 0,5 + \frac{6,63^2 - 3,38^2}{2 \cdot 9,81} = 88,66 \text{ м}.$$

**Задача 3.** Для насоса К90/20, користуючись його характеристиками при обертах  $n=2900 \text{ об/хв}$ , побудувати нові характеристики  $H_1$ ,  $N_1$ ,  $\eta_1$  і  $\Delta h_1$  при обертах  $n_1=2500 \text{ об/хв}$ .

Користуючись характеристиками насоса, які наведені в додатку, виписуємо параметри насоса при частоті обертання робочого колеса  $n=2900 \text{ об/хв}$ .

За формулами

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{n_1}{n}, \quad \frac{H_1}{H} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2, \quad \frac{N_1}{N} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^3,$$

$$\Delta h_{\text{доп}}^1 = \Delta h_{\text{доп}} \left(\frac{n_1}{n}\right)^2$$

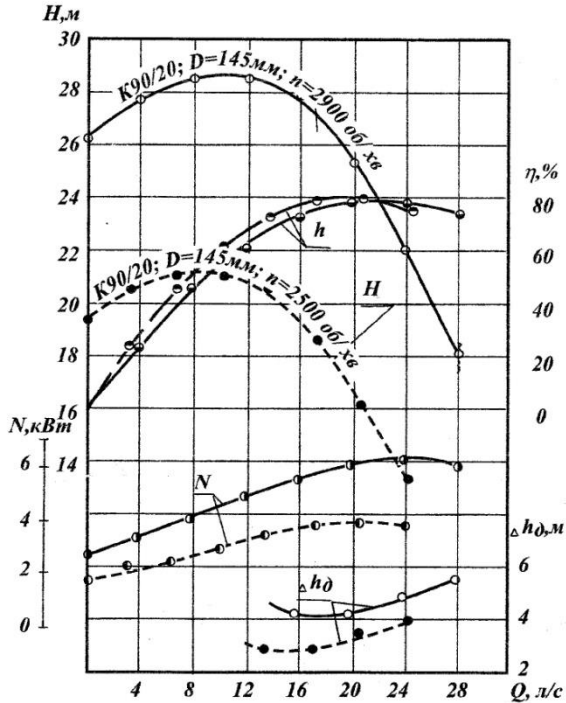
визначаємо параметри насоса при  $n_1=2500 \text{ об/хв}$ .

Всі дані записуємо до таблиці.

Параметри при $n=2900 \text{ об/хв}$					Параметри при $n_1=2500 \text{ об/хв}$				
$Q$ , л/с	$H$ , м	$N$ , кВт	$\eta$ , %	$\Delta h$ , м	$Q_1$ , л/с	$H_1$ , м	$N_1$ , кВт	$\eta_1$ , %	$\Delta h_1$ , м
0	26,3	2,6	0	-	0	19,5	1,66	0	-
4	27,9	3,4	26	-	3,45	20,8	2,18	26	-
8	28,6	4,1	48	-	6,9	21,3	2,63	48	-
12	28,6	5,0	63	-	10,35	21,3	3,20	63	-
16	28,0	5,7	75	4,6	13,8	20,8	3,66	75	3,42
20	25,8	6,2	80	4,6	17,25	19,15	3,97	80	3,42
24	22,3	6,4	81	5,3	20,7	16,6	4,10	81	3,94
28	18,4	6,2	77	6,0	24,15	13,7	3,97	77	4,46

За даними таблиці будуть характеристики насоса при  $n$  і  $n_1$  та порівнюють їх. Графіки доцільно будувати на міліметровому папері. При цьому масштаб для напору вибирають таким, щоб в 1см

графіка було не більше 1...2 (5) м напору. Масштаб для подач і інших параметрів вибирається стандартним.



**Задача 4.** Добрати насос для забезпечення заданої подачі води в кількості  $Q_3=140$  л/с із каналу в напірний резервуар з відміткою рівня води в ньому  $\nabla 2=440$  м. Довжина напірного сталевого водогону  $l_n=500$  м, а всмоктувального -  $l_s=30$  м. Відмітка рівня води в каналі  $\nabla 1=400$  м. На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ( $\xi_c=3$ ), три коліна ( $\xi_k=0,4$ ) і ексцентричний перехід ( $\xi_n=0,18$ ).

Визначаємо діаметри водогонів за допустимими швидкостями руху води в них:

$$[V_n]=1,5\dots 2,5 \text{ м/с}, \quad [V_s]=0,8\dots 1,2 \text{ м/с}.$$

$$D_n = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[V_n]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 2}} = 0,29 \text{ м},$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[V_s]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 1}} = 0,42 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартні діаметри, а саме  $D_n=300\text{мм}$ ,  $D_6=400\text{мм}$ .  
Визначаємо коефіцієнти тертя води у водогонах

$$\lambda_n = \frac{0,021}{D_n^{0,3}} = \frac{0,021}{0,3^{0,3}} = 0,03,$$

$$\lambda_6 = \frac{0,021}{D_6^{0,3}} = \frac{0,021}{0,4^{0,3}} = 0,028.$$

Фактичні швидкості руху води у водогонах

$$V_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi D_n^2} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,98 \text{ м/с},$$

$$V_6 = \frac{4 \cdot Q}{\pi D_6^2} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,4^2} = 1,11 \text{ м/с}.$$

Визначаємо втрати напору у водогонах

$$h_B = \left( \sum \xi_B + \lambda_B \frac{l_B}{d_B} \right) \frac{V_B^2}{2g} = \left( 4,38 + 0,028 \frac{30}{0,4} \right) \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,81} = 0,4 \text{ м},$$

$$h_n = (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n}{d_n} \frac{V_n^2}{2g} = 1,1 \cdot 0,03 \frac{500}{0,3} \cdot \frac{1,98^2}{2 \cdot 9,81} = 11 \text{ м}$$

Геодезичний напір складає

$$H_z = \nabla 2 - \nabla 1 = 440 - 400 = 40 \text{ м}.$$

Визначаємо напір насоса

$$H = H_z + h_B + h_n = 40 + 0,4 + 11 = 51,6 \text{ м}.$$

За визначеним напором та подачею 140 л/с, використовуючи зведені графіки областей застосування насосів, добираємо насос D500-65 ( $D_{p.k.}=465 \text{ мм}$ ;  $n=1450 \text{ об/хв}$ ).

Режим роботи насоса встановлюємо графічним способом, для чого на графік з напірною характеристикою насоса в тому ж масштабі наносимо приведену характеристику водогону

$$H_g = H_z + S Q^2,$$

де  $S$  - гідравлічний опір приведенного водогону

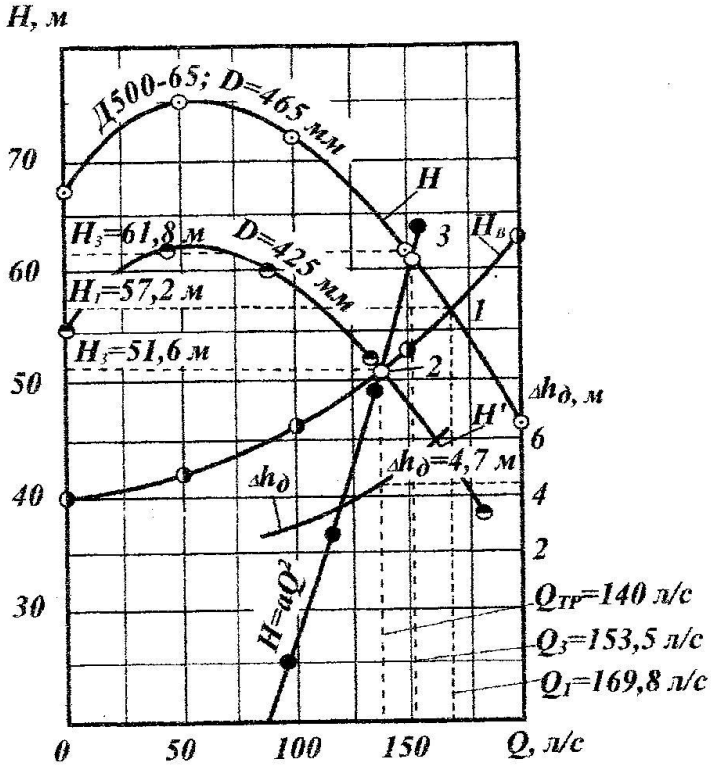
$$S = \frac{h_n + h_B}{Q_n^2} = \frac{11 + 0,4}{0,14^2} = 591 \text{ с}^2 \cdot \text{м}^{-5}.$$

Рівняння характеристики водогону

$$H_g = 40 + 591 Q^2.$$

Координати характеристики водогону визначаємо в таблиці

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$591Q^2, \text{ м}$	0	1,48	5,91	13,3	23,6
$H_0, \text{ м}$	40,0	41,8	45,91	53,3	63,6



Характеристика водогону  $H_0$  перетинає характеристику насоса у точці 1, де  $Q_1 = 169 \text{ л/с}$ , що перебільшує потрібну подачу. Для зменшення подачі до потрібної необхідно зменшити діаметр робочого колеса насоса. При обточеному колесі параметри насоса (подача і напір) змінюються по перехідній кривій  $H = \alpha Q^2$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт, який визначається розрахунковими параметрами насоса.



$$\alpha = \frac{H_p}{Q_n^2} = \frac{51,6}{0,14^2} = 2633 \text{ м}^{-5} \cdot \text{с}^2.$$

Координати перехідної кривої визначаємо в таблиці

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,0975	0,117	0,1365	0,156
$H=\alpha Q^2, \text{ м}$	25	36	49	64

Побудувавши перехідну криву, отримаємо точку 3.  
Визначаємо діаметр обточеного робочого колеса

$$D_{обт} = D \frac{Q_n}{Q_3} = 465 \frac{140}{153,5} = 424 \text{ мм},$$

$$D_{обт} = D \sqrt{\frac{H_p}{H_3}} = 465 \sqrt{\frac{51,6}{61,8}} = 424,9 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $D_{обт} = 425 \text{ мм}$ .

Визначаємо коефіцієнт швидкості насоса

$$n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q_{онм}/2}}{H_{онм}^{3/4}} = 3,65 \frac{1450 \sqrt{0,139/2}}{65^{3/4}} = 60,8 \text{ об/хв}.$$

Ступінь обточування робочого колеса

$$p = \frac{D - D_{обт}}{D} \cdot 100\% = 8,6\%,$$

що менше допустимого 20% для даного насоса.

Перераховуємо в таблиці характеристику насоса на новий діаметр за формулами

$$Q_{обт} = Q \frac{D_{обт}}{D}, \quad H_{обт} = H \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^2.$$

При $D, \text{ мм}$	$Q, \text{ л/с}$	0	50	100	150	200
	$H, \text{ м}$	66,5	75	72	63	46,5
При $D_{обт}, \text{ мм}$	$Q_{обт}, \text{ л/с}$	0	45,5	91	136,5	182
	$H_{обт}, \text{ м}$	55,2	62,3	59,8	52,3	38,6

Як видно, характеристика насоса з обточеним колесом перетинає характеристику водогону в точці 2, де подача відповідає потрібній.

**Задача 5.** Побудувати графік паралельної роботи двох насосів Д2000-21 ( $D_{р.к.}=460 \text{ мм}$ ,  $n=980 \text{ об/хв.}$ ) на напірний водогін довжиною

$l=513$  м, діаметром  $D=800$  мм при  $H_r=16$  м. Визначити спільну подачу і подачу кожного насоса, напір, потужність, ККД і допустимий кавітаційний запас. Втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях прийняти рівними  $1,5$  м при максимальному ККД насоса.

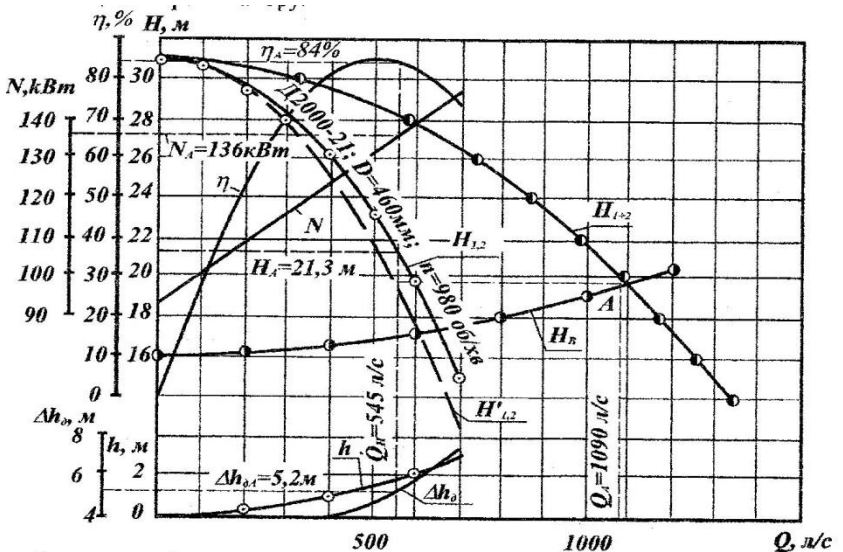
Переносимо на графік характеристику насоса.

Визначаємо гідравлічний опір внутрішньостанційних комунікацій

$$S_{cm} = \frac{h}{Q^2} = \frac{1,5}{0,5^2} c^2 \cdot m^{-5},$$

тут  $Q$  – подача ( $m^3/c$ ) насоса при максимальному ККД.

Визначаємо в таблиці координати характеристики втрат напору у внутрішньостанційних комунікаціях, за якими будемо характеристику  $h$ .



Знижуючи напірну характеристику  $H_{1,2}$  насоса на втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях, отримаємо напірну характеристику  $H'_{1,2}$ , користуючись якою, будемо сумарну характеристику двох паралельно працюючих насосів  $H'_{1+2}$ .

Визначаємо коефіцієнт тертя в напірному водогоні

$$\lambda_6 = \frac{0,021}{D^{0,3}} = \frac{0,021}{0,8^{0,3}} = 0,0224,$$

Рівняння характеристики водогону має вигляд

$$H_6 = H_c + 1,1\lambda_6 \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2}.$$

Після підстановки величин отримаємо

$$\begin{aligned} H_6 = H_c + \frac{l}{D} \cdot \frac{16Q^2}{2g \cdot \pi^2 \cdot D^4} &= 16 + 1,1 \cdot 0,0224 \cdot \frac{513}{0,8} \cdot \frac{16Q^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2 \cdot 0,8^4} = \\ &= 16 + 3,11Q^2. \end{aligned}$$

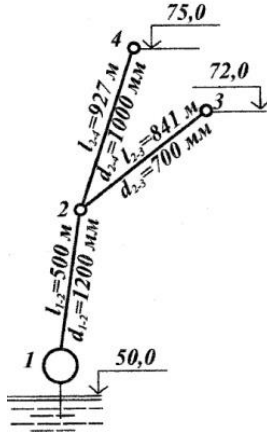
Задаємося витратами і визначаємо в таблиці координати характеристики водогону.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$3,11Q^2, \text{ м}$	0	0,12	0,50	1,12	1,99	3,11	4,48
$H_6 = 16 + 3,11Q^2, \text{ м}$	16,0	16,12	16,50	17,12	17,99	19,11	20,48

За даними таблиці будуємо характеристику водогону  $H_и$ , перетин якої з характеристикою  $H'_{1+2}$  визначає робочу точку А, за якою встановлюємо сумарну подачу двох насосів  $Q_A = 1090$  л/с. подача кожного з них складає 545 л/с. при цій подачі можна визначити решту параметрів.

$Q_A, \text{ л/с}$	$Q_H, \text{ л/с}$	$H, \text{ м}$	$N, \text{ кВт}$	$\eta, \%$	$\Delta h_B, \text{ м}$
1090	545	21,3	136	84	5,2

**Задача 6.** Насос 1000В-4/63 працює на розгалужений трубопровід. Визначити подачу в точки 3 і 4. Вода забирається з джерела з відміткою рівня в ньому  $\nabla 1=100\text{м}$  і подається на відмітку в точці 3 ( $\nabla 3=72\text{ м}$ ) і в точці 4 ( $\nabla 4=75\text{м}$ ). Втратами напору у внутрішньостанційних комунікаціях знехтувати. Довжини ділянок та їх діаметри задаються на схемі

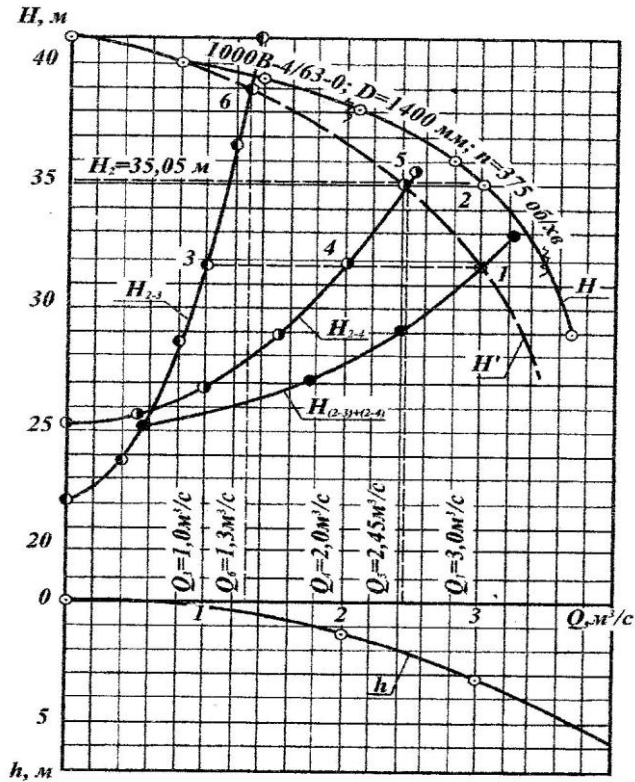


Переносимо на графік напірну характеристику насоса Н. Будемо криву залежності втрат напору від витрати у водогоні від початку всмоктувальної лінії до точки розгалуження 2 за рівнянням

$$h_{1-2} = 1,1A_{1-2}L_{1-2}Q^2 = 1,1 \cdot 0,654 \cdot 10^{-6} \cdot 500Q^2 = 0,36Q^2.$$

Координати визначаємо в таблиці.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	1	2	3	4
$h_{1-2} = 0,36Q^2, \text{ м}$	0	0,36	1,44	3,24	5,75



Віднімаючи від напірної характеристики насоса  $H$  втрати напору  $h_{1-2}$ , отримаємо приведену напірну характеристику насоса  $H'$ . Складемо рівняння характеристик відгалужень 2-3 і 2-4 :

$$H_{2-3} = H_{c(2-3)} + 1,1A_{2-3}L_{2-3}Q^2,$$

$$H_{2-4} = H_{c(2-4)} + 1,1A_{2-4}L_{2-4}Q^2.$$

Тут

$$H_{c(2-3)} = \nabla 3 - \nabla 1 = 72 - 50 = 22\text{ м},$$

$$H_{c(2-4)} = \nabla 4 - \nabla 1 = 75 - 50 = 25\text{ м}.$$

$A_{2-3}$  і  $A_{2-4}$  – коефіцієнти питомих опорів трубопроводів, які приймаються за додатком.

$$A_{2-3} = 0,01098c^2m^6; \quad A_{2-4} = 0,001699c^2m^6.$$

Отже

$$H_{2-3} = 22 + 1,1 \cdot 0,01098 \cdot 841Q^2 = 22 + 10,16Q^2,$$

$$H_{2-4} = 25 + 1,1 \cdot 0,001699 \cdot 927Q^2 = 25 + 1,73Q^2,$$

За отриманими рівняннями в таблицях визначаємо координати характеристик відгалужень.

$Q, m^3/c$	0	0,4	0,8	1,2
$10,16Q^2, m$	0	1,63	6,50	14,63
$H_{2-3}, m$	22,0	23,63	28,50	36,63

$Q, m^3/c$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$1,73Q^2, m$	0	0,43	1,73	3,89	6,92	10,81
$H_{2-4}, m$	25,0	25,43	26,73	28,89	31,92	35,81

За даними таблиць будемо характеристики відгалужень 2-3 і 2-4, які в подальшому складаємо, як паралельно працюючі. Отримаємо сумарну характеристику відгалужень  $H_{(2-3)+(2-4)}$ .

Перетин цієї характеристики з характеристикою насоса Н' встановлює робочу точку 1. Вона визначає подачу насоса  $Q_1 = 3,0 m^3/c$ , за якою з напірної характеристики Н визначаємо значення напору  $H_2 = 35,05 m$ , створюваного насосом. Перетин горизонталі, проведеної через точку 1, з характеристиками відгалужень  $H_{2-3}$  і  $H_{2-4}$  визначає точки 3 і 4, які вказують подачу в точки 3 і 4, тобто:

$$Q_3 = 1,0 m^3/c \quad \text{і} \quad Q_4 = 2,0 m^3/c.$$

Якщо відключити одне з відгалужень, то робочі точки отримуються на перетині характеристик відгалужень з характеристикою Н', тобто точки 5 і 6.

Тоді

$$Q_5 = 2,45 m^3/c \quad \text{і} \quad Q_6 = 1,3 m^3/c.$$

## ЛІТЕРАТУРА

1. Насоси і меліоративні насосні станції / Петрик О. Д., Подласов О. В., Євреєнко Ю. П. ; під. ред.. О. Д. Петрика. Львів : Вища школа. 1987. 320 с.
2. Герасимов Г. Г. Гідравлічні та аеродинамічні машини : підручник / Рівне : НУВГП, 2008. 241с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2264/>
3. Мандрус В. І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, газодувки, компресори) : підручник. Львів : Магнолія плюс, видавець В. М. Піча, 2005. 340 с.
4. Срібнюк С. М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії і застосування : навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 328 с.
5. Герасимов Г. Г. Проектування автоматизованих насосних станцій підкачки : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2007. 552с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/2265/>
6. 5. Насосні станції: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни. / Ю. П. Євреєнко, Г. Г. Герасимов. Рівне : НУВГП, 2008. 128 с.
7. Степанов М. Н. Гідравлічні машини. Київ : Вища школа, 1973. 124 с.
8. Євреєнко Ю. П. Практикум з курсу «Насосні станції та водогони» : навчальний посібник. Рівне : УДАВГ, 1996. 115 с.
9. ДСТУ 3063-95. Насоси. Класифікація. Терміни та визначення.
10. ДСТУ 3503-97. Насоси. Основні технічні показники та характеристики рідинних насосів. Терміни, визначення та позначення.
11. ДСТУ. 3809-98. Компресори. Терміни та визначення.

## ДОДАТКИ

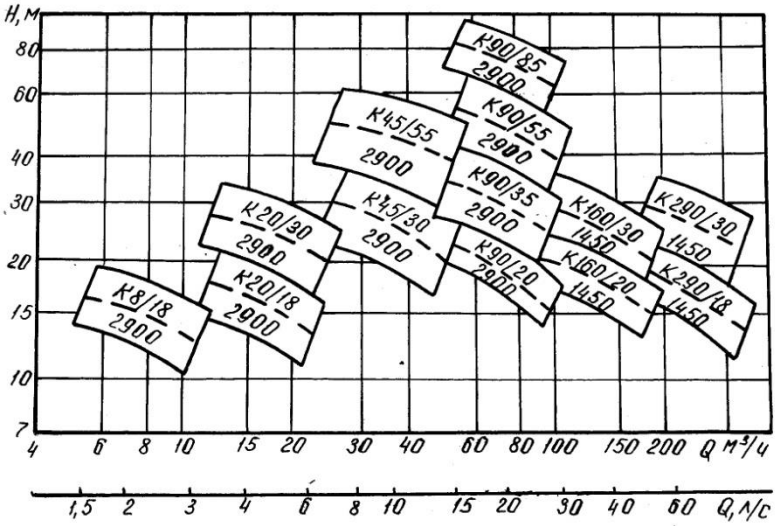


Рис. Д.1. Зведений графік полів  $Q - H$  насосів типу К

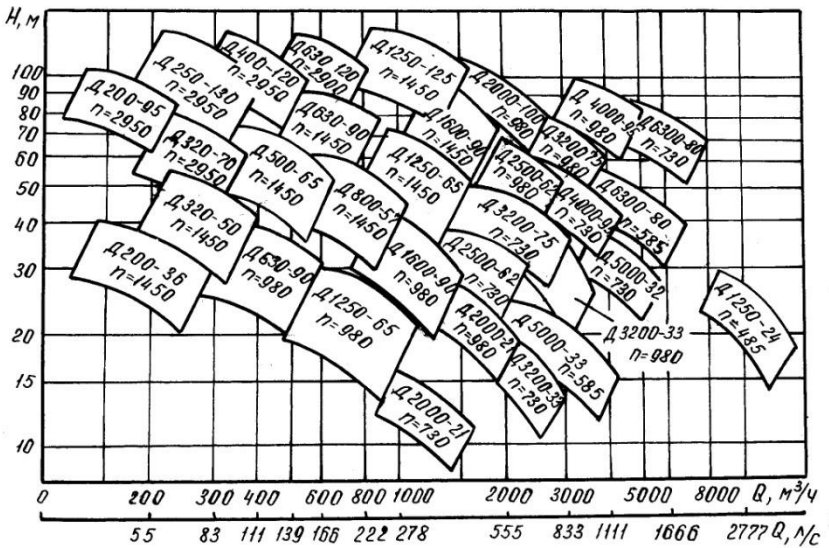


Рис. Д.2. Зведений графік полів  $Q - H$  насосів типу D



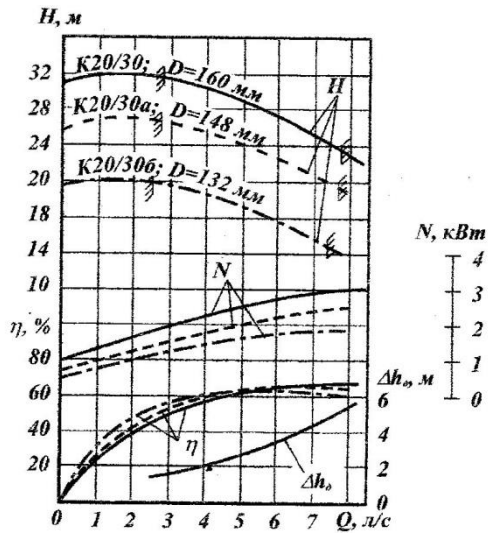


Рис. Д.3. Характеристика насоса К 20/30 (n=2900об/хв)

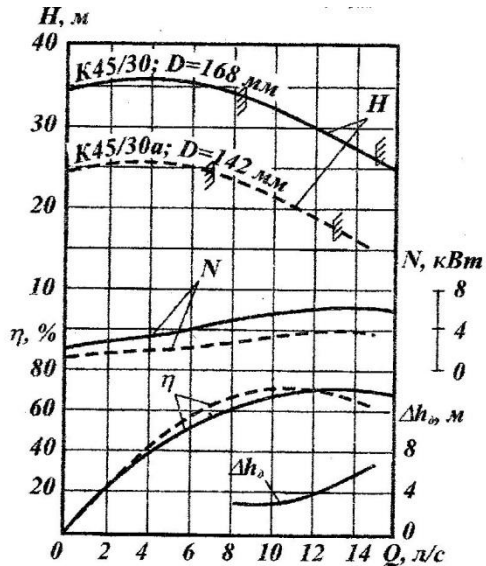


Рис. Д.4. Характеристика насоса К 45/30 (n=2900об/хв)

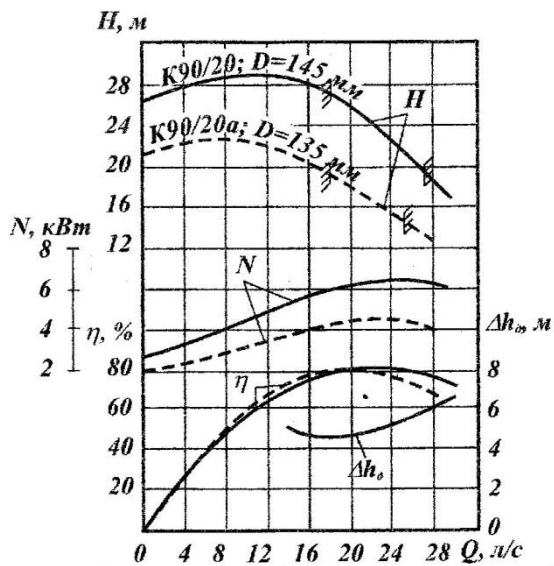


Рис. Д.5. Характеристика насоса К 90/20 ( $n=2900$ об/хв)

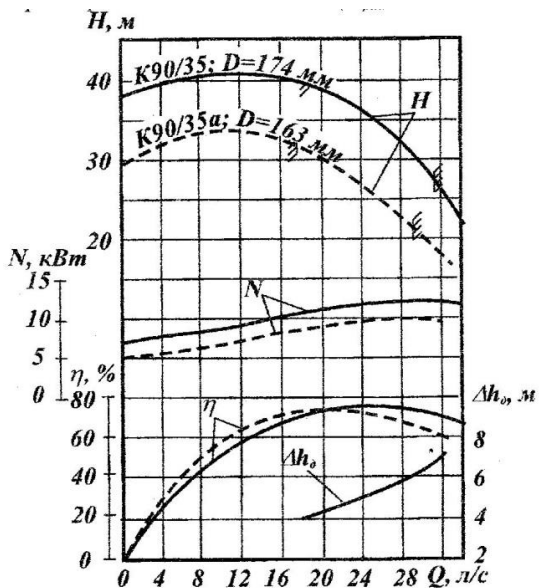


Рис. Д.6. Характеристика насоса К 90/35 ( $n=2900$ об/хв)

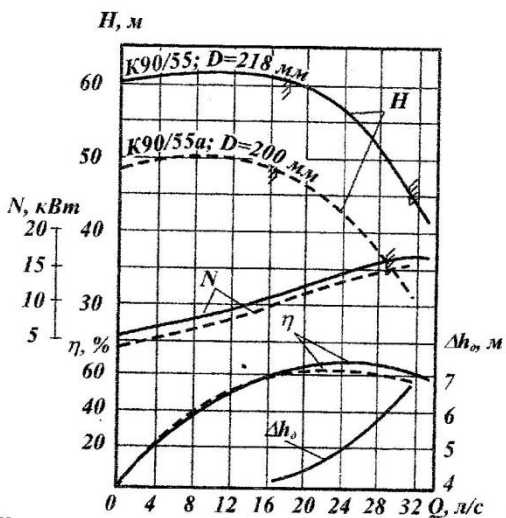


Рис. Д.7. Характеристика насоса К 90/55 ( $n=2900$ об/хв)

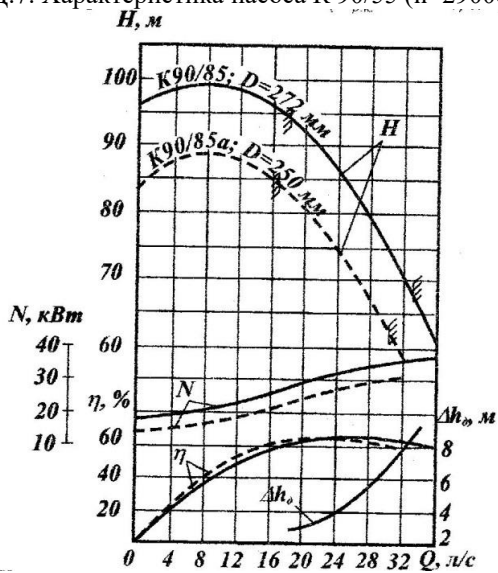


Рис. Д.8. Характеристика насоса К 90/85 ( $n=2900$ об/хв)

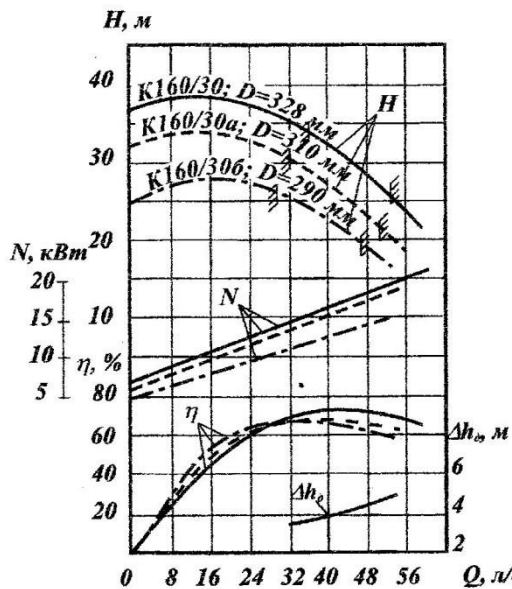


Рис. Д.9. Характеристика насоса К 160/30 ( $n=1450$ об/хв)

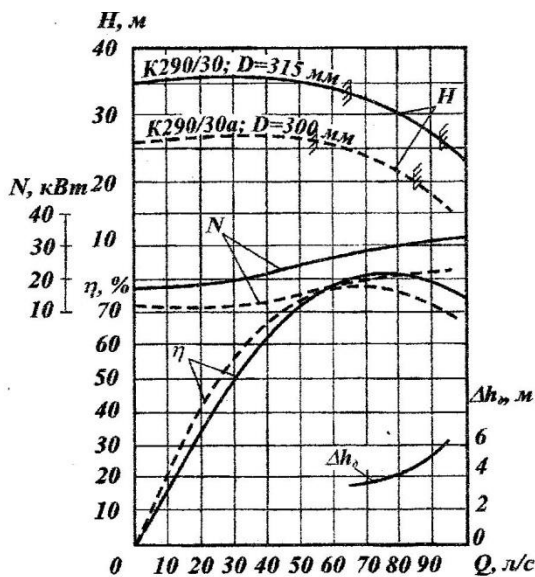


Рис. Д.10. Характеристика насоса К 290/30 ( $n=1450$ об/хв)

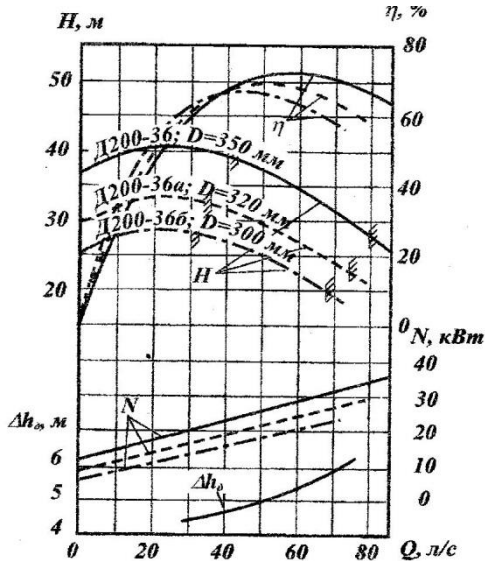


Рис. Д.11. Характеристика насоса Д 200-36 ( $n=1450$ об/хв)

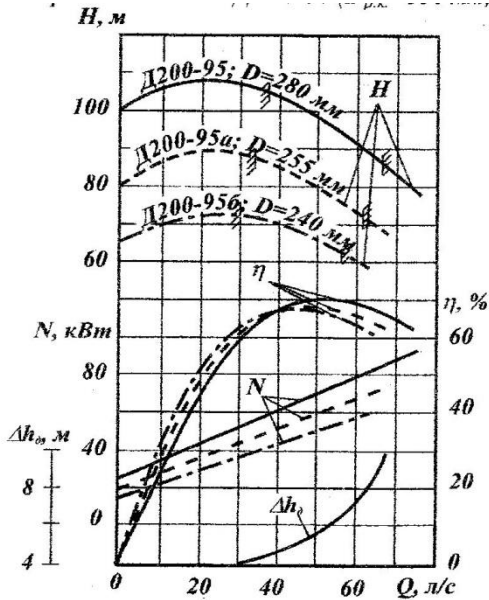


Рис. Д.12. Характеристика насоса Д 200-95 ( $n=2950$ об/хв)

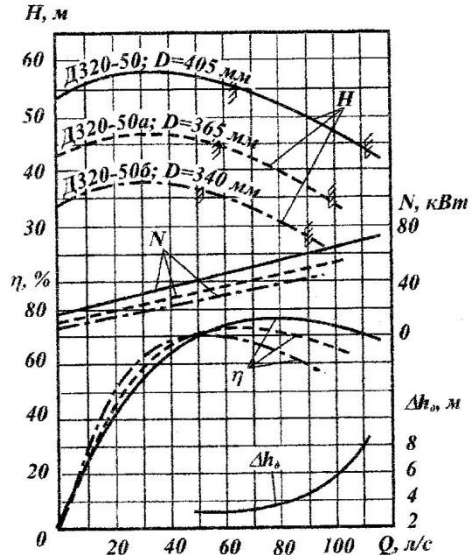


Рис. Д.13. Характеристика насоса Д 320-50 ( $n=1450$ об/хв)

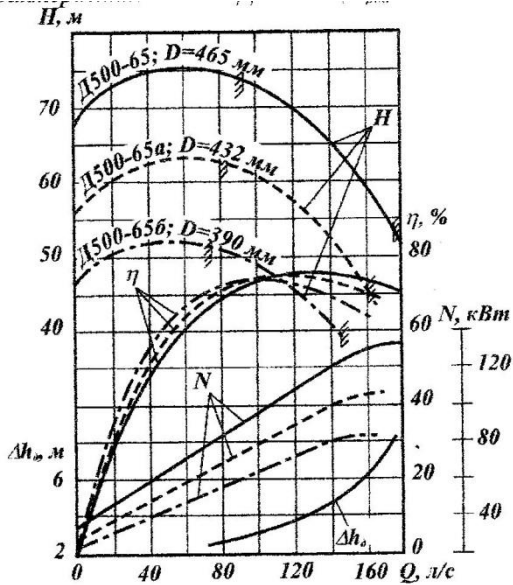


Рис. Д.14. Характеристика насоса Д 500-65 ( $n=1450$ об/хв)

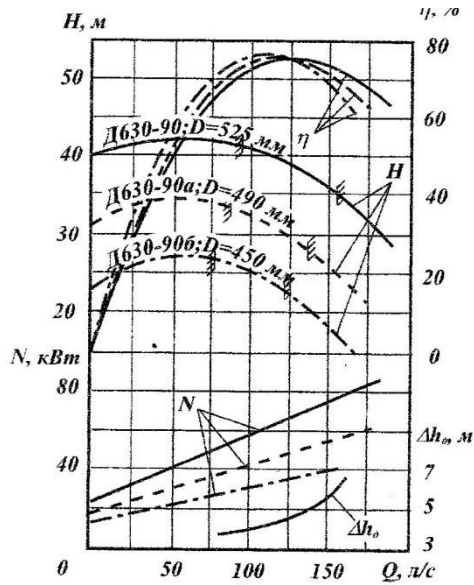


Рис. Д.15. Характеристика насоса Д 630-90 ( $n=960$ об/хв)

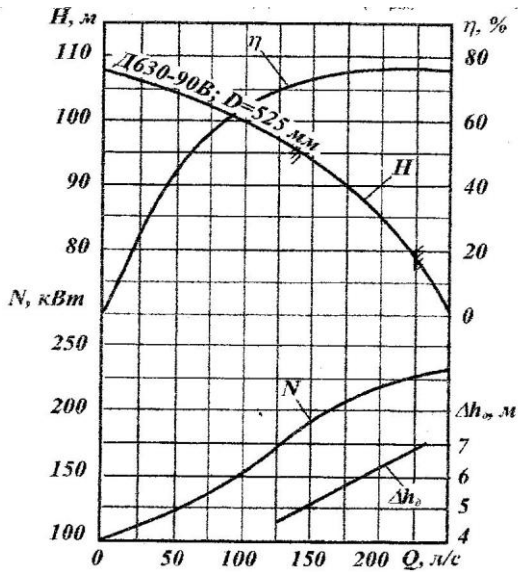


Рис. Д.16. Характеристика насоса Д 630-90В ( $n=1450$ об/хв)

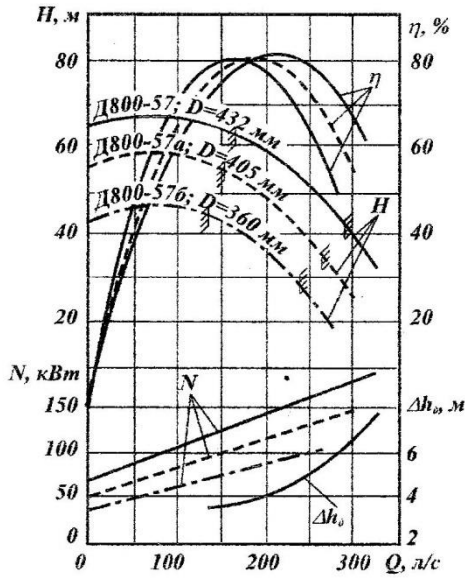


Рис. Д.17. Характеристика насоса Д 800-57 ( $n=1450$ об/хв)

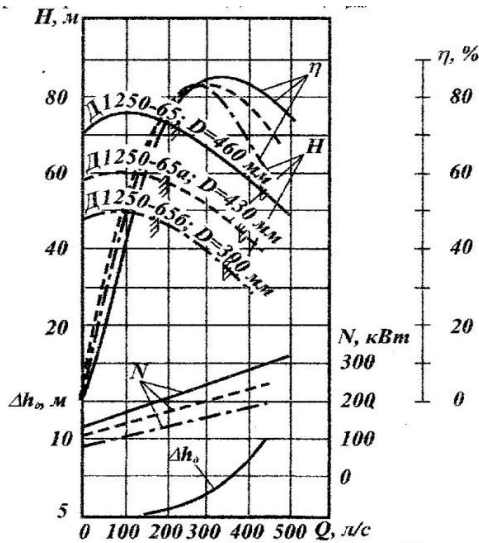


Рис. Д.18. Характеристика насоса Д 1250-65 ( $n=1450$ об/хв)



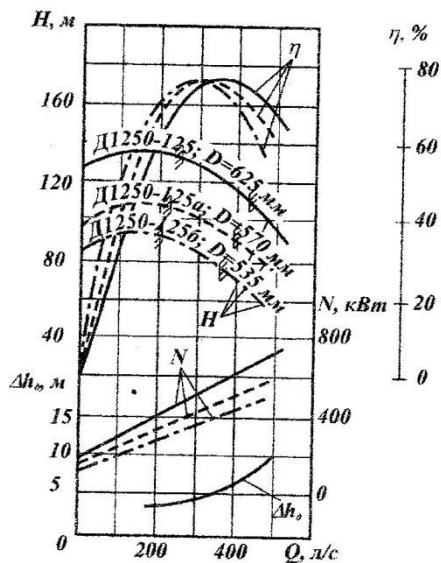


Рис. Д.19. Характеристика насоса Д 1250-125 ( $n=1450 \text{ об/хв}$ )

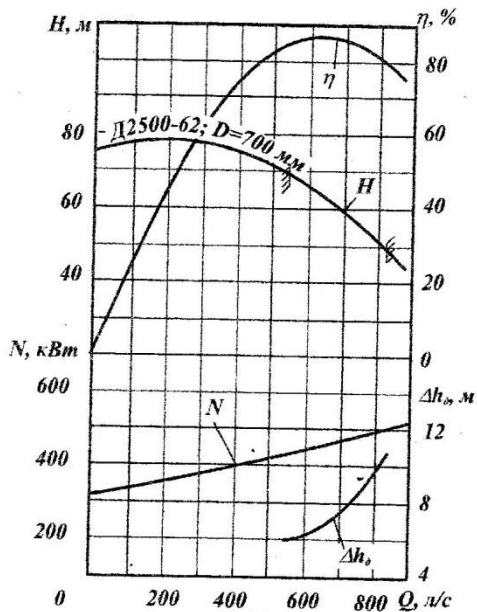


Рис. Д.20. Характеристика насоса Д 2500-62 ( $n=980 \text{ об/хв}$ )

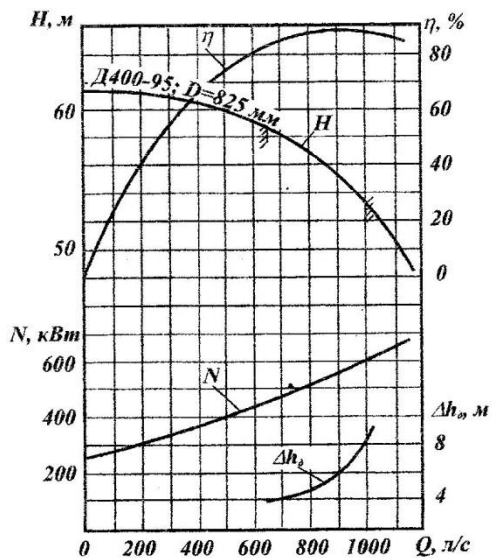


Рис. Д.21. Характеристика насоса Д 4000-95 ( $n=730$ об/хв)

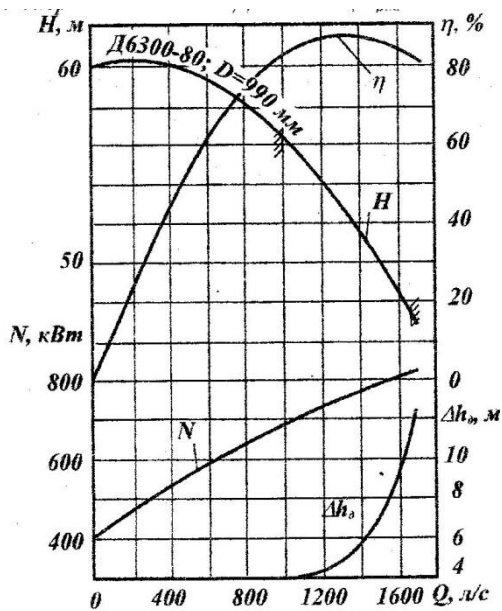


Рис. Д.22. Характеристика насоса Д 6300-80 ( $n=585$ об/хв)

Розрахункові значення внутрішніх діаметрів, питомих гідравлічних опорів та коефіцієнтів гідравлічного опору сталевих трубопроводів

Діаметр умовного проходу $D$ , мм	Розрахунковий внутрішній діаметр $d_p$ , мм	Питомий гідравлічний опір $A$ , $c^2m^6$	Коефіцієнт гідравлічного опору тertia по довжині $\lambda$
100	114	$1,729 \cdot 10^2$	0,0403
125	133	76,36	0,0385
150	158	39,65	0,0365
175	170	20,79	0,0357
200	209	6,95	0,0336
250	260	2,187	0,0315
300	311	$8,466 \cdot 10^{-1}$	0,0298
350	363	$3,731 \cdot 10^{-1}$	0,0285
400	412	$1,907 \cdot 10^{-1}$	0,0274
450	466	$9,928 \cdot 10^{-2}$	0,0264
500	516	$5,784 \cdot 10^{-2}$	0,0256
600	616	$2,262 \cdot 10^{-2}$	0,0243
700	706	$1,098 \cdot 10^{-2}$	0,0233
800	804	$5,514 \cdot 10^{-3}$	0,0224
900	904	$2,962 \cdot 10^{-3}$	0,0216
1000	1004	$1,699 \cdot 10^{-3}$	0,021
1200	1202	$6,54310^{-4}$	0,0199
1400	1400	$2,916 \cdot 10^{-4}$	0,019
1500	1500	$2,023 \cdot 10^{-4}$	0,0186
1600	1600	$1,437 \cdot 10^{-4}$	0,0182
1800	1800	$7,7 \cdot 10^{-5}$	0,0176
2000	2000	$4,41 \cdot 10^{-5}$	0,0171
2200	2200	$2,66 \cdot 10^{-5}$	0,0166
2400	2400	$1,67 \cdot 10^{-5}$	0,0161
2600	2600	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,0158
2800	2800	$7,4 \cdot 10^{-6}$	0,0154
3000	3000	$5,1 \cdot 10^{-6}$	0,0151