

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

для практичних занять, виконання розрахунково–графічної роботи,  
лабораторних робіт і самостійного вивчення з дисциплін

**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»,**

**«НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ.**  
**МОДУЛЬ 1 ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

*(для студентів 3–4 курсів денної та заочної форм навчання напрямів  
підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси)(фахове спрямування  
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів») та  
6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та  
водовідведення»); спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2018**

Методичні рекомендації для практичних занять, виконання розрахунково–графічної роботи, лабораторних робіт і самостійного вивчення з дисциплін «Гідравлічні та аеродинамічні машини», «Насосні та повітродувні станції. Модуль 1 Гідравлічні та аеродинамічні машини» (для студентів 3–4 курсів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) (фахове спрямування «Раціональне використання і охорона водних ресурсів») та 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та водовідведення»); спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. О. Шевченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 87 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко

#### Рецензент

Т. С. Айрапетян, 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 № 1 від 29.08.2016.*

## ЗМІСТ

1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ.....	4
1.1 Визначення напору і тиску насоса за показаннями приладів.....	4
1.2 Визначення напору насоса при проектуванні .....	5
1.3 Висота всмоктування насоса.....	6
1.4 Коефіцієнт швидкохідності насоса.....	8
1.5 Вплив частоти обертання робочого колеса на характеристики відцентрового насоса.....	10
1.6 Обточування робочого колеса відцентрового насоса.....	16
1.7 Сумісна робота насосів і трубопровідної мережі.....	19
1.8 Паралельна робота кількох однотипних насосів на два водоводи.....	20
1.9 Послідовна робота насосів.....	22
Завдання для самостійної роботи.....	25
2 РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	32
3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	41
3.1 Загальні відомості про випробування насосів.....	41
Лабораторна робота № 1.....	52
Лабораторна робота № 2.....	57
Лабораторна робота № 3.....	61
4 САМОСТІЙНЕ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ.....	65
Список використаних джерел.....	70
Додаток А Характеристики насосів марки Д.....	71
Додаток Б Характеристики насосів марки СД.....	85

# 1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

## 1.1 Визначення напору і тиску насоса за показаннями приладів

Напір насоса дорівнює сумі показань манометра на напірному патрубку і вакуумметра на всмоктувальному патрубку, приведених до однієї висотної відмітки, плюс різниця швидкісних напорів у напірному й всмоктувальному патрубках насоса.

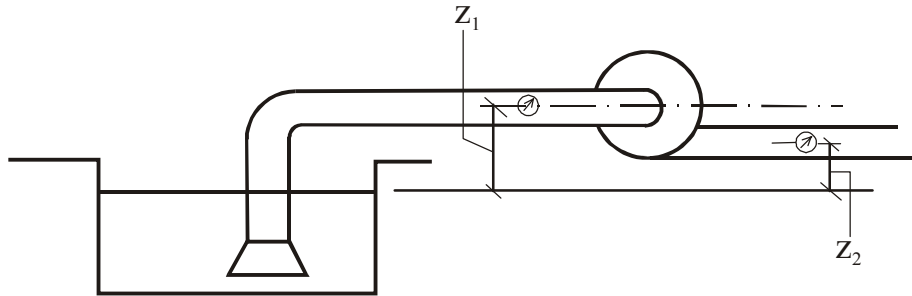


Рисунок 1.1 – Схема насосної установки з приладами вимірювання тиску

$$H = \frac{P_{\text{ман}}}{\rho g} + \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g}; \quad (1.1)$$

$$P = P_{\text{ман.}} + P_{\text{вак.}} + \frac{\rho}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (1.2)$$

**Задача 1.** Визначити напір насоса за показаннями приладів, якщо відомо наступне: насос качає воду і розвиває подачу 1500 л/с. Манометр, який підключений до напірного патрубка насоса, показує тиск 0,36 МПа (3,6 атм.), а вакууметр, який підключений до всмоктувального патрубка, показує вакуум 0,06 МПа (0,6атм). Манометр розміщений на 4 м вище за вісь насоса, а вакууметр – на 2 м вище цієї осі. Діаметр усмоктувального патрубка насоса – 800 мм, діаметр напірного патрубка – 600 мм.

**Розв'язання задачі.** Спочатку приводимо показання манометра і вакуумметра до відмітки осі насоса:

$$P_{\text{ман.о.н.}} = P_{\text{ман}} + 4 \cdot \rho g = 360\,000 + 4 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = 399\,420 \text{ Па};$$

$$P_{\text{вак.о.н.}} = P_{\text{вак}} - 2 \cdot \rho g = 60\,000 - 2 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = 40\,380 \text{ Па}.$$

Визначаємо швидкість руху води в напірному й всмоктувальному патрубках насоса:

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D_{\text{н.п.}}^2}{4}} = \frac{1,5 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,6^2} = 5,3 \text{ м/с}, \quad V_{\text{у.п.}} = \frac{1,5 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,8^2} = 2,99 \text{ м/с}.$$

За формулою (1.1) визначаємо напір насоса за показаннями приладів:

$$H_{\text{нас}} = \frac{399\,420}{1\,000 \cdot 9,81} + \frac{40\,380}{1\,000 \cdot 9,81} + \frac{5,3^2 - 2,99^2}{2 \cdot 9,81} \cong 45,4 \text{ м вод. ст.}$$

**Задача 2.** Визначити тиск, який створює насос, якщо відомо наступне: Насос транспортує рідину густиною  $920 \text{ кг/м}^3$  і розвиває при цьому подачу  $3\,200 \text{ м}^3/\text{год}$ . До напірного і всмоктувального патрубків насоса підключено манометри, які показують відповідно тиск  $1,06$  і  $0,12 \text{ МПа}$  ( $10,6$  і  $1,2 \text{ атм}$ ). Обидва манометри виведено на спільний стенд, вони розміщені на одній відмітці на  $6 \text{ м}$  вище за відмітку осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубка насоса  $700 \text{ мм}$ , напірного –  $500 \text{ мм}$ .

**Розв’язання задачі.** За умовою обидва манометри розміщені на одній геодезичній відмітці, тому можна скористатися їх показаннями без додаткових коректив (при бажанні, можна привести показання цих манометрів до відмітки осі насоса і впевнитися, що результат буде тим самим). Тому вираховуємо тільки швидкості руху рідини в напірному й всмоктувальному патрубках насоса:

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D_{н.п.}^2}{4}} = \frac{3\,200 \cdot 4}{3\,600 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 4,53 \text{ м/с}; \quad V_1 = \frac{3\,200 \cdot 4}{3\,600 \cdot 3,14 \cdot 0,7^2} = 2,31 \text{ м/с}.$$

За формулою (1.2) знаходимо тиск насоса за показаннями приладів:

$$P_{нас} = 1\,060\,000 - 120\,000 + \frac{920}{2}(4,53^2 - 2,31^2) = 946\,985 \text{ Па, або } \approx 9,47 \text{ атм}.$$

## 1.2 Визначення напору насоса при проектуванні

Необхідний напір насоса дорівнює сумі геометричної висоти підйому рідини (статичний напір) і повних втрат напору, що виникають під час руху рідини по всмоктувальному й напірному трубопроводах:

$$H = H_z + h_{нап} + h_{всм} + h_{вільн}, \quad (1.3)$$

де  $H_z$  – геометрична висота підйому рідини, м;  
 $h_{нап}$  – втрати напору в напірному трубопроводі, м;  
 $h_{всм}$  – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, м;

Втрати напору поділяються на втрати напору за довжиною та місцеві втрати напору. Втрати напору за довжиною можна обчислити за однією із формул гідравліки:

формула Дарсі

$$h_{довж} = \lambda \frac{L V^2}{2dg}, \quad (1.4)$$

або

$$h_{довж} = SQ^2 = A_0 \cdot k \cdot L \cdot Q^2, \quad (1.5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя;  
 $L$  – довжина трубопроводу;  
 $V$  – швидкість руху рідини;  
 $d$  – діаметр трубопроводу;  
 $g$  – прискорення сили тяжіння;

$S$  – коефіцієнт опору трубопроводу;

$Q$  – витрата по трубопроводу;

$A_0$  – коефіцієнт питомого опору трубопроводу;

$k$  – коефіцієнт, що коригує неквадратичність залежності.

У практиці розрахунків систем водопостачання поширення набула формула для визначення втрат напору за довжиною

$$h_{\text{довж}} = i L, \quad (1.6)$$

де  $i$  – гідравлічний ухил.

Місцеві втрати напору найчастіше обчислюють за формулою Вейсбаха:

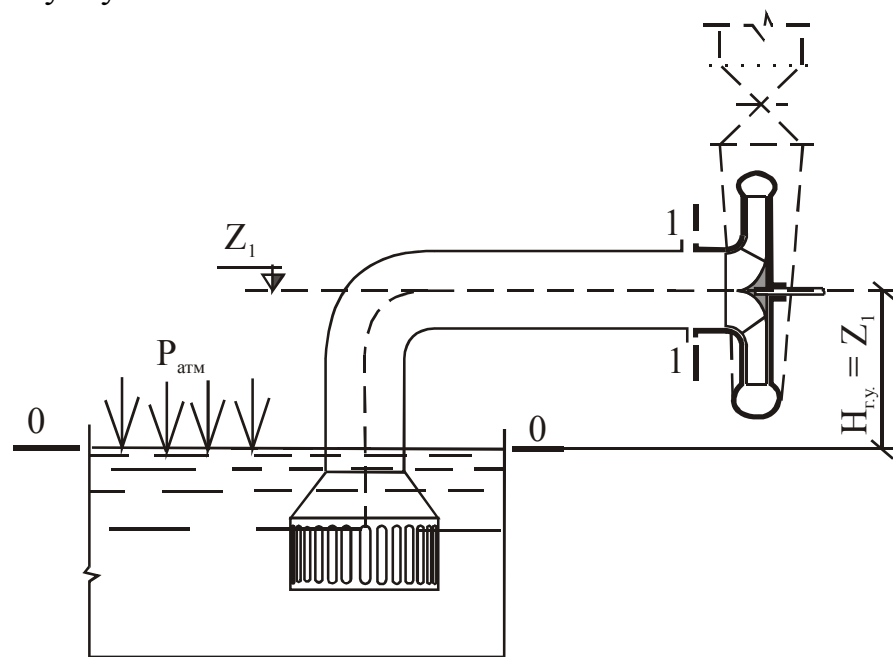
$$h_{\text{міст}} = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (1.7)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору.

$h_{\text{вільн}}$  – вільний напір на вилив, приймається 1,5–2 м.

### 1.3 Висота всмоктування насоса

Схема насосної установки до визначення висоти всмоктування насосу наведена на рисунку 1.2.



Геометрична висота всмоктування насосу визначається за формулою:

$$H_{\text{г.у.}} = H_{\text{в.у.}} - h_{\text{н.у.с.}} - \frac{V_1^2}{2g}; \quad (1.8)$$

де  $V_1$  – швидкість руху рідини в перерізі 1–1;

$h_{\text{н.у.с.}}$  – повні втрати напору між перерізами 0–0 і 1–1 (повні втрати напору

у всмоктувальному трубопроводі).

Геометрична висота всмоктування насоса менша за вакууметричну на величину повних втрат напору у всмоктувальному трубопроводі і на величину швидкісного напору у всмоктувальному патрубку насоса

Якщо відома величина кавітаційного запасу  $\Delta h$  (з паспорту насосу), то найбільшу геометричну висоту всмоктування можна визначити за формулою:

$$H_{з.у.}^{макс} = H_{атм.} - h_t - \Delta h - h_{н.усм.} - \frac{V_1^2}{2g} . \quad (1.9)$$

Якщо відома величина допустимого вакууму  $(H_{вак.}^{дон})_{насп}$  (з паспорту насоса), то найбільшу геометричну висоту всмоктування можна визначити за формулою:

$$H_{з.у.}^{дон} = (H_{вак.}^{дон})_{роб.} - h_{н.усм.} - \frac{V_1^2}{2g} . \quad (1.10)$$

Найчастіше насосна установка проектується для місцевості, де атмосферний тиск відрізняється від 10 м. вод. ст., або для перекачування води з температурою понад 20 °С, тоді паспортну величину  $(H_{вак.}^{дон})_{насп}$  потрібно уточнити за формулою:

$$(H_{вак.}^{дон})_{роб.} = (H_{вак.}^{дон})_{насп} - 10 + H_{атм} + 0,24 - h_t . \quad (1.11)$$

Залежно від висоти над рівнем моря величину  $H_{атм}$  можна взяти з таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність атмосферного тиску  $H_{атм}$  від висоти над рівнем моря

Висота над рівнем моря, м	–600	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 500	2 000
Атмосферний тиск, $H_{атм}$ м вод. ст.	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,4

Тиск насиченої пари води  $h_t$  залежно від її температури можна взяти із таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Залежність тиску насиченої пари від температури рідини, що перекачується насосом

Температура води, °С	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Тиск насиченої пари води, $h_t$ м вод. ст.	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17	4,82	7,14	10,33

**Задача 1.** Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, якщо відомо наступне: насос планується встановлювати в місцевості, що знаходиться на висоті 1 000 м над рівнем моря, він буде перекачувати з відкритого резервуару воду температурою до 60 °С. При проектуванні визначено, що при розрахунковій подачі повні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі складають 0,75 м вод. ст., а швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса – 3 м/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - \Delta h$ , згідно з якою, при розрахунковій подачі  $\Delta h = 6,5$  м вод. ст.

**Розв’язання задачі.** Із таблиць 1.1 і 1.2 знаходимо, що атмосферний тиск на висоті 1000 метрів над рівнем моря  $H_{\text{атм}} = 9,2$  м вод. ст., а тиск насиченого пару води при температурі 60 °С –  $h_t = 2,02$  м вод. ст. За формулою (1.9) знаходимо найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування насоса:

$$H_{\text{з.у.}}^{\text{макс}} = 9,2 - 2,02 - 6,5 - 0,75 - \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} \cong -0,53 \text{ м.}$$

Отриманий результат показує, що насос (його вісь) слід розміщувати нижче (знак мінус) рівня води у всмоктувальному резервуарі не менше ніж на 0,53 м.

**Задача 2.** Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для тих же умов і вихідних даних, що описані в прикладі 1, але для насоса, в технічному паспорті якого наведена характеристика  $Q - H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , а не  $Q - \Delta h$ . Згідно з цією характеристикою,  $(H_{\text{вак}}^{\text{дон}})_{\text{насн}} = 4,9$  м вод. ст. при розрахунковій подачі.

**Розв’язання задачі.** Оскільки насосна установка проектується для перекачування нагрітої води в місцевості, де атмосферний тиск відрізняється від 10 м.вод.ст., то паспортну величину  $(H_{\text{дон}}^{\text{вак}})_{\text{роб}}$  коригуємо за формулою (1.11):

$$(H_{\text{дон}}^{\text{вак}})_{\text{роб}} = 4,9 - 10 + 9,2 + 0,24 - 2,02 = 2,32 \text{ м вод. ст.}$$

За формулою (1.10) знаходимо найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування насоса:

$$H_{\text{з.у.}}^{\text{макс}} = 2,32 - 0,75 - \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} \cong 1,11 \text{ м.}$$

Отриманий результат показує, що для нормальної роботи насоса його можна розміщувати над рівнем води у всмоктувальному резервуарі не вище ніж на 1,11 м.

## 1.4 Коефіцієнт швидкохідності насоса

Для порівняння лопатневих насосів різного типу користуються поняттям коефіцієнта швидкохідності, об’єднуючи насоси в групи за принципом їх геометричної і кінематичної подібності.



*Коефіцієнтом швидкохідності насоса  $n_s$  називається кількість обертів другого насоса, який в усіх деталях геометрично подібний до того, що розглядається, але таких розмірів, що працюючи в тому ж режимі, створює напір 1 м.вод.ст. при подачі 75 л/с .*

Числове значення  $n_s$  можна визначити з формул перерахунку

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{H} &= \left( \frac{n_s}{n} \right)^2 \left( \frac{D_s}{D} \right)^2 \\ \frac{0,075}{Q} &= \frac{n_s}{n} \left( \frac{D_s}{D} \right)^3 \end{aligned} \right\} n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}. \quad (1.12)$$

Для насосів з двобічним входом рідини в робоче колесо в цю формулу слід підставляти половину подачі насоса. Для багатоступеневих насосів в цю формулу підставляють напір, який створює одне колесо.

При визначенні  $n_s$  у формулу (1.12) підставляють подачу в м<sup>3</sup>/с і напір в м.вод.ст., що відповідають оптимальному режиму роботи насоса (тобто роботі з найбільшим коефіцієнтом корисної дії).

Коефіцієнт швидкохідності насоса – це важливий параметр, який широко використовується при визначенні типу насоса. Універсальність цього параметра в тому, що він одночасно враховує три найважливіші параметри насоса: подачу, напір і частоту обертання.

**Задача 1.** Визначити коефіцієнт швидкохідності одноступеневого насоса з однобічним підводом рідини до робочого колеса, коли відомо, що при швидкості обертання 1450 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 200 м<sup>3</sup>/год. при напорі 20 м вод. ст.

**Розв’язання задачі:** Підставляючи у формулу (1.12) значення подачі насоса в м<sup>3</sup>/с і напору в м вод. ст., отримаємо:

$$n_s = 3,65 \frac{1\,450 \sqrt{200/3\,600}}{\sqrt[4]{20^3}} \cong 132.$$

**Задача 2.** Визначити коефіцієнт швидкохідності семиступеневого секційного насоса з однобічним підводом рідини до робочих колес, коли відомо, що при швидкості обертання 3 000 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 60 м<sup>3</sup>/год. при напорі 198 м вод. ст.

**Розв’язання задачі.** Підставляючи в формулу (1.12) значення подачі насоса в м<sup>3</sup>/с і напору, який розвиває одне робоче колесо (один ступінь) насоса в м вод. ст., отримуємо

$$n_s = 3,65 \frac{3\,000 \sqrt{60/3\,600}}{\sqrt[4]{(198/7)^3}} \cong 115.$$

**Задача 3.** Визначити коефіцієнт швидкохідності одноступеневого насоса з двобічним підводом рідини до робочого колеса, коли відомо, що при швидкості обертання 730 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 6 300 м<sup>3</sup>/год. при напорі 80 м вод. ст.

**Розв'язання задачі.** Підставляючи у формулу (1.12) значення половини подачі насоса в м<sup>3</sup>/с і напір в м вод. ст., отримуємо

$$n_s = 3,65 \frac{730 \sqrt{6\,300 / (2 \cdot 3\,600)}}{\sqrt[4]{80^3}} \cong 93.$$

### 1.5 Вплив частоти обертання робочого колеса на характеристики відцентрового насоса

В умовах виробництва часто виникає потреба у визначенні характеристик насосів при частотах обертання, що відрізняються від номінальної (в технічному паспорті насоса наводяться характеристики для номінальної частоти обертання). Для розрахунків у таких випадках користуються формулами перерахунку. У цьому випадку діаметр робочого колеса насоса **D = const** і формули перерахунку набувають вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q}{Q_1} &= \frac{n}{n_1}; \\ \frac{H}{H_1} &= \left( \frac{n}{n_1} \right)^2; \\ \frac{N}{N_1} &= \left( \frac{n}{n_1} \right)^3; \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Ці залежності називають *законом пропорційності*.

Вакуумметричну висоту всмоктування можна перерахувати за формулою

$$(H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})_{n_1} = 10 - \left[ 10 - (H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})_n \right] \cdot \left( \frac{n_1}{n} \right)^2. \quad (1.14)$$

Закон пропорційності за однією характеристикою ( $Q - H$ ) дозволяє побудувати ряд характеристик для різних частот обертання. Для цього з рівнянь пропорційності вилучають частоту обертання:

$$H_1 = \frac{H_a}{Q_a^2} Q_1^2 = K \cdot Q_1^2. \quad (1.15)$$

Маємо рівняння параболи з вершиною в початку координат, яка проходить через точку **a** з координатами **Q<sub>a</sub>; H<sub>a</sub>** (див. рис. 1.3) Задавшись різними величинами частот обертання, за формулами пропорційності вираховують координати точок **Q<sub>a1</sub> – H<sub>a1</sub>; Q<sub>a2</sub> – H<sub>a2</sub>; ...; Q<sub>ai</sub> – H<sub>ai</sub>**, куди переміститься точка **a** при частотах обертання **n<sub>1</sub> ; n<sub>2</sub> ; ...; n<sub>i</sub>**. Усі ці точки лежать на параболі, що проходить через точку **a** і має вершину в початку координат. Ця парабола (**0; a<sub>i</sub>; a<sub>2</sub>; a<sub>1</sub>; a**) називається параболою подібних режимів.

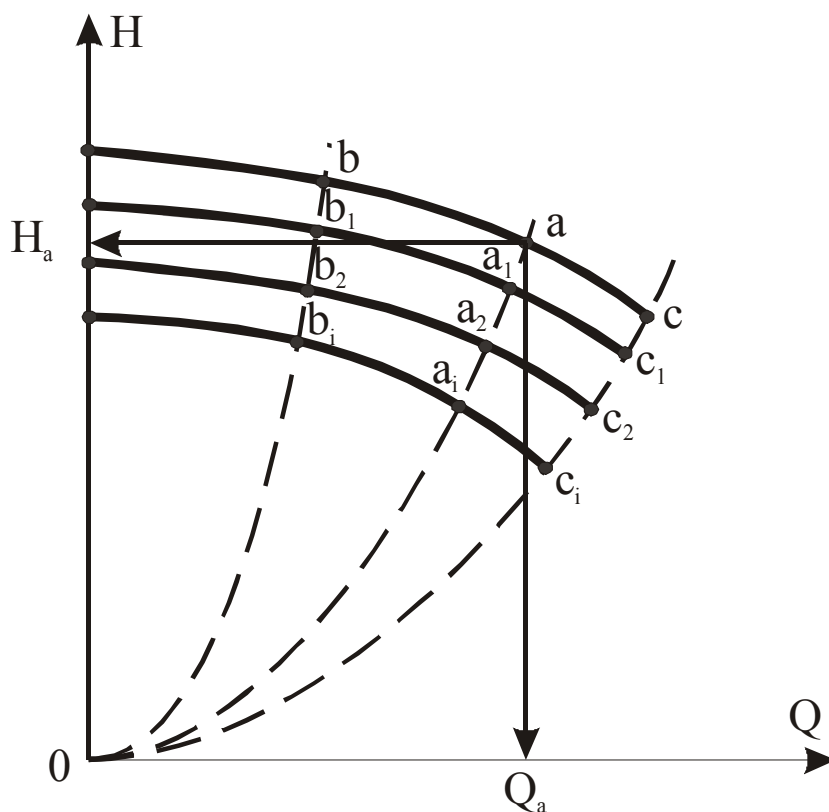


Рисунок 1.3 – Побудова парабол подібних режимів у разі різних частот обертання робочого колеса насоса

Перерахунок будь-якої іншої точки характеристики  $Q-H$  (наприклад, точки  $b$  або  $c$ ) на частоти обертання  $n_1; n_2; \dots; n_i$  дасть точки  $b_1; b_2; \dots; b_i$  і  $c_1; c_2; \dots; c_i$ , які розмістяться на параболах, що проходять відповідно через точки  $b$  і  $c$ . Проводячи через точки  $a_1; b_1; c_1$  плавну криву, отримаємо характеристику  $Q_1 - H_1$  насоса при частоті обертання  $n_1$ . Таким же чином отримують характеристики  $Q_i - H_i$  для будь-якої частоти обертання.

Теоретично параболи подібних режимів повинні бути і лініями постійних ККД (рис. 1.4), але в дійсності це не так. Найбільшого значення коефіцієнт корисної дії насоса досягає при номінальній (розрахунковій) частоті обертання. У разі будь-якої іншої частоти він зменшується. Це викликано тим, що вплив гідравлічних і механічних втрат різний у разі різних частот обертання.

Варто зазначити, що робота насоса з підвищеною порівняно з номінальною частотою обертання дозволяється тільки у разі узгодження із заводом-виробником.

Під час проектування та експлуатації насосних станцій зустрічаються два типи задач. У першому випадку за паспортними характеристиками необхідно побудувати характеристики насоса для частоти обертання, що відрізняється від номінальної (паспортної). У другому випадку необхідно визначити, при якій частоті обертання характеристика  $Q-H$  насоса пройде через розрахункову точку. Розглянемо обидва випадки.

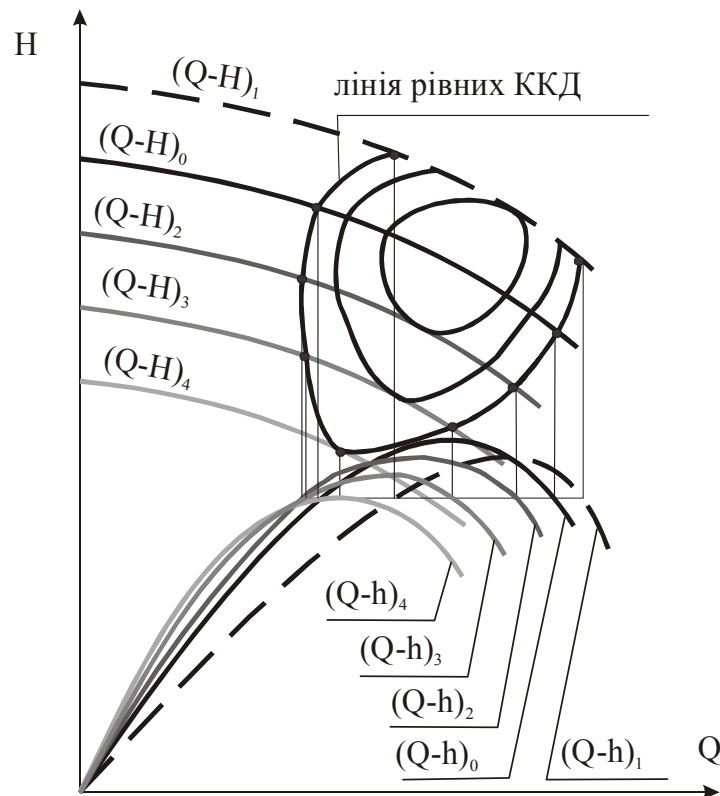


Рисунок 1.4 – Побудова ліній постійних ККД у разі зміни частоти обертання насосу

**Задача 1.** За паспортними характеристиками для швидкості обертання 730 об/хв. (див. рис. 1.5) необхідно побудувати відповідні характеристики для швидкості обертання 650 об/хв.

**Розв'язання задачі:**

а) Побудова характеристики (Q–H): На паспортній характеристиці Q–H задаємося рядом довільних точок 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 з координатами ( $Q_1 = 6\,800 \text{ м}^3/\text{год.}$ ;  $H_1 = 76 \text{ м вод. ст.}$ ); ( $Q_2$ ;  $H_2$ ); ... . За формулами закону пропорційності вираховуємо відповідні координати цих точок при швидкості обертання 650 об/хв:

$$\frac{6\,800}{Q_1^1} = \frac{730}{650}; \quad Q_1^1 = \frac{6\,800 \cdot 650}{730} \cong 6\,055 \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$\frac{76}{H_1^1} = \frac{730^2}{650^2}; \quad H_1^1 = \frac{76 \cdot 650^2}{730^2} \cong 60,3 \text{ м вод. ст.}$$

Розрахунки зведено в таблицю 1.3

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків

Номер точок		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв}$	Q	6 800	6 000	5 200	4 400	3 600	2 800	2 000	1 200	0
	H	76	80,5	84	87	89	90,5	91	91,5	91,5
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв}$	Q'	6 055	5 342	4 630	3 918	3 205	2 493	1 781	1 068	0
	H'	60,3	63,8	66,6	69	70,6	71,8	72,1	72,5	72,5

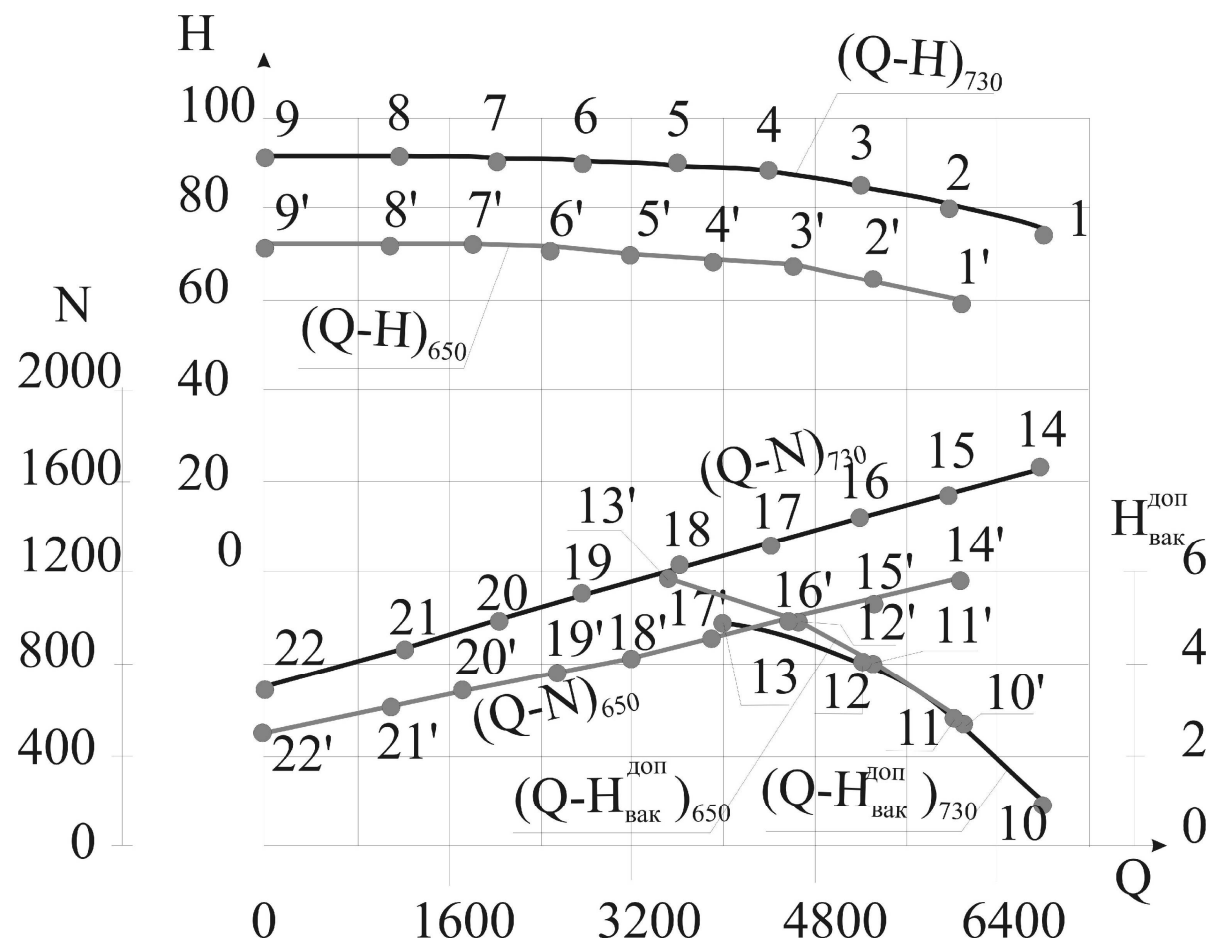


Рисунок 1.5 – Побудова характеристики насоса для швидкості обертання 650 об./хв

За отриманими координатами наносимо на графік точки 1', 2', ... , 9' і з'єднуємо їх плавною кривою. Ця крива  $(Q-H)_{650}$  і буде характеристикою  $(Q-H)$  насоса при швидкості обертання 650 об/хв.

б) Побудова характеристики  $Q - H_{\text{вак.}}^{\text{дон}}$ : На паспортній характеристиці  $Q - H_{\text{вак.}}^{\text{дон}}$  задаємося довільними точками 10, 11, 12, 13 з координатами  $Q_{10} = 6\,800 \text{ м}^3/\text{годину} - (H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})_{10} = 1 \text{ м вод. ст.}; Q_{11} - (H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})_{11}$ .

За формулою (1.14) вираховуємо відповідні значення  $(H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})$  при швидкості обертання 650 об/хвилину. Розрахунки зведено в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати розрахунку  $(H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})$  при швидкості обертання 650 об/хвилину

Номер точок		10	11	12	13
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв}$	<b>Q</b>	6 800	6 000	5 200	4 000
	$H_{\text{вак.}}^{\text{дон}}$	1,0	2,5	4,0	4,8
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв}$	<b>Q'</b>	6 055	5 342	4 630	3 562
	$(H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})'$	2,86	4,05	5,24	5,87

За отриманими координатами наносимо точки 10', 11', 12', 13' і через них проводимо нову характеристику  $(Q - H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})_{650}$ . Як видно з рисунку 1.5, характеристика  $H_{\text{вак.}}^{\text{дон}}$  при швидкості обертання 650 об./хв. не знизилась. Тому при розрахунках характеристику  $(Q - H_{\text{вак.}}^{\text{дон}})$  часто не перебудовують.

в) Побудова характеристики  $Q - N$ : На паспортній характеристиці  $Q - N$  задаємося рядом довільних точок 14, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 з координатами  $Q_{14} = 6\,800 \text{ м}^3/\text{год.} - N_{14} = 1\,650 \text{ кВт}; Q_{15} - N_{15}; \dots$ . За формулами закону пропорційності вираховуємо відповідні значення  $Q'$  і  $N'$  для швидкості обертання 650 об/хв.:

$$\frac{1\,650}{N_{14}^1} = \frac{730^3}{650^3}; \quad N_{14}^1 = \frac{1\,650 \cdot 650^3}{730^3} \cong 1165 \text{ кВт.}$$

Розрахунки зведено в таблицю 1.5

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку  $N$  для швидкості обертання насоса 650 об/хв.

Номер точок		14	15	16	17	18	19	20	21	22
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв.}$	<b>Q</b>	6 800	6 000	5 200	4 400	3 600	2 800	2 000	1 200	0
	<b>N</b>	1 650	1 540	1 430	1 320	1 210	1 100	990	880	710
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв.}$	<b>Q'</b>	6 055	5 342	4 630	3 918	3 205	2 493	1 781	1 068	0
	<b>N'</b>	1 165	1 087	1 010	932	854	777	699	621	501

За отриманими координатами наносимо точки 14', 15', ..., 22' і через них проводимо нову характеристику  $(Q - N)_{650}$  для швидкості обертання 650 об./хв.

**Задача 2.** У процесі проектування насосної станції встановлено, що для роботи в системі потрібний насос з подачею 5 600 м<sup>3</sup>/год. при напорі 68 м вод. ст. Насоса з такими характеристиками промисловість не виробляє. Тому для установки проектується найближчий більш потужний насос. Його характеристики при частоті обертання 730 об./хв зображено на рисунку 1.6. Щоб уникнути непродуктивних витрат енергії, вирішено зменшити швидкість обертання насоса. Необхідно визначити, при якій частоті обертання характеристика  $Q - H$  насоса пройде через розрахункову точку **A** з координатами  $Q_A = 5\,600$  м<sup>3</sup>/год.;  $H_A = 68$  м вод. ст.

**Розв'язання задачі.** Щоб скористатися формулами закону пропорційності, спочатку треба знайти ту єдину точку на паспортній характеристиці  $(Q - H)$ , яка при зниженні частоти обертання переміститься в розрахункову точку **A** (рис. 1.6). Найпростіше цю точку можна знайти графічним способом. Для цього побудуємо параболу подібних режимів, яка буде проходити через точку **A**. Підставивши у формулу (1.15) координати точки **A**, отримуємо рівняння цієї параболі:

$$H = \frac{68}{5\,600^2} Q^2 = 0,000\,002\,168\,63 \cdot Q^2.$$

Задаючись довільними значеннями  $Q$ , вираховуємо за цим рівнянням координати ряду точок, через які проводимо параболу:

$Q_0 = 0; H_0 = 0;$	$Q_3 = 4800; H_3 = 50;$
$Q_1 = 1600; H_1 = 5,55;$	$Q_A = 5600; H_A = 68;$
$Q_2 = 3200; H_2 = 22,2;$	$Q_4 = 6400; H_4 = 88,8.$

Перехрещення цієї параболі з паспортною характеристикою  $Q-H$  насоса дає точку **B** з координатами  $Q_B = 6075$  м<sup>3</sup>/год.;  $H_B = 80$  м вод.ст. Оскільки точка **B** знаходиться на одній параболі подібних режимів з точкою **A**, то саме вона переміститься в точку **A** при одній із швидкостей обертання. Знаходимо цю швидкість, підставляючи у формули пропорційності координати точок **B** і **A**:

$$\frac{6\,075}{5\,600} = \frac{730}{n_A}; \quad n_A = \frac{5\,600 \cdot 730}{6\,075} = 672,9 \text{ об./хв.}$$

Близькі значення отриманих величин  $n_A$  свідчать, що координати точки **B** знайдено досить точно (графічний спосіб завжди приблизний). Після знаходження розрахункової швидкості обертання слід перерахувати характеристики насоса, як це було зроблено в попередній задачі.

$$\frac{80}{68} = \frac{730^2}{n_A^2}; \quad n_A = 730 \sqrt{\frac{68}{80}} = 673,0 \text{ об./хв.}$$

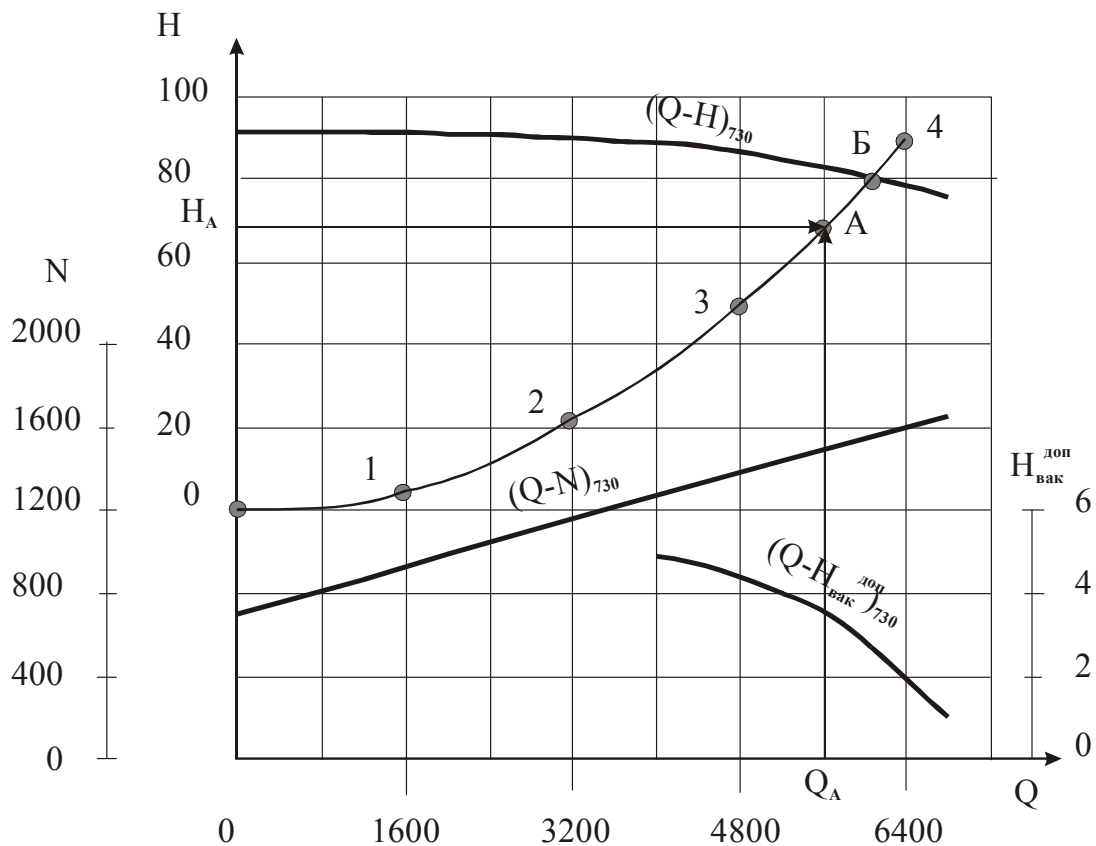


Рисунок 1.6 – Побудова параболи подібних режимів у разі розрахунку нової частоти обертання робочого колеса насоса

### 1.6 Обточування робочого колеса відцентрового насоса

Для розширення поля роботи насоса в практиці проектування і експлуатації часто використовують обточування робочого колеса насоса, тобто зменшують зовнішній діаметр колеса  $D_2$ .

Подачу  $Q_{обт}$  і напір  $H_{обт}$  насоса з робочим колесом, яке обточено до діаметра  $D_{обт}$ , можна визначити із рівнянь закону подібності, якщо відомі подача  $Q$  і напір  $H$  насоса з номінальним (не обточеним) колесом діаметром  $D$ .

Із закону подібності при  $n = \text{const}$  і  $b_2 = \text{const}$  маємо:

$$\frac{H_{обт}}{H} = \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^2 \quad \text{і} \quad \frac{Q_{обт}}{Q} = \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^3. \quad (1.16)$$

Але практика показала, що для відцентрових насосів з коефіцієнтом швидкохідності  $n_s < 150$  кращі результати дають такі формули:



$$\begin{aligned}\frac{Q_{обт}}{Q} &= \frac{D_{обт}}{D}; \\ \frac{H_{обт}}{H} &= \left(\frac{D_{обт}}{D}\right)^2; \\ \frac{N_{обт}}{N} &= \left(\frac{D_{обт}}{D}\right)^3.\end{aligned}\tag{1.17}$$

Це пояснюється тим, що при обточуванні змінюється не тільки зовнішній діаметр робочого колеса, але й робочий кут лопатки  $\beta_2$ .

При розрахунках обточування за останніми формулами режимні точки переміщуються по квадратичних параболах з вершинами у началі координат, а характеристики  $Q - H$  насоса з обточеним колесом будують аналогічно характеристикам з іншою частотою обертання.

Коефіцієнт корисної дії відцентрового насоса при обточуванні робочого колеса можна розрахувати за формулою Муді:

$$\eta_{обт} = 1 - (1 - \eta) \cdot \left(\frac{D}{D_{обт}}\right)^{0,25}.\tag{1.18}$$

Приблизно можна вважати, що при обточуванні робочого колеса в межах допустимої величини, ККД насоса зменшується на 1% на кожні 10% обточки при  $n_s < 200$ , і на 1% на кожні 4% обточки при  $n_s = 200 - 300$ .

Залежно від коефіцієнта швидкохідності найбільша обточка робочого колеса не повинна перевищувати таких значень:

при $n_s < 120$	$\frac{D - D_{*□}}{D} 100 \leq 15 - 20\%;$
при $120 < n_s < 200$	$\frac{D - D_{*□}}{D} 100 \leq 11 - 15\%;$
при $200 < n_s < 300$	$\frac{D - D_{*□}}{D} 100 \leq 7 - 11\%.$

Обточування робочих колес діагональних (напівосьових) і осьових насосів не рекомендується.

У разі необхідності обточування робочого колеса доводиться розв'язувати таку задачу: в технічному паспорті насоса (або у каталозі) є характеристика  $Q - H$  насоса для номінального робочого колеса діаметром  $D$ . Режимна точка  $A (Q_a; H_a)$  не співпадає з цією характеристикою і лежить нижче за неї. Треба визначити діаметр  $D_{обт}$ , до якого слід обточити робоче колесо, щоб характеристика  $Q_{обт} - H_{обт}$  пройшла через точку  $A$  (рис. 1.7).

Для розв'язання цієї задачі за допомогою формул перерахунку будують параболу подібних режимів, яка проходить через точку  $A$  (див. задачу 2 із попереднього параграфа). Рівняння цієї параболи має вигляд:  $H = \frac{H_a}{Q_a^2} Q^2$ .

Задавшись різними значеннями витрат  $Q_1; Q_2; Q_3$ , вираховують відповідні значення напорів  $H_1; H_2; H_3$  і будують параболу подібних режимів 1; А; 2; 3.

Перехрещення цієї параболи з кривою  $Q - H$  дає точку **Б**, яка після обточування переміститься у точку **А**. Після цього визначають діаметр обточеного колеса, прийнявши  $Q_{обг} = Q_A$ :  $D_{обг} = D \frac{Q_{обг}}{Q_3}$ . Окрім того

перевіряють величину  $D_{обг}$  за формулою:  $D_{обг} = D \sqrt{\frac{H_{обг}}{H_3}}$ .

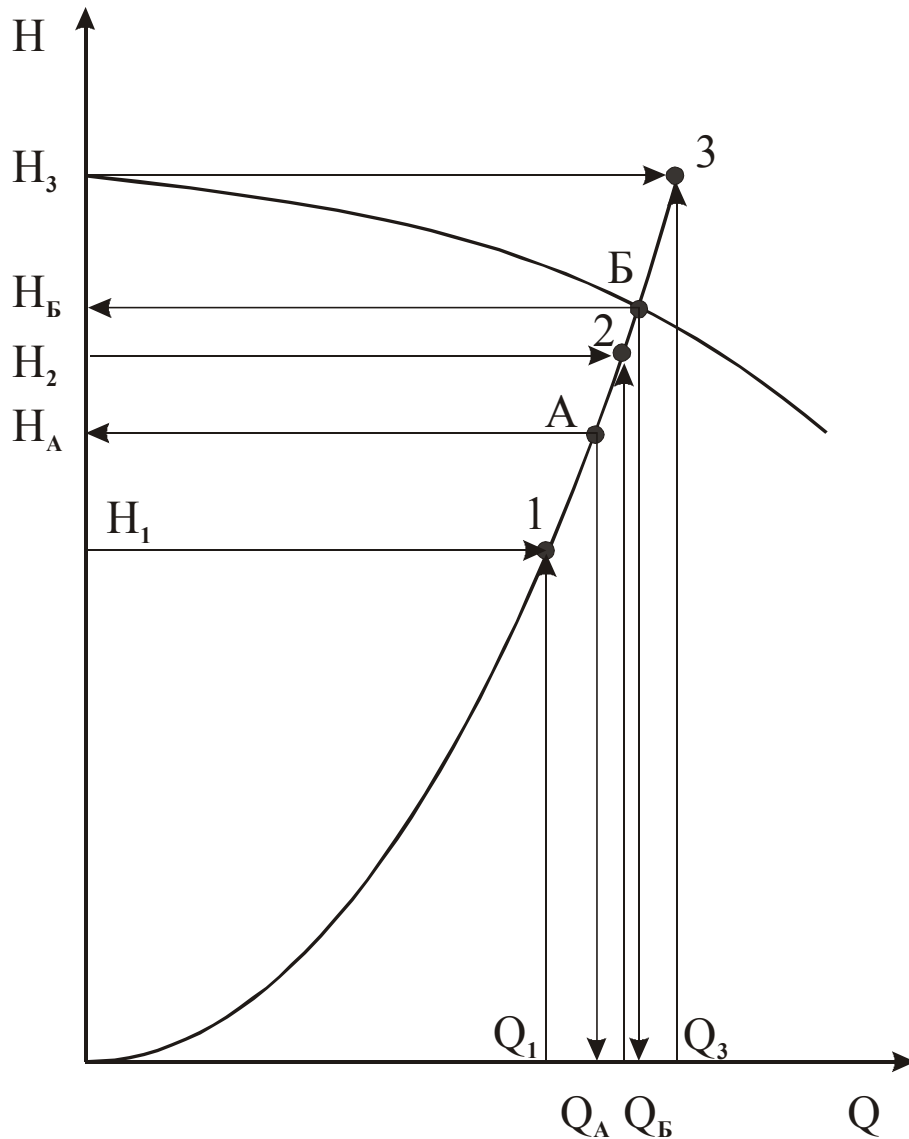


Рисунок 1.7 – Побудова параболи подібних режимів у разі обточування робочого колеса

Вираховують процент обточки  $(D - D_{обг}) / D$  і порівнюють його із допустимим для даного типу насосів. За величиною процента обточки або за формулою (1.18), знаходять величину зниження коефіцієнта корисної дії насоса.

Для побудови характеристики  $Q_{обг} - H_{обг}$  після того, як знайдено  $D_{обг}$ , на характеристиці  $Q - H$  беруть кілька довільних точок і вираховують координати, куди ці точки перемістяться після обточування (див. задачу 1 з

попереднього параграфу). Потім через отримані точки проводять плавну криву, яка і буде характеристикою  $Q_{обг} - H_{обг}$  насоса з робочим колесом, обточеним до величини  $D_{обг}$ .

### 1.7 Сумісна робота насосів і трубопроводної мережі

Під час проектування, а також під час аналізу роботи діючих насосних станцій виникає потреба у визначенні робочих режимів насосів.

*Робочою точкою насоса*, що характеризує його режим при роботі на напірний трубовід, називається точка перехрещення характеристики  $Q - H$  насоса з характеристикою трубопроводу.

Задачу знаходження робочої точки насоса легко вирішувати графічно шляхом нанесення на єдине поле координат характеристик насоса і трубопроводу. Характеристику насоса при цьому беруть із технічного паспорта або з каталогу насосів (рис. 1.8).

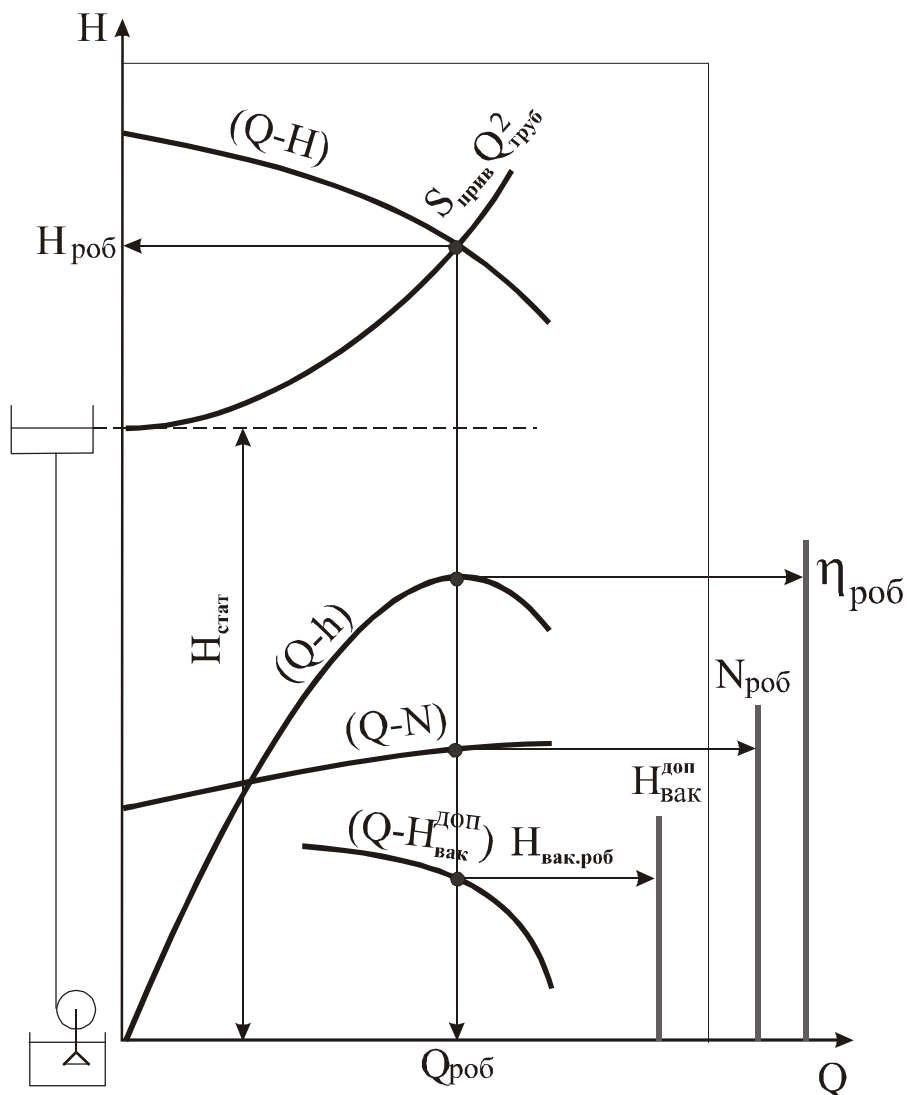


Рисунок 1.8 – Побудова сумісної роботи насоса та трубопроводу

Для побудови графічної характеристики трубопроводу користуються формулою

$$H_{\text{труб}} = H_{\text{стат}} + S_{\text{прив}} \cdot Q_{\text{труб}}^2, \quad (1.19)$$

де  $S_{\text{прив}}$  – приведений коефіцієнт опору трубопроводу, який враховує втрати напору у водоводах, комунікаціях насосної станції і у водопровідній мережі;

$H_{\text{стат}} = (H_{\text{геом}} + H_{\text{вільн}})$  – статична висота підйому, що складається з геометричної висоти підйому й вільного напору в кінці трубопроводу.

Приймаючи різні значення  $Q_{\text{труб}}$ , вираховують відповідні значення  $H_{\text{труб}}$  і отримані результати наносять у вигляді точок на графік, де вже нанесено характеристику  $Q - H$  насоса. Через отримані точки проводять плавну криву, яка і буде характеристикою трубопроводу. Вона має вигляд параболи з вершиною у точці  $Q = 0; H = H_{\text{стат}}$  (див. рис. 1.8).

Точка перехрещення характеристик насоса і трубопроводу є робочою точкою системи. Вона визначає всі параметри роботи насоса ( $Q_{\text{роб}}; H_{\text{роб}}; N_{\text{роб}}; \eta_{\text{роб}}; H_{\text{вак.роб}}$ ) на даний трубопровід. Більшої витрати по даному трубопроводу насос подати не може.

## 1.8 Паралельна робота кількох однотипних насосів на два водоводи

Необхідно визначити режим роботи системи, що складається з трьох однотипних насосів, які працюють на два паралельні водоводи. Відомі характеристики насосів. Раз насоси однотипні, то характеристики всіх трьох насосів співпадають між собою. Відомі характеристики кожного з водоводів  $S_a Q^2$  і  $S_b Q^2$ . На рисунку 1.9 зображено характеристики двох водоводів, які подають воду від насосної станції у спільний резервуар і мають різні коефіцієнти опору (наприклад різні діаметри). Слід визначити режим роботи всієї системи в цілому, а також, кожного з насосів і водоводів окремо. Крім того, слід проаналізувати різні варіанти роботи цієї системи (роботу одного, двох і трьох насосів на один і два водоводи).

Для аналізу різних варіантів роботи системи слід побудувати сумарні характеристики паралельної роботи двох і трьох насосів, а також сумарну характеристику паралельної роботи двох водоводів.

Сумарні характеристики паралельної роботи двох  $(Q - H)_{1+2}$  і трьох  $(Q - H)_{1+2+3}$  насосів будуюмо так же, як і в попередньому параграфі. Подвоюючи, і потроюючи абсциси характеристики  $(Q - H)_{1,2,3}$  при рівних напорах отримуємо дві сумарні характеристики насосів.

Принцип побудови сумарної характеристики паралельної роботи двох водоводів той же, що й під час побудови сумарної характеристики насосів. За рівних напорів сумують витрати по кожному з водоводів. Фізична суть цієї побудови така. Характеристика трубопроводу показує, який напір слід створити на початку трубопроводу, щоб у ньому підтримувалася потрібна витрата. За допомогою характеристики трубопроводу можна розв'язати і зворотне завдання. Якщо відомий напір на початку трубопроводу, то за характеристикою можна визначити, яка витрата буде в трубопроводі при цьому напорі.

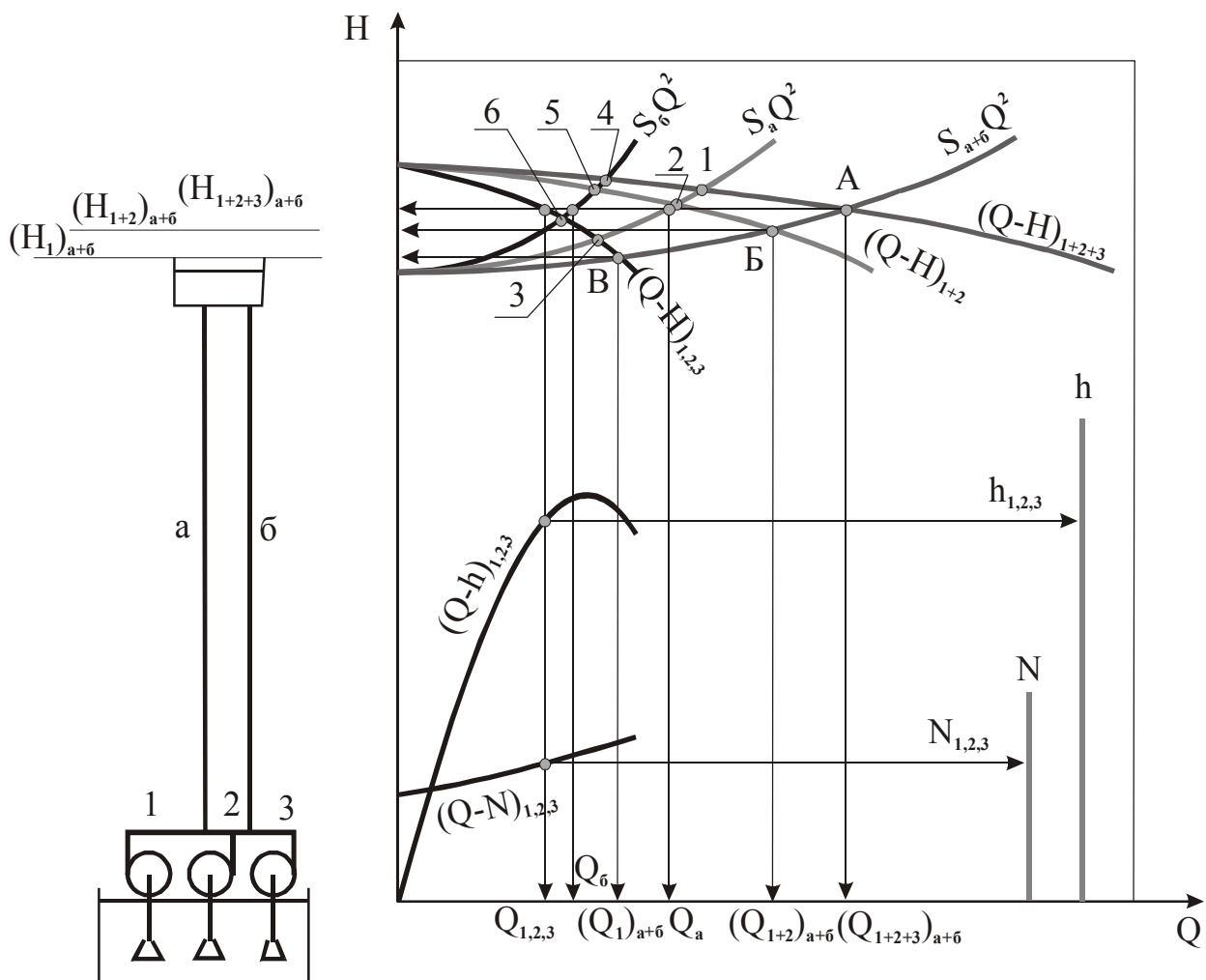


Рисунок 1.9 – Паралельна робота трьох однотипних насосів на два різних трубопроводи

Під час побудови сумарної характеристики використовують саме це зворотне завдання. Ми задаємося довільним напором на початку трубопроводів і визначаємо, яка витрата при цьому напорі буде по кожному з водоводів. У разі одночасної паралельної роботи водоводів сумарна витрата по двох водоводах при цьому напорі дорівнюватиме сумі витрат по кожному з водоводів. Задаючись різними напорами, отримуємо ряд точок сумарної характеристики водоводів. Проводячи через ці точки плавну криву, одержуємо сумарну характеристику  $S_{a+b}Q^2$  двох водоводів, які працюють паралельно.

Точка перехрещення сумарної характеристики водоводів і сумарної характеристики трьох насосів (точка А) є робочою точкою системи і визначає всі параметри роботи системи:

$(Q_{1+2+3})_{a+b}$  – подача трьох насосів при роботі на два водоводи;

$(H_{1+2+3})_{a+b}$  – створюваний при цьому напір;

$Q_a$  і  $Q_b$  – витрати відповідно по водоводу а і водоводу б,

$$Q_a + Q_b = (Q_{1+2+3})_{a+b};$$

$Q_{1,2,3}$  – подача кожного з насосів при їх паралельній роботі на два водоводи  $Q_1+Q_2+Q_3=(Q_{1+2+3})_{a+b}$ ;

$N_{1,2,3}$  – потужність кожного з насосів;

$\eta_{1,2,3}$  – коефіцієнт корисної дії кожного із насосів.

У випадку роботи двох насосів на два водоводи робочою точкою буде точка **Б**. При цьому витрата в системі буде  $(Q_{1+2})_{a+b}$ , а напір –  $(H_{1+2})_{a+b}$ .

При роботі одного насоса на два водоводи робочою точкою буде точка **В**, а витрата і напір відповідно  $(Q_1)_{a+b}$  і  $(H_1)_{a+b}$ .

Якщо відключити один водовід **б** і працювати трьома насосами тільки на водовід **а**, то робочою точкою буде точка **1**. При роботі двох і одного насоса на водовід **а** робочими точками будуть відповідно точки **2** і **3**.

Якщо відключити водовід **а** і працювати тільки на водовід **б**, то при роботі трьох, двох і одного насоса робочими точками будуть відповідно точки **4**, **5** і **6**. Усі параметри роботи системи в цих випадках визначаються робочими точками і на рисунку не показані, щоб не захащувати креслення.

Якщо із роботи будуть виключатися тільки окремі ділянки водоводів, а не водоводи цілком (наприклад при наявності перемичок між водоводами), то сумарна характеристика водоводів у цих випадках займатиме проміжне положення між лініями  $S_{a+b}Q^2$  і  $S_bQ^2$ .

## 1.9 Послідовна робота насосів

**Послідовною** називають таку роботу насосів, коли один з них бере воду з резервуара і подає її в усмоктувальний патрубок другого, а цей останній подає воду в напірний трубопровід.

Під час проектування послідовної роботи насосів слід перевірити й узгодити із заводом–виробником, який тиск може витримувати другий (за рухом рідини) насос. Якщо сумарний тиск, який створюють два насоси, більший за дозволenu величину, то даний насос використовувати в такій системі не можна.

Для побудови сумарної характеристики насосів, які працюють послідовно, слід скласти ординати характеристик  $Q - H$  цих насосів при однакових подачах. Тобто спільний напір, який створюють насоси при послідовній роботі, дорівнює сумі напорів, які створюють окремі насоси. У випадку послідовної роботи двох однакових насосів ординати характеристики  $Q - H$  подвоюються.

На рисунку 1.10, *а* зображена сумарна характеристика послідовної роботи двох однакових насосів для випадку, коли кожний з них окремо не в змозі підняти воду на потрібну висоту ( $H_{\text{геом}} > H_0$ ).

Характеристику сумісної роботи двох насосів  $(Q - H)_{I+II}$  отримано подвоєнням ординат характеристики кожного з насосів (крива  $(Q - H)_{I,II}$ ), наприклад ординати  $H_6$  в точці **б** при подачі  $Q_6$ . Робоча точка системи (точка **А**) лежить на перехрещенні сумарної характеристики двох насосів з характеристикою трубопроводу.

Насоси включають послідовно і в тих випадках, коли один насос у змозі подати воду в систему ( $H_{\text{геом}} < H_0$ ), але не може забезпечити при цьому необхідну подачу. Побудова сумарної характеристики двох однакових насосів для такого випадку показана на рисунку 1.10, *б*. Як видно з цього рисунка,

послідовне включення насосів дозволяє збільшити не тільки напір, але і подачу води.

У разі послідовної роботи двох різнотипних насосів (насосів з неодинаковими характеристиками) сумарна крива їх сумісної роботи будується шляхом складання ординат характеристик кожного із насосів при однакових подачах.

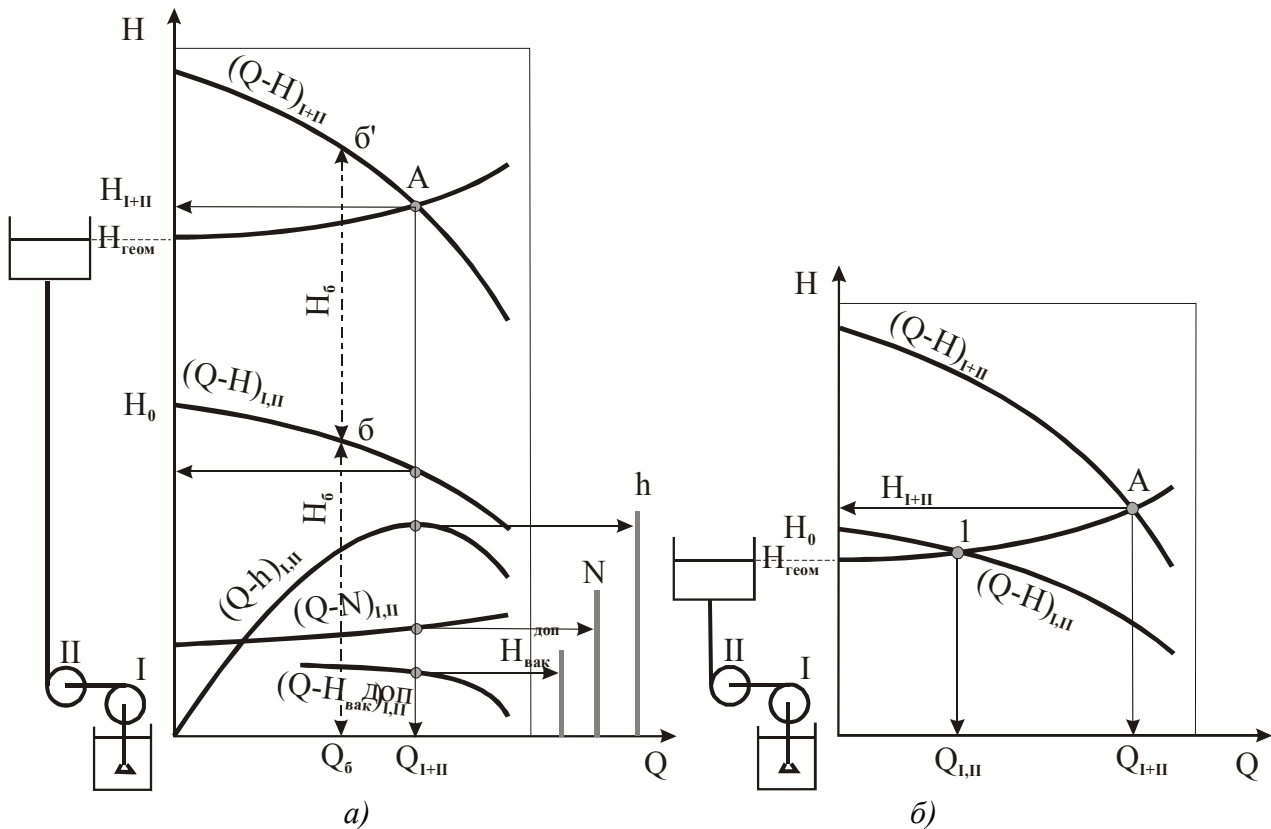


Рисунок 1.10 – Послідовна робота насосів  
а) – якщо  $H_{\text{геом}} > H_0$ ; б) – якщо  $H_{\text{геом}} < H_0$

У практиці транспортування рідини на великі відстані при значних геометричних висотах підйому буває необхідно розміщувати насоси, які працюють послідовно, на значних відстанях один від одного (тобто влаштовувати станції підкачки).

Характеристику сумісної роботи в цьому випадку будують так (рис. 1.11). При заданих характеристиках насосів  $(Q - H)_I$  і  $(Q - H)_{II}$  спочатку будують характеристику насоса I, приведену до точки б (точки де трубопровід від насоса I підключено до насоса II). Для цього від ординат кривої  $(Q - H)_I$  віднімають втрати напору в трубопроводі на ділянці аб, користуючись характеристикою цього трубопроводу (крива  $S_{ab}Q^2$ ). Таким чином отримують характеристику насоса I, приведену до точки б  $(Q - H)_{Iб}$ . Потім ординати цієї кривої сумують з ординатами характеристики насоса II і отримують сумарну характеристику сумісної роботи насосів I і II (крива  $(Q - H)_{I+II}$ ).

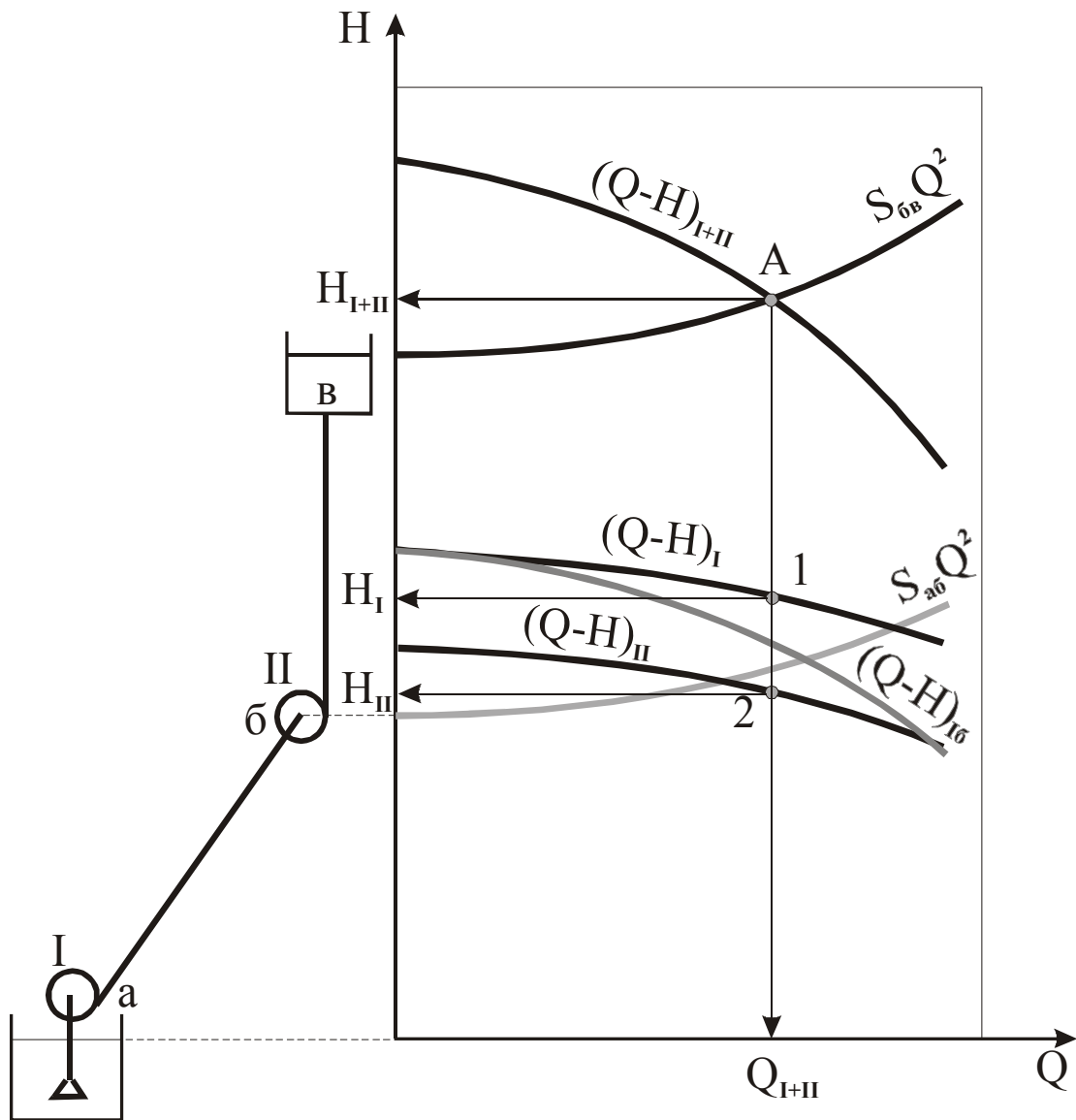


Рисунок 1.11 – Послідовна робота двох насосних станцій

Побудувавши характеристику напірного трубопроводу від насоса **II** до резервуара (крива  $S_{бв} Q^2$ ), знаходять робочу точку системи (точка **A**), яка визначить усі параметри роботи системи і окремих її елементів.

Якщо в точках **I** і **II** знаходяться не окремі насоси, а цілі насосні станції з кількома насосами, то замість характеристик одиночних насосів наносять сумарні характеристики цих насосних станцій, побудувавши їх окремо. Далі діють так, як щойно було розглянуто.



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

### Задача 1

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: насос буде встановлено на висоті 900 м над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою  $50^{\circ}\text{C}$  з відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода  $S = 0,6 \times 10^{-6}$  (для  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Діаметр усмоктувального патрубку – 500 мм. Розрахункова подача –  $Q = 300$  л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - \Delta h$ , згідно з якою при розрахунковій подачі  $\Delta h = 6,5$  м вод. ст.

### Задача 2

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: насос буде встановлено на висоті 800 м над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою  $60^{\circ}\text{C}$  із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода  $S = 0,1 \times 10^{-6}$  (для  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Діаметр усмоктувального патрубку – 600 мм. Розрахункова подача –  $Q = 1\,000$  л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - \Delta h$ , згідно з якою при розрахунковій подачі  $\Delta h = 6$  м вод. ст.

### Задача 3

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: насос буде встановлено на висоті 1 500 м над рівнем моря і він буде перекачувати воду температурою  $60^{\circ}\text{C}$  із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода  $S = 0,8 \times 10^{-8}$  (для  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Діаметр усмоктувального патрубку – 800 мм. Розрахункова подача –  $Q = 1\,500$  л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - \Delta h$ , згідно з якою при розрахунковій подачі  $\Delta h = 5,5$  м вод. ст.

### Задача 4

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: насос буде встановлено на висоті 700 м над рівнем моря і він буде перекачувати воду температурою  $50^{\circ}\text{C}$  із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода  $S = 0,1 \times 10^{-6}$  (для  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Діаметр усмоктувального патрубку – 600 мм. Розрахункова подача –  $Q = 1\,000$  л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$ , згідно з якою при розрахунковій подачі  $(H_{\text{доп}}^{\text{вак}})_{\text{пасп}} = 4,0$  м вод. ст.

### Задача 5

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: насос буде встановлено на висоті 2 000 м над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою  $40^{\circ}\text{C}$  із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода  $S = 1,2 \times 10^{-8}$  (для  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Діаметр усмоктувального патрубку – 800 мм. Розрахункова подача –

$Q = 1\,500$  л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику  $Q - H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$ , згідно з якою при розрахунковій подачі  $(H_{\text{доп}}^{\text{вак}})_{\text{пасп}} = 4,5$  м вод. ст.

### Задача 6

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу  $600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Манометр, який підключено до напірного патрубку насоса, показує тиск  $0,42 \text{ МПа}$  ( $4,2 \text{ атм}$ ), а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубку насоса, показує вакуум  $0,05 \text{ МПа}$  ( $0,5 \text{ атм}$ ). Манометр розміщено на  $4$  м вище осі насоса, а вакуумметр – на тій же відмітці, що і вісь насоса. Діаметр усмоктувального патрубку  $400$  мм, діаметр напірного патрубку –  $300$  мм.

### Задача 7

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу  $250 \text{ м}^3/\text{год}$ . Манометр, який підключено до напірного патрубку насоса, показує тиск  $0,46 \text{ МПа}$  ( $4,6 \text{ атм}$ ), а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубку насоса, показує вакуум  $0,045 \text{ МПа}$  ( $0,45 \text{ атм}$ ). Манометр розміщено на  $3$  м вище осі насоса, а вакуумметр – на тій же відмітці, що і вісь насоса. Діаметр усмоктувального патрубку  $250$  мм, діаметр напірного патрубку –  $300$  мм.

### Задача 8

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу  $1\,600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Манометр, який підключено до напірного патрубку насоса, показує тиск  $0,56 \text{ МПа}$  ( $5,6 \text{ атм}$ ), а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубку насоса, показує вакуум  $0,08 \text{ МПа}$  ( $0,8 \text{ атм}$ ). Манометр розміщено на  $5$  м вище осі насоса, а вакуумметр – на  $4$  м вище осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубку  $500$  мм, діаметр напірного патрубку –  $400$  мм.

### Задача 9

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу  $3\,600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Манометр, який підключено до напірного патрубку насоса, показує тиск  $0,63 \text{ МПа}$  ( $6,3 \text{ атм}$ ), а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубку насоса, показує вакуум  $0,02 \text{ МПа}$  ( $0,2 \text{ атм}$ ). Манометр розміщено на  $1$  м нижче осі насоса, а вакуумметр – на  $2$  м нижче осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубку  $700$  мм, а діаметр напірного патрубку –  $600$  мм.

### Задача 10

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса  $n = 2\,950$  об/хв, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, визначити нову частоту обертання, виходячи з умови, що розрахункова подача насоса складає  $70$  л/с, а напір –  $65$  м вод. ст.

<b>Н, м вод. ст</b>	85,0	83,5	82,0	80,5	79,0	70,0	57,0
<b>Q, м³/год</b>	0,0	50,0	100,0	200,0	250,0	300,0	350,0

### Задача 11

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса  $n = 2\,950$  об/хв, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику  $(Q - H)_1$ , виходячи з умови, що нова частота обертання робочого колеса складає  $n_1 = 1\,750$  об/хв.

<b>Н, м вод. ст</b>	85,0	83,5	82,0	80,5	79,0	70,0	57,0
<b>Q, м³/ год</b>	0,0	50,0	100,0	200,0	250,0	300,0	350,0

### Задача 12

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450$  об/хв, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, визначити нову частоту обертання, виходячи з умови, що розрахункова подача насоса складає  $1\,380$  м³/год, а напір –  $70$  м вод. ст.

<b>Н, м вод. ст</b>	108,0	107,5	107,0	105,0	99,0	90,0	82,0
<b>Q, л/с</b>	0,0	55,0	110,0	220,0	330,0	440,0	485,0

### Задача 13

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса  $n = 4\,550$  об/хв, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику  $(Q - H)_1$ , виходячи з умови, що нова частота обертання робочого колеса складає  $n_1 = 900$  об/хв.

<b>Н, м вод. ст</b>	108,0	107,5	107,0	105,0	99,0	90,0	82,0
<b>Q, л/с</b>	0,0	55,0	110,0	220,0	330,0	440,0	485,0

### Задача 14

Для насоса з діаметром робочого колеса  $D = 855$  мм, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, визначити новий діаметр робочого колеса, виходячи з умови, що розрахункова подача складає  $585$  л/с, а розрахунковий напір –  $80$  м вод. ст.

<b>Н, м вод. ст</b>	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
<b>Q, м³/год.</b>	0,0	300,0	600,0	1 200,0	1 800,0	2 100,0	2 400,0

### Задача 15

Для насоса з діаметром робочого колеса  $D = 855$  мм, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику  $(Q - H)_{\text{обт}}$ , виходячи з умови, що новий діаметр робочого колеса складає  $D_{\text{обт}} = 750$  мм.

<b>H, м вод. ст</b>	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
<b>Q, м³/год,</b>	0,0	300,0	600,0	1 200,0	1 800,0	2 100,0	2 400,0

### Задача 16

Для насоса з діаметром робочого колеса  $D = 550$  мм, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, визначити новий діаметр робочого колеса, виходячи з умови, що розрахункова подача складає 610 л/с, а розрахунковий напір – 11 м вод. ст.

<b>H, м вод. ст</b>	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
<b>Q, м³/год.</b>	0,0	400,0	800,0	1 000,0	1 400,0	2 000,0	2 600,0

### Задача 17

Для насоса з діаметром робочого колеса  $D = 550$  мм, характеристика  $(Q - H)$  якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику  $(Q - H)_{\text{обт}}$ , виходячи з умови, що новий діаметр робочого колеса складає  $D_{\text{обт}} = 480$  мм.

<b>H, м вод. ст</b>	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
<b>Q, м³/год.</b>	0,0	400,0	800,0	1 000,0	1 400,0	2 000,0	2 600,0

### Задача 18

Два однакових відцентрових насоса, характеристики  $Q - H$  яких дані в таблиці, працюють паралельно на два паралельних водоводи. Один з водоводів діаметром  $d_1 = 700$  мм ( $S_0 = 0,01098 \times 10^{-6}$ ), а другий – діаметром  $d_2 = 800$  мм ( $S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1 000 м.

<b>H, м</b>	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
<b>Q, м³/год.</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 19

Два різних відцентрових насоси, характеристики  $Q - H$  яких дані в таблицях, працюють паралельно на два однакові паралельні водоводи. Діаметром кожного водоводу  $d_1 = 700$  мм ( $S_0 = 0,01098 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1 000 м.

<b>H, м</b>	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
<b>Q, м³/год</b>	0	1 000	2 000	3 000	3 500	4 000	4 500

<b>H, м</b>	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
<b>Q, м³/год</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 20

Два однакових відцентрових насоса, характеристики  $Q - H$  яких дані в таблиці, працюють паралельно на два паралельних водоводи. Один з водоводів діаметром  $d_1=1000$  мм ( $S_0 = 0,001699 \times 10^{-6}$ ), а другий – діаметром  $d_2 = 800$  мм ( $S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1 000 м.

<b>H, м</b>	45,0	43,5	40,5	38,0	35,5	32,0	25,0
<b>Q, м³/ч</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с..

### Задача 21

Два різних відцентрових насоси, характеристики  $Q - H$  яких наведені в таблицях, працюють паралельно на два однакові паралельні водоводи. Діаметром кожного водоводу  $d_1 = 800$  мм ( $S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 3000 м.

<b>H, м</b>	45,0	43,5	40,5	38,0	35,5	32,0	25,0
<b>Q, м³/год</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

<b>H, м</b>	46,0	41,0	38,0	36,0	35,0	32,5	30,5
<b>Q, м³/год</b>	0	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 22

Два різних відцентрових насоси, характеристики  $Q - H$  яких наведені в таблицях, працюють послідовно на водовід. діаметром  $d = 800$  мм ( $S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 30 м. Довжина водоводу – 1 000 м.

<b>H, м</b>	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
<b>Q, м³/год</b>	0	1 000	2 000	3 000	3 500	4 000	4 500

<b>H, м</b>	32,0	31,5	29,5	27,0	24,5	21,5	18,0
<b>Q, м³/год.</b>	0	400	800	1 200	1 600	2 000	2 200

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу й напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 23

Два однакових відцентрових насоси, характеристики  $Q - H$  яких дані в таблиці, працюють послідовно на водовід. діаметром  $d = 600$  мм ( $S_0 = 0,02262 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 30 м. Довжина водоводу – 1 000 м.

<b>H, м</b>	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
<b>Q, м³/год.</b>	0	1 000	2 000	3 000	3 500	4 000	4 500

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу й напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 24

Два різних відцентрових насоси, характеристики  $Q - H$  яких дані в таблицях, працюють послідовно на водовід діаметром  $d = 600$  мм ( $S_0 = 0,02262 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 35 м. Довжина водоводу – 2 000 м.

<b>H, м</b>	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
<b>Q, м³/год.</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

<b>Н, м</b>	32,0	31,5	29,5	27,0	24,5	21,5	18,0
<b>Q, м<sup>3</sup>/год.</b>	0	400	800	1 200	1 600	2 000	2 200

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

### Задача 25

Два однакових відцентрових насоси, характеристики Q – Н яких наведені в таблиці, працюють послідовно на водовід діаметром  $d = 1\ 000$  мм ( $S_0 = 0,001699 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому води складає 35 м. Довжина водоводу – 2 000 м.

<b>Н, м</b>	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
<b>Q, м<sup>3</sup>/год.</b>	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

## 2 РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Задачею для розрахунково–графічного завдання студентам передбачена побудова сумісної роботи трьох різнотипних насосів та двох однакових трубопроводів. Під час розв’язання цієї задачі потрібно привести роботу системи «3 насоси + 2 водоводи» до робочої точки (робоча подача системи вказана у вихідних даних) шляхом обточування робочого колеса одного з насосів.

Приклад вирішення розрахунково–графічного завдання наведено після вихідних даних за варіантами.

### ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

#### *1 варіант*

1. Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.  
Д 500–36 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача,  $\text{м}^3/\text{год.}$  – 870.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 350 мм;
  - довжина – 1 630 м.
5. Геометрична висота підйому води – 28,6 м.

#### *2 варіант*

1. Марка, тип и кількість насосів СД 80/18 – 2 шт.  
СД 80/32 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача,  $\text{м}^3/\text{год.}$  – 70.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 100 мм;
  - довжина – 1 540 м.
5. Геометрична висота підйому води – 45 м.



### 3 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 320–50 – 2 шт.  
  Д 5 000–50 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 5 500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр –                 800 мм;
  - довжина –                2 240 м.
5. Геометрична висота підйому води – 34,2 м.

#### 4 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 25/14 – 2 шт.  
СД 80/18 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м<sup>3</sup>/год. – 65.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 125 мм;
  - довжина – 1 000 м.
5. Геометрична висота підйому води – 9 м.

### 5 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 200–36 – 2 шт.  
  Д 200–95 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 180.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр – 200 мм;  
– довжина – 1 230 м.
5. Геометрична висота підйому води – 150 м.

### 6 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів      СД 50/10 – 2 шт.  
  СД 50/56 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 75.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр –                 100 мм;  
– довжина –                1 250 м.
5. Геометрична висота підйому води – 50 м.

## 7 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 630–90 – 2 шт.  
Д 1 600–90 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2 850.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід стальний;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 600 мм;
  - довжина – 1 240 м.
5. Геометрична висота підйому води – 74 м.

### 8 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 50/22,5 – 2 шт.  
СД 250/22,5 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м<sup>3</sup>/год. – 870.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 250 мм;
  - довжина – 1 670 м.
5. Геометрична висота підйому води – 18 м.

## 9 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 500–65 – 2 шт.  
  Д 1 250–65 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2 500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр –                 500 мм;
  - довжина –                1 500 м.
5. Геометрична висота підйому води – 49 м.

### 10 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 16/10 – 2 шт.  
СД 16/25 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 15.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр – 60 мм;  
– довжина – 1305 м.
5. Геометрична висота підйому води – 35 м.

### 11 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 500–65 – 2 шт.  
  Д 2 500–62 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 3 200.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр –                 700 мм;  
– довжина –                1 600 м.
5. Геометрична висота підйому води – 57,5 м.

**12 варіант**

1. Марка, тип и кількість насосів      СД 160/10 – 2 шт.  
    СД 160/45 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 160.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр –             150 мм;
  - довжина –          1 440 м.
5. Геометрична висота підйому води – 44,3 м.

### 13 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 800–28 – 2 шт.  
Д 6300–27 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м<sup>3</sup>/год. – 6 000.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 1 000 мм;
  - довжина – 2 380 м.
5. Геометрична висота підйому води – 22,5 м.

## 14 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 1 250–14 – 2 шт.  
Д 1 250–125 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 1 235.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 400 мм;
  - довжина – 1 840 м.
5. Геометрична висота підйому води – 110,8 м.

**15 варіант**

1. Марка, тип и кількість насосів      СД 80/32 – 2 шт.  
  СД 800/32 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 750.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр –             350 мм;  
– довжина –          1 855 м.
5. Геометрична висота підйому води – 24,7 м.

**16 варіант**

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 500–36 – 2 шт.  
   Д 500–65 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 600.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр –                250 мм;  
– довжина –             1 040 м.
5. Геометрична висота підйому води – 77 м.

**17 варіант**

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 200–36 – 2 шт.  
  Д 2 000–34 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2 350.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 600 мм;
  - довжина –         2 475 м.
5. Геометрична висота підйому води – 30,8 м.

### 18 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів      СД 32/40 – 2 шт.  
  СД 100/40 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 150.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр –          250 мм;
  - довжина –         900 м.
5. Геометрична висота підйому води – 32,8 м.

**19 варіант**

- Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.  
Д 500–36 – 1 шт.
- Режим роботи насосів – паралельний.
- Розрахункова подача, м³/год. – 800.
- Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 350 мм;
  - довжина – 1 200 м.
- Геометрична висота підйому води – 25 м.

**20 варіант**

1. Марка, тип и кількість насосів      СД 50/22,5 – 2 шт.  
  СД 250/22,5 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 320.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 200 мм;
  - довжина – 1 450 м.
5. Геометрична висота підйому води – 15,8 м.

## 21 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 2 000–21 – 2 шт.  
Д 2 000–100 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 1 500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 500 мм;
  - довжина – 1 300 м.
5. Геометрична висота підйому води – 118,4 м.

## 22 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 16/10 – 2 шт.  
СД 160/10 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 170.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 175 мм;
  - довжина – 1 250 м.
5. Геометрична висота підйому води – 5,3 м.

### 23 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 800–28 – 2 шт.  
  Д 800–57 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м<sup>3</sup>/год. – 680.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр –             300 мм;
  - довжина –         1 050 м.
5. Геометрична висота підйому води – 65 м.

## 24 варіант

- Марка, тип и кількість насосів Д 2 500–17 – 2 шт.  
Д 2 500–62 – 1 шт.
- Режим роботи насосів – послідовний.
- Розрахункова подача, м³/год. – 2 350.
- Характеристика напірного трубопроводу:
  - трубопровід сталевий;
  - кількість – 2 шт.;
  - діаметр – 600 мм;
  - довжина – 1 500 м.
- Геометрична висота підйому води – 59,3 м.

## 25 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів      Д 1 000–40 – 2 шт.  
  Д 2 500–45 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 4 800.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр –                 700 мм;  
– довжина –                1 500 м.
5. Геометрична висота підйому води – 23 м.



## ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РГЗ

### Завдання

1. Марка, тип та кількість насосів – Д 800 –28 – 2 шт.  
– Д 6 300–27 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м<sup>3</sup>/год. – 6 500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:  
– трубопровід сталевий;  
– кількість – 2 шт.;  
– діаметр – 1 000 мм;  
– довжина – 5 000 м.
5. Геометрична висота підйому води – 22,5 м.

### Розв'язання

1. Будуємо паспортні характеристики заданих насосів (переносимо характеристики Q–H з паспорту насосу (Додаток 1) на графік рис. 2.1). **Лінія 1** – характеристика насоса Д 800–28, **лінія 2** – характеристика насоса Д 6300–27

Марка насоса	Q, м <sup>3</sup> /ГОД	0	200	400	600	800	1 000	2 000	4 000	6 000	Д <sub>роб.кол</sub> , мм
Д 800–28	H, м	35	35	34	33	30	26	–	–	–	460
Д 6 300–27	H, м	43	–	–	–	–	–	40	35	28	740

2. Будуємо характеристику роботи трубопроводу за наступною залежністю (**лінія 3**):

$$H = H_{\text{геом}} + SQ^2 = H_{\text{геом}} + A_0 \cdot l \cdot Q^2,$$

де  $A_0 = 0,001\,447$  (для  $Q$  в м<sup>3</sup>/с) – питомий опір трубопроводу, який приймається за [4] залежно від матеріалу і діаметру трубопроводу.

Q, м <sup>3</sup> /ГОД	0	200	400	600	800	1 000	2 000	4 000	6 000
H, м	22,5	22,5	22,52	22,59	22,70	22,86	23,06	24,73	31,43

Будуємо сумісну характеристику паралельної роботи двох трубопроводів (**лінія 4**). На сумісній характеристиці трубопроводів знаходимо точку робочої (розрахункової) подачі (6 500 м<sup>3</sup>/год.) та визначаємо для неї величину робочого напору. Отримуємо точку А з координатами (6 500; 28).

3. Далі визначаємо робочий режим кожного з насосів:

При  $H = 28$  м,  $Q_1 = 900$  м<sup>3</sup>/год.,  $Q_2 = 6\,000$  м<sup>3</sup>/год.

В нашій роботі ми будемо виконувати обточування робочого колеса насоса марки Д 6 300–27. Тому визначаємо нову подачу для цього насоса:

$$Q'_2 = Q_{заг} - 2Q_1 = 6\,500 - 2 \cdot 900 = 4\,700 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

Отримаємо точку  $M_2$  (4 700; 28). Координати цієї точки підставляємо для розрахунку та побудови параболи подібних режимів за наступною залежністю:

$$H_1 = \frac{H_2 \cdot Q_1^2}{Q_2^2} = \frac{28 \cdot Q_1^2}{4\,700^2} = 0,000\,001 \cdot Q_1^2.$$

Приймаючи різні значення витрати (подачі) і розрахувавши відповідні значення напору, будуємо параболу подібних режимів (**лінія 5**).

$Q,$ м <sup>3</sup> /ГОД.	0	200	400	600	800	1 000	2 000	4 000	6 000
H, м	0	0,05	0,20	0,46	0,81	1,27	5,07	20,28	45,63

Знаходимо точку перетину паспортної характеристики насоса Д 6 300–27 і параболи подібних режимів (точку перетину **лінії 2 та лінії 5**) –  $M_1$  (4 998; 32).

Для розрахунку обточування робочого колеса насоса Д 6 300–27 порівнюємо координати отриманих точок  $M_1$  та  $M_2$ .

$$D_2 = \frac{Q_2 \cdot D_1}{Q_1} = \frac{4\,700 \cdot 740}{4\,998} = 696 \text{ мм};$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{H_2 \cdot D_1^2}{H_1}} = \sqrt{\frac{28 \cdot 740^2}{32}} = 692 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $D_2 = 694$  мм.

Після цього розраховуємо нову паспортну характеристику насоса Д 6 300–27 з робочим колесом діаметром 694 мм (**лінія 6**). Для цього використовуємо формули подібності:

$$Q'_{пасп} = \frac{D_2}{D_1} \cdot Q_{пасп} = \frac{694}{740} \cdot Q_{пасп} = 0,938 \cdot Q_{пасп};$$

$$H'_{пасп} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot H_{пасп} = \left(\frac{694}{740}\right)^2 \cdot H_{пасп} = 0,88 \cdot H_{пасп}.$$

$Q_{пасп}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	0	2 000	4 000	6 000
$H_{пасп}, \text{ м}$	43	40	35	28
$Q'_{пасп}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	0	1 875,68	3 751,35	5 627,03
$H'_{пасп}, \text{ м}$	37,82	35,18	30,78	24,63

Після побудови нової паспортної характеристики насоса Д 6 300–27, будуємо характеристику паралельної роботи трьох насосів: 2 насосів Д 800–28 та нової характеристики насоса Д 6 300–27 з обточеним робочим колесом (**лінія 7**) – складаємо подачі при однакових напорах.

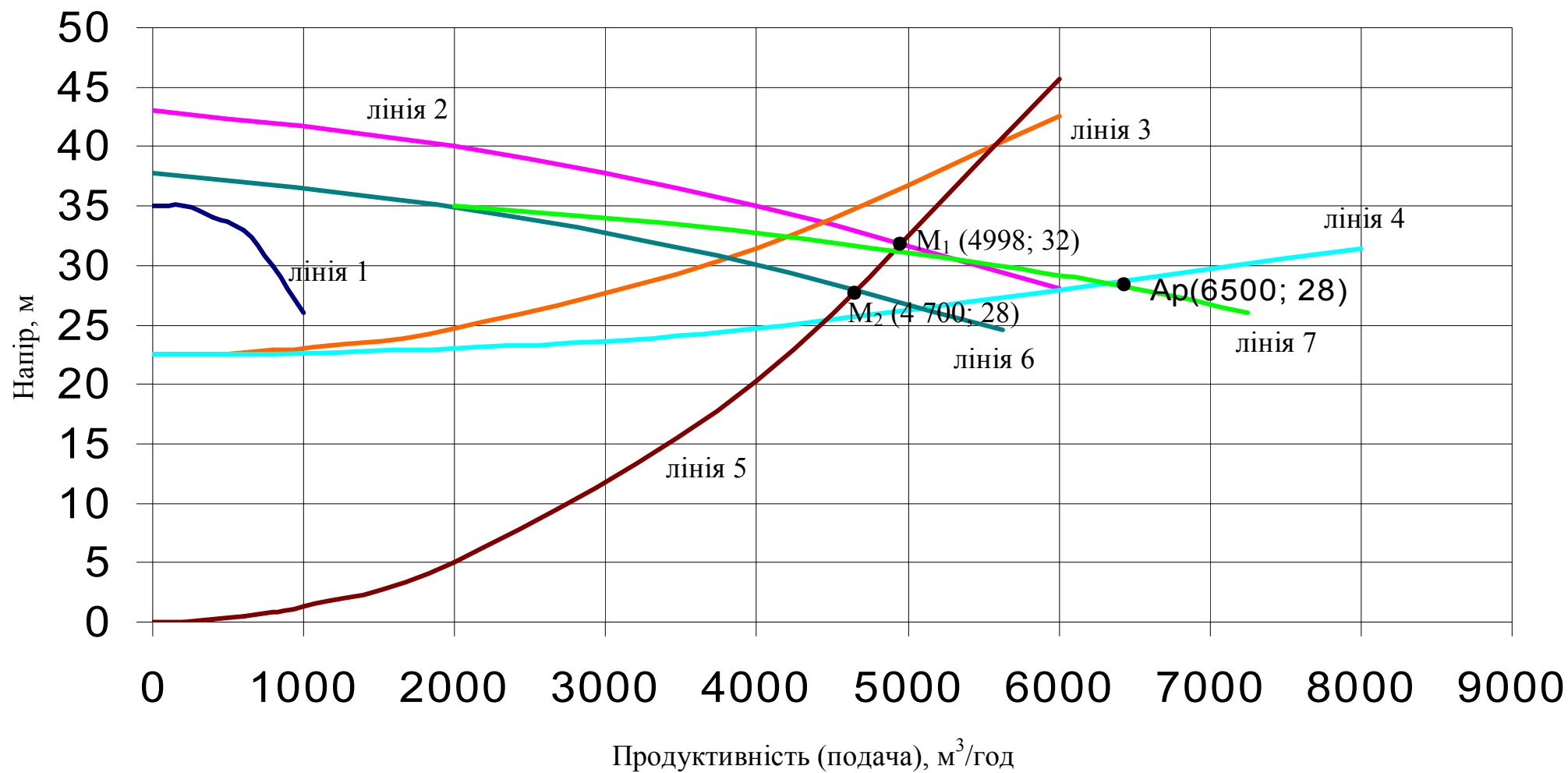


Рисунок 2.1 – Сумісна (паралельна) робота трьох різнотипних насосів на два напірні водоводи

## 3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

### 3.1 Загальні відомості про випробування насосів

*Лопатевими* називаються насоси, у яких перетворення механічної енергії в гідравлічну виконується взаємодією з рідиною лопатевого (робочого) колеса, яке обертається.

Лопатеві насоси можна класифікувати за такими принципами:

1. За різновидом рідини, що перекачується:

- насоси для чистої води;
- насоси для ґрунтових сумішей (землесоси, вуглесоси, рудососи, піскові насоси та ін.), які мають ширші канали проточної частини в порівнянні з насосами для чистої води, а також стійку до стирання внутрішню поверхню каналів.

2. За конструктивним виконанням робочого колеса та його швидкохідності.

3. За розташуванням робочих коліс відносно підшипникових опор: консольні, з центральним розташуванням робочих коліс.

4. За кількістю ступенів в насосі: одноступеневі та багатоступеневі.

5. За формою відводу: з кільцевим відводом; з кільцевим відводом та лопатевим спрямовуючим апаратом; з спіральним відводом; зі здвоєним спіральним відводом.

6. За кількістю всмоктуючих отворів в робочому колесі: одnobічного та двобічного всмоктування.

7. За типом підвода: з осьовим та боковим підводом.

8. За розташуванням приводного валу в просторі: горизонтальне та вертикальне.

9. За розміщенням насоса відносно вододжерела: зовнішні, які встановлюються біля водозбірників; підвісні (прохідні та зумпфові); свердловинні, які використовуються в системах дренажу шахтних та кар'єрних полів, а також для добування чистої питної води та технічних потреб.

Залежно від місця розташування приводу свердловинні насоси ділять на занурювальні та незанурювальні. В першому випадку насос разом з приводом занурюються в свердловину, а в другому насос знаходиться в свердловині а привод на поверхні.

У наведеній на рисунку 3.1 найпростішій конструкції насоса робоче колесо складається з двох дисків (переднього і заднього), між якими розташовані лопаті. Передня кришка, відвід і задня кришка утворюють герметичний корпус насоса, в якому обертається робоче колесо і до якого за допомогою підвідного і напірного патрубків приєднуються відповідні трубопроводи насосної установки. Вал із закріпленням на ньому робочим колесом розташовується в підшипникових опорах на станині і приводиться в рух електродвигуном, з валом якого він з'єднаний за допомогою муфти.

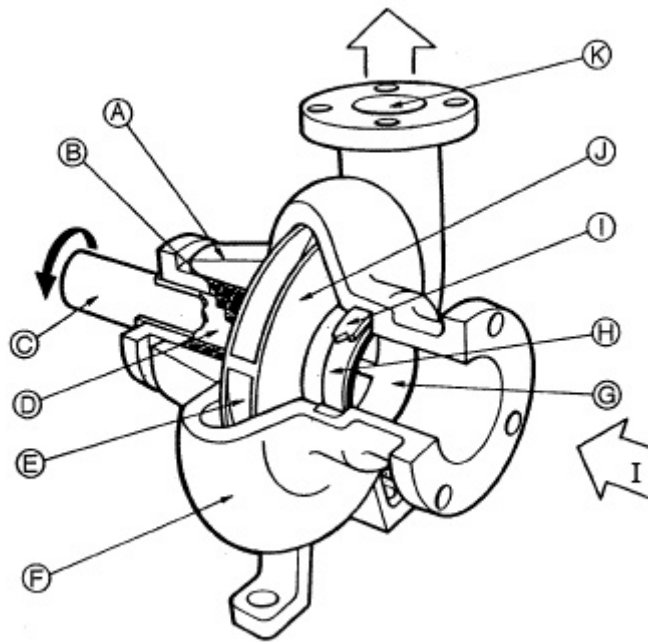


Рисунок 3.1 – Конструкція лопатевого насоса:

*A – сальник; B – набивка; C – вал; D – втулка валу; E – лопать; F – корпус;  
G – приймальний простір лопатевого колеса; H – робоче колесо (внутрішній діаметр), I – ущільнююче кільце; J – робоче колесо (зовнішній діаметр);  
K – випускний патрубок*

При обертанні робочого колеса на рідину, що знаходиться в його каналах, діють відцентрові сили, направлені від осі обертання до периферії колеса. Переміщення рідини здійснюється у відвід, що представляє кільцеву камеру, яка поступово переходить в напірний патрубок. Напірний патрубок виконується у формі спірального дифузора, що дозволяє з мінімальними втратами енергії знизити швидкість рідини на виході з насоса. При цьому динамічний напір (кінетична енергія) рідини частково перетворюється в статичний напір (тиск). Між виступом входного отвору робочого колеса і корпусом насоса встановлені ущільнюючі кільця, щоб зменшити перетікання рідини з відводу через зазори між колесом і корпусом в зворотному напрямку до підвідного патрубка. Сальникові ущільнення попереджають відтік рідини між корпусом і приводним валом.

Величина напору, що розвивається одним робочим колесом, обмежується його допустимою окружною швидкістю. Для створення високих напорів використовують багатоступеневі насоси, у яких декілька робочих коліс з'єднуються послідовно та знаходяться на одному валу в одному корпусі.

До таких насосів відносяться і секційні насоси (рис. 3.2), що komponуються з однотипних секцій змінної кількості (для регулювання напору), які послідовно розміщені на валу. В кожній секції розміщено робоче колесо та направляючий апарат, для забезпечення переводу рідини від попереднього колеса до наступного. Секції стягуються загальними шпильками і

утворюють корпус. Така компоновка насоса робить його дуже компактним, але ускладнює ремонт і, внаслідок однотипного розміщення секцій, примушує застосовувати спеціальні пристрої для компенсації осьових зусиль (розвантажувальний диск).

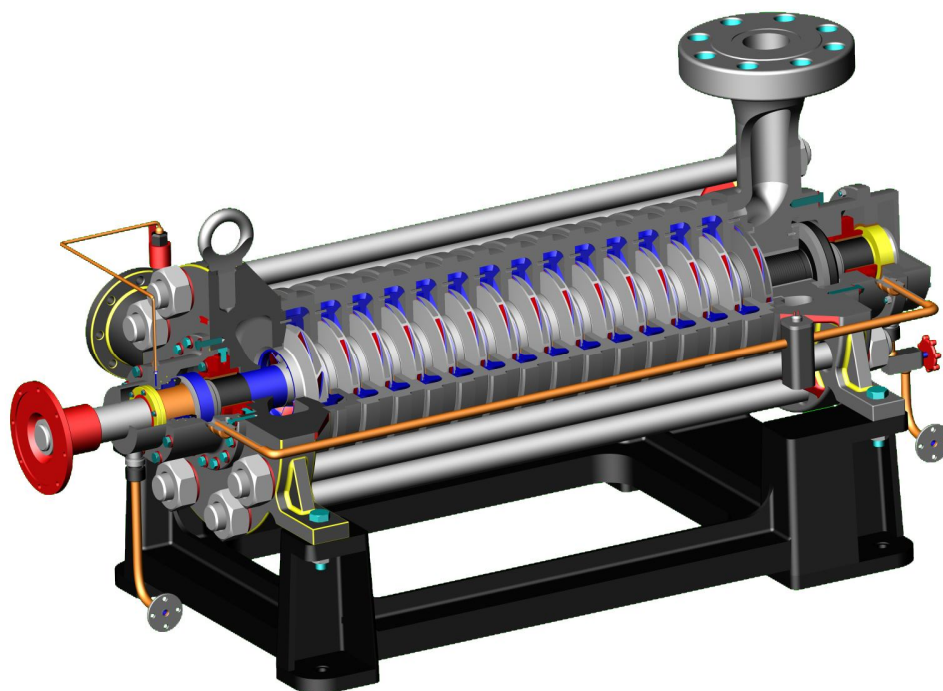


Рисунок 3.2 – Секційний насос

Залежно від форми проточних каналів робочого колеса лопатеві насоси ділять на три класи: відцентрові, діагональні та осьові (див. рис. 3.3). Зовнішню різницю між вказаними класами насосів зв'язують з напрямом виходу рідини з міжлопатєвого каналу: у відцентрових насосах він перпендикулярний, а у осьових паралельний до осі обертання робочого колеса; у діагональних утворює гострий кут з віссю обертання насосу.

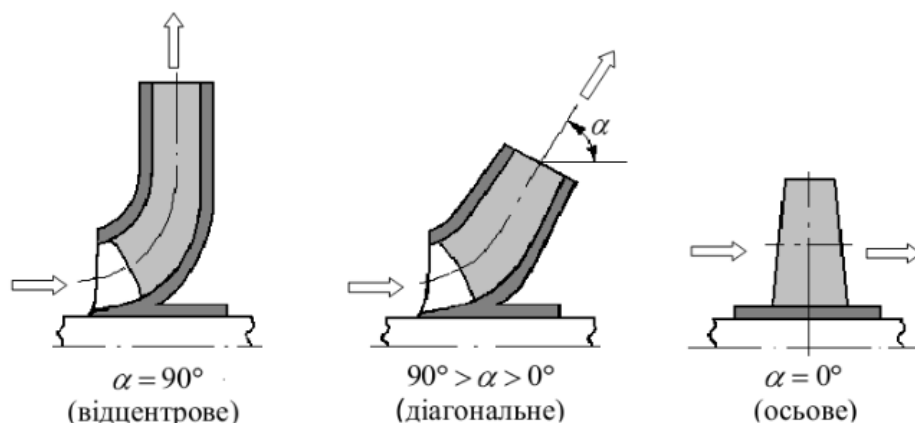


Рисунок 3.3 – Класифікація робочих коліс лопатєвих коліс

Такий поділ насосів на класи має принципову основу: у відцентрових насосах перетворення механічної енергії у гідравлічну здійснюється, в основному, за рахунок відцентрових сил, а сили густинної взаємодії лопатей з

рідиною мають другорядне значення; робочий процес осьового насоса визначається головним чином турбінною дією лопатевого колеса; у діагональних насосах однаково мають значення як відцентрові, так і густинні сили.

Геометрія лопатей у насосів цих класів різна: у відцентрових насосах лопаті переважно загинаються у площині, яка перпендикулярна до осі обертання робочого колеса (циліндричні лопаті); у діагональних насосах лопаті мають двояку кривизну; у осьових лопаті загнуті відносно радіальної осі. Конструкція робочого колеса визначає експлуатаційні параметри лопатевих насосів. При переході від відцентрових до діагональних та осьових коліс підвищується ККД насосів та збільшується швидкість їх обертання. Так осьові машини роблять відносно малі напори при відносно великих подачах рідини у режимі максимального ККД. Відцентрові машини є високонапірними. ККД цих насосів нижче, ніж у швидкохідних осьових та діагональних. Параметрами класу проточної частини робочого колеса є:

а) відношення середнього діаметру робочого колеса на виході з міжлопасного каналу  $D_2$  до діаметра вхідного отвору  $D_1$ ;

б) коефіцієнт швидкохідності насоса  $n_s$ , який визначається з наступного відношення:

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}, \quad (3.1)$$

де  $Q$  та  $H$  – відповідно витрата ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) та напір (м) машини в режимі максимального ККД, а  $n$  – частота обертання робочого колеса (об/хв).

Залежно від коефіцієнта швидкохідності відцентрові насоси умовно ділять на три групи: тихохідні, нормальні та швидкохідні.

Осьове робоче колесо не має переднього та заднього дисків.

Відцентрові та діагональні робочі колеса також можуть не мати переднього диску. У цьому випадку вони, як і осьові, носять назву відкритих робочих коліс.

Насоси широко застосовують у різних областях народного господарства. Вони різноманітні за принципом дії та конструктивним виконанням і повинні надійно працювати у будь-яких умовах. Ці умови часто помітно змінюються при використанні того самого насоса. Тому, щоб передбачити можливість нормальної роботи того або іншого насоса в заданих умовах, необхідно мати в його характеристики, що, як правило, 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 звичайно подають у вигляді узагальнених графіків  $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ,  $\Delta h_{\text{дон}} = f(Q)$  при  $n = \text{const}$ , які називають

характеристиками насоса й розділяють їх на енергетичні –  $H$ ,  $N$ ,  $\Delta h_{\text{дон}} = f(Q)$  й кавітаційні –  $h_{\text{дон}} = f(Q)$ .

За енергетичними характеристиками насоса можна визначити можливість підйому ним рідини із заданою подачею на задану висоту при заданій характеристиці мережі, а також потужність, що повинна при цьому підводитись до насоса.

Кавітаційна характеристика дає змогу визначити позначку установки насоса стосовно рівня джерела, при якій 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 ремонтопридатності 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 та ін.).

З усіх перерахованих вище випробувань для фахівців з 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 введений насос, у процесі експлуатації. Тому більшість випробувань насосів, що викладаються нижче в лабораторних роботах, мають характер, близький до параметричних випробувань.

#### *Виміри при параметричних випробуваннях насосів*

Під час проведення параметричних випробувань визначають основні зовнішні параметри насоса на різних режимах його роботи. Для більшості насосів такими параметрами є:  $Q$  – об'ємна подача насоса в одиницю часу або просто подача насоса, л/с, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/год;  $H$  – напір насоса, м;  $n$  – частота обертання валу насоса або двигуна, хв<sup>-1</sup>;  $N$  – потужність, споживана насосом, кВт;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії насоса, % або частки від 1;  $\Delta h_{\text{прип}}$  – припустимий кавітаційний запас, м.

Для лопатевих насосів величини  $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ,  $\Delta h_{\text{прип}}$  залежать від зміни подачі  $Q$  при постійних частотах обертання валу насоса  $n$ .

**Подачу насоса  $Q$**  найчастіше визначають шляхом виміру 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. У лабораторних умовах найпоширеніші способи визначення витрат рідини, вказані в таблиці 3.1.



**Напір насоса**  $H$  – це збільшення питомої механічної енергії потоку рідини, що проходить крізь насос, тобто

$$H = \frac{p_n - p_{вс}}{\rho g} + \frac{(V_n^2 - V_{вс}^2)}{2g} + Z_{вим}, \quad (3.1)$$

де  $p_n$  і  $V_n$  – тиск і швидкість потоку в напірному трубопроводі після насоса, Н/м<sup>2</sup> і м/с;

$p_{вс}$  і  $V_{вс}$  – те ж, у всмоктувальному трубопроводі перед насосом;

$\rho$  і  $g$  – щільність рідини й прискорення вільного падіння, кг/м<sup>3</sup> і м/с<sup>2</sup>;

$Z_{вим}$  – відстань по вертикалі між тими точками рідини в напірних й усмоктувальних комунікаціях, у яких тиск відповідає значенням  $p_n$  і  $p_{вс}$ , м.

Таблиця 3.1 – Способи виміру витрати рідини

Спосіб	Вимірюваний параметр	Прилад для виміру	Функціональна залежність витрати від вимірюваного параметра
1	2	3	4
Встановлення звужуючого пристрою (шайба, сопло, труба Вентурі)	Перепад тиску $\Delta p$	Диференційний манометр	$Q = k\sqrt{\Delta p}$
Встановлення гідравлічної турбіни ("вертушки")	Частота обертання турбіни $f$	Частотомір	$Q = k_2 \cdot f$
Застосування ємкості з водозливом	Рівень рідини у напірній частині ємкості $h$	Показчик рівня	$Q = f(h)$
Зміна швидкості потоку в окремих струмках	Швидкість потоку $v_i = f(\Delta p)$	Трубка Піто або інші типи датчиків швидкості	$Q = \sum v_i s_i$ де $v_i$ – швидкість плину струмка; $s_i$ – площа перерізу струмка
Встановлення індукційного витратоміра	Електрорушійна сила в електроланцюгах $u$	Показчик ЕРС	$Q = k_3 u$
Встановлення ультразвукового вимірника швидкості потоку	Вимір швидкості поширення ультразвуку $\Delta c$	Стрілочний індикатор	$Q = f(\Delta c)$

Для визначення напору насосу необхідні виміри  $Z_{вим}$ ,  $p_n$  і  $p_v$ . Інші параметри розраховують за відомими подачею  $Q$  і геометричним розмірам 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 трубки, що підводить:

$$P_{абс} = P_a + P_m \text{ або } P_{абс} = P_a - P_v, \quad (3.2)$$

де  $P_m$  і  $P_v$  – відповідно показання манометра й вакуумметра, Н/м;  
 $P_a$  – атмосферний тиск, Н/м<sup>2</sup>.

Звичайно точки вимірів тисків з'єднуються з манометрами (вакуумметрами) за допомогою підвідних трубок, які приєднують до трубопроводів до й після насоса. При цьому показання приладу може не відповідати справжньому значенню тиску в точці виміру. Так, якщо трубка, що підводить, повністю заповнена рідиною і прилад розташований вище точки виміру, то справжній манометричний або вакуумметричний тиск у точці виміру буде

$$p_{mA} = p_m + \rho g h_A \text{ або } p_{vA} = p_v - \rho g h_A, \quad (3.3)$$

де  $h_A$  – відстань по вертикалі від точки виміру до штуцера приладу, м.

Якщо прилад розташований нижче точки А, то треба змінити знаки додавання та віднімання на протилежні.

Таким чином, при установці манометра (вакуумметра) нижче або вище точки виміру для визначення справжнього тиску в цій точці необхідно враховувати тиск стовпчика рідини, що заповнює трубку, яка підводить, і частину трубопроводу до точки виміру. Якщо трубка, що підводить, заповнена повітрям, то у всіх випадках показання манометра (вакуумметра) практично будуть відповідати справжньому тиску на її початку, тому що вплив тиску стовпчика повітря у трубці через малу його щільність буде мізерним. Трубки, що підводять до манометрів, звичайно «проливають» рідиною, а до вакуумметрів «продувають» повітрям. Для цього в місці з'єднання трубки з приладом установлюють триходовий кран або просто трубку з краном, що відводить рідину. У першому випадку при відкритті крана повітря «скидається» з трубки, що підводить, в атмосферу, у другому повітря з атмосфери «продуває» трубку, що підводить, і видаляє з неї воду. У принципі можна й вакуумметричну трубку, що підводить, «проливати» водою, якщо вільний кінець її опустити під рівень води в посудині. Найбільшої точності виміру досягаються при розташуванні осі трубок, що підводять, у горизонтальній площині, що проходить через точку виміру. У цьому разі не потрібні ні «проливи», ні «продувки» трубок. У практиці для виміру вакууму або малих тисків іноді застосовують U-подібні скляні трубки, заповнені ртуттю. Точність

вимірів при цьому підвищується. Але робота з цими приладами вимагає обережності й акуратності, тому що ртуть дуже шкідлива речовина для обслуговуючого персоналу.

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

**Частоту обертання вала насоса або двигуна  $n$**  можна вимірювати різними тахометрами або спеціальними частотомірами–тахометрами з електроімпульсними лічильниками сигналів, що надходять з індукційних або фотоелектричних датчиків, які встановлені поблизу вала, що обертається.

**Потужність насоса (споживану)  $N$**  можна виміряти двома способами: за допомогою прямих і непрямих вимірів.

Перший спосіб заснований на прямих вимірах частоти обертання вала насоса  $n$  і крутного моменту, що діє на вал насоса  $M_{кр}$ . Споживана насосом потужність, кВт:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9550}, \quad (3.4)$$

де  $n$  – частота обертання валу насоса,  $\text{хв}^{-1}$ ;  
 $M_{кр}$  – крутний момент, Н м.

Другий спосіб заснований на вимірі споживаної двигуном електричної потужності  $N_{дв}$ , що потім використовують для розрахунку споживаної насосом потужності з урахуванням відомих коефіцієнтів корисної дії двигуна  $\eta_{дв}$  і передач від двигуна до насоса  $\eta_{пер}$

$$N = N_{дв} \eta_{дв} \eta_{пер}. \quad (3.5)$$

**Коефіцієнт корисної дії насоса:**

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot N}, \quad (3.6)$$

де всі параметри у правій частині визначені у процесі параметричних випробувань насоса ( $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$ , м;  $N$ , кВт).

**Припустимий кавітаційний запас:**

$$\Delta h_{дон} = A \Delta h_{кр}, \quad (3.7)$$

де  $A$  – коефіцієнт запасу,  $A = 1,1 \dots 1,5$ ;

$\Delta h_{кр}$  – критичний кавітаційний запас, визначений дослідним шляхом;

$$\Delta h_{кр} = \frac{P_{в.кр.}}{\rho g} + \frac{V_{в.}^2}{2g} - \frac{P_{н.пар}}{\rho g}, \quad (3.8)$$

тут  $P_{в.кр.}$  – мінімальний абсолютний тиск у всмоктувальному трубопроводі перед насосом, при якому останній ще зберігає практично незмінним напір  $H$  при постійних подачі  $Q$  й частоті обертання  $n$ ;

$V_{в.}$  – швидкість води у всмоктувальному трубопроводі перед насосом, м/с;

$p_{н. пар}$  – тиск насичених парів рідини, Н/м<sup>2</sup>.

Таким чином, для знаходження припустимого кавітаційного запасу  $\Delta h_{дон}$  необхідні ті ж засоби вимірів, які використовують для визначення напору  $H$ , подачі  $Q$ , частоти обертання  $n$ .

**Припустима вакуумметрична висота усмоктування** має наступний аналітичний зв'язок з припустимим кавітаційним запасом:

$$H_{дон}^{вак} = \frac{p_a - p_{н. пар}}{\rho g} + \frac{V_6^2}{2g} - \Delta h_{дон}, \text{ м.} \quad (3.9)$$

Власне кажучи, це показання вакуумметра в метрах, встановленого на усмоктувальному трубопроводі перед насосом на рівні точки виміру тиску  $p_v$ . Негативне значення  $H_{дон}^{вак}$  свідчить, що тиск у трубопроводі при вході в насос вище атмосферного.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

### **Вивчення конструкцій насосів**

**Мета роботи:** вивчити конструкції насосів; усвідомити призначення їхніх основних вузлів і деталей; провести монтаж і демонтаж насосів.

**Порядок проведення роботи:** скласти ескізи робочих коліс насосів; зняти основні розміри коліс, необхідні для визначення марки насоса; визначити марки насосів.

Лабораторну роботу № 1 виконують після ознайомлення з конструкціями насосів за кресленнями, плакатами та натурними лабораторними установками. Студент повинен вивчити на реальних зразках не менше трьох насосів різної конструкції (звичайно консольний, з двостороннім входом і багатоступінчастий секційний). Для всіх видів досліджуваних насосів студент робить схематичні ескізи конструкцій, а також ескізи робочих коліс. У процесі вивчення конструкцій насосів студенти виконують часткове розбирання й збирання досліджуваних зразків. З порядком збирання відцентрового насоса в повному обсязі можна ознайомитися на прикладі насоса марки Д (рис. 3.4).

Роботу проводять у наступній послідовності:

1. Збирають ротор насоса: на робоче колесо насаджують захисні кільця і закріплюють їх настановними гвинтами; на вал насоса насаджують робоче колесо на шпонці; робоче колесо закріплюють на місці, навернувши захисні втулки; на захисних втулках закріплюють ґрундбуksi; надягають кільця сальника, а на вал – розбризкувачі; на захисні кільця робочого колеса накидають ущільнюючі кільця; збирають на валу роликopідшипник, поставивши послідовно кришку підшипника, розпірну вилку, конічний роликopідшипник, шайбу і гайки; збирають на валу шарикopідшипник на стороні муфти, поставивши послідовно кришку підшипника, розпірну втулку, шарикopідшипник і втулку з різьбленням.

2. Встановлюють корпус насоса на місце збирання.

3. Ставлять на місце болти з вушком для сальників.

4. Кладуть зібраний ротор на підшипники, одночасно надягаючи корпус

підшипника відповідно на роликпідшипник, а корпус підшипника на шарикопідшипник і на болти в корпусі насоса.

5. Закріплюють на місці корпусу підшипників гайками; установлюють контрольні шпильки.

6. Прикручують до корпусів підшипників кришки болтами, попередньо установивши прокладки; установлюють розбризкувач і закріплюють їх на місці гвинтами; прикручують заглушку гвинтами, установивши прокладки.

7. Насаджують на вал зі шпонкою диск муфти, закріплюють його на місці настановним гвинтом.

8. Ставлять на місце й прикручують кришку насоса, проклавши у стиках прокладки з клінгеріта з установкою контрольних шпильок.

9. Набивають сальники набивкою, поставивши на місце кільця сальника і половини кришок сальників, стягують половини болтами.

10. Збирають трубопроводи для підведення води до сальників.

11. Ввертають у відповідні місця відповідно до складального креслення пробки, масловказівники, віджимні болти.

Розбирання виконують у зворотному порядку.

Основні розміри робочого колеса, необхідні для визначення марки насоса, показані на рисунку 3.5:  $D_2$  – зовнішній діаметр робочого колеса;  $D_0$  – діаметр вхідного перерізу робочого колеса;  $d_{\text{вт}}$  – діаметр втулки. Визначивши розміри робочого колеса, їх заносять у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розміри й параметри насоса, необхідні для визначення його марки

Тип насоса	Розміри колеса, мм			Число		Частота обертання вала насоса $n$ , $\text{хв}^{-1}$
	$D_2$	$D_0$	$d_{\text{вт}}$	сторін всмоктування $i_{\text{вх}}$	ступінь нагнітання $i_{\text{ст}}$	

Марки насосів мають такий вигляд:

– насоси типу К: К –  $Q_{\text{год}} / H$ ;

– типу Д: Д  $Q_{\text{год}} - H$ ;

– багатоступінчасті секційні типу МС: ЦНС  $Q_{\text{год}} - H$  ( $Q_{\text{год}}$  і  $H$  – подача,  $\text{м}^3/\text{год}$ , і напір, м, насоса при максимальному ККД).

Для визначення подачі  $Q$  й напору  $H$  викладач задає частоти обертання вала насоса  $n$ . Тоді секундна подача,  $\text{м}^3/\text{с}$  і напір, м, насоса визначають за формулами:

$$Q_{\text{екв}} = \left( \frac{D_{\text{екв}}}{K_D} \right)^3 \cdot n \cdot i_{\text{вх}}, \quad (3.10)$$

$$H = i_{cm} \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{3,65n\sqrt{Q_c / i_{ex}}}{n_s} \right)^4}, \quad (3.11)$$

де  $D_{екв}$  – еквівалентний діаметр входу в колесо, м,

$$D_{екв} = \sqrt{D_0^2 - d_{BT}^2}, \quad (3.12)$$

$K_D$  – коефіцієнт,  $K_D = 4...4,5$ ;

$n$  – частота обертання вала насоса,  $хв^{-1}$ ;

$i_{ex}$  – число сторін усмоктування;

$i_{cm}$  – число ступенів насоса;

$n_s$  – коефіцієнт швидкоходу насоса,  $хв^{-1}$ , який можна визначити за графіком (рис. 3.6).

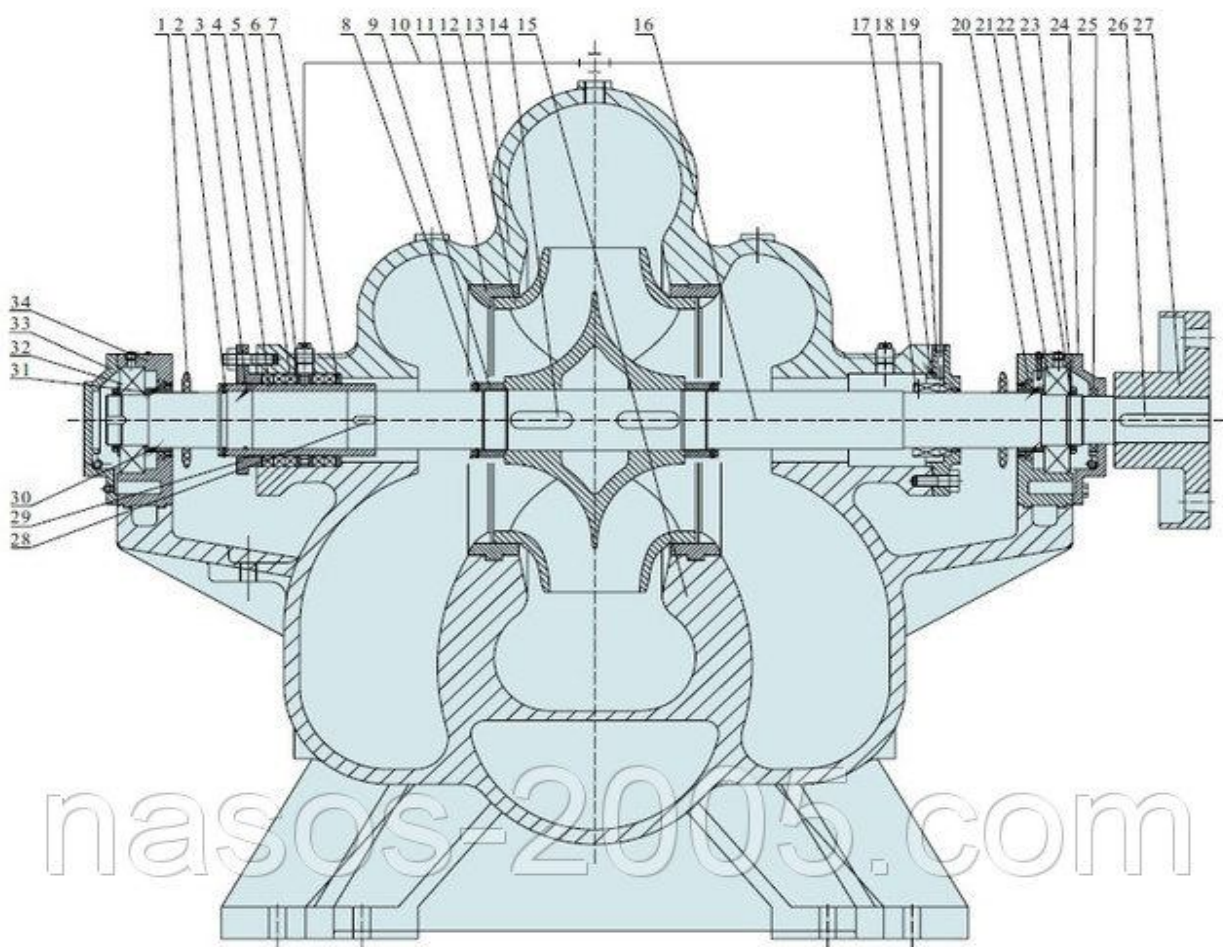


Рисунок 3.4 – Схема насосу марки Д у розрізі:

- 1 – відбійне кільце; 2 – фіксуючий гвинт з внутрішнім шестигранником;  
 3, 11, 18, 30 – ущільнююче кільце; 4 – сальникова втулка; 5 – сальникова набивка; 6 – сальникове кільце; 7 – упор для сальника; 8 – фіксуючий гвинт під внутрішній шестигранник; 9 – гайка робочого колеса; 10 – допоміжний трубопровід насоса; 12 – робоче колесо; 13 – кришка насоса;  
 14, 26, 28 – шпонка; 15 – корпус насоса; 16 – вал; 17 – механічне ущільнення; 19 – кришка механічного ущільнення; 20, 25 – сальник; 21, 32 – підшипник;  
 22 – шайба; 23 – кругла гайка; 24 – кришка корпусу підшипника А; 27 – муфта

втулочно–пальцева; 29 – букса; 31 – упор підшипника; 33 – кришка корпусу підшипника В; 34 – корпус підшипника

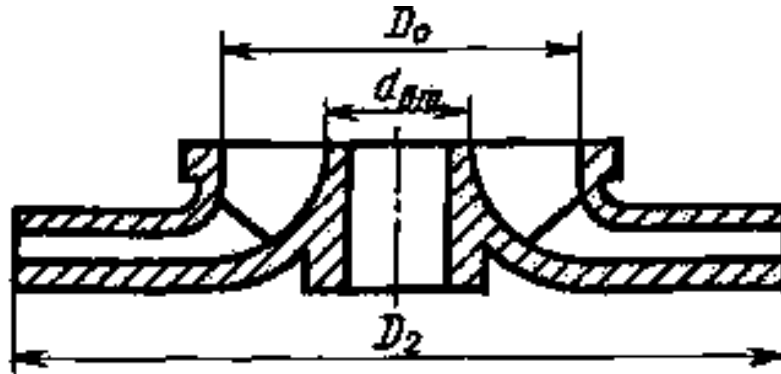


Рисунок 3.5 – Ескіз робочого колеса насоса з однібічним входом

Для обчислення  $Q_c$  і  $H$  використовують вихідні формули:

$$D_{екв} = K_D \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_c}{n}}, \quad (3.13)$$

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q_c / i_{ex}}}{(H / i_{cm})^{3/4}}, \quad (3.14)$$

отримані на основі теорії подібності. У марку насоса входить годинна подача, тобто

$$Q_{год} = Q_c \cdot 3\,600, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Результати визначення  $n_s$  і розрахунків заносять в таблицю 3.3, після чого до неї записують марки усіх насосів, що вивчаються.

Таблиця 3.3 – Визначення марок насосів

Тип насоса	$D_2/D_0$	$n_s$ за графіком	$Q_c = \left(\frac{D_{екв}}{K_D}\right)^3 \cdot n \cdot i_{ex},$ м <sup>3</sup> /с	$Q_{год} = Q_c \cdot 3\,600,$ м <sup>3</sup> /год.	$H = i_{cm} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3,65 n \sqrt{Q_c / i_{ex}}}{n_s}\right)^4},$ м	Марка насоса

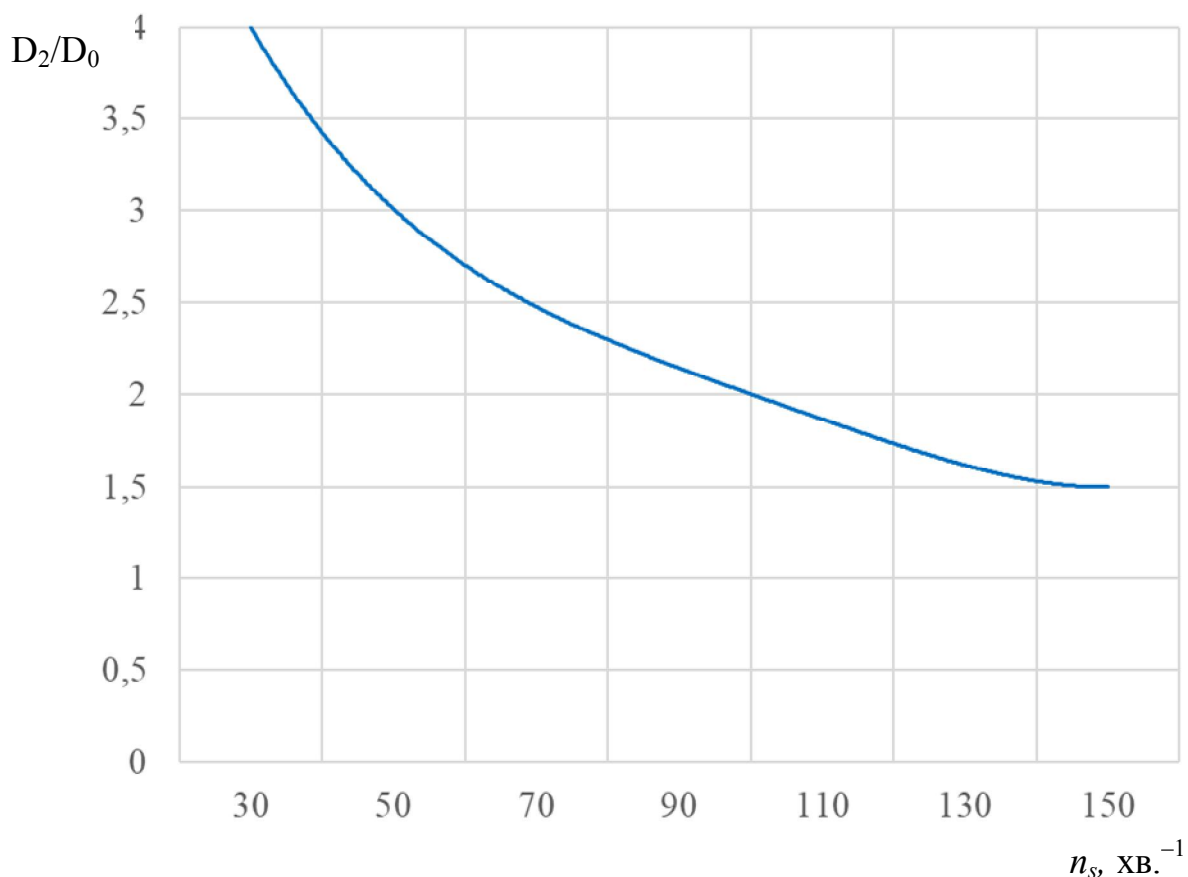


Рисунок 3.6 – Графік залежності коефіцієнта швидкості насоса  $n_s$  від відношення діаметрів робочого колеса  $D_2/D_0$

### Контрольні питання:

1. Які особливості конструкцій насосів ви виявили під час дослідження, назвіть їхні позитивні якості та недоліки?
2. Як збирають і розбирають насоси різних конструкцій?
3. Як рухається вода в проточній частині насосів?
4. Розкажіть про роботу сальникових ущільнень насосів.
5. У чому різниця маркування насосів з малою і великою подачею?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### Побудова характеристики (Q–H) двох відцентрових насосів за результатами випробувань при їх паралельній роботі

**Мета роботи:** Ознайомитися з паралельною роботою відцентрових насосів. Побудувати характеристики двох відцентрових насосів при паралельній роботі.

#### Опис експериментальної установки

Лабораторна установка представляє собою циркуляційну систему (рис. 3.7). Відцентрові насоси 2 однієї марки забирають воду усмоктувальними трубопроводами 4 з резервуара 1 і подають її на висоту геометричного напору, а потім через мірний бак 4 вода скидається в той же резервуар 1. На усмоктувальних трубопроводах 4 установлені приймальні клапани 5 і вакуумметри 6. На напірному трубопроводі 7 установлені манометри 9 й регулювальний 8 вентиль. За показниками вакуумметрів 6 і манометрів 9 визначається напір насосів. Подача насосів 2 визначається об'ємним способом, за допомогою мірного бака 11.

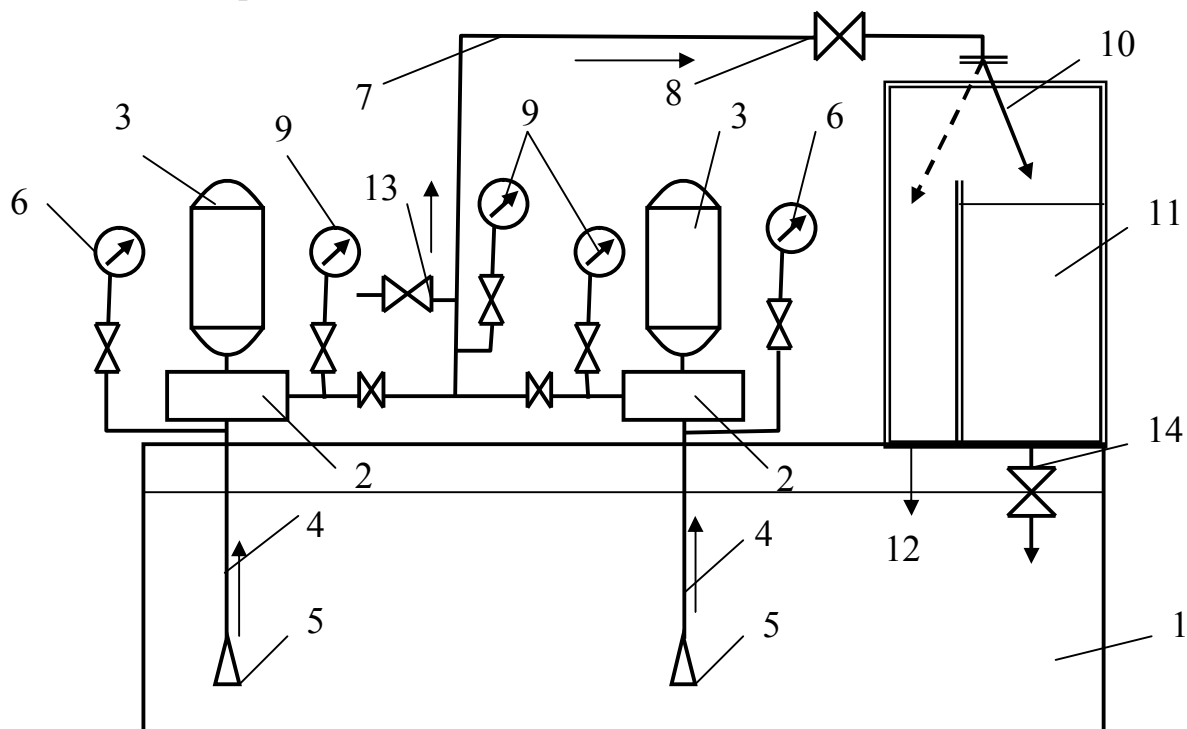


Рисунок 3.7 – Схема лабораторної установки паралельної роботи насосів:

- 1 – стенд – резервуар; 2 – відцентровий насос; 3 – електродвигун;
- 4 – усмоктувальний трубопровід; 5 – приймальний клапан; 6 – вакуумметр;
- 7 – напірний трубопровід; 8 – вентиль регулювальний; 9 – манометр;
- 10 – патрубок перекидний; 11 – мірний бак; 12 – зливний патрубок;
- 13 – кран для заливання насосів перед пуском; 14 – кран для зливу води з мірного бака (після визначення витрати води)

### *Послідовність експерименту*

#### Пуск насосного агрегату:

1. Включаються прилади: манометри 9 і вакуумметри 6.
  2. Закриваються пусковий і регулювальний 8 вентиля на напірному трубопроводі 7.
  3. Заливаються водою насоси 2 та усмоктувальні трубопроводи 4 через кран 13.
  4. Включаються електродвигуни 3 насосів.
  5. Включаються прилади: вакуумметри 6 і манометри 9.
- Проводяться випробування.

#### *Проведення випробувань і зняття показань приладу*

Передбачається проведення двох циклів дослідів:

- випробування двох паралельно працюючих насосів;
- випробування одного з насосів цієї установки.

У кожному із двох циклів дослідів рекомендується проведення 7–8 дослідів, що розрізняються величиною подачі насоса  $Q$ .

У кожному досліді визначаються:

- показання вакуумметрів 6,
- показання манометрів 9,
- час наповнення напірного бака 11.

Перший дослід проводиться при закритому регулювальному вентилі 8 (подача насоса дорівнює нулю).

Нове завдання в кожному наступному досліді встановлюється за допомогою регулювального вентиля 8

При проведенні другого циклу дослідів необхідно відключати один з насосів системи, закривши пусковий вентиль.

#### *Зупинка насосного агрегату:*

1. Включаються вакуумметри 6 і манометри 9.
2. Закривається регулювальний вентиль 8
3. Вимикаються електродвигуни 3.

#### *Обробка результатів досліджень*

Визначення основних параметрів (напору  $H$ , подачі  $Q$ , потужності  $N$ , ККД  $\eta$ ) виконується за методикою, яка викладена в лабораторній роботі 1.

Результати досліджень обробляються за допомогою таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні параметри насосів при їх паралельній роботі

№ досліду	Визначення напору					Визначення подачі		Потужність		ККД
	Показання манометра $M$		Показання вакуумметра $V$		Напір $H$	$W$	$T$	$Q$	$N$	$\eta$
	кг/см <sup>2</sup>	м вод. ст.	мм рт. ст.	м вод. ст.	м вод. ст.	л	с	л/с	кВт	%
Паралельна робота двох насосів										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
Робота одного насоса										
1										
2										
3										
4										
5										
6										

### Побудова характеристик відцентрових насосів

На підставі експериментальних досліджень відцентрових насосів необхідно:

- побудувати характеристики спільної роботи двох насосів при паралельній роботі (за результатами першого циклу дослідів);
- побудувати характеристики одного з насосів (за результатами другого циклу дослідів);
- використовуючи характеристики одного насоса, побудувати сумарні характеристики двох паралельно працюючих насосів графічно й зіставити їх з характеристиками, отриманими експериментально.

У першому циклі дослідів за даними таблиці 3.4 будуються характеристики двох паралельно працюючих насосів.

У другому циклі дослідів за даними таблиці 3.4 будуються характеристики одного відцентрового насоса, а потім виконується їхнє графічне підсумовування (рис. 3.8).

Так, для одержання головної сумарної характеристики двох насосів однієї марки варто скласти абсциси крапок кривої  $H = f(Q)$  обох насосів, узятих при одній і тій же ординаті, тобто варто скласти криві напорів  $Q-H_{I,II}$  обох насосів по горизонталі.

Шляхом побудови отримані експериментально та графічно характеристики спільної роботи двох насосів, що працюють паралельно.

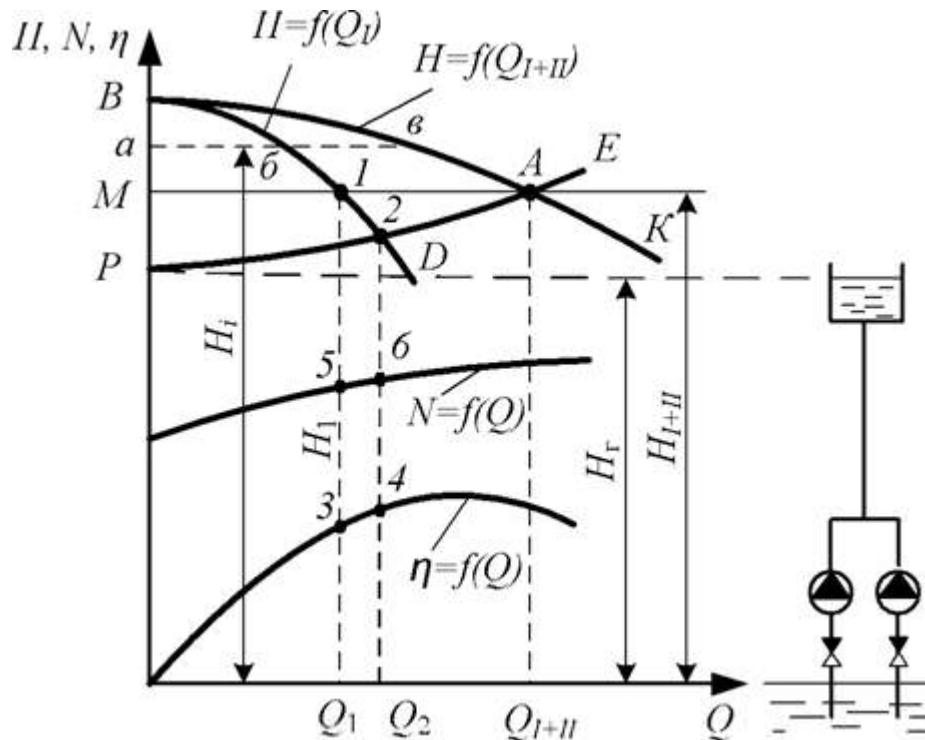


Рисунок 3.8 – Характеристики паралельної роботи двох однакових насосів

### Контрольні питання:

1. Що називається паралельною роботою насосів?
2. Яка умова є головною під час побудови паралельної роботи декількох насосів?
3. Яка характеристика системи збільшується у разі паралельної роботи насосів і чому?
4. Паралельна робота яких насосів є більш надійною – з однаковими чи різними характеристиками?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### Побудова характеристики (Q–H) двох відцентрових насосів за результатами випробувань при їх послідовній роботі

**Мета роботи:** Ознайомитися з послідовною роботою відцентрових насосів. Побудувати характеристики двох насосів при послідовній роботі.

#### *Опис експериментальної установки*

Лабораторна установка представляє собою циркуляційну систему (рис. 3.9).

Відцентрові насоси 2 однієї марки, встановлені послідовно, забирають воду усмоктувальним трубопроводом 4 з резервуара 1 і подають її по напірному трубопроводі 7 на висоту геометричного напору, а потім через мірний бак 11 вода скидається в той же резервуар 1.

На усмоктувальному трубопроводі 4 установлений п'ятовий клапан 5 і вакуумметр 6.

На напірному трубопроводі 4 установлені манометри 9 і пусковий 15 і регулювальний 8 вентиля.

За показниками вакуумметра 6 і манометра 9 визначається напір насосів.

Подача насосів визначається об'ємним способом, за допомогою мірного бака 11.

Трубопровід, що перебуває між I й II насосами, є напірним для I насоса й усмоктувальним для II насоса.

#### *Послідовність експерименту*

##### Пуск насосного агрегату:

1. Вимикаються прилади: вакуумметр 6 і манометр 9.
2. Закриваються пусковий 15 і регулювальний 8 вентиля.
3. Заливаються водою насоси 2 й усмоктувальні трубопроводи 4 через кран 13.
4. Включаються електродвигуни 3 насосів.
5. Включаються прилади: вакуумметр 6 і манометр 9.
6. Проводяться випробування.

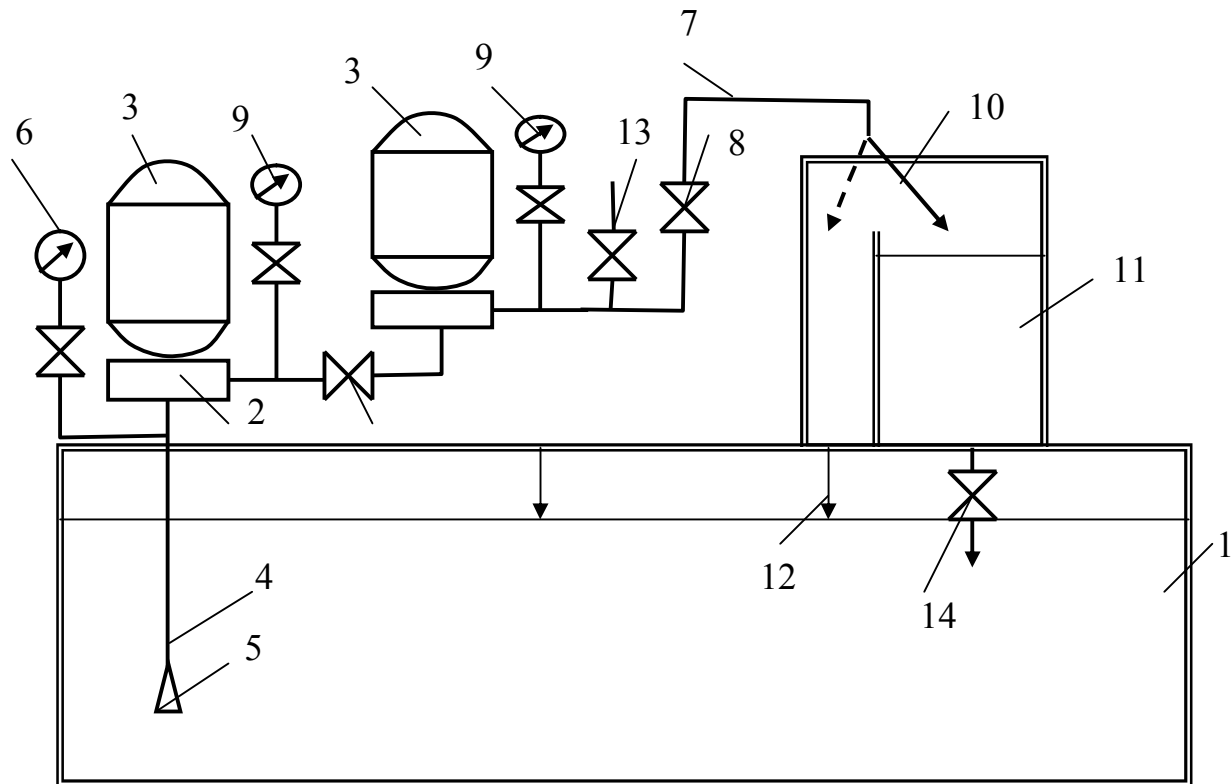


Рисунок 3.9 – Схема лабораторної установки послідовної роботи насосів:  
 1 – стенд-резервуар; 2 – відцентровий насос; 3 – електродвигун;  
 4 – усмоктувальний трубопровід; 5 – прийомний клапан; 6 – вакуумметр;  
 7 – напірний трубопровід; 8 – вентиль регулювальний; 9 – манометр;  
 10 – патрубок перекидний; 11 – мірний бак; 12 – зливальний патрубок;  
 13 – кран для заливання насоса перед пуском;  
 14 – кран для зливу води з мірного бака

#### *Проведення випробувань і зняття показань приладів*

Передбачається проведення двох циклів дослідів:

- випробування двох послідовно працюючих насосів;
- випробування одного з насосів цієї установки.

У кожному із двох дослідів рекомендується проведення 7–8 дослідів, що розрізняються величиною подачі насоса  $Q$ .

У кожному досліді визначаються:

- показання вакуумметра 6,
- показання манометрів 9,
- час наповнення мірного бака 11.

Перший дослід проводиться при закритому регулювальному вентилі 8 (подача насоса дорівнює 0).

У кожному наступному досліді нова подача встановлюється за допомогою регулювального вентиля 8.

При проведенні другого циклу дослідів один з насосів установки відключається.

Зупинка насосного агрегату:

1. Вимикається вакуумметр 6 і манометр 9.
2. Закривається регулювальний вентиль 8.
3. Вимикаються електродвигуни 3.

*Обробка результатів досліджень*

Визначення основних параметрів (напору  $H$ , подачі  $Q$ , потужності  $N$ , ККД  $\eta$ ) виконується за методикою, яка викладена в лабораторній роботі № 1.

Результати досліджень обробляються і заносяться у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати досліджень у разі послідовної роботи насосів

№ досліду	Визначення напору					Визначення подачі		Потужність		ККД
	Показання манометра $M$		Показання вакуумметра $V$		Напір $H$	$W$	$T$	$Q$	$N$	$\eta$
	кг/см <sup>2</sup>	м вод. ст.	мм рт. ст.	м вод. ст.	м вод. ст.	л	с	л/с	кВт	%
Послідовна робота двох насосів										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
Робота одного насоса										
1										
2										
3										
4										
5										
6										

*Побудова характеристик відцентрових насосів*

На підставі експериментальних випробувань відцентрових насосів необхідно побудувати:

– характеристики спільної роботи двох насосів при послідовній роботі (за результатами першого циклу дослідів);

– характеристики одного з насосів (за результатами другого циклу дослідів);

– використовуючи характеристики одного насоса, побудувати сумарні характеристики двох послідовно працюючих насосів графічно й зіставити їх з отриманими експериментами.

У першому циклі дослідів за даними таблиці 3.5 будуються характеристики спільної роботи двох послідовно працюючих насосів.

У другому циклі дослідів за даними таблиці 3.5 будуються характеристики одного відцентрового насоса, а потім виконується їхнє графічне підсумовування (рис. 3.10).

Так, для одержання сумарної головної характеристики двох насосів однієї марки, що працюють послідовно, складаються ординати крапок кривій  $H = f(Q)$  обох насосів, узятих при одній і тій же абсцисі, тобто складаються криві напорів  $Q - H_{I, II}$  обох насосів по вертикалі.

Рівняються характеристики спільної роботи двох насосів, що працюють послідовно, отриманих експериментально й графічно, шляхом побудови.

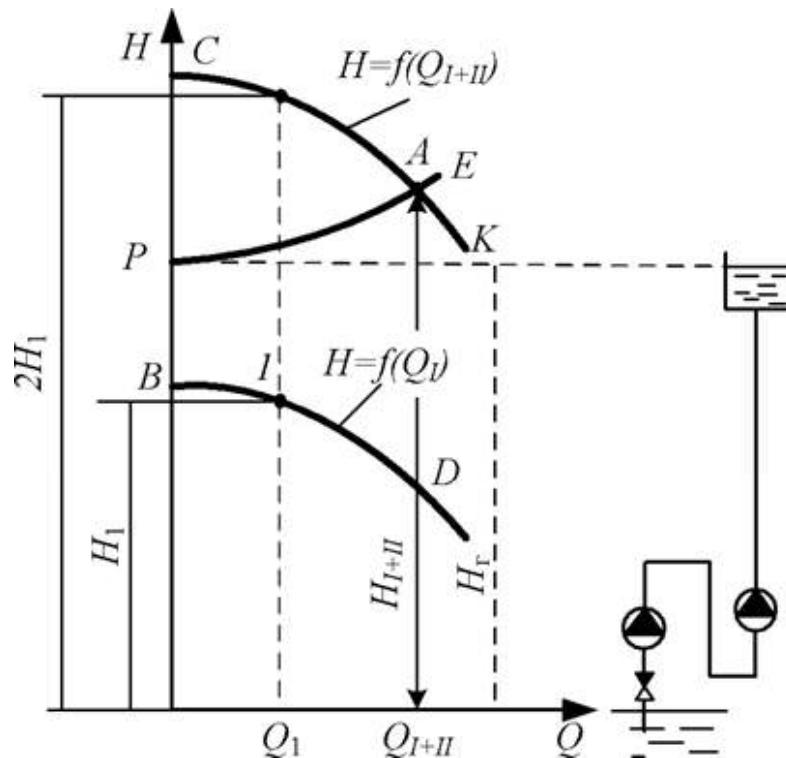


Рисунок 3.10 – Характеристики послідовної роботи двох однакових насосів

#### Контрольні питання:

1. У яких випадках необхідно включати у послідовну роботу насоси?
2. Для яких мереж доцільно застосування послідовно працюючих насосів?
3. Як збільшиться напір установки у порівнянні з напором одного насоса?
4. Наведіть особливості включення насосів у послідовну роботу.



**4 САМОСТІЙНЕ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**  
**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ» /**  
**«НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ. МОДУЛЬ 1 ГІДРАВЛІЧНІ ТА**  
**АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

**Змістовий модуль 1 Види гідравлічних та аеродинамічних машин**

**Тема 1 Призначення, принцип дії і області застосування насосів різних типів**

Вступ. Призначення, принцип дії і області застосування насосів різних типів. Параметричні характеристики насосів Історичний огляд розвитку гідравлічних та аеродинамічних машин. Зміст курсу та його зв'язок з іншими дисциплінами. Порядок вивчення курсу.

Принцип дії відцентрових і осьових насосів. Призначення гідравлічних машин. Класифікація насосів. Відцентрові насоси і їх класифікація. Насос, насосна установка, насосна станція. Обладнання відцентрових насосів.

*Питання для самоконтролю*

1. Яке призначення мають гідравлічні та аеродинамічні машини у системах водопостачання, каналізації?
2. Яке обладнання є гідравлічними машинами, його основна роль в системах водопостачання та водовідведення?
3. Як розвивалася галузь гідравлічних та аеродинамічних машин?
4. За якими ознаками класифікують насоси?
5. Назвіть класифікацію відцентрових насосів.
6. Приведіть принципову схему та принцип дії відцентрового насосу.
7. Яке обладнання належить до відцентрових насосів?

**Тема 2 Параметричні характеристики насосів**

Залежність між продуктивністю, напором і кількістю обертів робочого колеса відцентрового насоса. Універсальні характеристики лопатевих насосів. Закони подібності. Залежність параметрів і характеристик від діаметру робочого колеса насоса

*Питання для самоконтролю*

1. Наведіть формули подібності для продуктивності, напору і кількості обертів насоса.
2. Дайте визначення і наведіть формулу коефіцієнту швидкохідності.
3. Який вплив має частота обертання робочого колеса на характеристики відцентрового насоса?
4. Як величина коефіцієнта швидкохідності впливає на форму робочого колеса?
5. Яким чином можливо регулювати основні параметри роботи відцентрового насоса?

6. Як залежить величина обточки робочого колеса від коефіцієнта швидкості?

7. Наведіть формулу коефіцієнта корисної дії відцентрового насоса при обточуванні робочого колеса.

### **Тема 3 Основи теорії відцентрового насоса**

Основи теорії руху рідини в відцентровому насосі. Рух рідини в робочому колесі відцентрового насоса. Головне рівняння відцентрового насоса. Теоретична продуктивність відцентрового насоса

#### *Питання для самоконтролю*

1. Які види швидкостей руху часток рідини в робочому колесі відцентрового насоса ви знаєте?

2. Наведіть схему розподілу швидкостей часток рідини на робочому колесі відцентрового насоса.

3. За якою формулою визначається величина переносної (окільної) швидкості?

4. Наведіть формулу визначення теоретичної продуктивності, поясніть її.

5. Яке рівняння є основним рівнянням відцентрового насоса?

6. Наведіть формулу теоретичного напору відцентрового насоса.

7. Як визначається радіальна складова абсолютної швидкості рідини на вході в колесо?

### **Тема 4 Висота усмоктування насосів**

Профіль лопаток робочого колеса відцентрового насоса. Висота усмоктування. Кавітація та засоби боротьби з нею. Кавітаційний запас.

#### *Питання для самоконтролю*

1. Проаналізуйте роботу насоса з лопатками, що загнуті назад.

2. Проаналізуйте роботу насоса з лопатками з радіальним виходом.

3. Проаналізуйте роботу насоса з лопатками, що загнуті вперед.

4. Як визначається висота всмоктування насоса?

5. Що таке кавітація?

6. Які процеси відбуваються при виникненні кавітації?

7. Наведіть основні засоби боротьби з кавітацією.

8. Наведіть формулу визначення кавітаційного запасу та дайте її аналіз.

### **Тема 5 Напір насосної установки**

Напір, що розвиває насос. Потужність і коефіцієнт корисної дії відцентрового насоса. Теоретичні і реальні характеристики відцентрового насоса.

#### *Питання для самоконтролю*

1. Проаналізуйте формулу визначення корисної потужності насоса.

2. Дайте визначення коефіцієнту корисної дії.

3. Проаналізуйте формули гідравлічного, об'ємного, механічного ККД.
4. Яка характеристика насоса є головною?
5. Наведіть схему випробувань відцентрового насоса.

### **Тема 6 Сумісна робота насосів і водоводів**

Паралельна та послідовна робота насосів на різні системи розподілу води. Вплив зміни рівня води в джерелі на режим роботи насоса.

Паралельна та послідовна робота насосів з однаковими та різними характеристиками.

#### *Питання для самоконтролю*

1. З якими характеристиками доцільно використовувати насоси при значних коливаннях рівнів води в джерелі і чому?
2. Наведіть залежність та графічне відображення сумісної роботи насосу та водоводу.
3. Наведіть схему паралельної роботи кількох однотипних насосів на два водоводи і дайте її аналіз.
4. Наведіть схему паралельної роботи насосів, що стоять на різних насосних станціях, і дайте її аналіз.
5. Наведіть схему послідовної роботи кількох однотипних насосів на два водоводи, і дайте її аналіз.
6. Наведіть схему Послідовної роботи насосів, що стоять на різних насосних станціях, і дайте її аналіз.
7. Наведіть умови пуску і зупинки насосів.

### **Тема 7 Конструкції лопатевих насосів, що застосовуються у водопостачанні та каналізації**

Конструкції відцентрових насосів. Осьові насоси. Принцип дії. Характеристики, регулювання. Сфера застосування.

Вихрові та поршневі насоси. Схеми, будова та принцип дії. Штангові насоси. Графіки подачі вихрових і поршневих насосів. Повітряні ковпаки. Висота усмоктування. Повний напір і потужність поршневих насосів. Конструкції.

Повітряні водопідіймачі. Схеми, будова, принцип дії і розрахунок повітряного водопідіймача. Обладнання повітряного водопідіймача. Переваги та недоліки повітряних водопідіймачів.

Водоструминні насоси. Будова, принцип дії розрахунок головних параметрів. Відцентрові самоусмоктуючі насоси. Будова, принцип дії. Діафрагмові насоси, будова, принцип дії і сфера застосування.

Шестерневі, гвинтові, стрічкові, шлангові, пластинчаті насоси. Схеми, будова, принцип дії.

#### *Питання для самоконтролю*

1. Які насоси називаються осьовими?
2. Наведіть формулу теоретичного напору для осьового насоса.

3. Назвіть типи і модифікації осьових насосів.
4. Проаналізуйте особливості характеристик осьових насосів.
5. Наведіть будову і принцип роботи поршневого насоса однобічної дії.
6. У чому полягає принцип дії вихрових насосів?
7. Назвіть галузь застосування та принцип дії штангових насосів.
8. Наведіть типи вихрових насосів.
9. Який вид мають характеристики вихрових насосів?
10. У чому полягає принцип дії вільно–вихрових насосів?
11. Назвіть галузь застосування ерліфтів.
12. Який закон покладено в основу дії ерліфтів?
13. Як визначити робочий тиск повітря, необхідний для роботи водопідіймача?
14. Назвіть переваги і недоліки повітряних водопідіймачів.
15. Наведіть принцип дії водоструминних насосів.
16. Як виконується розрахунок водоструминних насосів?
17. Яку сферу застосування, переваги і недоліки мають водоструминні насоси?
18. Наведіть схему діафрагмового насоса, у чому полягає принцип дії і сфера застосування?
19. До якої групи належать гвинтові, шлангові і шестерневі насоси?
20. Наведіть конструкцію і принцип дії шлангових насосів.
21. Наведіть конструкцію і принцип дії гвинтових насосів.
22. Наведіть принцип дії шнекових насосів.

### **Тема 8 Добір насосів до відповідних насосних станцій**

Добір насосів до відповідних насосних станцій. Визначення робочого режиму відцентрового насоса. Нестійкий режим роботи насоса.

#### *Питання для самоконтролю*

1. Наведіть класифікацію насосів за призначенням.
2. Яким вимогам повинні відповідати насоси, призначенні для перекачування хімічно–агресивних середовищ?
3. Наведіть конструкцію насоса, призначеного для цілей водопостачання, та принцип його роботи.
4. Наведіть конструкцію насоса, призначеного для цілей водовідведення, та принцип його роботи.
5. Наведіть конструкцію і принцип роботи дренажного насоса.

### **Тема 9 Вентилятори, повітрорудувки і компресори**

Аеродинамічні машини. Вентилятори. Класифікація, сфера застосування. Відцентрові вентилятори. Головні уявлення. Подача, потужність, ККД. Підбір вентиляторів. Характеристики вентиляторів. Конструктивне виконання відцентрових вентиляторів.

Компресори. Основні поняття. типи компресорів. Термодинаміка компресорного процесу. Ротаційні та поршневі компресори. Потужність.

Конструкції.

Повітродувки. Основні поняття. Типи повітродувок, їх конструкції та сфери застосування.

*Питання для самоконтролю*

1. Наведіть класифікацію і сферу застосування вентиляторів.
2. Проаналізуйте головні уявлення про відцентрові вентилятори.
3. Наведіть конструктивне виконання відцентрових вентиляторів.
4. Які ви знаєте типи компресорів?
5. Наведіть принцип дії компресору.
6. Наведіть принцип дії поршневих компресорів.
7. Наведіть формулу визначення потужності компресора.
8. Які апарати відносять до повітродувок?
9. Назвіть основні типи повітродувок.
10. Наведіть конструкції і сфери застосування повітродувок.

**Змістовий модуль 2 Експлуатація гідравлічних і аеродинамічних машин**

**Тема 10 Експлуатація гідравлічних і аеродинамічних машин**

Пуск і зупинка насосів. Монтаж та експлуатація насосів. Основи безпеки праці під час монтажу та експлуатації гідравлічних та аеродинамічних машин.

*Питання для самоконтролю*

1. Наведіть методику пуску та зупинки відцентрового насосу.
2. Наведіть основні вимоги до монтажу та експлуатації насосних установок.
3. Назвіть основні вимоги до персоналу, що обслуговує насосний агрегат, та вимоги з охорони праці та безпеки життєдіяльності на робочому місті машиніста насосної станції.

**Тема 11 Регулювання роботи гідравлічних і аеродинамічних машин**

Регулювання роботи лопатевих насосів. Регулювання відцентрових вентиляторів.

*Питання для самоконтролю*

1. Назвіть методи регулювання роботи насосів.
2. Наведіть методику з визначення нового числа обертів під час регулювання роботи насосу.
3. Наведіть методику з визначення нового діаметру робочого колеса насосу під час регулювання роботи насосу.
4. У чому полягає каскадне регулювання роботи насосної станції?

## Список використаних джерел

1. Гідравлічні і аеродинамічні машини / О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, М. І. Колотило, В. Д. Колотило, Ф. М. Клепіков. – Кіровоград, 1997. – 176 с.
2. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции / В. Я. Карелин, А. В. Минаев – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
3. Колотило М. І. Насоси, повітродувки, компресори : навчальний посібник для ВНЗ / М. І. Колотило. – Харків : ХДТУБА, 1997. – 128 с.
4. Hydraulics. Hydraulics machines / E. Krasowski, I. Nikolenko, J. Gliński, A. Dashchenko S. Sosnowski. – Lublin : Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, 2011. – 350 p.
5. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции / П. В. Лобачев – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.
6. Шевченко Т. О. Конспект лекцій з дисципліни «Гідравлічні та аеродинамічні машини» («Насосні та повітродувні станції». Модуль 1 «Гідравлічні та аеродинамічні машини») / Т. О. Шевченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2013. – 118 с.
7. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : Справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
8. Насосное оборудование. Водоснабжение. Водоотведение : [каталог 2008–2009 гг.], 4-ая ред. – Омск : Насосный завод «ВЗЛЕТ», 2009. – 232 с.
9. Grundfos System Guide Commercial Services : [каталог насосного оборудования 2004 г.], 2004. – 229 с.
10. Calpeda Creative Tecnology : [каталог насосного оборудования 01/2006], 2006. – 221 с.

## ДОДАТОК А

### Паспортні характеристики насосів типу Д

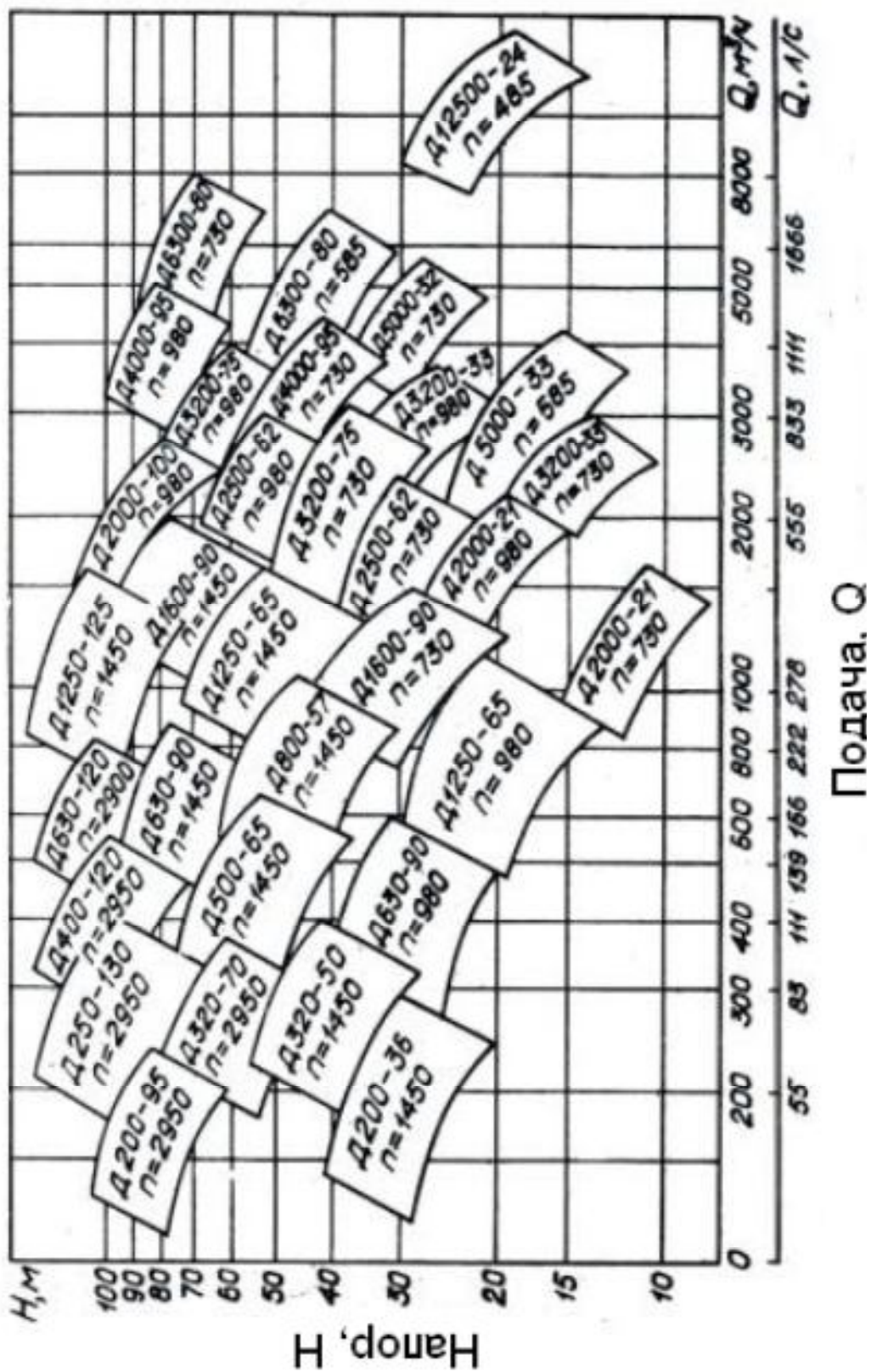


Рисунок А.1 – Зведене поле графіків насосів марки Д

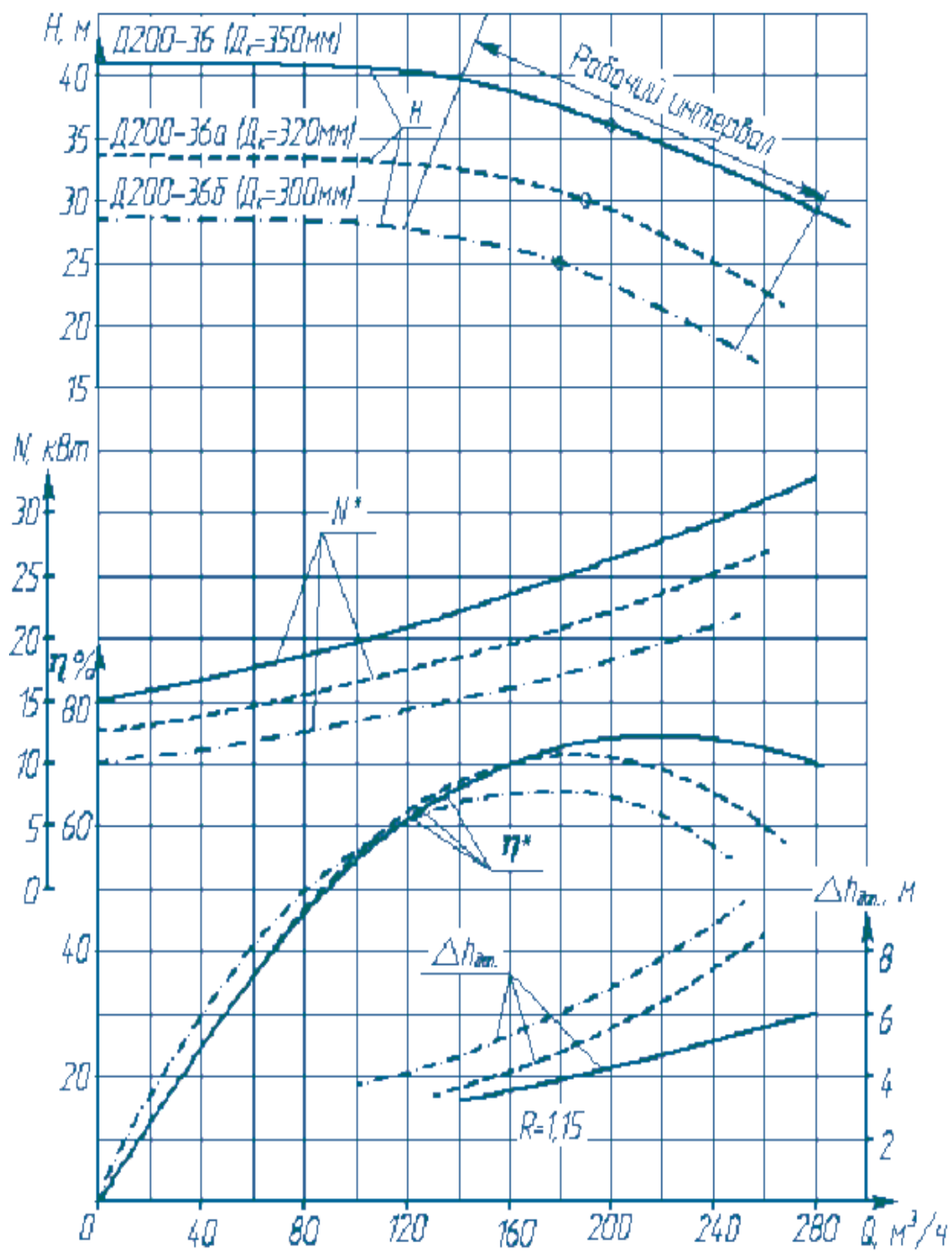


Рисунок А.2 – Характеристика насоса Д 200–36



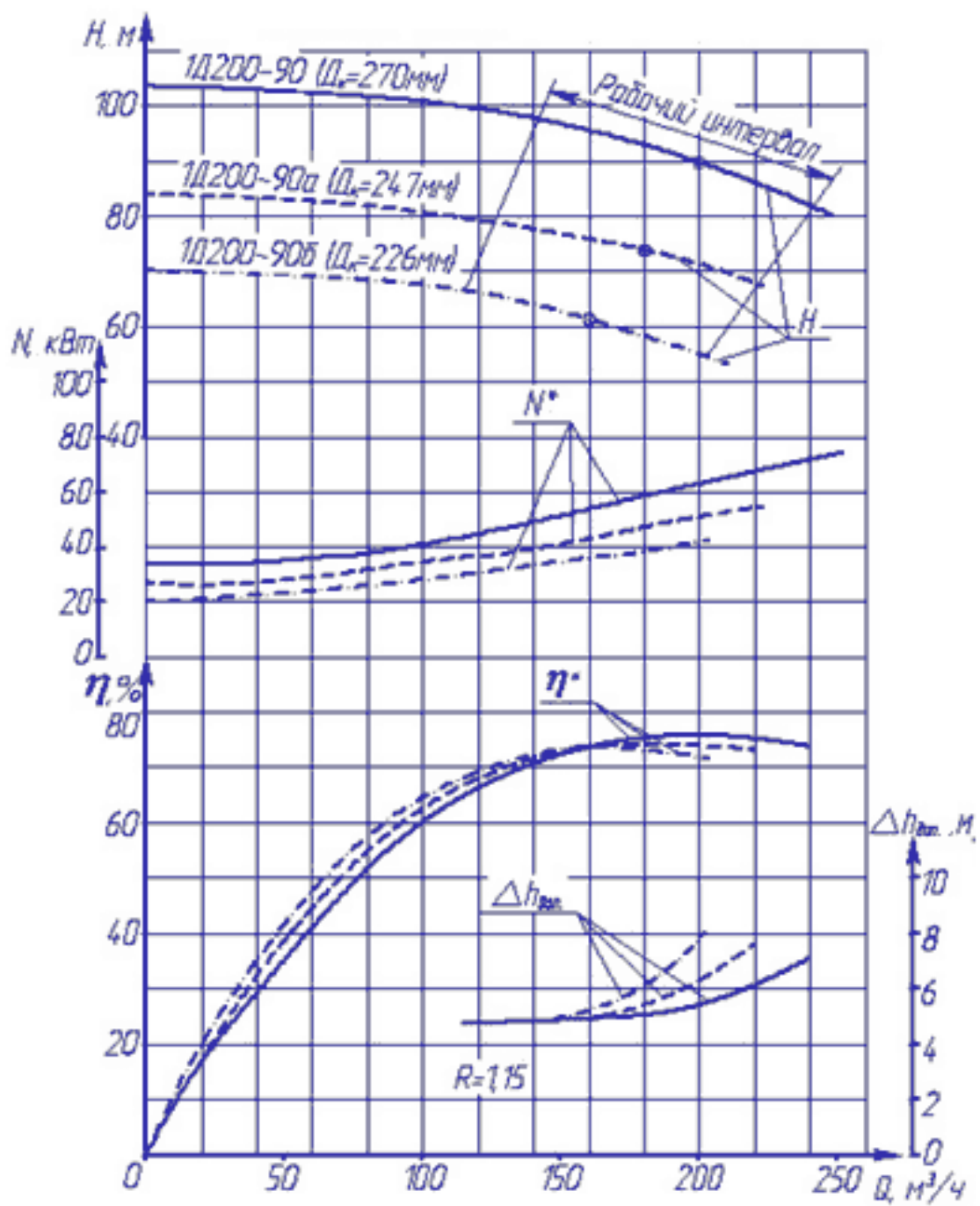


Рисунок А.3 – Характеристика насоса Д 200–90

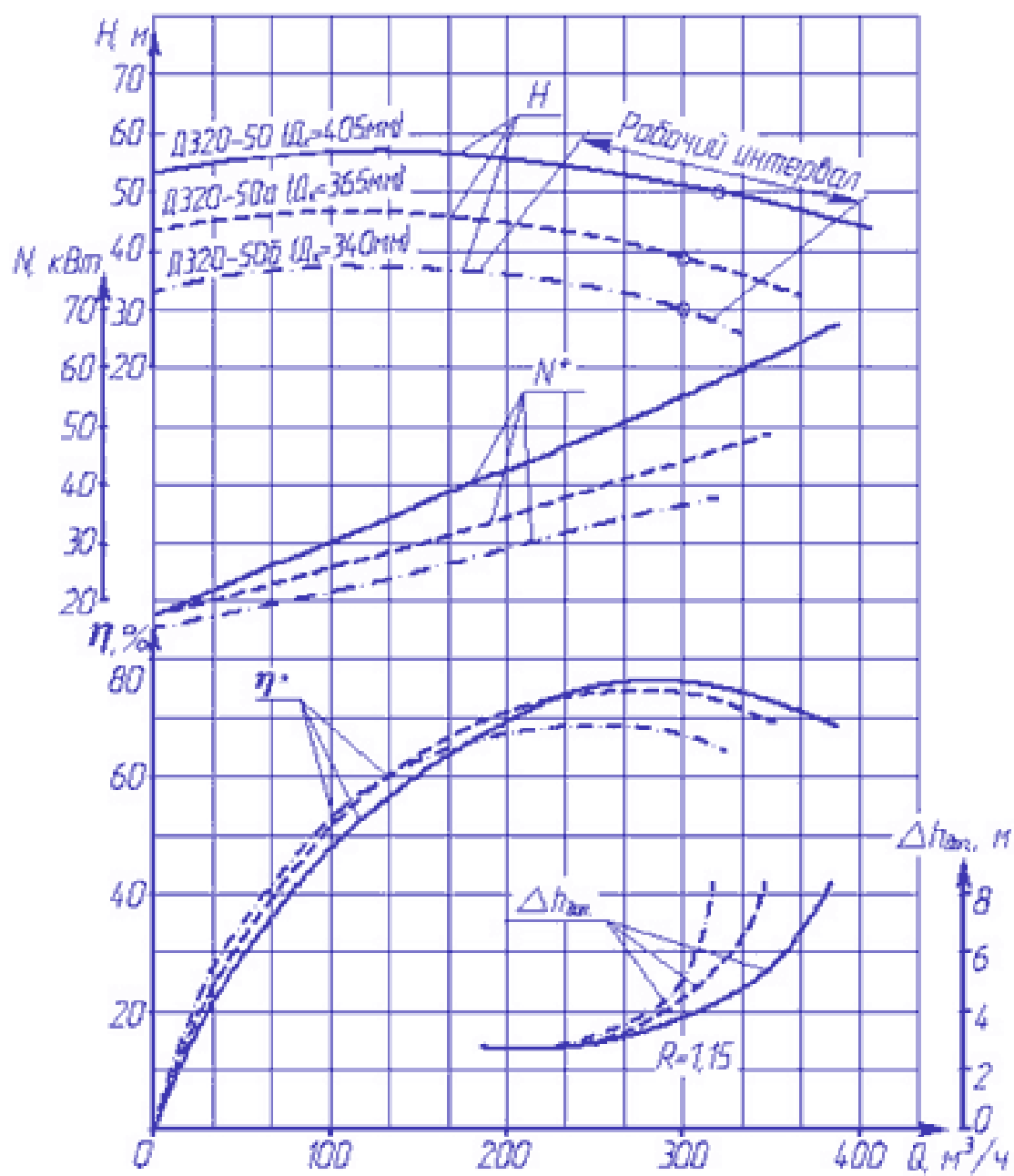


Рисунок А.4 – Характеристика насосу Д 320–50

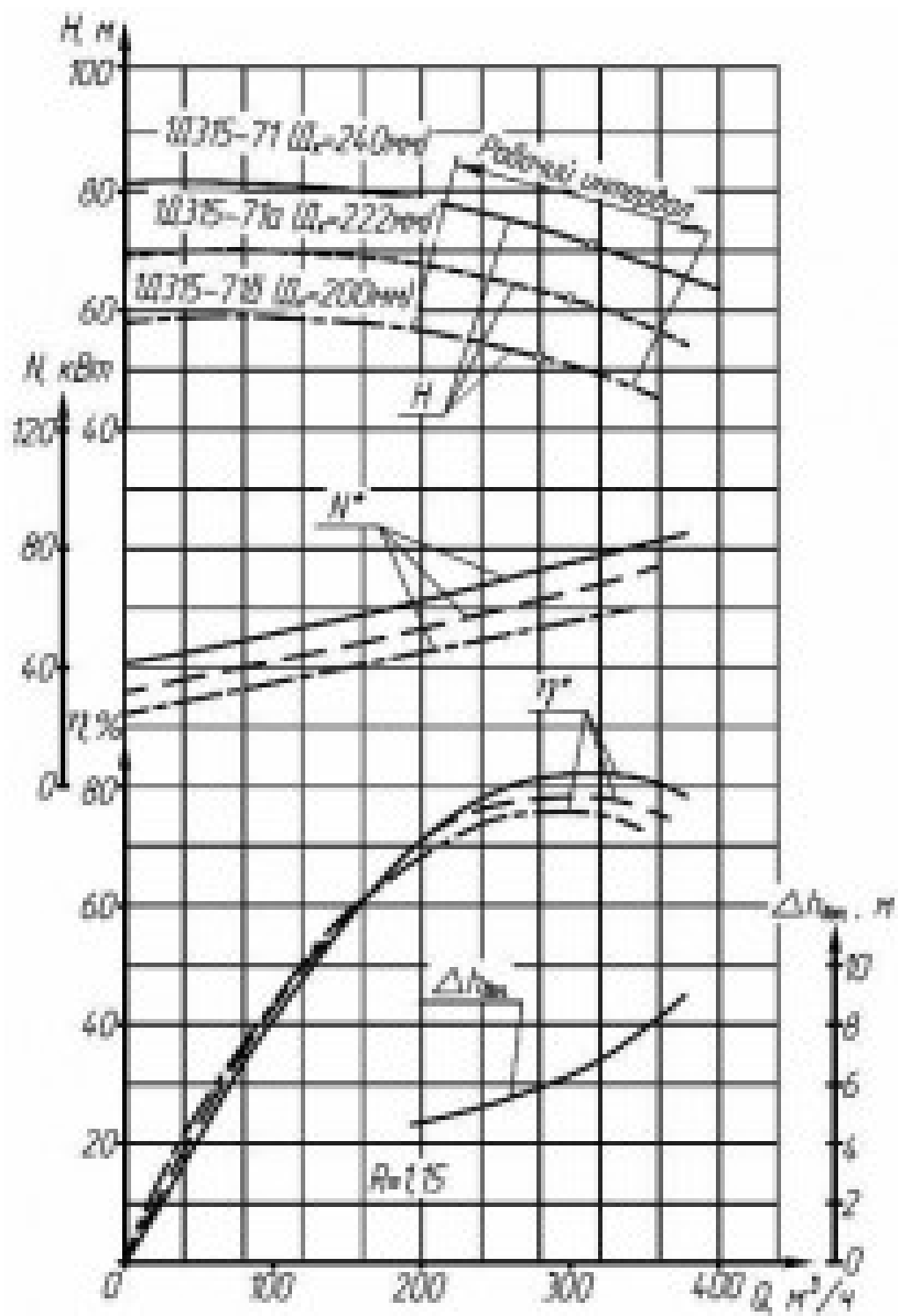


Рисунок А.5 – Характеристика насосу Д 320–70

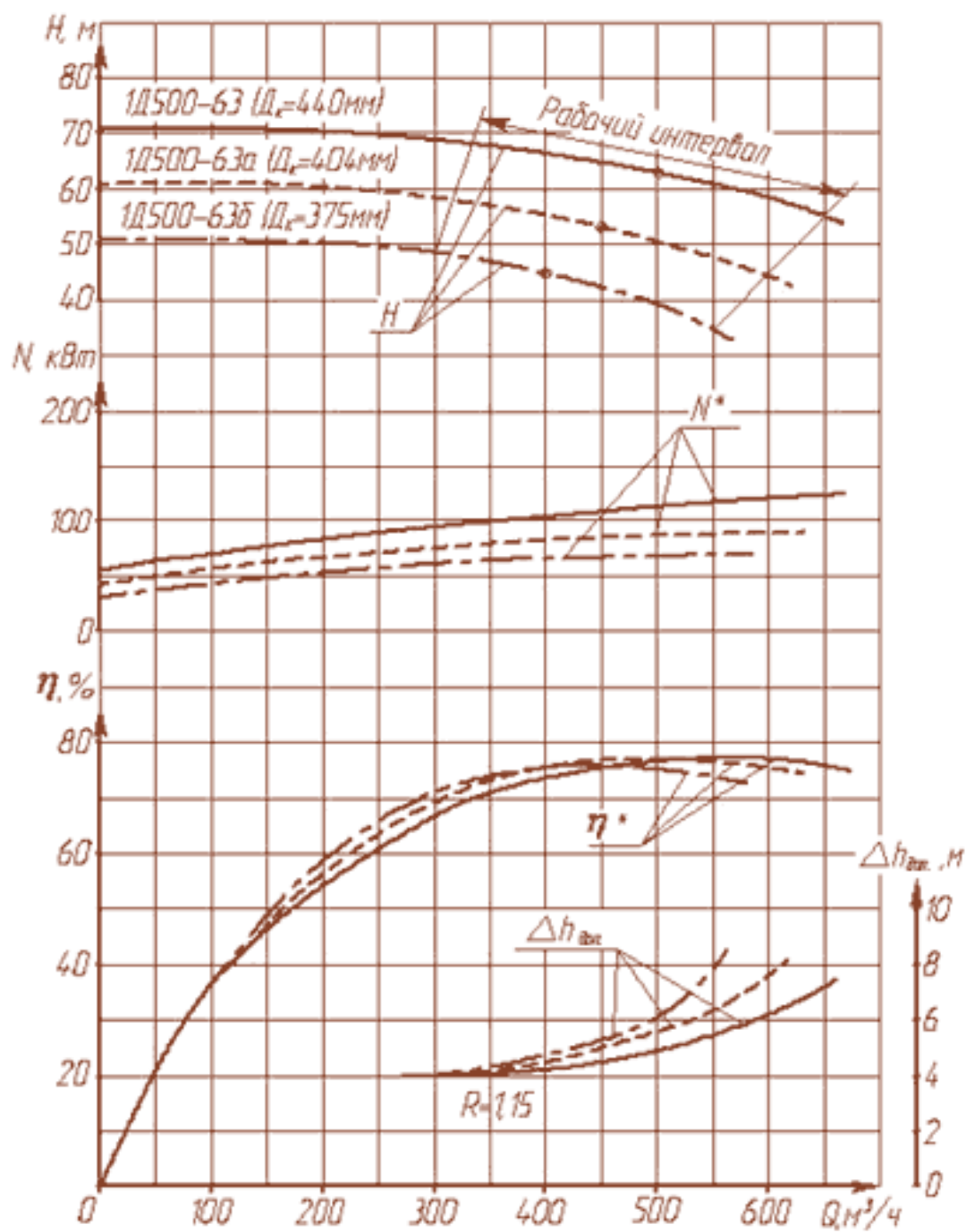


Рисунок А.6 – Характеристика насосу Д 500–65

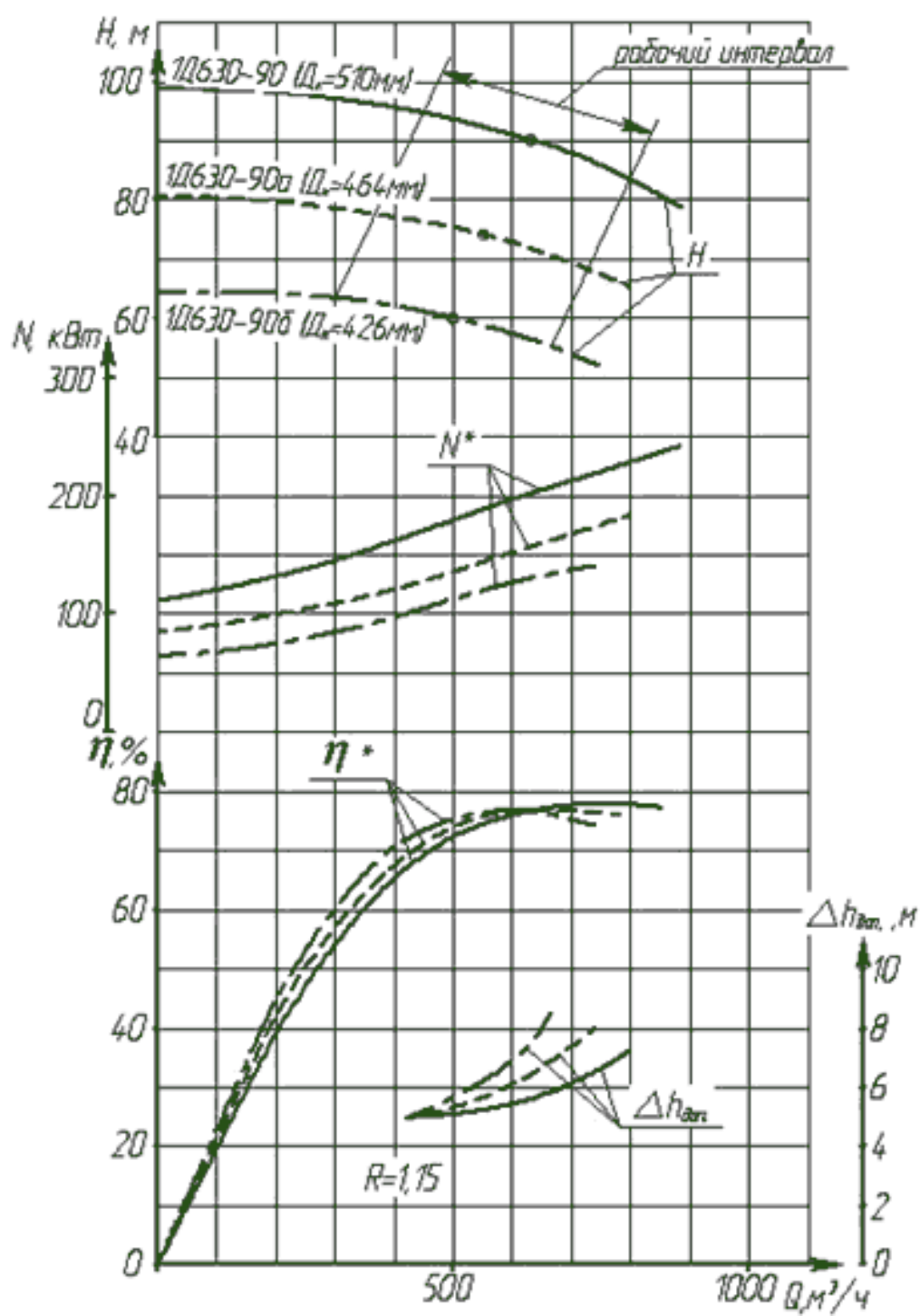


Рисунок А.7 – Характеристика насосу Д 630–90

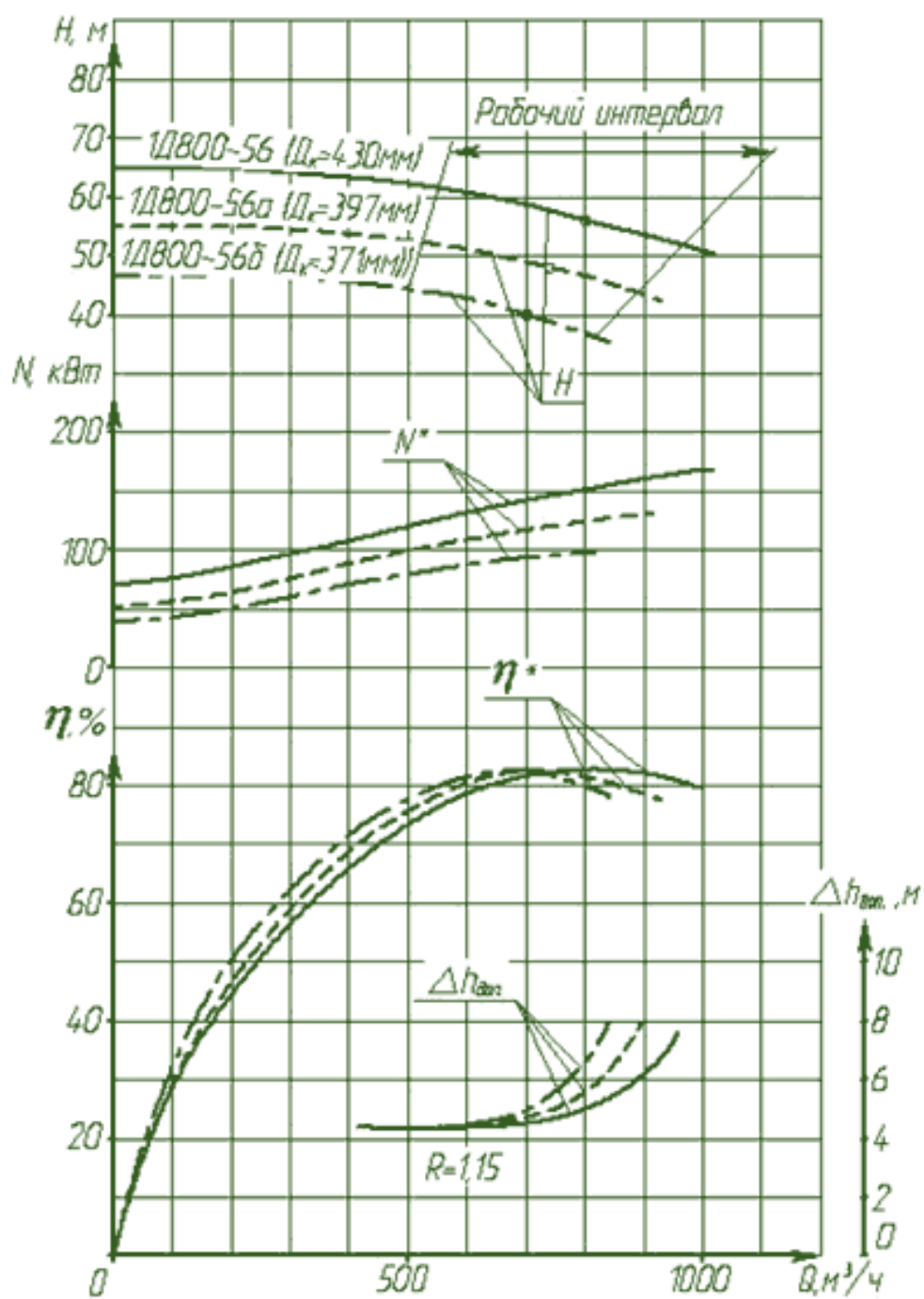


Рисунок А.8 – Характеристика насоса Д 800–57

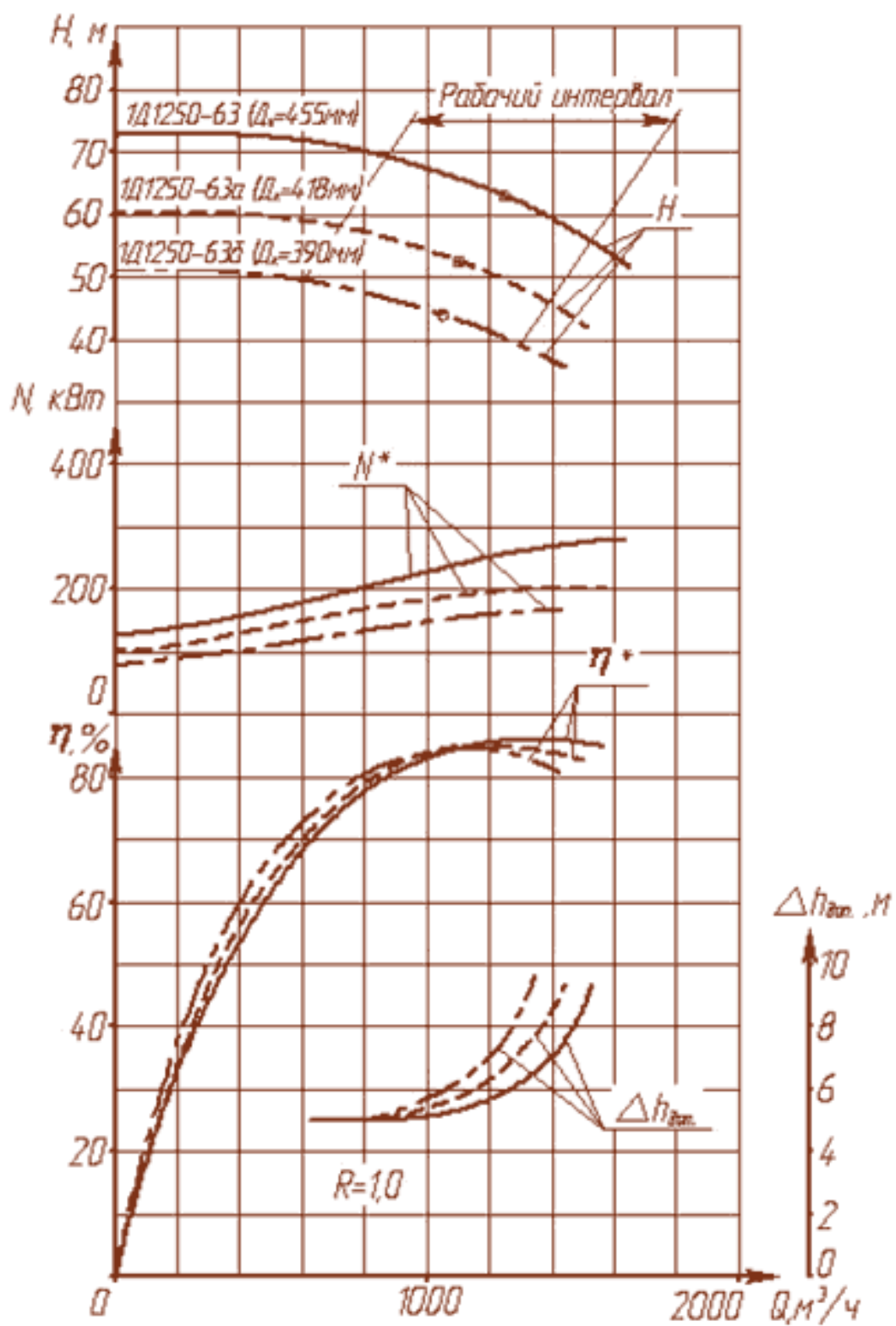


Рисунок А.9 – Характеристика насоса Д 1250–65

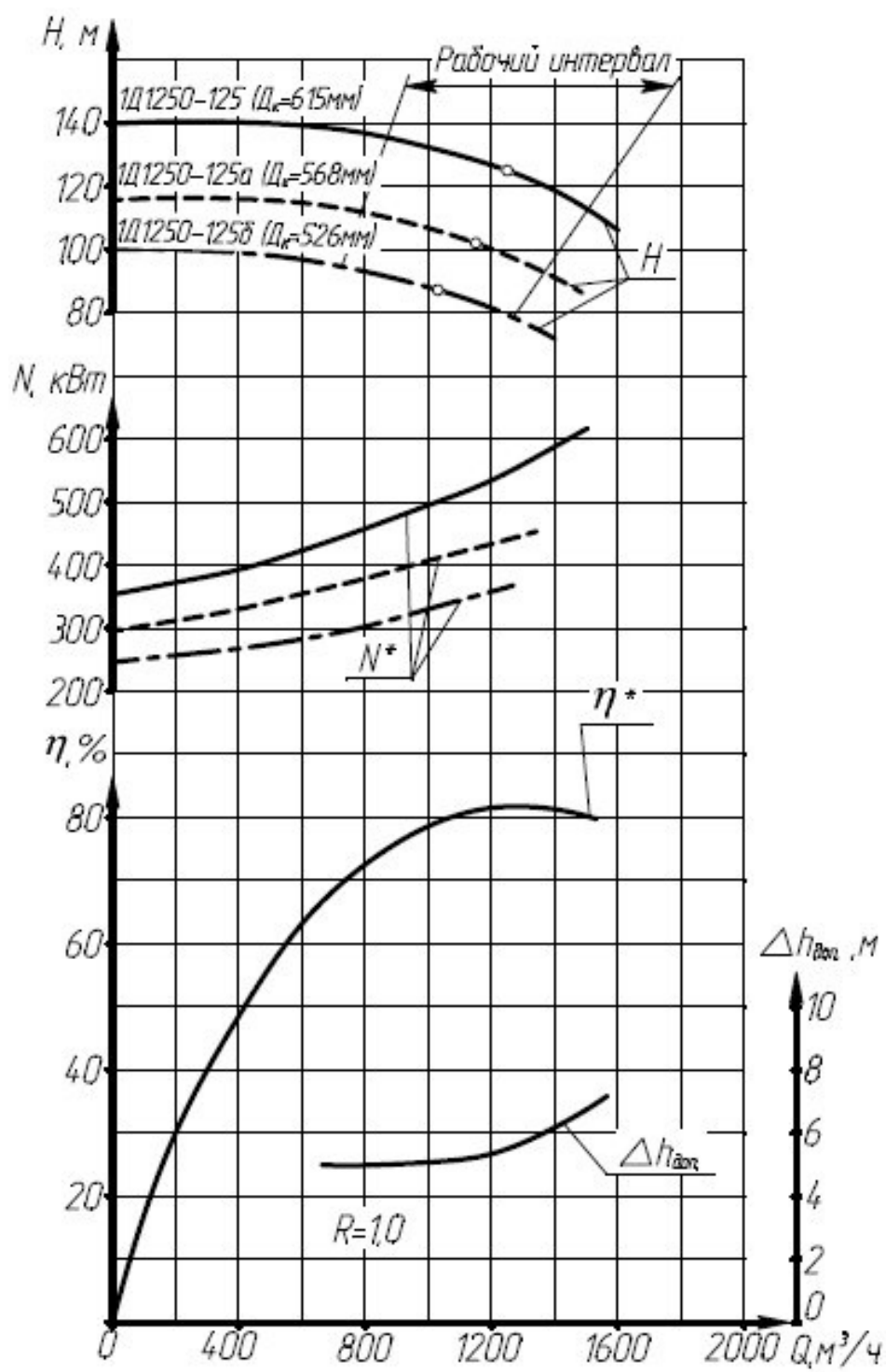


Рисунок А.10 – Характеристика насосу Д 1250–125



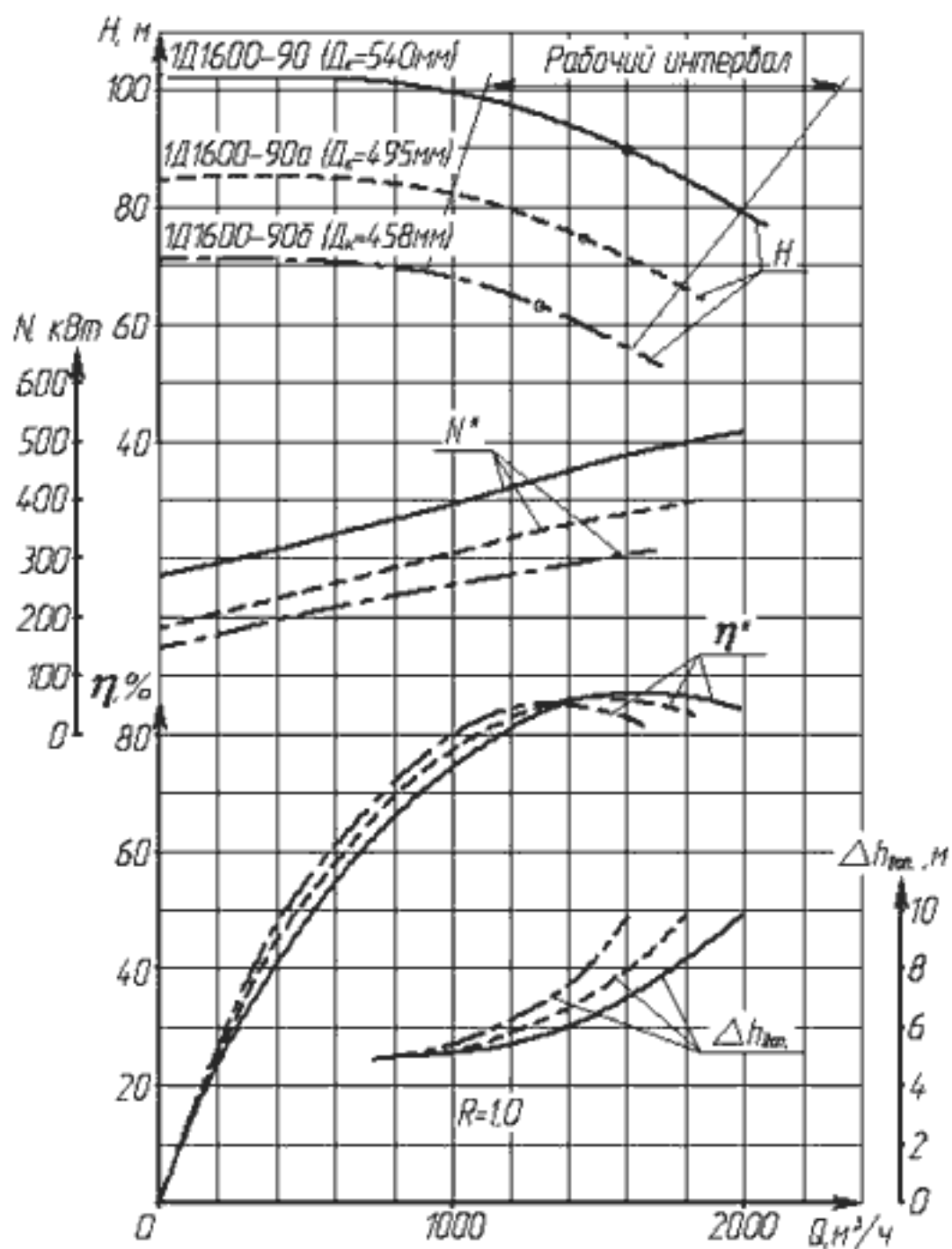


Рисунок А.11 – Характеристика насосу Д 1600–90

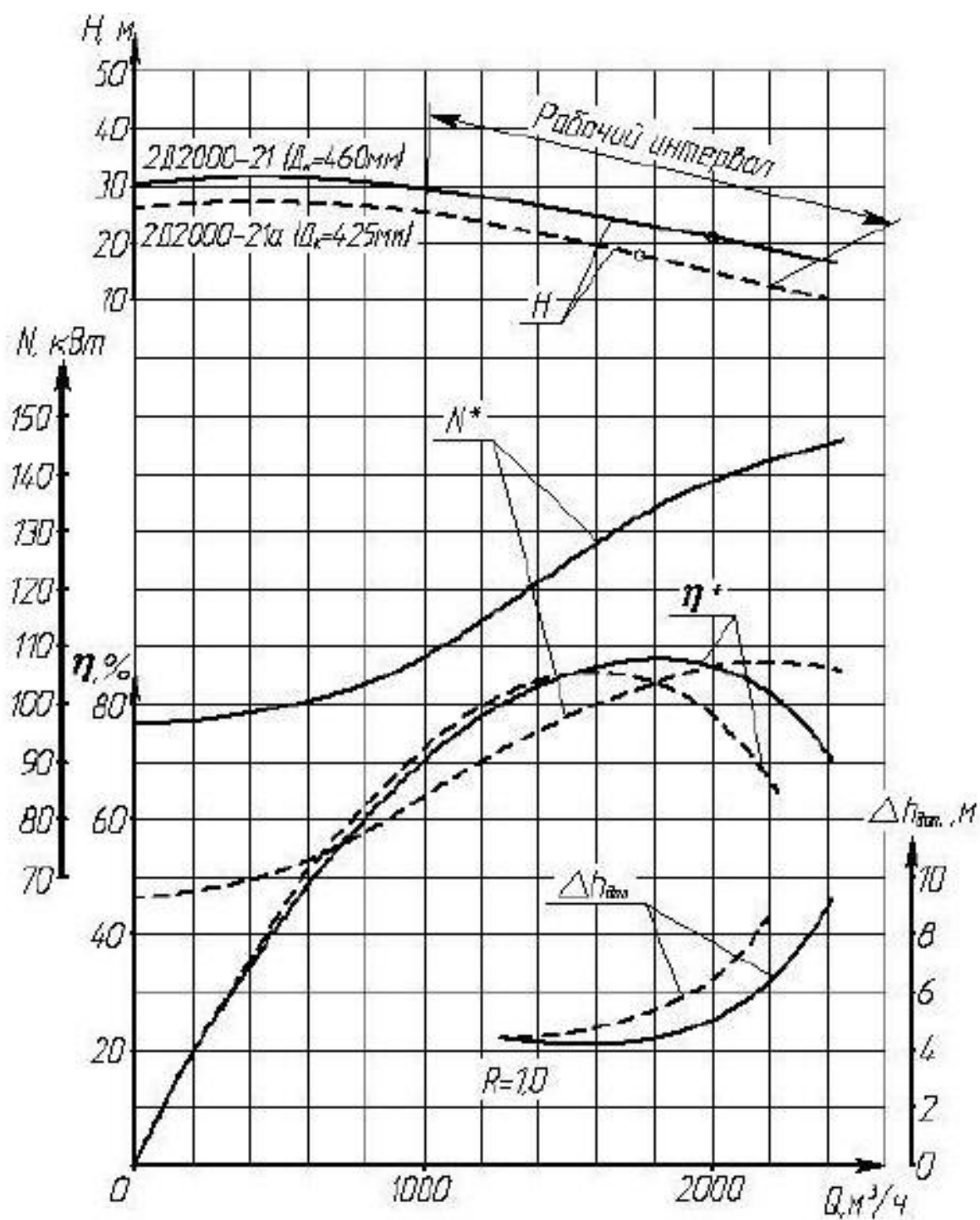


Рисунок А.12 – Характеристика насосу Д 2000–21

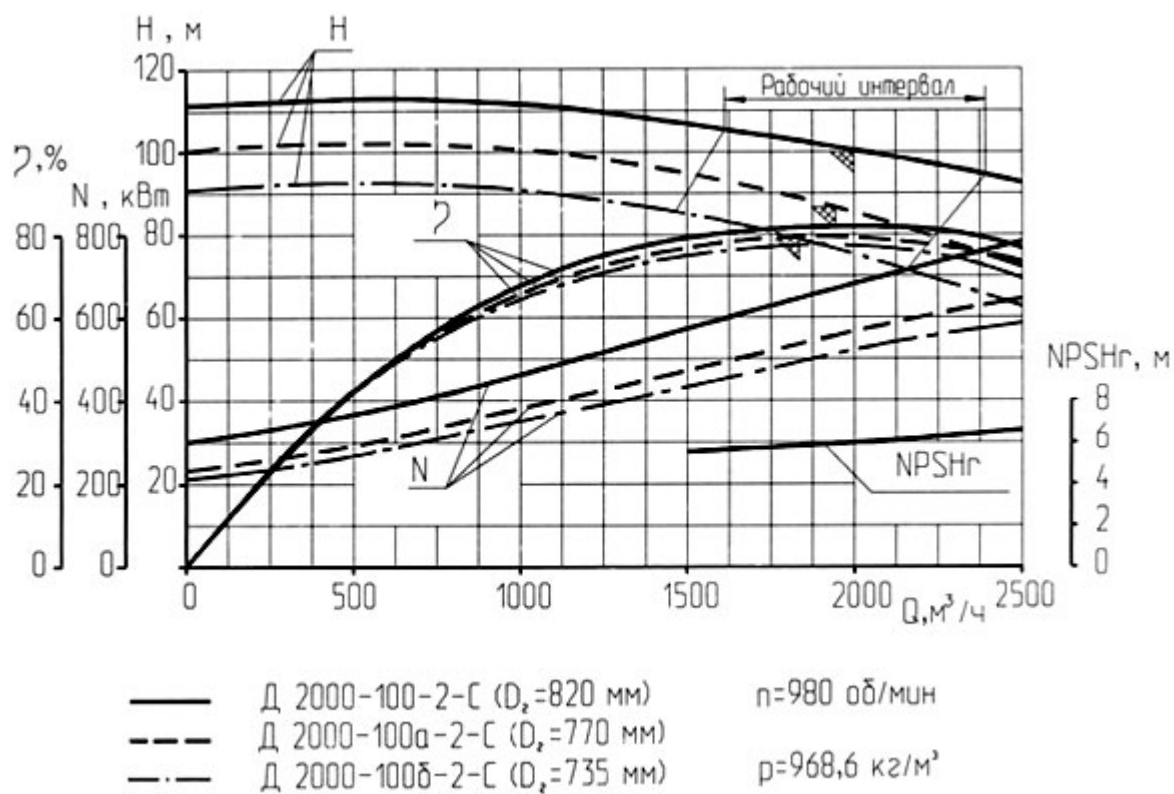


Рисунок А.13 – Характеристика насоса Д 2000–100

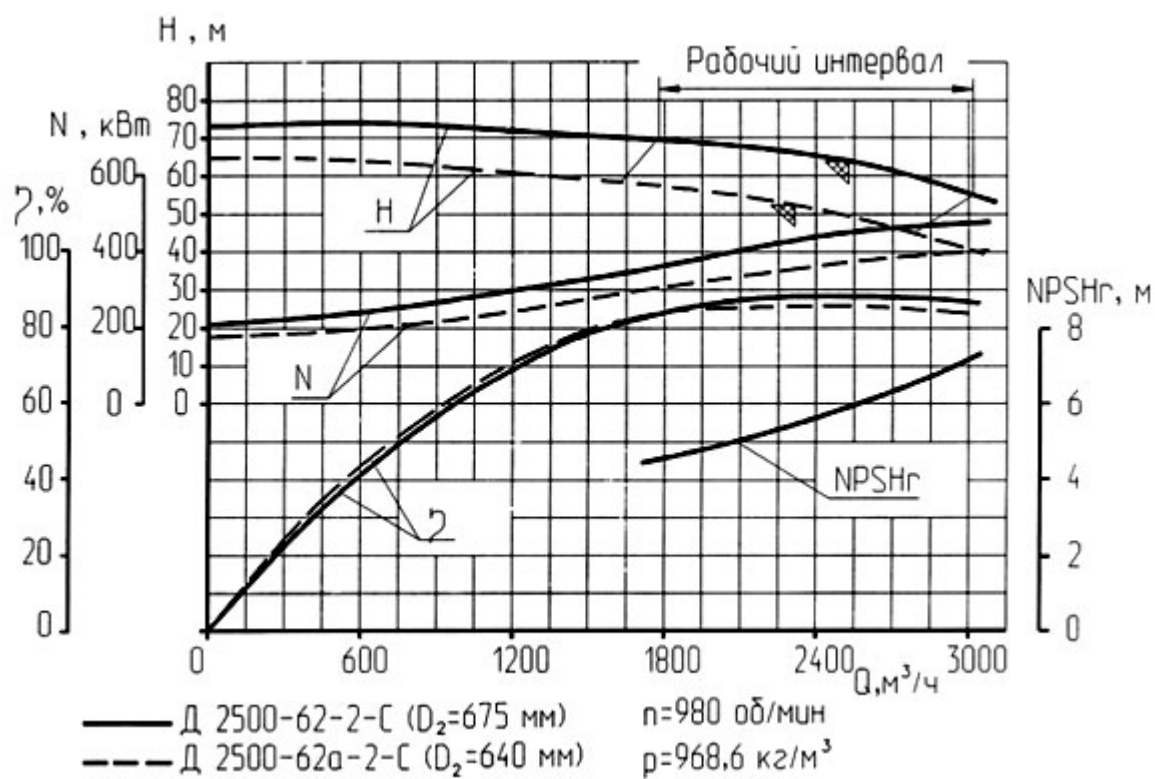


Рисунок А.14 – Характеристика насоса Д 2500–62

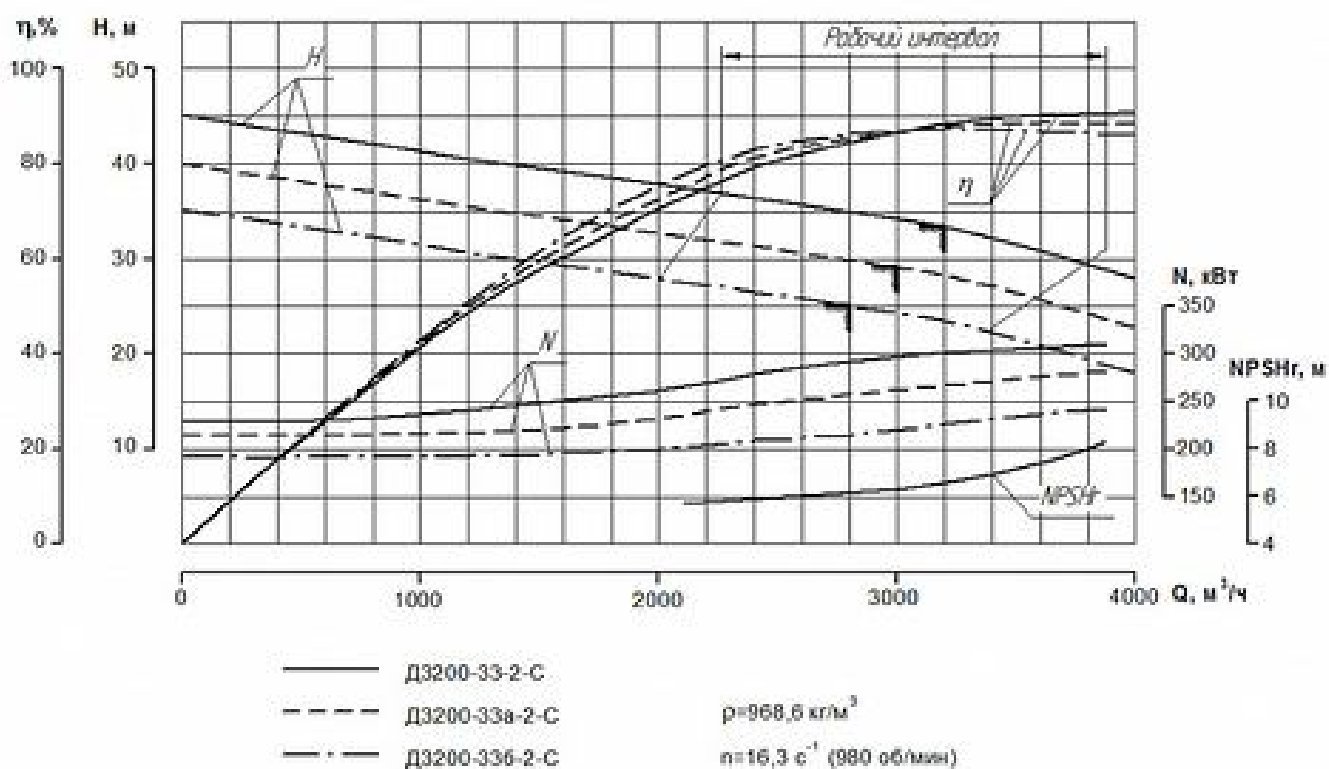


Рисунок А.15 – Характеристика насосу Д 3200–33

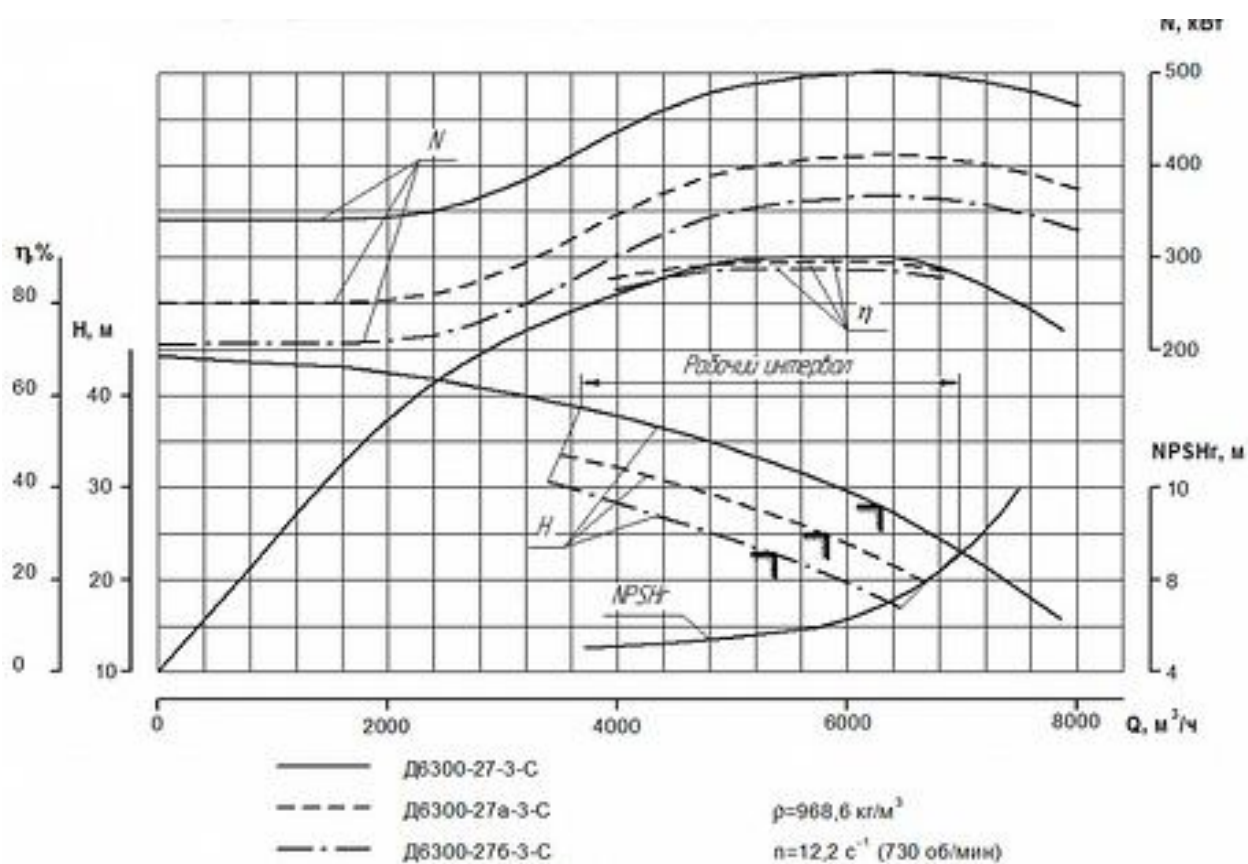


Рисунок А.16 – Характеристика насосу Д 6300–27

## ДОДАТОК Б

### Паспортні характеристики насосів типу СД

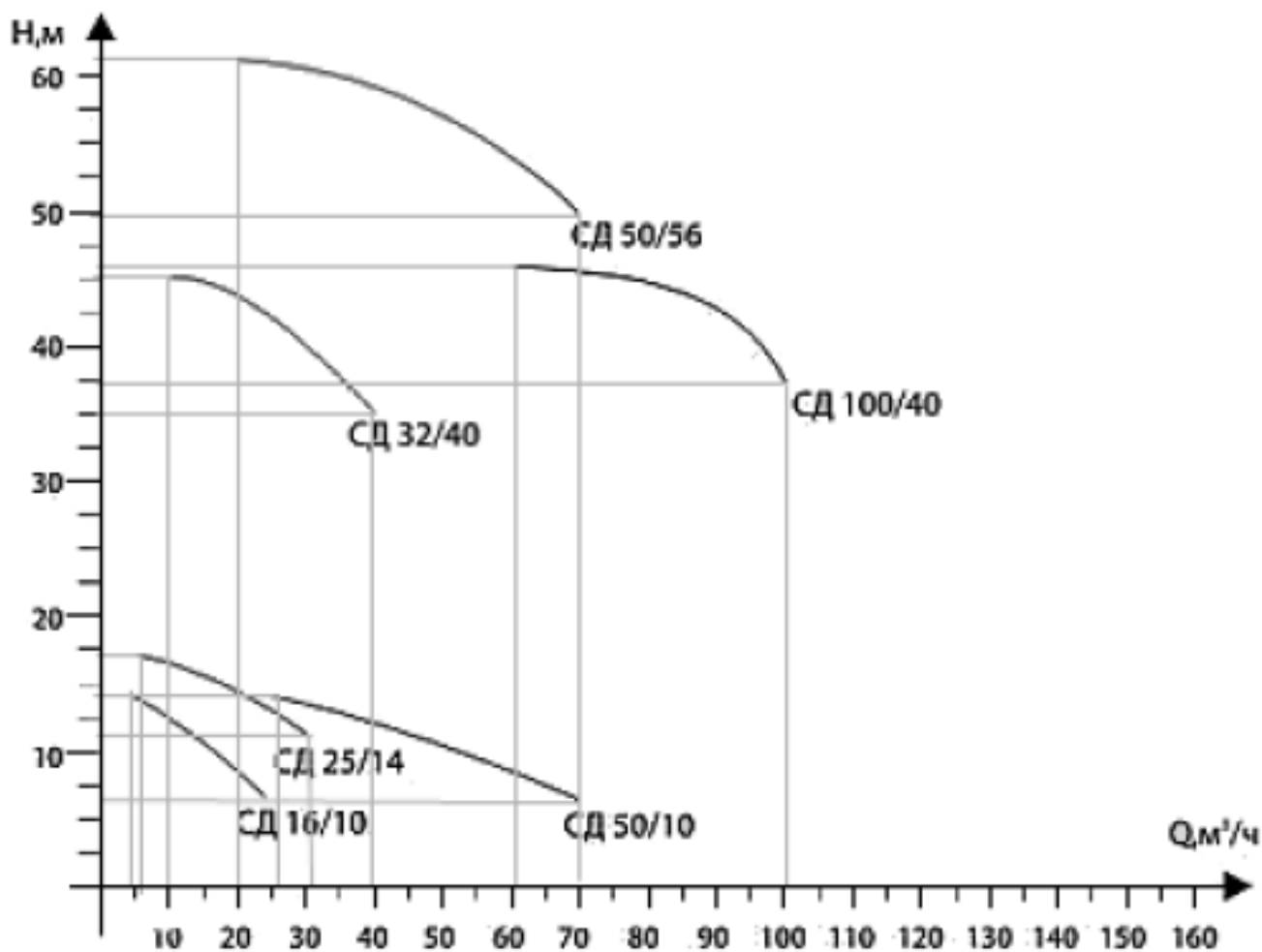


Рисунок Б.1 – Характеристики насосів СД 16/10, СД 25/14, СД 32/40, СД 50/10, СД 50/56, СД 100/40

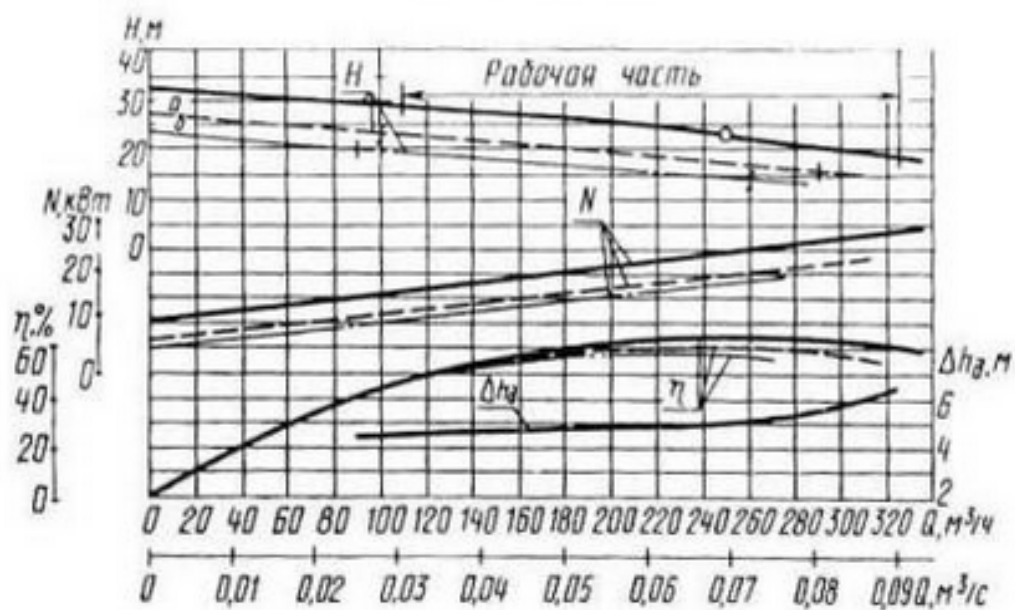


Рисунок Б.2 – Характеристика насосу СД 250 / 22,5

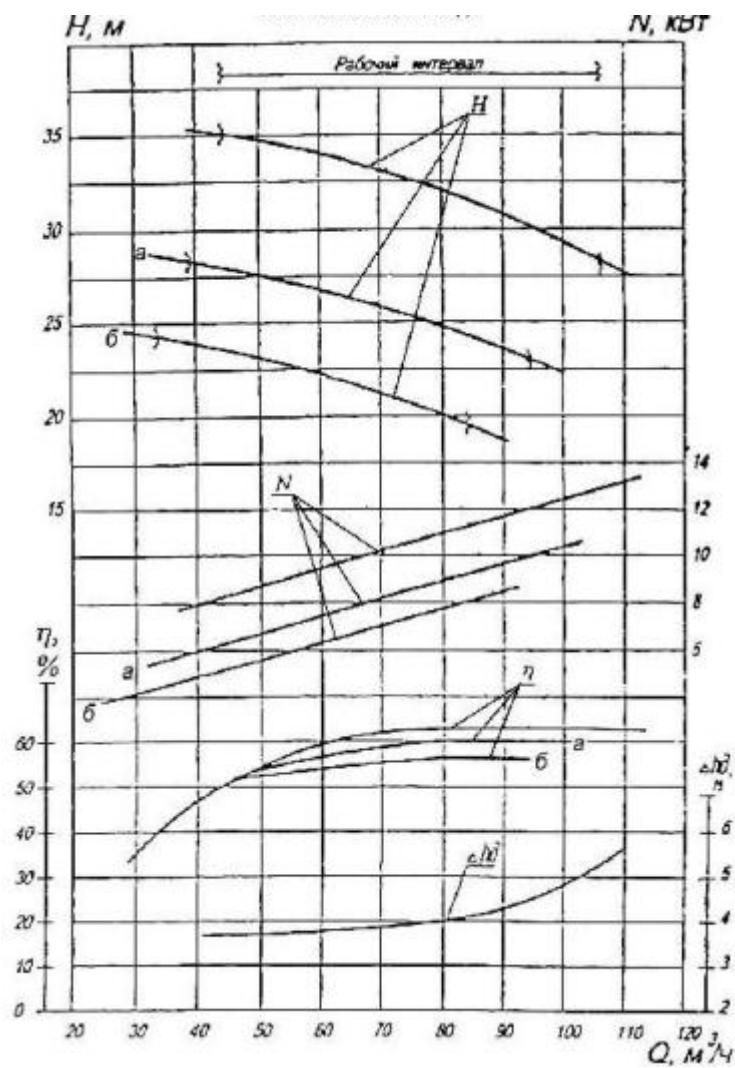


Рисунок Б.3 – Характеристика насосу СД 80 / 32

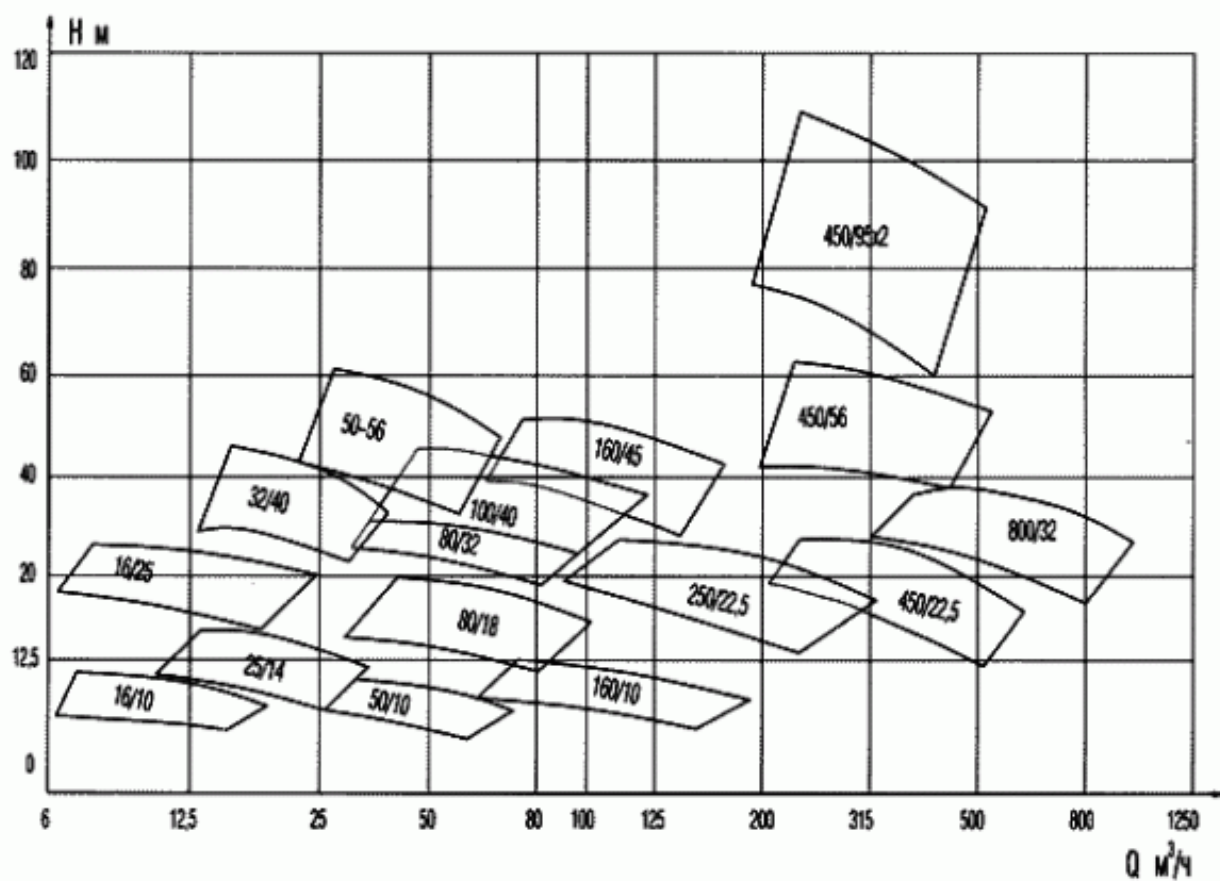


Рисунок Б.4 – Зведене поле графіків насосів марки СД

*Виробничо–практичне видання*

Методичні рекомендації  
для практичних занять, виконання розрахунково–графічної роботи,  
лабораторних робіт та самостійного вивчення з дисциплін

**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»,**

**«НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ.  
МОДУЛЬ 1. ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

*(для студентів 3–4 курсів денної та заочної форм навчання напрямів  
підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси)(фахове спрямування  
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів») та  
6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та  
водовідведення»); спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладач **ШЕВЧЕНКО** Тамара Олександрівна

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Т. О. Шевченко*

План 2017, поз. 108М

---

Підп. до друку 04.04.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4,0.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua).

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.