

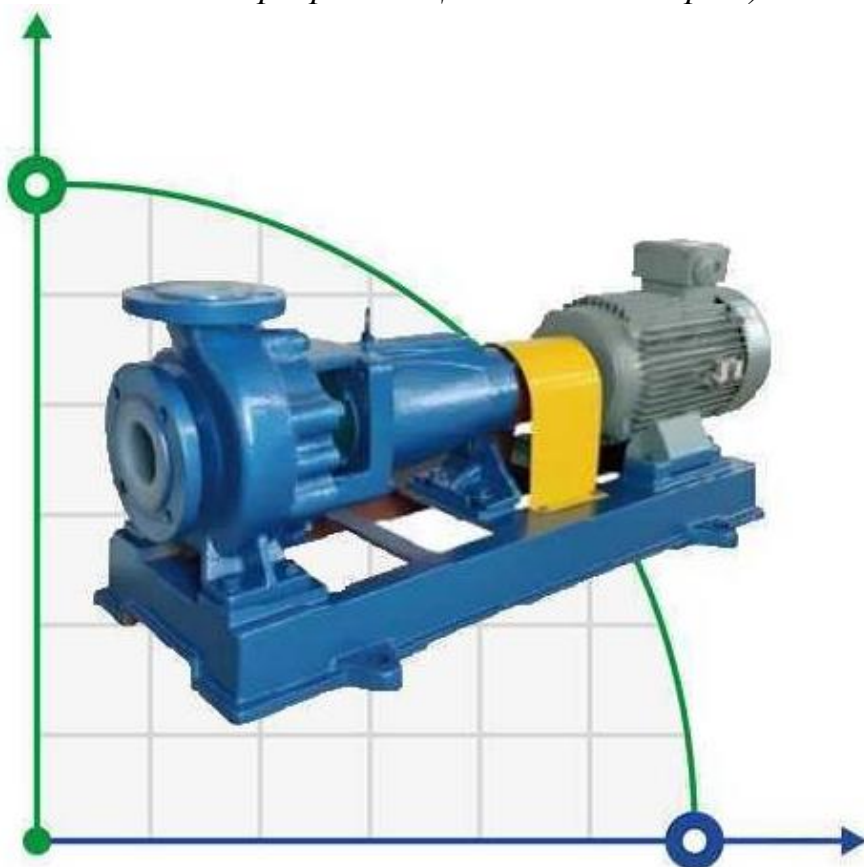
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення практичних занять  
із навчальної дисципліни

**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

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



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2025**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Гідравлічні та аеродинамічні машини» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. А. Сироватський, А. С. Карагяур, Т. О. Шевченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 64 с.

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

Рецензент

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

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

Методичні рекомендації призначені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія». Подано методику виконання практичних завдань, засоби та послідовність виконання. Наведено приклади розрахунків і оформлення робіт, необхідний довідковий матеріал.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практичне заняття № 1 Визначення напору насоса за показаннями приладів.....	5
Практичне заняття № 2 Визначення напору насоса під час проєктування .....	7
Практичне заняття № 3 Визначення висоти всмоктування відцентрового насоса .....	10
Практичне заняття № 4 Вплив частоти обертання на робочі характеристики відцентрового насоса .....	13
Практичне заняття № 5 Обточування робочого колеса відцентрового насоса .....	16
Практичне заняття № 6 Паралельна робота відцентрових насосів.....	19
Практичне заняття № 7 Послідовна робота відцентрових насосів .....	26
Практичне заняття № 8 Вибір насосів .....	30
Додатки .....	37

## ВСТУП

Методичні рекомендації «Гідравлічні та аеродинамічні машини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія спрямовані на закріплення теоретичного матеріалу нормативної навчальної компоненти «Гідравлічні та аеродинамічні машини», передбаченого лекційним курсом.

Засвоєння матеріалу, викладеного в цих методичних рекомендаціях, дозволяє здобувачам сформувати навички та уміння щодо розрахунку, конструювання, проектування і експлуатації насосних станцій та установок систем комунального і промислового водопостачання, водовідведення, теплопостачання і опалення.

Практичні завдання відповідають вимогам освітньої програми «Цивільна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання, забезпечуючи здобуття програмних результатів і фахових компетентностей, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Методичні рекомендації передбачають ознайомлення здобувачів з методиками практичних розрахунків основних робочих параметрів відцентрових насосів (продуктивності, напору, тиску, потужності) при їх проектуванні і експлуатації; порядком побудови графічних залежностей лопатевих насосів ( $Q - H$ ), ( $Q - N$ ), ( $Q - \eta$ ) при різних умовах експлуатації (змінення частоти обертання робочого колеса, обточування робочого колеса, паралельна і послідовна схеми увімкнення насосів тощо); розрахунком всмоктувальних характеристик відцентрових насосів з метою уникнення кавітаційних явищ в різних температурних і геодезичних місцевих умовах проектування; порядком і методикою вибору оптимального складу обладнання насосних установок.

Вихідні дані за варіантами і необхідні довідкові дані для практичних завдань наведені в додатках.

Кожне практичне завдання супроводжується детальним конкретним прикладом розрахунку або графічної побудови, що сприяє більш повному засвоєнню запропонованого матеріалу під час розроблення схем комунікацій насосних та повітрорудовних станцій.

Розв'язані завдання здобувачі оформлюють відповідно до наведених прикладів, зберігають у форматі \*.pdf і завантажують в команду MS Teams або в дистанційний курс Moodle для перевірки. Назву файлу виконаного завдання рекомендується оформляти за такою структурою: Прізвище здобувача\_номер завдання. pdf. Здобувачі денної форми навчання завантажують кожне завдання окремо у міру виконання відповідно до графіка освітнього процесу, здобувачі заочної форми оформляють і завантажують всі вісім завдань одним файлом у вигляді індивідуального завдання.

Критерії оцінювання завдань викладені в робочій програмі освітньої компоненти, оприлюдненої на офіційному сайті кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод, у відповідних командах MS Teams і дистанційному курсі Moodle.

## Практичне заняття № 1

### Визначення напору насоса за показаннями приладів

Визначити напір насоса за показаннями приладів, якщо відомо (рис. 1.1): насос перекачує воду і розвиває подачу  $Q$  м<sup>3</sup>/год. Манометр, (М), під'єднаний до напірного патрубка насоса, показує тиск  $P_1$ , МПа, а вакуумметр, (В), під'єднаний до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум  $P_2$ , МПа. Манометр розміщено на висоті  $a$ , м відносно осі насоса, а вакуумметр на висоті  $b$ , м. Діаметр всмоктувального патрубка насоса  $d_{всм}$ , мм, а діаметр напірного  $d_{нап}$ , мм. Вихідні дані обираються за варіантами за даними додатка А (табл. А.1).

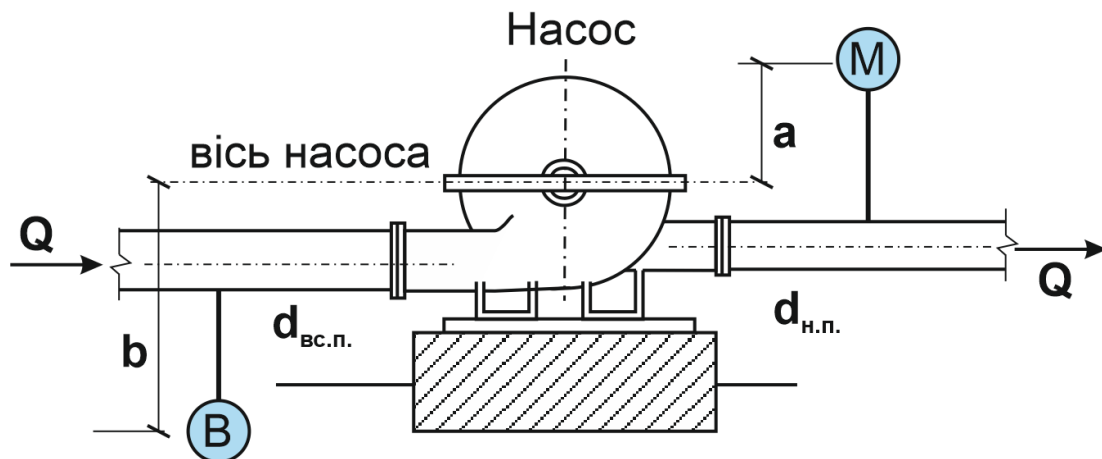


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема для визначення напору насоса за показаннями приладів

#### *Методика розв'язання задачі*

Напір насоса за показаннями приладів (манометра і вакуумметра) визначається за такою залежністю:

$$H = \frac{P_{ман}}{\rho g} + \frac{P_{вак}}{\rho g} + \frac{V_{нап}^2 - V_{всм}^2}{2g}, \quad (1.1)$$

де  $P_{ман}$  і  $P_{вак}$  – відповідно, показання манометра і вакуумметра, встановлених на патрубках насоса і приведені до однієї висотної відмітки, Па;

$V_{нап}$  і  $V_{всм}$  – швидкості руху води у напірному і всмоктувальному патрубках, м/с;

$\rho$  – густина рідини, яку перекачують (для води за нормальних умов можна обирати  $\rho = 1\,000$  кг/м<sup>3</sup>);

$g$  – прискорення сили ваги (для інженерних розрахунків обирають  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>).

Показання манометра і вакуумметра зазвичай приводяться до відмітки осі насоса, Па:

$$P_{ман} = P_м + a\rho g, \quad (1.2)$$

$$P_{вак} = P_{вак} - b\rho g, \quad (1.3)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – показання відповідно вакуумметра і манометра під час їхнього розміщення як вказано в умовах задачі, Па;

$a$  і  $b$  – висота розташування відповідно манометра і вакуумметра відносно осі насоса, м.

Зверніть увагу, що прилади можуть розміщуватись як вище, так и нижче осі насоса. Якщо прилад розташовано нижче осі насоса, то перед значенням висоти стоїть знак «мінус».

Швидкість руху потоку води у всмоктувальному і напірному патрубках насоса розраховується за такою залежністю, м/с:

$$Q = \omega \times V = \frac{\pi d^2}{4} V \rightarrow V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (1.4)$$

де  $Q$  – витрата води, яку перекачує насос, м<sup>3</sup>/с;

$d_{\text{всм}}$  – діаметр всмоктувального патрубка насоса, м;

$d_{\text{нап}}$  – діаметр напірного патрубка насоса, м.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. Приводимо показання приладів (манометра і вакуумметра) до одного рівня (у цьому випадку до рівня осі насоса).

2. Визначаємо величини швидкостей руху води у напірному і всмоктувальному патрубках насоса, знаючи їх діаметр і витрату води.

3. Розраховуємо величину напору відцентрового насоса.

#### *Приклад розв'язання задачі*

Визначити напір насоса за показаннями приладів, якщо відомо: насос перекачує воду і розвиває подачу 160 м<sup>3</sup>/год. Манометр, під'єднаний до напірного патрубка насоса, показує тиск 1,0 МПа, а вакуумметр, під'єднаний до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум 0,05 МПа. Манометр розміщено на висоті 5,0 м відносно осі насоса, а вакуумметр на висоті 2,0 м. Діаметр всмоктувального патрубка насоса дорівнює 150 мм, а діаметр напірного – 100, мм.

Приводимо показання приладів до відмітки осі насоса:

$$P_{\text{ман}} = P_{\text{м}} + a\rho g = 1\,000\,000 + 5 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = 1\,049\,050 \text{ Па}$$

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{вак}} - b\rho g = 50\,000 - 2 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = 30\,380 \text{ Па}$$

Визначаємо величини швидкостей руху води в напірному і всмоктувальному патрубках насоса:

Всмоктувальний патрубок:

$$V_{\text{всм}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{всм}}^2} = \frac{4 \cdot \frac{160}{3\,600}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 2,52 \text{ м/с}$$

Напірний патрубок:

$$V_{\text{всм}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{нап}}^2} = \frac{4 \cdot \frac{160}{3\,600}}{3,14 \cdot 0,1^2} = 5,66 \text{ м/с}$$

Розраховуємо величину напору відцентрового насоса за такою формулою:

$$H = \frac{1\,049\,050}{1\,000 \cdot 9,81} + \frac{30\,380}{1\,000 \cdot 9,81} + \frac{5,66^2 - 2,52^2}{2 \cdot 9,81} = 111,4 \text{ м}$$

## Практичне заняття № 2 Визначення напору насоса під час проєктування

Насос із нижнього резервуара по системі поліетиленових трубопроводів перекачує воду із витратою  $Q$ , м<sup>3</sup>/год у верхній резервуар (рис. 2.1). Рівні води у резервуарах є постійними. Різниця рівнів води у резервуарах складає  $A$ , м. Діаметр всмоктувального трубопроводу складає  $d_{всм}$ , мм, його довжина  $L_{всм}$ , м. Напірний трубопровід має діаметр  $d_{нап}$ , мм за довжини  $L_{нап}$ , м. Визначити необхідний напір насоса. Вихідні дані обираються за даними додатка А (табл. А.2).

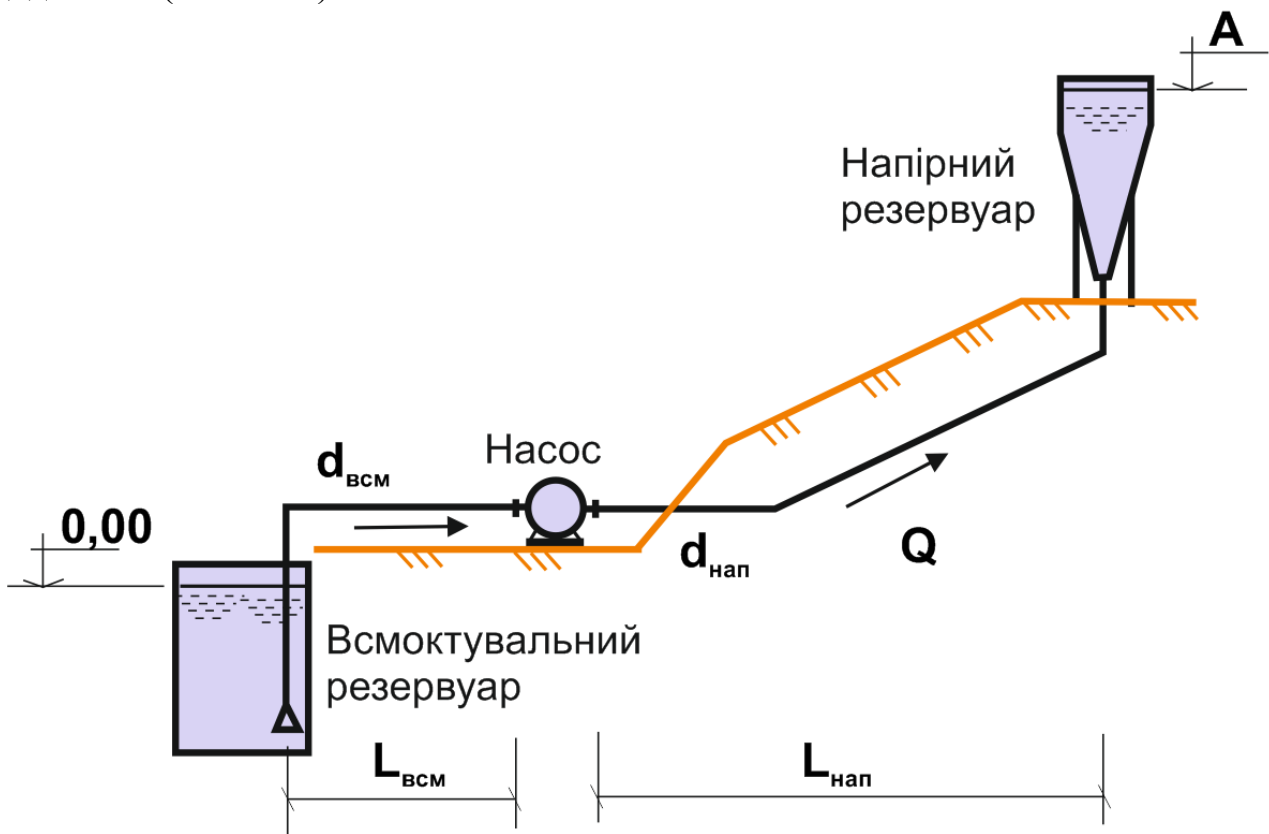


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для визначення напору насоса під час проєктування

### *Методика розв'язання задачі*

Необхідний напір насоса під час проєктування визначають за такою формулою, м:

$$H = H_{\Gamma} + h_{всм} + h_{нап}, \quad (2.1)$$

де  $H_{\Gamma}$  – це геометрична або геодезична висота підйому води, м, що визначається як різниця геодезичних позначок у напірному і всмоктувальному резервуарах;

$h_{\text{всм}}$  і  $h_{\text{нап}}$  – сумарні втрати напору відповідно у всмоктувальному і напірному трубопроводах, м.

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{нап}} - Z_{\text{всм}}, \quad (2.2)$$

де  $Z_{\text{нап}}$  – геодезична позначка рівня води у напірному (верхньому) резервуарі, м;

$Z_{\text{всм}}$  – геодезична позначка рівня води у всмоктувальному (нижньому) резервуарі, м.

Втрати напору у всмоктувальному і напірному трубопроводах складаються із втрат напору на тертя за довжиною і втратами на подолання місцевих опорів:

$$h = h_{\text{довж}} + h_{\text{місц}}. \quad (2.3)$$

Втрати напору на тертя за довжиною можна розрахувати за відомими формулами з гідравліки, наприклад:

$$h_{\text{довж}} = SQ^2 = A_0 k L Q^2, \quad (2.4)$$

де  $S$  – коефіцієнт опору трубопроводу;

$A_0$  – коефіцієнт питомого опору трубопроводу;

$k$  – коефіцієнт, який коригує неквадратичність залежності;

$L$  – довжина трубопроводу, м;

$Q$  – витрата по трубопроводу, м<sup>3</sup>/с.

Числові значення коефіцієнтів  $A_0$  і  $k$  для поліетиленових труб можна обрати за додатком Б (табл. Б.1 і Б.2).

Згідно з ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, за браком даних про кількість з'єднувальних частин, фасонних елементів і арматури, що встановлені на трубопроводах, втрати на місцеві опори допускається враховувати додатково в розмірі 10–20 % від втрат напору за довжиною:

$$h_{\text{місц}} = (0,1 \div 0,2) h_{\text{довж}}. \quad (2.5)$$

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. Розраховуємо геометричну висоту підйому води  $H_{\Gamma}$ , м.
2. Визначаємо швидкості руху води  $V$ , м/с, у всмоктувальному і напірному трубопроводах за заданими значеннями діаметрів і витрати води.
3. За додатком Б (табл. Б.1 і Б.2) визначаємо числові значення коефіцієнтів  $A_0$  і  $k$  окремо для всмоктувального і напірного трубопроводів у разі відомих значень швидкості руху води  $V$ , м/с, і діаметра труби  $d$ , мм.
4. Розраховуємо втрати напору за довжиною всмоктувального і напірного трубопроводів,  $h_{\text{всм}}^{\text{довж}}$  і  $h_{\text{нап}}^{\text{довж}}$ , м.
5. Розраховуємо втрати напору на місцеві опори окремо за всмоктувальним і напірним трубопроводами  $h_{\text{всм}}^{\text{місц}}$  і  $h_{\text{нап}}^{\text{місц}}$ , м.
6. Визначаємо сумарні втрати напору в напірній і всмоктувальній трубі  $h_{\text{всм}}$  і  $h_{\text{нап}}$ , м.
7. Розраховуємо необхідний напір насоса  $H$ , м.

### Приклад розв'язання задачі

Насос з нижнього резервуара по системі поліетиленових трубопроводів перекачує воду витратою 650, м<sup>3</sup>/год у верхній резервуар. Рівні води в резервуарах є постійними. Різниця рівнів води в резервуарах складає 50,0 м. Діаметр всмоктувального трубопроводу складає 355 мм, його довжина – 50 м. Напірний трубопровід має діаметр 315 мм із довжиною 1 100 м. Визначити необхідний напір насоса.

Розраховуємо геометричну висоту підйому води за такою формулою:

$$H_r = A - 0,00 = 50,0 - 0,00 = 50 \text{ м}$$

Визначаємо швидкості руху води у всмоктувальному і напірному трубопроводах.

Всмоктувальний трубопровід:

$$V_{\text{всм}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{всм}}^2} = \frac{4 \cdot \frac{650}{3600}}{3,14 \cdot 0,355^2} = 1,83 \text{ м/с}$$

Напірний трубопровід:

$$V_{\text{нап}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{нап}}^2} = \frac{4 \cdot \frac{650}{3600}}{3,14 \cdot 0,315^2} = 2,32 \text{ м/с}$$

Визначаємо числові значення коефіцієнтів  $A_0$  і  $k$  окремо для всмоктувального і напірного трубопроводів (табл. Б.1 і Б.2, дод. Б):

Всмоктувальний трубопровід ( $d_{\text{всм}} = 355$  мм):  $A_0 = 0,466 2$ ,  $k = 0,876$ .

Напірний трубопровід ( $d_{\text{нап}} = 315$  мм):  $A_0 = 0,876 1$ ,  $k = 0,828$ .

Розраховуємо втрати напору за довжиною всмоктувального і напірного трубопроводів.

Всмоктувальний трубопровід:

$$h_{\text{довж}} = SQ^2 = A_0 k L Q^2 = 0,466 2 \cdot 0,876 \cdot 50 \cdot \left(\frac{650}{3600}\right)^2 = 0,67 \text{ м}$$

Напірний трубопровід:

$$h_{\text{довж}} = SQ^2 = A_0 k L Q^2 = 0,876 1 \cdot 0,828 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{650}{3600}\right)^2 = 2,61 \text{ м}$$

Розраховуємо втрати напору на місцеві опори окремо по всмоктувальному і напірному трубопроводах. Обираємо ці втрати у розмірі 10 % від втрат напору за довжиною:

Всмоктувальний трубопровід:

$$h_{\text{місц}} = 0,1 \cdot 0,67 = 0,07 \text{ м.}$$

Напірний трубопровід:

$$h_{\text{місц}} = 0,1 \cdot 2,61 = 0,26 \text{ м.}$$

Визначаємо сумарні втрати напору в напірній і всмоктувальній трубі:

Всмоктувальний трубопровід:

$$h = h_{\text{довж}} + h_{\text{місц}} = 0,67 + 0,07 = 0,74 \text{ м.}$$

Напірний трубопровід:

$$h = h_{\text{довж}} + h_{\text{місц}} = 2,61 + 0,26 = 2,87 \text{ м.}$$

Розраховуємо необхідний напір насоса:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{всм}} + h_{\text{нап}} = 50,00 + 0,74 + 2,87 = 53,6 \text{ м.}$$

### Практичне заняття № 3

#### Визначення висоти всмоктування відцентрового насоса

Визначити найбільшу можливу висоту всмоктування для насоса, якщо відомо, що насос планується встановлювати у місцевості на висоті  $Z$ , м над рівнем моря і він буде перекачувати воду з відкритого резервуару в кількості  $Q$ , м<sup>3</sup>/год із температурою  $t$ , °С (рис. 3.1). Всмоктувальні трубопроводи запроєктовані нові сталеві без внутрішнього захисного покриття, з діаметром  $d_{\text{всм}}$ , мм і довжиною  $L$ , м. Діаметр всмоктувального патрубку насоса,  $d_{\text{всм.п.}}$ , дорівнює діаметру всмоктувального трубопроводу. У технічному паспорті насоса наведене паспортне значення параметра  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ , м. Вихідні дані обираються за додатком А (табл. А.3).

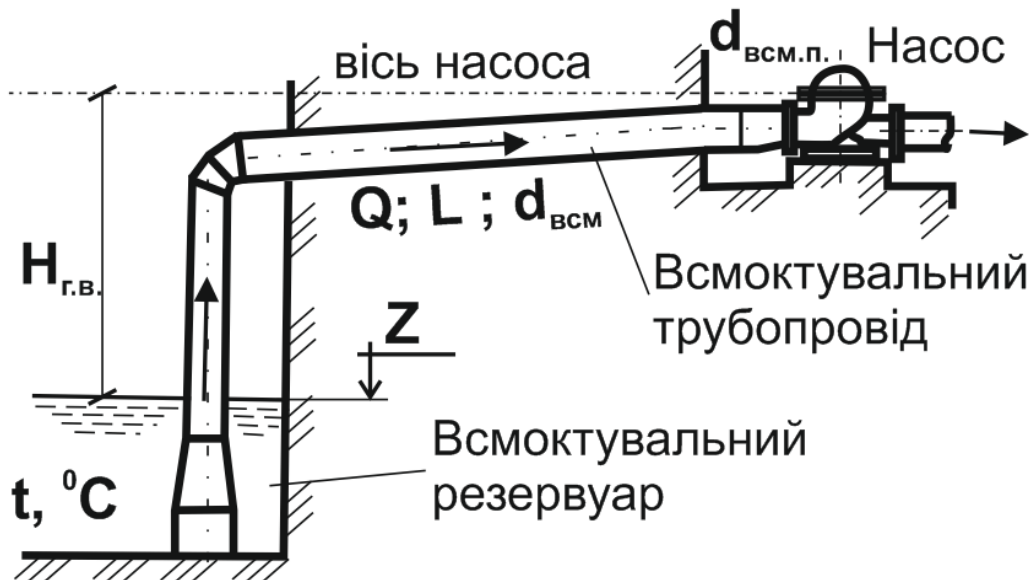


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема визначення допустимої висоти всмоктування

#### Методика розв'язання задачі

Максимально допустиму геометричну висоту всмоктування для відцентрового насоса визначають за такою формулою, м:

$$H_{\text{г.у.}} = (H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}} - h_{\text{всм}} - \frac{V_{\text{всм.п.}}^2}{2g}, \quad (3.1)$$

де  $(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}}$  – робоче значення допустимої вакуумметричної висоти всмоктування, м;

$h_{\text{всм}}$  – сумарні втрати напіру у всмоктувальному трубопроводі, м;

$V_{\text{всм.п.}}$  – швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса, м/с.

Робоче значення вакуумметричної висоти всмоктування розраховують за місцевих умов розміщення і експлуатації насоса за такою формулою, м:

$$(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}} = (H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{пасп}} - 10 + H_{\text{атм}} + 0,24 - h_t, \quad (3.2)$$

де  $(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{пасп}}$  – паспортне значення допустимої вакуумметричної висоти всмоктування, м;

$H_{\text{атм}}$  – атмосферний тиск у місцевості, де планується розміщувати насос, м, що обирається за даними додатка В (табл. В.1);

$h_t$  – тиск насиченої пари води, що перекачується, м, обирається за даними додатка В (табл. В.2) залежно від температури води.

Сумарні втрати напору у трубопроводі,  $h_{\text{всм}}$ , м, складаються із втрат напору за довжиною і втратами на подолання місцевих опорів, м:

$$h_{\text{всм}} = h_{\text{всм}}^{\text{довж}} + h_{\text{всм}}^{\text{місц}}. \quad (3.3)$$

Втрати напору на тертя за довжиною трубопроводу розраховуються за відомими залежностями з технічної механіки рідини та газу. У такому випадку пропонуємо скористатись методикою розрахунку трубопроводу, наведеною в ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, м:

$$h_{\text{довж}} = i \times L, \quad (3.4)$$

де  $i$  – гідравлічний ухил трубопроводу;

$L$  – довжина трубопроводу, м.

Гідравлічний ухил розраховують за такою формулою:

$$i = \frac{K \times Q^n}{d^p}, \quad (3.5)$$

де  $Q$  – витрата води за трубопроводом, м<sup>3</sup>/с;

$d$  – розрахунковий внутрішній діаметр труби, м;

$K$ ,  $n$ ,  $p$  – коефіцієнти, що залежать від матеріалу і технічного стану труби, можна обрати за даними додатка Г (табл. Г.1).

Згідно з ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, за браком даних про кількість з'єднувальних частин, фасонних елементів і арматури, що встановлені на трубопроводах, втрати на місцеві опори допускається враховувати додатково в розмірі 10–20 % від втрат напору за довжиною:

$$h_{\text{місц}} = (0,1 \div 0,2)h_{\text{довж}}. \quad (3.6)$$

Швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса визначають за такою формулою, м/с:

$$V_{\text{всм}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{всм.п.}}^2}. \quad (3.7)$$

### Порядок розв'язання задачі

1. За значеннями висоти розташування місцевості над рівнем моря,  $Z$ , і температури води, яку перекачують,  $t$ , °С, за таблицями В.1 і В.2 додатка В визначаємо відповідні значення  $H_A$ , м і  $h_t$ , м.

2. Розраховуємо робоче значення допустимої вакуумметричної висоти всмоктування насоса,  $(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}}$ , м.

3. Розраховуємо гідравлічний ухил і втрати напору у всмоктувальному трубопроводі (за довжиною, місцеві і сумарні). Необхідні коефіцієнти можна обрати за додатком Г (табл. Г.1).

4. Визначаємо швидкість руху води у всмоктувальній трубі.

5. Розраховуємо значення найбільшої можливої висоти всмоктування.

#### Приклад розв'язання задачі

Визначити найбільшу можливу висоту всмоктування для насоса, якщо відомо, що насос планується встановлювати в місцевості на висоті 600 м над рівнем моря, де він буде перекачувати воду з відкритого резервуару в кількості 500 м<sup>3</sup>/год за температури 25 °С. Всмоктувальні трубопроводи запроектовані нові сталеві без внутрішнього захисного покриття, діаметром 300 мм і довжиною 60 м. Діаметр всмоктувального патрубку насоса дорівнює діаметру всмоктувального трубопроводу. У технічному паспорті насоса наведено паспортне значення параметра  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 3,5$  м.

За таблицями В.1 і В.2 додатка В визначаємо величини  $H_A = 9,6$  м і  $h_t = 0,34$  м.

Розраховуємо робоче значення допустимої вакуумметричної висоти всмоктування відцентрового насоса за такою формулою:

$$(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}} = (H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{пасп}} - 10 + H_{\text{атм}} + 0,24 - h_t = 3,5 - 10 + 9,6 + 0,24 - 0,34 = 3,0 \text{ м.}$$

Розраховуємо гідравлічний ухил всмоктувального трубопроводу за такою формулою:

$$i = \frac{K \times Q^n}{d^p} = \frac{1,79}{1\,000} \cdot \left(\frac{500}{3\,600}\right)^{1,9} = 0,0195.$$

Втрати напору на тертя за довжиною труби:

$$h_{\text{всм}}^{\text{довж}} = i \times L = 0,0195 \cdot 60 = 1,17 \text{ м.}$$

Втрати напору на подолання місцевих опорів обираємо в розмірі 15 % від втрат напору за довжиною:

$$h_{\text{всм}}^{\text{місц}} = 0,15 h_{\text{всм}}^{\text{довж}} = 0,15 \cdot 1,17 = 0,18 \text{ м.}$$

Сумарні втрати напору у всмоктувальній трубі визначаються за такою формулою:

$$h_{\text{всм}} = h_{\text{всм}}^{\text{довж}} + h_{\text{всм}}^{\text{місц}} = 1,17 + 0,18 = 1,35 \text{ м.}$$

Швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса визначається за такою формулою:

$$V_{\text{всм}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{всм.п.}}^2} = \frac{4 \cdot 500}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,97 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Допустима геометрична висота всмоктування для відцентрового насоса в заданих умовах складає:

$$H_{\text{г.у.}} = (H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{роб}} - h_{\text{всм}} - \frac{V_{\text{всм.п.}}^2}{2g} = 3,0 - 1,35 - \frac{1,97^2}{2 \cdot 9,81} = 2,02 \approx 2,0 \text{ м.}$$

Тобто для запобігання кавітаційних явищ цей насос в умовах, що розглядаються, можна розміщувати на висоті не більше 2,0 м над рівнем води.

#### **Практичне заняття № 4** **Вплив частоти обертання на робочі характеристики відцентрового насоса**

У процесі проектування насосної станції встановлено, що для роботи у системі потрібно встановити насос із витратою  $Q_A$ , м<sup>3</sup>/год і з напором  $H_A$ , м. Насоса з такими характеристиками промисловість не виготовляє, тому проектується найближчий, більш потужний насос. Його характеристики із частотою обертання робочого колеса  $n$ , об/хв, наведені у вихідних даних до задачі. Щоб уникнути непродуктивних втрат енергії, вдалися до змін частоти обертання робочого колеса. Необхідно визначити, за якої частоти обертання характеристика (Q – H) насоса пройде через розрахункову точку А з координатами ( $Q_A$ ;  $H_A$ ). Побудувати характеристику (Q – H) насоса для нової частоти обертання. Вихідні дані для задачі наведені у таблиці А.4 (дод. А) і в додатку Д.

##### *Методика розв'язання задачі*

Для визначення нової частоти обертання робочого колеса відцентрового насоса будують параболу подібних режимів за такою залежністю:

$$H = \frac{H_A}{Q_A^2} Q^2 = K Q^2. \quad (4.1)$$

Побудову параболи здійснюють шляхом підстановки у рівняння довільних значень  $Q$ . При цьому отримують відповідні значення  $H$ . Для побудови параболи достатньо взяти 4–6 довільних точок. Ці точки наносяться в масштабі на поле координат і з'єднуються плавною кривою.

Парабола подібних режимів перетинає паспортну характеристику (Q – H) насоса у точці Б з координатами ( $Q_B$ ;  $H_B$ ).

Скориставшись формулами перерахунку (подібності) розраховують нове значення частоти обертання так:

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{n_A}{n_B} \rightarrow n_A = \frac{Q_A \cdot n_B}{Q_B}, \quad (4.2)$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)^2 \rightarrow n_A = n_B \sqrt{\frac{H_A}{H_B}}. \quad (4.3)$$

Для побудови характеристики (Q – H) насоса з новою частотою обертання  $n_A$  також користуються положеннями теорії подібності (формулами перерахунку).

Для цього на паспортній характеристиці (Q – H) насоса задаються низкою довільних точок (достатньо 4–6) із координатами ( $Q_i$ ;  $H_i$ ) і розраховують координати нової характеристики (Q – H) насоса ( $Q'_i$ ;  $H'_i$ ):

$$\frac{Q'_i}{Q_i} = \frac{n_A}{n_B} \rightarrow Q'_i = \frac{Q_i \cdot n_B}{n_A}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (4.4)$$

$$\frac{H'_i}{H_i} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)^2 \rightarrow H'_i = \frac{H_i \cdot n_B^2}{n_A^2}, \text{м}. \quad (4.5)$$

Отримані точки наносять на поле координат і з'єднують їх плавною кривою, яка і є характеристикою (Q – H) насоса з новою частотою обертання  $n_A$ . Необхідно зазначити, що ця крива обов'язково має пройти крізь точку А.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. На поле координат (у масштабі) наносимо точки характеристики (Q – H) насоса з вихідних даних. На те ж поле наносимо точку А.
2. Складаємо рівняння параболи подібних режимів, яка буде проходити через точку А. Задаючись довільними значеннями Q (5–6 точок), з рівняння параболи отримуємо відповідні їм значення H. Точки з розрахованими координатами наносимо на поле координат і з'єднуємо їх плавною кривою.
3. Визначаємо координати точки Б (точка перехрещення характеристики (Q – H) насоса з параболою подібних режимів). Скориставшись формулами перерахунку, визначаємо числове значення нової частоти обертання робочого колеса (за витратою та напором і вибираємо середнє ціле значення).
4. Використовуючи формули перерахунку, вихідні координати характеристики (Q – H) насоса і значення нової частоти обертання, визначаємо координати характеристики (Q – H) насоса (5–6 точок) у разі змінення частоти.
5. Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавною кривою.

#### *Приклад розв'язання задачі*

У процесі проектування насосної станції встановлено, що для роботи в системі потрібна установка насоса з витратою 45 л/с із напором 25 м. Насоса з такими характеристиками промисловість не виготовляє, тому проектується найближчий більш потужний насос. Його характеристики із частотою обертання робочого колеса 600 об/хв, наведені у вихідних даних до задачі. Щоб уникнути непродуктивних втрат енергії, вдалися до зміни частоти обертання робочого колеса. Необхідно визначити, за якої частоти обертання характеристика (Q – H) насоса пройде через розрахункову точку А з координатами (45; 25). Побудувати характеристику (Q–H) насоса для нової частоти обертання.

На поле координат (у масштабі) наносимо точки характеристики (Q – H) насоса з вихідних даних. На те ж поле наносимо точку А (рис. 4.1). З'єднуємо точки 1–7 плавною кривою, яка є характеристикою (Q–H) насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса  $n_B$  (показана на рис. 4.1 блакитним кольором).

Складаємо таке рівняння параболи подібних режимів:

$$H = \frac{H_A}{Q_A^2} Q^2 = K Q^2 = \frac{25}{45^2} Q^2 = 0,0123 Q^2.$$

Парабола проходить через початок координат. Положення інших її точок (а, б, в, г) визначається рівнянням. Результати розрахунку координат цих точок наведемо у формі таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Координати параболи подібних режимів

Параметри	А	б	В	г
Q, л/с	20	30	50	60
H, м	4,9	11,1	30,8	44,4

З'єднуємо точки 0, а, б, в і г плавною кривою (лінія червоного кольору на рис. 4.1). Парабола перетинає номінальну характеристику (Q – H) насоса у точці Б із координатами (52; 34).

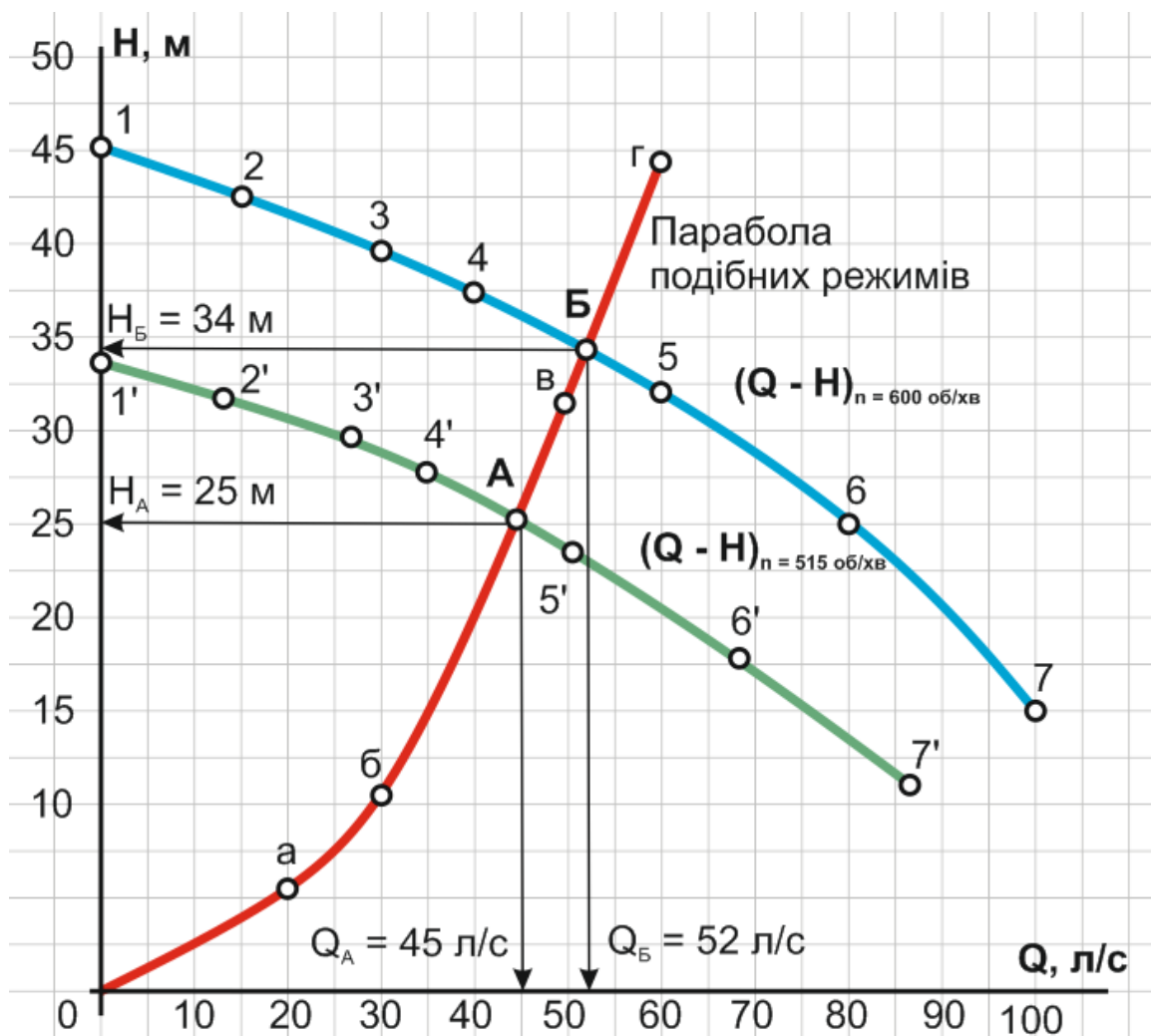


Рисунок 4.1 – Визначення нової частоти обертання робочого колеса відцентрового насоса і побудова характеристики (Q – H) для нової частоти обертання

З формул перерахунку визначимо числове значення нової частоти обертання  $n_A$  так:

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{n_A}{n_B} \rightarrow n_A = \frac{Q_A \cdot n_B}{Q_B} = \frac{45 \cdot 600}{52} = 519 \text{ об/хв}$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)^2 \rightarrow n_A = n_B \sqrt{\frac{H_A}{H_B}} = 600 \sqrt{\frac{25}{34}} = 515 \text{ об/хв}$$

Обираємо нову частоту обертання робочого колеса насоса  $n_A = 515$  об/хв.

Визначаємо координати характеристики (Q–H) насоса у разі змінення частоти, використовуючи формули перерахунку, номінальну характеристику (Q – H) насоса (точки 1–7) і значення нової частоти обертання  $n_A$ . Результати розрахунку заносимо в таблицю.

Отримані точки з координатами ( $Q'_i$ ;  $H'_i$ ) наносимо на графік і з'єднуємо їх плавною кривою, яка є характеристикою (Q – H) насоса із частотою обертання його робочого колеса  $n_A = 515$  об/хв.

Результати побудови і розрахунків наведені на рисунку 4.1 і у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Координати характеристики (Q – H) насоса з новою частотою обертання

Точки	1	2	3	4	5	6	7
Q, л/с	0	15	30	40	60	80	100
H, м	45	42,5	40	37,5	32,5	25	15
Точки	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
Q, л/с	0	12,8	25,8	34,3	51,5	68,7	85,8
H, м	33,2	31,3	29,5	27,6	23,9	18,4	11,1

## Практичне заняття № 5 Обточування робочого колеса відцентрового насоса

Визначити мінімально можливий діаметр робочого колеса для насоса і побудувати характеристики (Q – H) і (Q – N) за цим діаметром. Характеристики насоса обирати за даними таблиці А.5 (дод. А) і додатка Е із номінальним діаметром робочого колеса (подані суцільними лініями). Вихідні дані для задачі за варіантами наведені у таблиці А.5 додатка А.

### *Методика розв'язання задачі*

Мінімально можливий діаметр обточеного робочого колеса відцентрового насоса залежить від числового значення коефіцієнта швидкохідності, який визначається за такою формулою:

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – номінальна частота обертання робочого колеса, об/хв;

$Q$  – оптимальна подача насоса, м<sup>3</sup>/с (для насосів з двобічним підведенням води до робочого колеса необхідно обирати половинну подачу);

$H$  – оптимальний напір насоса, м.

Максимально можливий відсоток обточування робочого колеса визначають з огляду на умови:

$$\text{Якщо } n_s < 120, \text{ то } \frac{D - D_{\text{обт}}}{D} 100 \leq 15 \div 20 \%$$

$$\text{Якщо } 120 < n_s < 200, \text{ то } \frac{D - D_{\text{обт}}}{D} 100 \leq 11 \div 15 \%$$

$$\text{Якщо } 200 < n_s < 300, \text{ то } \frac{D - D_{\text{обт}}}{D} 100 \leq 7 \div 11 \%$$

На характеристиках  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  насоса задаються низкою точок (достатньо 4–6 штук) і з координатами  $(Q_i; H_i)$  і  $(Q_i; N_i)$ .

Використовуючи формули перерахунку (подібності), розраховують координати точок характеристик  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  насоса для обточеного діаметра робочого колеса:

$$\frac{Q_{\text{обт}}}{Q} = \frac{D_{\text{обт}}}{D} \rightarrow Q_{\text{обт}} = Q \frac{D_{\text{обт}}}{D}, \quad (5.2)$$

$$\frac{H_{\text{обт}}}{H} = \left(\frac{D_{\text{обт}}}{D}\right)^2 \rightarrow H_{\text{обт}} = H \left(\frac{D_{\text{обт}}}{D}\right)^2, \quad (5.3)$$

$$\frac{N_{\text{обт}}}{N} = \left(\frac{D_{\text{обт}}}{D}\right)^3 \rightarrow N_{\text{обт}} = N \left(\frac{D_{\text{обт}}}{D}\right)^3. \quad (5.4)$$

Отримані точки наносяться в масштабі на поле координат і з'єднуються плавними кривими, які відповідають характеристикам  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  за максимально обточеного діаметра робочого колеса.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. За даними характеристик насоса, поданих у додатку Е, розраховуємо значення коефіцієнта швидкохідності  $n_s$ . Необхідно зазначити, що всі подані у додатку Е насоси належать до насосів з двобічним підведенням води до робочого колеса (тип Д). Оптимальна подача і напір насоса відповідають максимальному ККД.

2. За отриманим значенням коефіцієнта швидкохідності  $n_s$  визначаємо максимальний відсоток обточування робочого колеса і мінімально можливий діаметр колеса  $D_{\text{обт}}$ .

3. Будуємо поле координат і переводимо характеристики  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  насоса з додатка Е на своє поле в масштабі.

4. На номінальній характеристиці  $(Q - H)$  задаємося низкою (4–6 штук) довільних точок із координатами 1  $(Q_1; H_1)$ ; 2  $(Q_2; H_2)$  ... і  $(Q_i; H_i)$ .

5. За формулами перерахунку визначаємо координати  $Q$  і  $H$  точок 1', 2' ... і' характеристики  $(Q - H)_{\text{обт}}$  із мінімально можливим діаметром робочого колеса. З'єднуємо ці точки плавною кривою.

6. На номінальній характеристиці  $(Q - N)$  насоса задаємося також низкою точок із відповідними координатами  $Q$  і  $N$ .

7. За формулами перерахунку знаходимо координати  $Q'$  і  $N'$  точок характеристики  $(Q - N)_{\text{обт}}$ . Наносимо ці точки на поле координат і з'єднуємо їх плавною кривою.

Приклад розв'язання задачі

Визначити мінімально можливий діаметр робочого колеса для насоса Д160-112 і побудувати характеристики  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  за цього діаметра. Характеристики насоса обирати за даними додатка Е з номінальним діаметром робочого колеса  $D_{\text{ном}} = 286$  мм (рис. 5.1).

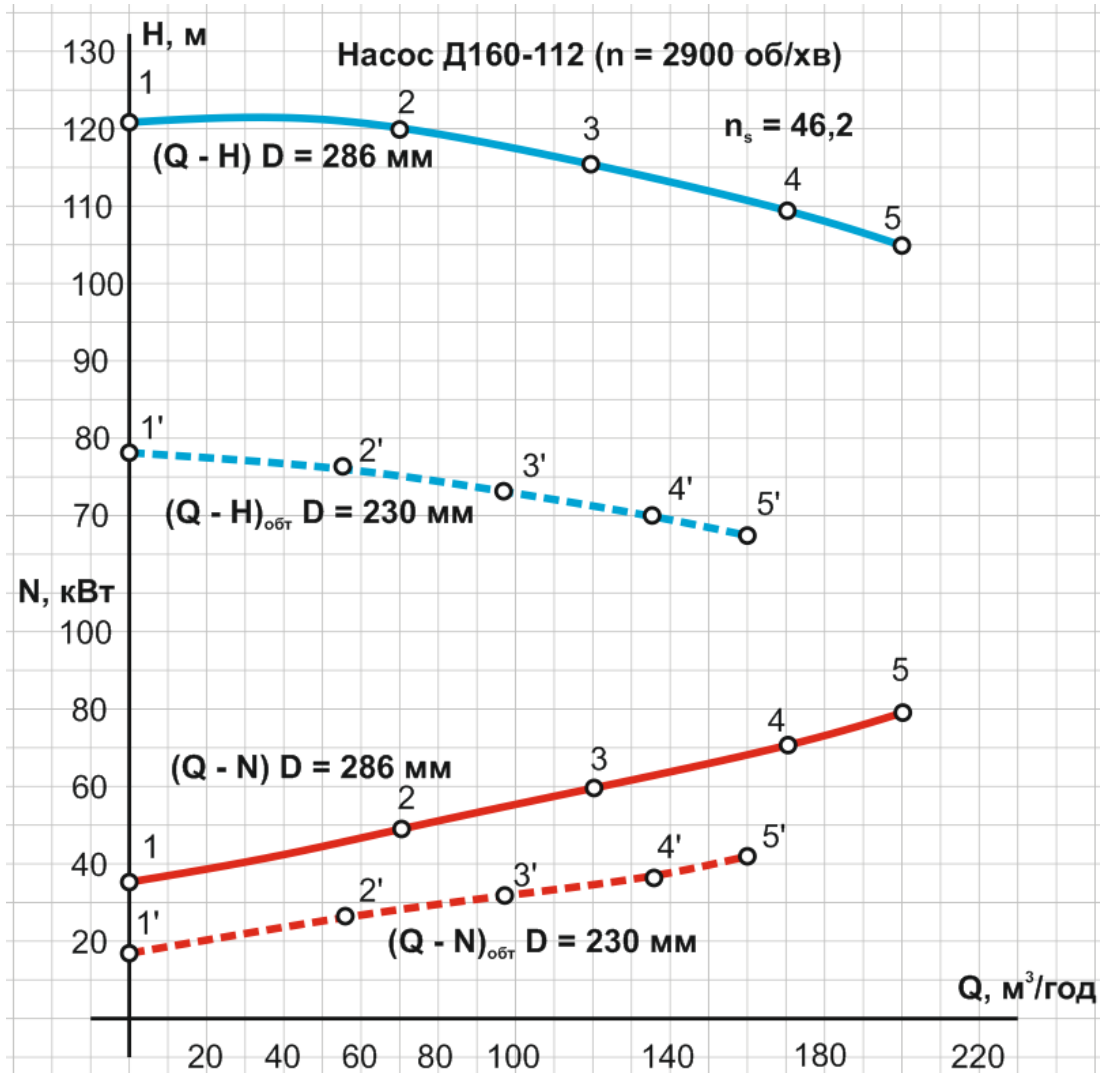


Рисунок 5.1 – Побудова характеристик  $(Q - H)$  і  $(Q - N)$  насоса Д160-112 з максимально обточеним робочим колесом

Розраховуємо значення коефіцієнта швидкохідності  $n_s$  для насоса Д160-112 ( $D_{\text{ном}} = 286$  мм,  $n_{\text{ном}} = 2900$  об/хв):

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} = 3,65 \frac{2900 \sqrt{\frac{160}{2 \cdot 3600}}}{\sqrt[4]{112^3}} = 46,2.$$

Визначимо максимально можливий відсоток обточування:

$$n_s = 46,2 < 120; \quad \frac{D - D_{\text{обт}}}{D} 100 \leq 15 \div 20 \%.$$

Обираємо відсоток обточування 20 %, тоді діаметр обточеного робочого колеса визначається за такою формулою:

$$D_{\text{обт}} = 286 - \frac{286 \cdot 20 \%}{100 \%} = 228,8 = 230 \text{ мм.}$$

Побудуємо поле координат і перенесемо характеристики (Q – H) і (Q – N) насоса з додатка Е на своє поле в масштабі (рис. 5.1). Номінальні характеристики показані суцільними лініями (Q–H) блакитним кольором, (Q–N) – червоним.

На номінальній характеристиці (Q – H) задаємося 5-ма довільними точками з координатами 1 (Q<sub>1</sub>; H<sub>1</sub>); 2 (Q<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>); 3 (Q<sub>3</sub>; H<sub>3</sub>); 4 (Q<sub>4</sub>; H<sub>4</sub>); 5 (Q<sub>5</sub>; H<sub>5</sub>).

За формулами перерахунку визначаємо координати Q і H точок 1', 2'... і' характеристики (Q – H)<sub>обт</sub> із мінімально можливим діаметром робочого колеса. З'єднуємо ці точки плавною кривою (пунктирна блакитна крива на рис. 5.1).

На номінальній характеристиці (Q–N) насоса задаємося також низкою точок із відповідними координатами Q і N.

За формулами перерахунку знаходимо координати Q' і N' точок характеристики (Q – N)<sub>обт</sub>. Наносимо ці точки на поле координат і з'єднуємо їх плавною кривою (пунктирна червона крива показана на рис. 5.1).

Результати розрахунку координат точок нових характеристик (Q – H) і (Q – N) насоса подаємо у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Координати точок характеристик (Q – H) і (Q – N) насоса у разі обточування

Точки	1	2	3	4	5
Q, м <sup>3</sup> /год	0	70	120	170	200
H, м	121	120	115	110	105
N, кВт	35	50	60	70	80
Точки	1'	2'	3'	4'	5'
Q <sub>обт</sub> , м <sup>3</sup> /ГОД	0	56	97	137	161
H <sub>обт</sub> , м	78	77	74	71	68
N <sub>обт</sub> , кВт	18	26	31	36	42

## Практичне заняття № 6 Паралельна робота відцентрових насосів

Два різних відцентрових насоса, характеристики Q – H яких подані у таблицях, паралельно по двом водоводам (A<sub>0</sub><sup>вод1</sup>) та (A<sub>0</sub><sup>вод2</sup>) подають воду на висоту H<sub>см</sub>, м (рис. 6.1). Рівні у всмоктувальному і напірному баках є постійними. Довжина водоводів L, м.

Проаналізувати режим роботи системи (визначити координати робочої точки, подачу і напір кожного з насосів, подачу за кожним із водоводів). Питомі опори водоводів подані для витрат у м<sup>3</sup>/год. Значення корекційного коефіцієнта швидкості k можна обрати рівним одиниці. Вихідні дані для

розв'язання задачі обирати згідно з даними таблиці А.6 додатка А і даними додатка Ж.

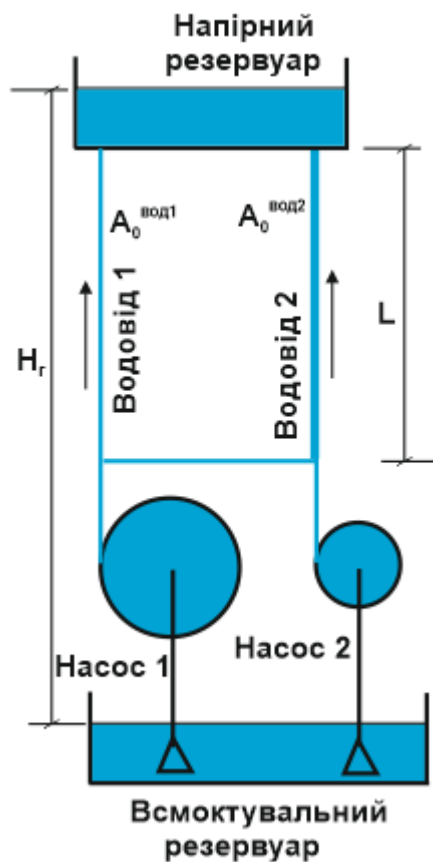


Рисунок 6.1 – Схема паралельного увімкнення двох різнотипних насосів із двома водоводами різного діаметра

#### Методика розв'язання задачі

На єдине поле координат у масштабі наносять вихідні характеристики  $(Q - H)$  насосів і будують спільну характеристику їхньої паралельної роботи. Необхідно зазначити, що насоси можуть працювати паралельно тільки за умови, що створювані ними напори будуть рівними.

Принцип побудови характеристики спільної паралельної роботи насосів розглянуто на відповідному лекційному занятті. Він полягає в тому, що за однакових напорів підсумовують подачі насосів і отримують точки характеристики спільної паралельної роботи. Для цього на поле координат у довільний спосіб наносять декілька (зазвичай 4–6 штук) ліній, паралельних осі абсцис (подання), тобто так званих ліній рівних напорів. Точки перетину цих ліній із характеристиками насосів дадуть відповідні значення подач, які потім і підсумовують.

Після цього будують графічні характеристики кожного з водоводів за такими рівняннями:

$$H = H_r + SQ^2, \quad (6.1)$$

$$S = A_0 k L, \quad (6.2)$$

де  $H_r$  – геометрична висота підйому води, м, визначається як різниця рівнів у напірному і всмоктувальному резервуарах;

$S$  – гідравлічний опір трубопроводної системи;

$A_0$  – питомий опір трубопровода;

$k$  – корекційний коефіцієнт, який враховує неквадратичність залежності (для умов цієї задачі можна обрати  $k = 1$ );

$L$  – довжина трубопровода, м.

Підставляючи у це рівняння довільні значення  $Q$  отримують відповідні значення  $H$  і точки з координатами  $(Q_i; H_i)$  наносять на поле координат. Потім їх з'єднують плавними кривими параболічного вигляду. Ці криві і є графічними характеристиками трубопроводів.

Побудова спільної паралельної роботи трубопровідної системи базується на тому ж принципі, що і робота насосів. Тобто за однакових напорів підсумовуються подачі. Сумарну характеристику паралельної роботи водоводів також наносять на єдине поле координат.

Точки перетинання характеристик насосів із характеристиками трубопроводів називаються робочими точками системи, які і дають можливість визначити подачу і напір кожного з елементів (насоса або водовода) під час їхньої спільної роботи.

Крім того, спільна графічна характеристика насосів і водоводів дозволяє спрогнозувати режим роботи системи у випадку аварійних або нештатних ситуацій (у разі виходу з ладу одного або декількох елементів) і визначити подачу і напір, що буде подаватись споживачу.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. На поле координат наносимо характеристики  $(Q - H)_{1,2}$  кожного з насосів у масштабі згідно з вихідними даними.

2. Будуємо характеристику сумісної паралельної роботи двох насосів  $(Q - H)_{1+2}$  шляхом додавання витрат за однакових напорів. Ліній рівних напорів достатньо обирати 4–6 штук. Зазначимо, що насоси різнотипні, тому зверніть увагу на положення першої точки сумісної характеристики (точка Б).

3. За рівнянням характеристики трубопроводу будуємо характеристики 1 і 2 водоводів  $SQ^2_1$  і  $SQ^2_2$ . Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавними параболою. Зазначимо, що під час побудови характеристик водоводів збільшуємо  $Q$  тільки до перетинання параболою з характеристикою  $(Q - H)_{1+2}$ . Подальше збільшення  $Q$  безглузде.

4. Будуємо характеристику спільної паралельної роботи двох трубопроводів  $SQ^2_{1+2}$ .

5. У результаті отримуємо робочі точки системи і описуємо, яку витрату і під яким напором пропускає система, і які витрати і напір при цьому забезпечить кожен працюючий елемент системи (насос або трубопровід) окремо.

#### *Приклад розв'язання задачі*

Як вихідні дані маємо характеристики двох різнотипних відцентрових насосів  $(Q-H)_1$  і  $(Q-H)_2$ , нанесені у масштабі на єдине поле координат (зелена і синя криві на рис. 6.2).

Також у системі працює два водоводи різного діаметра, з'єднані паралельно, як показано на рисунку 6.1. Питомі опори водоводів складають: водовод № 1 ( $A_0 = 0,004\ 46 \times 10^{-6}$ ), водовод № 2 ( $A_0 = 0,000\ 847 \times 10^{-6}$ ). Геометрична висота підйому (статичний напір системи) становить 1,7 м. Необхідно визначити подачу і напір, що забезпечує ця система, а також подачу і напір кожного з елементів (насоса або трубопроводу) у разі їхньої паралельної спільної роботи.

Будуємо характеристику спільної паралельної роботи двох насосів  $(Q - H)_{1+2}$ . Ліній рівних напорів достатньо обираємо 6 штук і проводимо їх у довільний спосіб. Оскільки насоси є різнотипними, то працювати у паралельному режимі вони зможуть, якщо коли їхні напори зрівняються. Цьому відповідає точка Б ( $H = 46$  м). Саме з цієї точки і починається побудова характеристики сумісної роботи насосів.

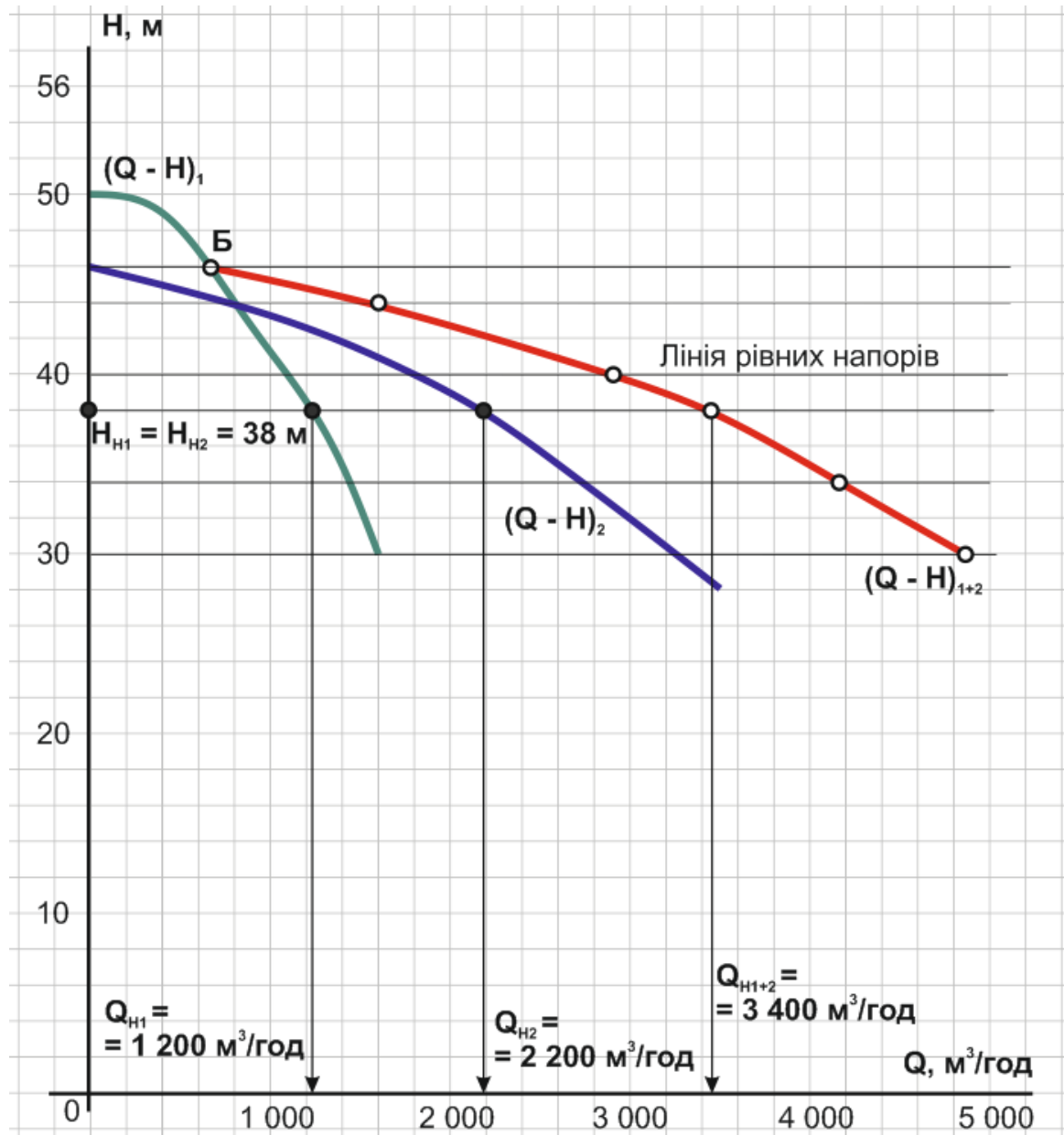


Рисунок 6.2 – Побудова спільної паралельної роботи двох різнотипних насосів

За кожного значення напору підсумовуємо подачі насосів і отримані точки наносимо на графік. Як видно з рисунка 6.2, з напором у 38 м насос № 1 розвиває подачу, що дорівнює 1 200  $\text{m}^3/\text{год}$ , а насос № 2 – 2 200  $\text{m}^3/\text{год}$ . Сумарна подача насосів із напором у 38 м становить 3 400  $\text{m}^3/\text{год}$ . Таким же чином отримують інші точки спільної характеристики.

За рівнянням будемо графічні характеристики водоводів шляхом підстановки довільних значень  $Q$  і отримання відповідних значень  $H$ . Результати розрахунків оформлюємо у вигляді таблиць 6.1 і 6.2.

$$H = H_{\text{ст}} + SQ^2,$$

де  $H_{\text{ст}}$  – статичний напір системи, м;

$S$  – коефіцієнт опору трубопровідної системи ( $k = 1$ ).

$$S = A_0 k L.$$

Таблиця 6.1 – Координати характеристики водоводу № 1

Точки	1	2	3	4	5
$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	0	600	1 000	1 400	1 600
$H, \text{ м}$	17,5	21,5	28,7	40	46

Таблиця 6.2 – Координати характеристики водоводу № 2

Точки	1	2	3	4	5
$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	0	1 000	2 000	3 000	4 000
$H, \text{ м}$	17,5	19,6	26,5	36,5	51,4

Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавними параболою (рис. 6.3): водовід № 1 фіолетова крива  $SQ^2_1$ , водовід № 2 – сіра крива  $SQ^2_2$ .

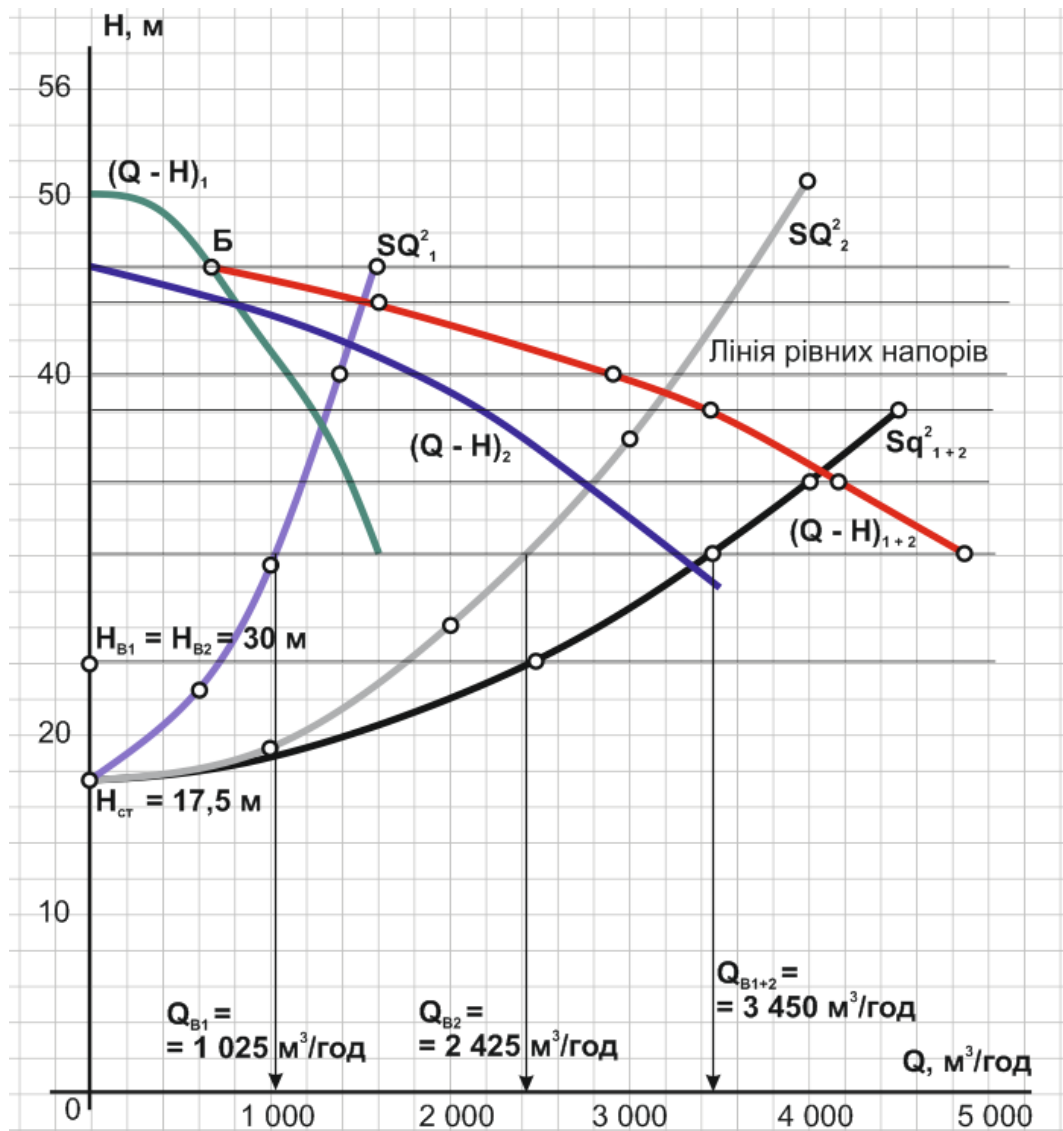


Рисунок 6.3 – Побудова спільної характеристики паралельної роботи двох різнотипних водоводів

Проводимо побудову графічної характеристики спільної паралельної роботи двох водоводів аналогічно принципу побудови спільної характеристики насосів: за однакових напорів підсумовуємо подачі. Для цього можна скористатись тими ж лініями рівних напорів, що і під час побудови характеристики насосів. Наприклад, із напором 26 м водовід № 1 пропускає  $1\,025\text{ м}^3/\text{год}$  води, а водовід № 2 –  $2\,425\text{ м}^3/\text{год}$ . Спільно обидва водоводи у разі напору 26 м пропустять  $3\,450\text{ м}^3/\text{год}$  (рис. 6.3). Таким чином отримуємо криву  $SQ^2_{1+2}$  (показана чорним кольором на рис. 6.3), яка є сумарною графічною характеристикою двох трубопроводів різного діаметра, з'єднаних паралельно.

Проведемо аналіз роботи цієї системи (рис. 6.4). Як видно з рисунка, робочою точкою системи є точка А, тобто точка перетинання сумісної характеристики насосів із сумісною характеристикою водоводів. Це означає, що, працюючи в такому режимі, система забезпечить пропуск  $4\,100\text{ м}^3/\text{год}$  води

з напором 34,5 м. Зазначені параметри отримані шляхом опускання перпендикулярів із точки А на осі Q і Н.

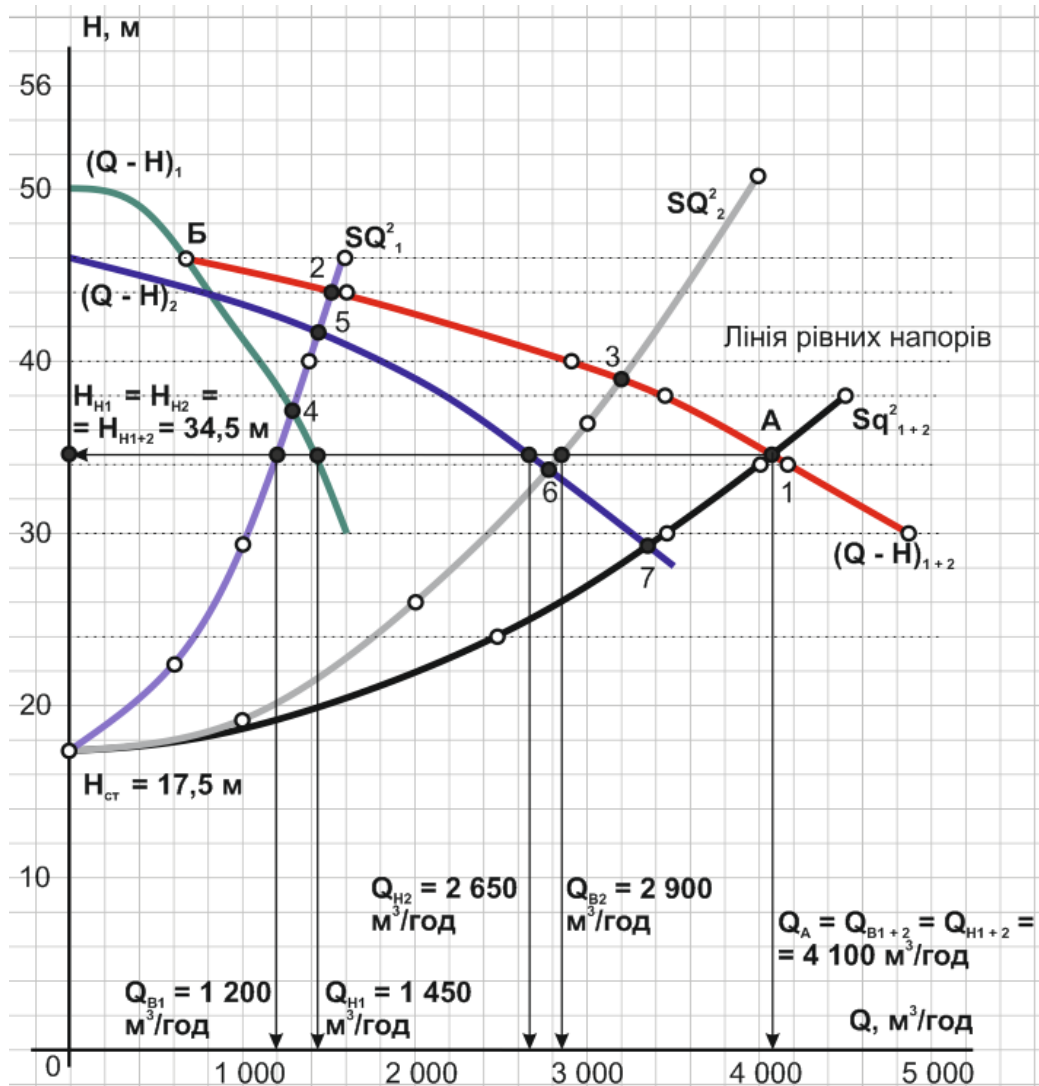


Рисунок 6.4 – Аналіз спільної роботи двох різнотипних насосів і двох водоводів різного діаметра, увімкнених паралельно

Перпендикуляр, опущений із точки А на вісь Н по суті є лінією рівних напорів. Він перетинає характеристики обох насосів і обох водоводів у певних точках (рис. 6.4). Опускаючи з цих точок перпендикуляри на вісь витрат, визначаємо подачу кожного з насосів і витрату за кожним із водоводів. Як видно з рисунка, насос № 1 забезпечує подачу 1 450 м<sup>3</sup>/год, а насос № 2 – 2 650 м<sup>3</sup>/год. При цьому водоводом № 1 проходить 1 200 м<sup>3</sup>/год, а водоводом № 2 – 2 900 м<sup>3</sup>/год, і виконується умова:  $Q_{H1} + Q_{H2} = Q_{B1} + Q_{B2} = Q_{B1+2} = Q_{H1+2} = Q_A = 4100$  м<sup>3</sup>/год.

Аналогічним чином можна проаналізувати й інші робочі точки цієї системи (точки 2, 3, 4, 5, 6 і 7), що характеризують цю систему під час роботи у різних режимах. Наприклад, точка 3 покаже, як поведе себе система у разі виходу з ладу (аварії) водоводу № 1 (рис. 6.4). Напір системи збільшиться до

39-ти метрів, а подача зменшиться до 3 200 м<sup>3</sup>/год. Насос № 1 буде подавати 2 000 м<sup>3</sup>/год, а насос № 2 – 1 200 м<sup>3</sup>/год.

### Практичне заняття № 7 Послідовна робота відцентрових насосів

Два відцентрові насоси, характеристики  $Q - H$  яких подані у таблицях додатка И, з'єднані послідовно і подають воду на висоту  $H_z$ , м водоводом ( $A_0^{вод}$ ). Довжина водоводу  $L$ , м (рис. 7.1). Рівні у всмоктувальному і напірному баках є постійними. Проаналізувати можливі режими роботи системи (визначити подачу і напір кожного з насосів, подачу і напір системи у разі вимкнення одного з елементів). Питомі опори водоводів подані для витрат у м<sup>3</sup>/год. Значення корекційного коефіцієнта на неквадратичність швидкості можна обрати рівним одиниці. Вихідні дані для розв'язання задачі обирати за варіантами згідно з даними таблиці А.7 додатка А.

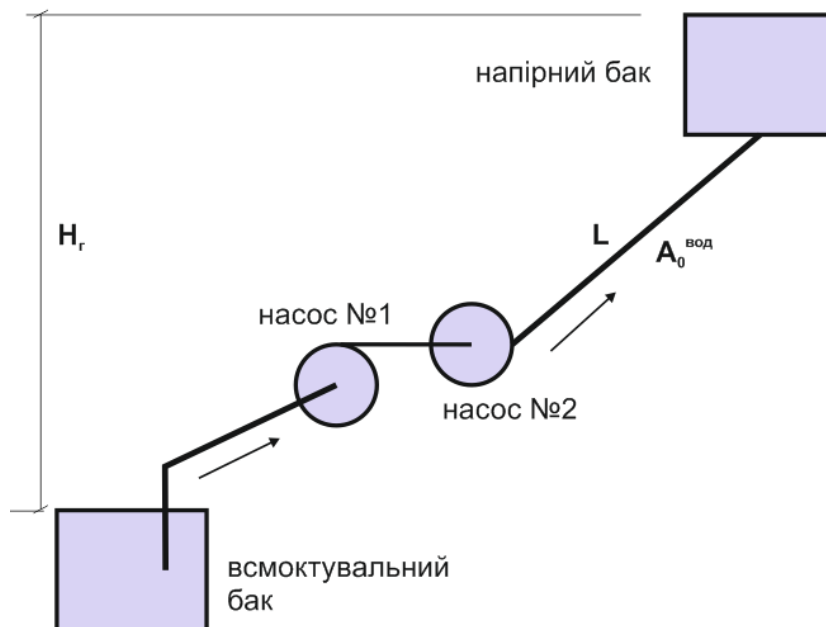


Рисунок 7.1 – Схема послідовного ввімкнення двох насосів

#### *Методика розв'язання задачі*

Принцип побудови характеристики спільної роботи насосів у разі їхнього послідовного ввімкнення також було розглянуто під час лекційних занять. Суть побудови полягає у підсумовуванні напорів кожного з насосів за однакових витрат. Тобто обидва насоси пропускають однакову витрату, а їхні напори підсумовуються. Така схема увімкнення використовується, наприклад, у підвищувальних установках систем водопостачання. Необхідно зазначити, що під час організації такої схеми увімкнення насосів необхідно перевірити у фірми-виробника технічну спроможність роботи насоса № 2 із підпором, що створює насос № 1.

Для побудови спільної характеристики послідовного увімкнення насосів також проводять на єдиному полі координат  $Q - H$ , де показані графічні характеристики  $(Q - H)$  обох насосів, декілька допоміжних ліній. Ці лінії проводять у довільний спосіб, вони паралельні осі напорів і мають назву ліній рівних витрат. Лінії рівних витрат перетинають графічні характеристики  $(Q - H)$  насосів у точках, які показують напір кожного з насосів за заданої витрати. Ці напори підсумовуються і отримують загальний напір насосної установки. Зазвичай достатньо провести 4–6 ліній рівних витрат для побудови спільної характеристики з задовільною для інженерних розрахунків точністю.

Якщо насоси є однотипними, то в такому випадку їхні напори подвоюються.

Принцип побудови графічної характеристики напірного водоводу аналогічний розглянутому на попередньому занятті. Вона будується за таким рівнянням:

$$H = H_r + SQ^2, \quad (7.1)$$

$$S = A_0 kL. \quad (7.2)$$

У це рівняння підставляють довільні значення  $Q$ , отримують відповідні значення  $H$ , а точки з координатами  $(Q_i; H_i)$  наносять на поле координат. Потім їх з'єднують плавною кривою параболічного вигляду. Ця крива і є графічною характеристикою спільного напірного водоводу.

Робочі точки системи (точки перетинання характеристики водоводу з характеристиками насосів) дають можливість визначити подачу і напір кожного з елементів (насоса або водоводу) у разі їхньої спільної роботи, а також провести аналіз можливих режимів роботи системи у разі нештатних або аварійних ситуацій.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. На поле координат наносимо характеристики  $(Q - H)_{1,2}$  кожного з насосів у масштабі, згідно з вихідними даними.
2. Будуємо характеристику спільної послідовної роботи двох насосів  $(Q - H)_{1+2}$  шляхом додавання напорів у разі однакових витрат.
3. Будуємо характеристику водоводу  $SQ^2_1$  шляхом підстановки у рівняння довільних значень  $Q$  і отримання відповідних значень  $H$ . Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавною параболою.
4. У результаті отримаємо робочу точку системи  $A$  (точку перетинання характеристики  $(Q - H)_{1+2}$  насосів із характеристикою  $SQ^2_1$  трубопроводу).
5. Описуємо цю робочу точку, тобто визначаємо, яку витрату і під яким напором пропускає система, і які витрати і напір при цьому забезпечить кожен працюючий елемент системи (насос або трубопровід) окремо.

#### *Приклад розв'язання задачі*

Як вихідні дані маємо характеристики  $(Q - H)_{1,2}$  двох різнотипних відцентрових насосів, нанесених на єдине поле координат. Насоси з'єднані, як

показано на рисунку 7.1. Геометрична висота підйому насосної установки складає 15 м. Питомий опір напірного водоводу становить  $A_0 = 0,0225 \times 10^{-6}$  (для витрат у м<sup>3</sup>/год), його довжина – 1 500 м. Необхідно визначити координати робочої точки і проаналізувати можливі режими роботи системи.

Будуємо характеристику спільної послідовної роботи двох насосів  $(Q - H)_{1+2}$  шляхом додавання напорів за однакових витрат (рис. 7.2). Для цього у довільному порядку проводимо 5 ліній рівних витрат (вертикальних ліній, паралельних осі напорів). Точки перетинання цих ліній із характеристиками  $(Q-H)_{1,2}$  насосів покажуть їхні створювані напори за цих витрат.

Як видно з рисунка 7.2, наприклад, у разі витрати 1 500 м<sup>3</sup>/год насос № 1 (блакитна лінія) створює напір 107 м, а насос № 2 (зелена лінія) – 20 м. Тому загальний напір насосної установки складає 127 м.

Таким же чином отримуємо координати інших точок спільної характеристики. Точки з'єднуємо плавною кривою, яка є характеристикою спільної роботи двох різнотипних насосів у разі їхнього послідовного ввімкнення (червона лінія на рис. 7.2).

Точки характеристики отримуємо шляхом підстановки в рівняння довільних значень  $Q$  і отримання відповідних їм значень  $H$ . Коефіцієнт  $k$ , що враховує неквадратичність залежності в цій задачі можна обирати рівним одиниці.

Результати розрахунку оформлюємо у вигляді таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок координат характеристики напірного водоводу

Точки	1	2	3	4	5	6
$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	0	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800
$H, \text{ м}$	15	48,8	63,6	81,5	101,4	124,3

Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо їх плавною параболою (лінія чорного кольору на рис. 7.3).

Будуємо характеристику водоводу  $SQ^2_1$  за рівнянням:

$$H = H_r + SQ^2,$$

$$S = A_0 kL.$$

У результаті маємо три робочі точки системи, які характеризують можливі режими роботи: два насоси з водоводом (точка А); насос № 1 із водоводом (точка 2); насос № 2 із водоводом (точка 3).

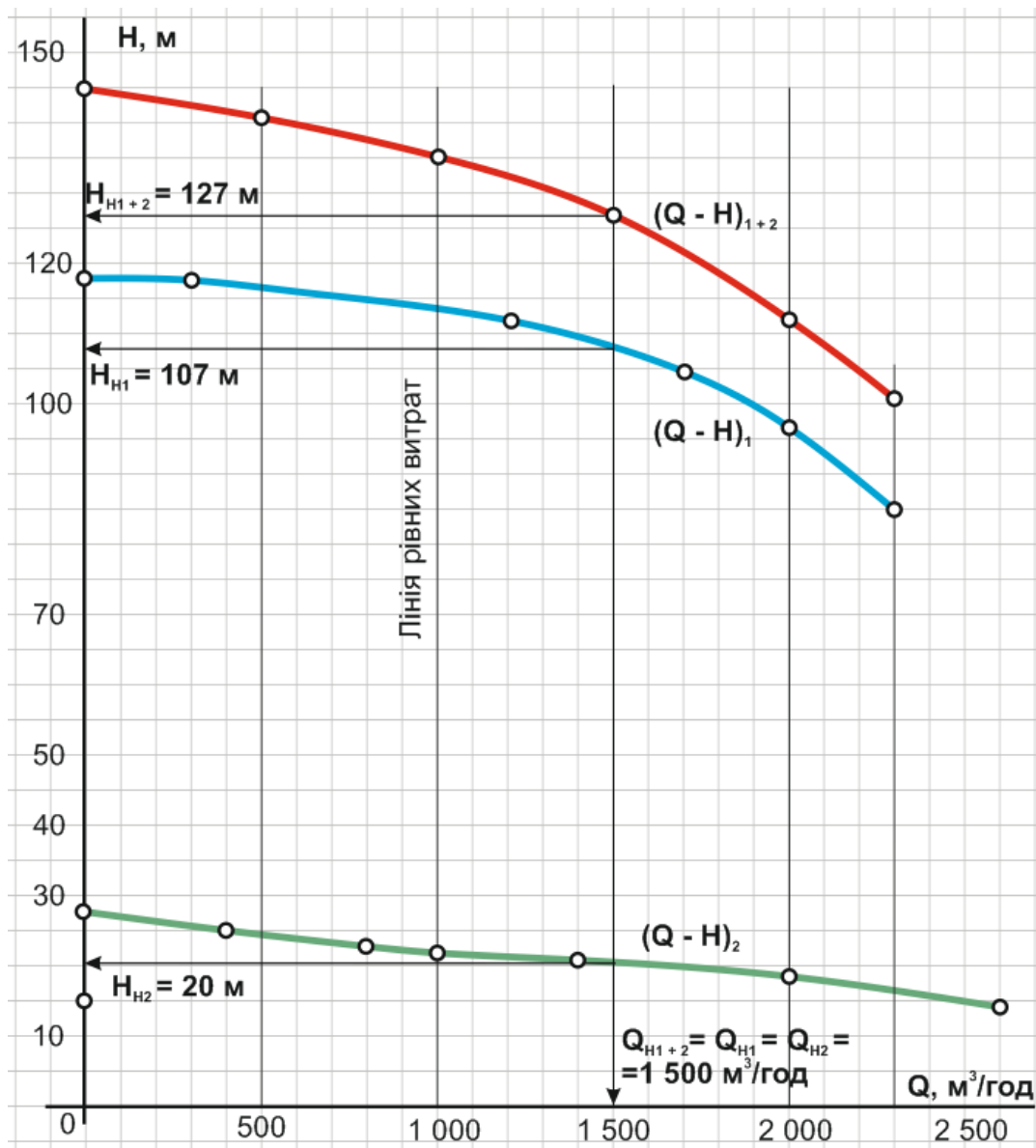


Рисунок 7.2 – Побудова характеристики спільної послідовної роботи двох різнотипних насосів

З рисунка видно, що за такого ввімкнення ця схема забезпечить подачу споживачеві  $1\,780\, m^3/год$  води, створюючи напір у  $120\, м$  (координати точки А). Перпендикуляр, опущений із точки А на вісь витрат дає можливість визначити, який напір створює кожен із насосів: насос № 1 –  $103\, м$ , насос № 2 –  $17\, м$  (рис. 7.3). При цьому виконуються умови:  $Q_{H1} = Q_{H2} = Q_{B1} = Q_{H1+2} = 1\,780\, m^3/год$ ;  $H_{H1+2} = H_{H1} + H_{H2} = 103 + 17 = 120\, м$ .

Також за допомогою побудови можна спрогнозувати режим роботи системи під час аварійної ситуації. Наприклад, у випадку вимкнення насоса № 2 (робоча точка 2) споживачеві надходить  $1\,650\, m^3/год$  води з напором  $105\, м$ .

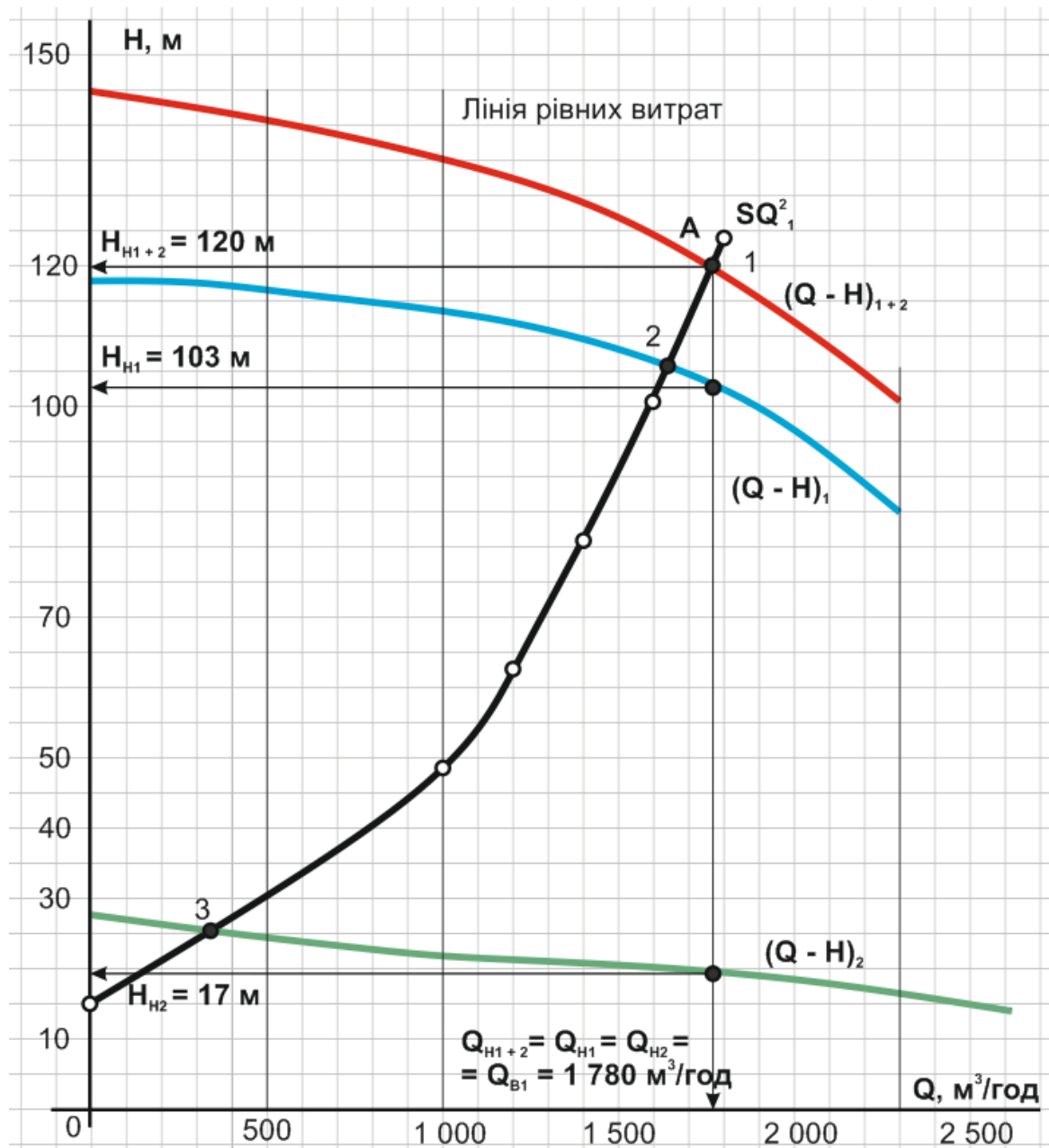


Рисунок 7.3 – Спільна робота системи з двома різнотипними відцентровими насосами і напірним водоводом за послідовної схеми ввімкнення

### Практичне заняття № 8 Вибір насосів

Для умов  $Q_{н.с.}$ ,  $m^3/доб$  і  $H_{н.с.}$ ,  $m$ , вибрати основні насосні агрегати (робочі і резервні) горизонтального типу для водопровідної насосної станції I підйому у разі подання води на очисні споруди. Необхідно проаналізувати декілька варіантів. Вихідні дані за варіантами подані в додатку А (табл. А.8).

### Методика розв'язання задачі

Вибір типу і марки насоса для конкретних умов здійснюється за головними параметрами насосної установки, а саме, за потрібного обсягу води, що подається споживачеві,  $Q_{НС}$ , м<sup>3</sup>/год і за необхідного напору,  $H_{НС}$ , м. Насосні станції I підйому під час подання води на очисні споруди зазвичай передбачають рівномірний протягом доби режим роботи, і їхня подача у більшості випадків досягає суттєвих величин. Це зумовлює ввімкнення насосів за паралельною схемою. При цьому подача одного насоса  $Q_H$  дорівнює відношенню загальної потрібної витрати станції  $Q_{НС}$  і кількості робочих агрегатів  $n_{рн}$ :

$$Q_H = \frac{Q_{НС}}{n_{рн}}. \quad (8.1)$$

Мінімальна кількість робочих і резервних агрегатів на станції залежить від обраної категорії надійності. Відповідно до ДБН В 2.5–74:2013 Водопостачання, зовнішні мережі і споруди, I категорія надійності дії станції передбачає щонайменше два насосні агрегати кожної групи, на II і III категорії допускається використання одного робочого агрегата. Із загальною кількістю насосів на станції до 6, для I категорії надійності обирають не менше двох резервних насосів, для II і III категорій достатньо використання одного резервного насоса.

Вибір насосів проводять за каталогами заводів-виробників за значеннями потрібної продуктивності насоса  $Q_H$ , м<sup>3</sup>/год, і необхідного напору  $H_{НС}$ , м, за відомою кількістю робочих агрегатів  $n_{рн}$ .

На першому етапі вибору звертаються до зведених графіків робочих полів (зон) насосів або таблиць, у яких наведені значення  $Q$  та  $H$  насосів, що випускаються. Приклад зведених робочих полів насосів типу Д наведений у додатку К.

Робочі зони кожного типорозміру насосів, які випускаються промисловістю, подані у вигляді криволінійних паралелограмів. Верхня лінія кожного поля відповідає характеристиці насоса з найбільшим заводським діаметром робочого колеса, а нижня – з найменшим. Ліва і права лінії паралелограма відповідають робочій зоні (робочому інтервалу) насоса, тобто його найбільш оптимальному режиму роботи. Тому під час вибору насосів необхідно пам'ятати, що очікувана робоча точка повинна знаходитись у межах робочої зони (паралелограма).

Після визначення марки насоса, або декількох її можливих варіантів, звертаються до більш докладних характеристик, що подані у каталогах, довідковій літературі або додатку Е (насоси типу Д). Ці характеристики подаються у вигляді графіків залежності  $Q - H$ ,  $Q - N$ ,  $Q - \eta$ ,  $Q - \Delta h$ , що нанесені на єдине поле.

Перпендикуляр, проведений з рівня потрібної витрати насоса  $Q_H$ , м<sup>3</sup>/год, під час перетинання з іншими характеристиками надає робочі значення основних параметрів роботи насоса для цього режиму ( $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ,  $\Delta h$ ).

Напір підбраного насоса,  $H_H$ , м, із поданням  $Q_H$ , м<sup>3</sup>/год, повинен бути рівним необхідному розрахунковому напору  $H_{НС}$  або перевищувати його не більше, ніж на 10 %. Якщо ця умова не забезпечується, проводять обточування робочого колеса. Методика розрахунку обточування робочого колеса відцентрового насоса розглянута у задачі № 5.

Встановлену потужність насосів на станції визначаємо як суму потужностей всіх насосів (включно з резервними) на станції.

Після збору інформації про можливі варіанти складу насосного обладнання, проводять їхнє порівняння і вибір найкращого з них. Основними критеріями під час вибору оптимального варіанта є такі:

- загальна кількість насосів на станції має бути найменшою;
- насоси повинні працювати з максимальним ККД;
- встановлена потужність насосної станції має бути найменшою;
- немає необхідності додаткового регулювання роботи насоса (обточуванням робочого колеса або зміненням частоти обертання);
- якщо передбачається установка насоса з позитивною геометричною висотою всмоктування  $H_{г.у.}$  (для станцій II категорії надійності дії), то робоче значення кавітаційного запасу  $\Delta h$  має бути найменшим.

#### *Порядок розв'язання задачі*

1. Визначаємо можливі варіанти витрат робочих насосів на станції. Варто розглянути варіанти з 1, 2, 3, 4 і 5 робочими насосами (розглядати варіанти з більшою кількістю робочих насосів недоцільно). Також визначаємо необхідну кількість резервних насосів. Для зручності можна скласти таблицю.

2. Вибір насосів можна проводити за каталогами заводів-виробників, з відкритих джерел або за додатками Е і К.

3. На зведених графіках робочих полів точками позначаємо можливі варіанти складу основного насосного обладнання. Фіксуємо можливі варіанти насосів.

4. Проводимо докладний аналіз кожного варіанта. За визначеного режиму визначаємо числові значення робочих характеристик насосів (напір, потужність, ККД, кавітаційний запас, частоту обертання, діаметр робочого колеса). Визначаємо необхідність регулювання роботи насоса (обточування робочого колеса). За необхідності обточування розраховуємо коефіцієнт швидкості, необхідний відсоток обточування і обточений діаметр робочого колеса.

5. Для зручності всі параметри заносимо у таблицю.

6. Аналізуємо отримані варіанти за критеріями вибору і робимо обґрунтований висновок про кінцевий склад насосного обладнання (робочого і резервного) на станції.

#### *Приклад розв'язання задачі*

Для умов  $Q_{н.с.} = 86\,400$  м<sup>3</sup>/доб і  $H_{нс} = 50$  м вибрати основні насосні агрегати (робочі і резервні) горизонтального типу для водопровідної насосної

станції I підйому II категорії надійності дії у разі подання води на очисні споруди.

Визначаємо можливі варіанти витрат робочих насосів на станції. Оскільки маємо насосну станцію I підйому з подачею води на очисні споруди, то обираємо її рівномірний протягом доби режим роботи, тобто  $Q_{н.с.} = 86\,400 \text{ м}^3/\text{доб} = 3\,600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Мінімальну кількість робочих насосів обираємо 1, резервних насосів – 1. Насоси під'єднані по паралельній схемі. Варіанти робочих продуктивностей і напору насосів зведемо у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Варіанти продуктивності насоса

Кількість робочих насосів	Подача одного насоса, $Q_n, \text{ м}^3/\text{год}$	Напір, м
1	$Q_n = Q_{нс} = 3\,600 \text{ м}^3/\text{год}$	$H_{нс} = 50 \text{ м}$
2	$Q_n = \frac{Q_{нс}}{2} = 1\,800 \text{ м}^3/\text{год}$	
3	$Q_n = \frac{Q_{нс}}{3} = 1\,200 \text{ м}^3/\text{год}$	
4	$Q_n = \frac{Q_{нс}}{4} = 900 \text{ м}^3/\text{год}$	
5	$Q_n = \frac{Q_{нс}}{5} = 720 \text{ м}^3/\text{год}$	

На зведених графіках робочих полів (дод. К) проводимо лінії, паралельні осі витрат на рівні  $H_{нс} = 50 \text{ м}$  і лінії, паралельні осі напорів відповідно можливим витратам  $Q_n, \text{ м}^3/\text{год}$ , що відповідають роботі одного та паралельній роботі двох, трьох, чотирьох та п'яти насосів. Фіксуємо можливі варіанти насосів (рис. 8.1, а і 8.1, б).

Попередній аналіз зведених робочих полів показує, що:

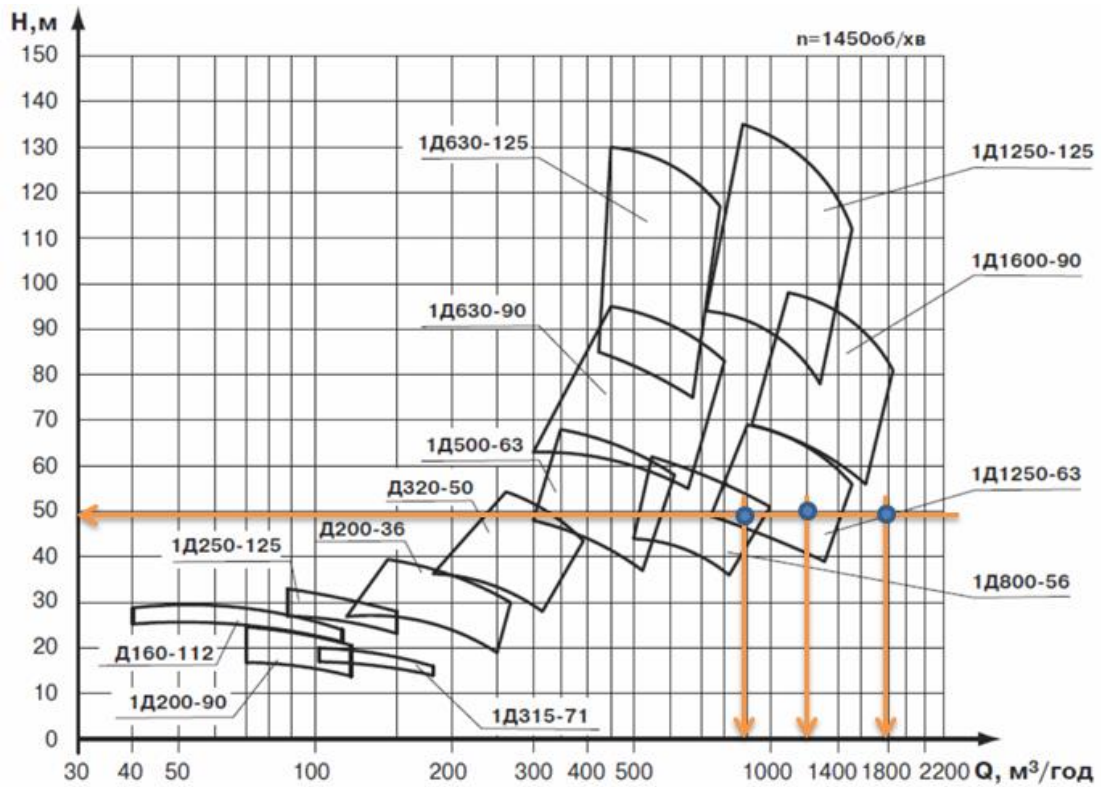
1. подача всієї витрати одним насосом ( $Q_n = 3\,600 \text{ м}^3/\text{год}$ ) насосів можлива (права точка на нижньому зведеному графіку) насосом Д6300-80-2 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 585 \text{ об/хв}$ ).

2. подача витрати двома насосами ( $Q_n = 1\,800 \text{ м}^3/\text{год}$ ) неможлива даними марками насосів, тому, що точки з координатами (1 800; 50) (крайня права на верхньому графіку і ліва на нижньому графіку) не потрапила в жодне робоче поле.

3. подача витрати трьома насосами ( $Q_n = 1\,200 \text{ м}^3/\text{год}$ ) можлива (друга справа точка верхнього графіка) насосами марки 1Д1250-63 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450 \text{ об/хв}$ ).

4. подача води чотирма насосами ( $Q_n = 900 \text{ м}^3/\text{год}$ ) також можлива (крайня ліва точка верхнього графіка, яка потрапила одразу у два робочі поля) насосами марки 1Д1250-63 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450 \text{ об/хв}$ ) або 1Д800-56 (з тією ж частотою обертання).

а



б

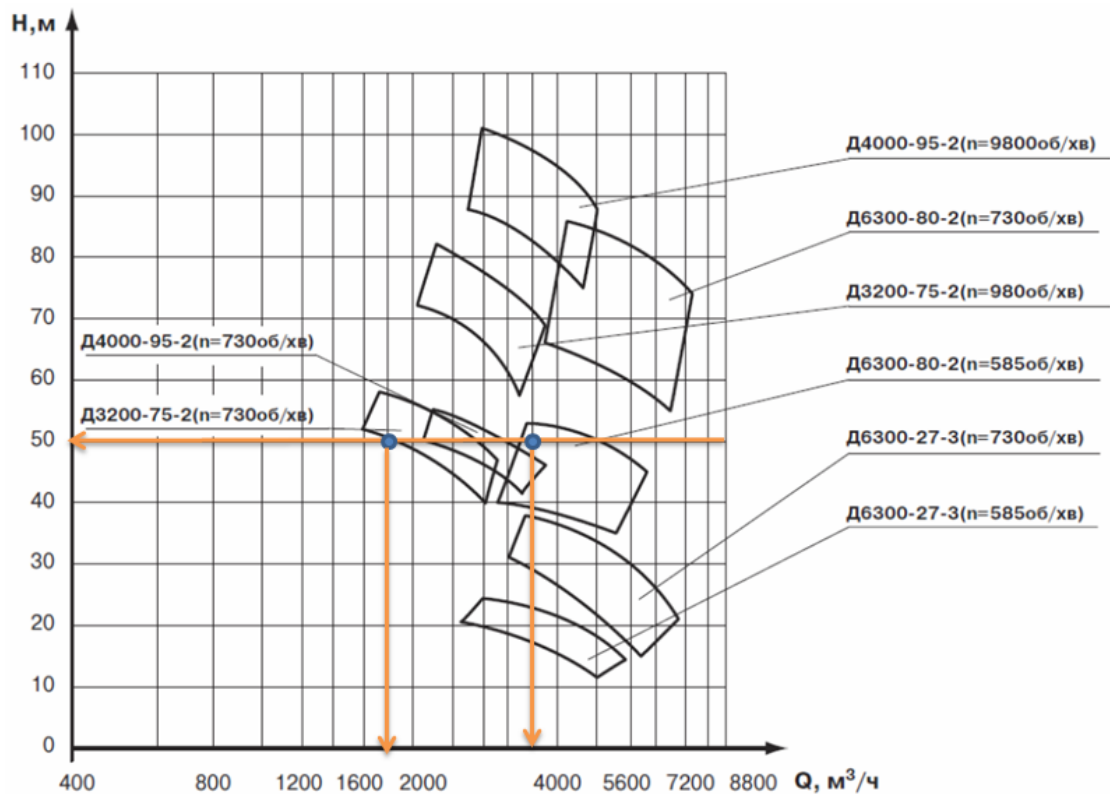


Рисунок 8.1 – Попередній вибір варіантів складу насосного обладнання

У зв'язку з цим маємо чотири варіанти складу робочих насосів на станції:  
 – 1 варіант – насосна станція в складі 1-го робочого насоса Д6300-80 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 585 \text{ об/хв}$ );

- 2 варіант – насосна станція у складі 3-х робочих насосів 1Д1250-63 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450$  об/хв);
- 3 варіант – насосна станція у складі 4-х робочих насосів 1Д1250-63 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450$  об/хв);
- 4 варіант – насосна станція в складі 4-х робочих насосів 1Д800-56 (з частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450$  об/хв).

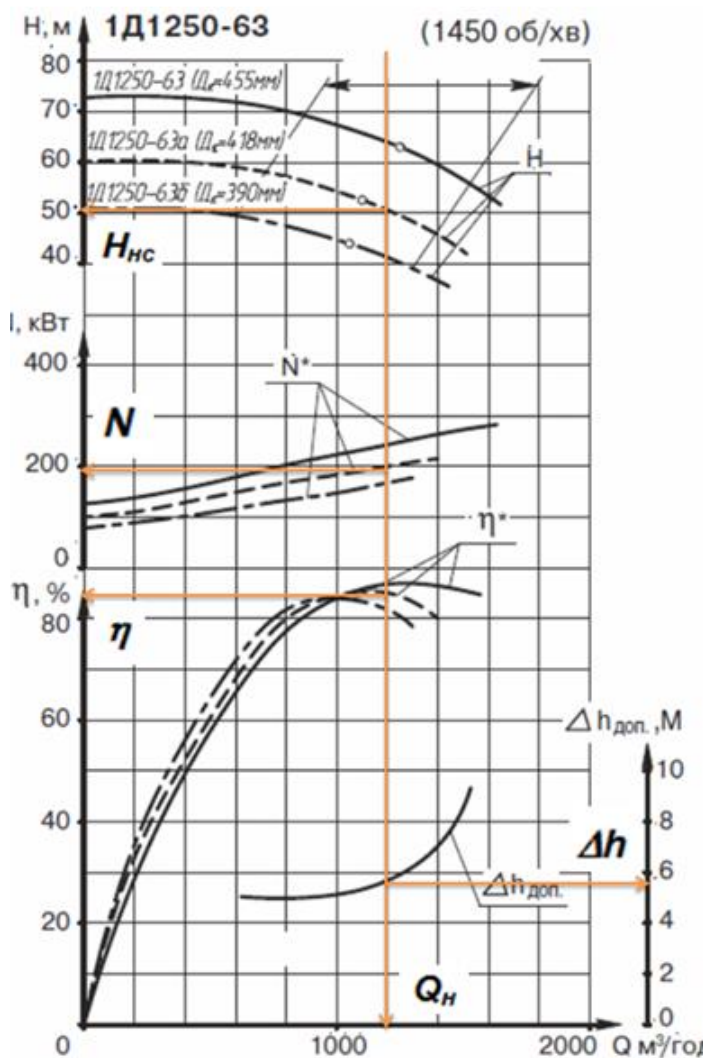


Рисунок 8.2 – Докладний аналіз робочих параметрів насоса 1Д1250-63

Проводимо докладний аналіз кожного із зазначених варіантів. Для цього скористаємось даними додатка Е. На полі робочих характеристик насоса проведемо перпендикуляр на рівні розрахункової продуктивності насоса. Його перехрещення з іншими характеристиками насоса дасть їхні робочі значення. За визначеного режиму визначаємо числові значення робочих характеристик насосів (напір, потужність, ККД, кавітаційний запас, частоту обертання, діаметр робочого колеса). Визначаємо необхідність регулювання роботи насоса (обточування робочого колеса).

На рисунку 8.2 показаний докладний розбір 2-го варіанта (три робочі і один резервний насоси марки 1Д1250-63 із частотою обертання робочого колеса  $n = 1\,450$  об/хв).

З даних аналізу рисунка 8.2 робимо висновок щодо основних робочих параметрів роботи насоса:

- продуктивність насоса –  $Q_H = 1\,200$  м<sup>3</sup>/год;
- напір насоса –  $H = 50$  м;
- ККД насоса –  $\eta = 85\%$ ;
- потужність на валу насоса  $N_1 = 200$  кВт;
- кавітаційний запас,  $\Delta h = 5,9$  м;
- частота обертання робочого колеса –  $n = 1\,450$  об/хв;
- діаметр робочого колеса насоса (маємо вже обточене робоче колесо, номінальний його діаметр 455 мм) –  $D_{p.k} = 418$  мм.

У такий же спосіб проводимо докладний аналіз й інших трьох вищезазначених варіантів.

Аналіз поданих у таблиці варіантів дозволяє зробити висновок, що для заданих умов найкращим буде варіант № 1, тобто насосна станція I підйому в складі двох насосів Д6300-80 (одного робочого і одного резервного). Вибір цього варіанта можна пояснити тим, що при цьому на станції буде встановлена найменша кількість насосів (комунікації станції будуть більш простими, а станція компактною), насоси не потребують додаткового регулювання (обточування робочого колеса), а кавітаційний запас є найменшим (це забезпечить найменше заглиблення станції). Для зручності і наочності оптимальні параметри роботи насоса показані в останньому стовпчику таблиці знаком «+».

Результати збору інформації за варіантами зведемо в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Вибір оптимального варіанта складу насосного обладнання

№ варіанта	Насос (марка)	Q <sub>н</sub> , м <sup>3</sup> /год	Кількість насосів		Напір, м		Номінальний D <sub>р.к</sub>	Коефіцієнт швидкохідності, n <sub>s</sub>	ККД, η, %	Потужність, N, кВт		Частота обертання, n, об/хв	D <sub>р.к.</sub> , мм	Δh, м	Найкращі критерії
			роб	рез.	необх.	фактич.				насоса	загальна				
1	Д6300-80	3 600	1	1	50	52	+	75	76	650	650	585	1 020	4,2	+++
2	1Д1250-63	1 200	3	1	50	50	-	99	85	200	600	1 450	418	5,9	++
3	1Д1250-63	900	4	1	50	57	-	99	82	190	760	1 450	418	5,0	
4	1Д800-56	900	4	1	50	53	+	86	83	150	600	1 450	430	7,0	++

ДОДАТКИ  
ДОДАТОК А

Вихідні дані для завдань

Таблиця А.1 – Вихідні дані для практичного заняття № 1

Варіант	Q, м <sup>3</sup> /год	P <sub>1</sub> , МПа	P <sub>2</sub> , МПа	a, м	b, м	d <sub>всм</sub> , мм	d <sub>нап</sub> , мм
1	400	0,36	0,05	5	-1	350	300
2	200	0,5	0,05	2	-2	250	200
3	600	0,6	0,01	3	1	400	350
4	800	0,11	0,02	-1	4	500	400
5	300	0,5	0,02	-4	-1	350	300
6	250	0,55	0,02	-2	2	250	200
7	700	0,2	0,06	-3	-1	400	350
8	850	0,2	0,01	2	-4	500	400
9	450	0,6	0,08	6	-2	350	300
10	300	0,2	0,01	3	-3	250	200
11	650	0,5	0,02	4	1	400	350
12	750	0,3	0,03	-2	-4	500	400
13	500	0,55	0,04	2	4	350	300
14	150	0,7	0,04	5	0	250	200
15	550	0,7	0,03	2	-4	400	350
16	900	0,45	0,05	5	5	500	400
17	350	0,45	0,03	-3	-1	350	300
18	100	0,45	0,03	4	4	250	200
19	500	0,3	0,02	-5	5	400	350
20	700	0,55	0,04	3	4	500	400

Таблиця А.2 – Вихідні дані для практичного заняття № 2

Варіант	Q, м <sup>3</sup> /год	L <sub>всм</sub> , м	L <sub>нап</sub> , м	A, м	d <sub>всм</sub> , мм	d <sub>нап</sub> , мм
1	400	100	500	20	355	315
2	200	90	600	30	180	160
3	300	80	700	40	250	200
4	500	70	800	25	355	315
5	600	60	900	25	355	315
6	700	50	1 000	45	355	315
7	800	60	950	20	400	355
8	900	70	850	30	450	400
9	1 000	80	750	40	450	400
10	250	90	650	25	250	200
11	350	100	550	35	280	250
12	450	90	500	45	315	280
13	550	80	600	20	355	315
14	650	70	700	30	355	315
15	750	60	800	40	400	355
16	850	50	900	25	450	400
17	950	40	1 000	25	560	500
18	1 000	50	950	45	560	500
19	650	150	1 500	20	355	315
20	700	700	1 200	55	355	315

Таблиця А.3 – Вихідні дані для практичного заняття № 3

Варіант	Z, м	Q м <sup>3</sup> /год	t, °C	L, м	d <sub>всм</sub> , мм	H <sub>вак</sub> <sup>доп</sup> , м
1	0	400	50	20	350	3,5
2	50	1 100	40	15	600	2,0
3	100	2 000	50	50	700	3,0
4	150	600	40	30	500	2,5
5	200	100	30	15	200	1,5
6	-300	500	30	30	350	4,3
7	300	1 500	20	50	600	4,7
8	-300	1 600	20	100	700	3,3
9	400	900	10	25	500	3,2
10	-500	200	10	20	200	2,8
11	1 000	1 500	5	30	600	3,4
12	700	400	50	20	350	1,3
13	800	1 100	40	50	600	2,2
14	1 000	2 000	50	30	700	2,4
15	1 500	650	40	40	500	1,8
16	1 500	100	30	50	200	3,1
17	500	500	30	20	350	3,5
18	400	1 500	20	30	600	3,3
19	-300	600	20	100	700	3,7
20	300	900	10	50	500	4,1

Таблиця А.4 – Вихідні дані для практичного заняття № 4

Варіант	Q <sub>A</sub> , м <sup>3</sup> /год	H <sub>A</sub> , м. вод.ст	n, об/хв	Насос
1	250	65	2 950	№ 1
2	2 100	80	980	№ 2
3	2 200	12,5	730	№ 3
4	3 900	70	960	№ 4
5	6 400	15	730	№ 5
6	4 500	70	960	№ 4
7	200	60	2 950	№ 1
8	4 500	80	960	№ 4
9	150	60	2 950	№ 1
10	300	50	2 950	№ 1
11	1 800	75	980	№ 2
12	2 400	60	980	№ 2
13	1 700	80	980	№ 2
14	2 400	10	730	№ 3
15	1 400	17,5	730	№ 3
16	1 600	12,5	730	№ 3
17	5 200	25	730	№ 5
18	4 000	30	730	№ 5
19	4 800	20	730	№ 5
20	4500	80	960	№ 4

Таблиця А.5 – Вихідні дані для практичного заняття № 5

Варіант	Насос	Номінальна частота обертання, об/хв
1	Д200-36	1 450
2	Д320-50	1 450
3	Д200-90	2 900
4	1Д250-125	2 900
5	1Д315-71	2 900
6	1Д315-50	2 900
7	1Д500-63	2 900
8	1Д630-90	1 450
9	1Д630-125	1 450
10	1Д800-56	1 450
11	1Д1250-63	1 450
12	1Д1250-125	1 450
13	1Д1600-90	1 450
14	2Д2000-21	980
15	Д2000-100-2	980
16	Д2500-62-2	980
17	Д3200-33-2	980
18	Д3200-75-2	980
19	Д4000-95-2	980
20	Д6300-80-2	730

Таблиця А.6 – Вихідні дані для практичного заняття № 6

Варіант	$A_0^{вод1}$	$A_0^{вод2}$	$H_2, м$	$L, м$	Насоси
1	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	12,0	1 000	№ 1 і № 2
2	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 131 \times 10^{-6}$	10,0	3 000	№ 1 і № 2
3	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	15,0	1 000	№ 1 і № 2
4	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	20,0	500	№ 1 і № 2
5	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	17,0	1 500	№ 1 і № 2
6	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	10,0	1 500	№ 1 і № 2
7	$0,002\ 02 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	15,0	1 000	№ 1 і № 3
8	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	10,0	3 000	№ 1 і № 3
9	$0,001\ 31 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	15,0	5 000	№ 1 і № 3
10	$0,002\ 02 \times 10^{-6}$	$0,000\ 131 \times 10^{-6}$	15,0	2 000	№ 2 і № 3
11	$0,004\ 46 \times 10^{-6}$	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	12,0	800	№ 2 і № 3
12	$0,002\ 02 \times 10^{-6}$	$0,000\ 131 \times 10^{-6}$	18,0	1 200	№ 2 і № 3
13	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	25,0	1 800	№ 4 і № 5
14	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	20,0	3 000	№ 4 і № 5
15	$0,000\ 131 \times 10^{-6}$	$0,000\ 229 \times 10^{-6}$	22,5	5 000	№ 4 і № 5
16	$0,000\ 131 \times 10^{-6}$	$0,000\ 425 \times 10^{-6}$	15,0	5 000	№ 4 і № 5
17	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	$0,004\ 46 \times 10^{-6}$	20,0	1 500	№ 5 і № 6
18	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	$0,014\ 8 \times 10^{-6}$	25,0	1 000	№ 5 і № 6
19	$0,002\ 02 \times 10^{-6}$	$0,014\ 8 \times 10^{-6}$	15,0	1 300	№ 5 і № 6
20	$0,004\ 46 \times 10^{-6}$	$0,000\ 847 \times 10^{-6}$	17,5	2 500	№ 5 і № 6

Таблиця А.7 – Вихідні дані для практичного заняття № 7

Варіант	$H_2$ , м	$A_0^{600}$	$L$ , м	Насоси
1	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 000	№ 2 і № 1
2	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 200	№ 2 і № 2
3	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 400	№ 2 і № 1
4	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 600	№ 1 і № 1
5	25,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 800	№ 1 і № 1
6	25,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	2 000	№ 1 і № 2
7	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 900	№ 2 і № 2
8	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 700	№ 1 і № 1
9	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 500	№ 2 і № 2
10	20,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 300	№ 1 і № 2
11	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 100	№ 1 і № 1
12	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 000	№ 2 і № 2
13	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 200	№ 1 і № 2
14	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 400	№ 2 і № 2
15	25,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 600	№ 1 і № 1
16	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 800	№ 1 і № 2
17	30,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	2 000	№ 1 і № 1
18	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 900	№ 2 і № 2
19	35,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 700	№ 1 і № 2
20	25,0	$0,0225 \times 10^{-6}$	1 500	№ 1 і № 2

Таблиця А.8 – Вихідні дані для практичного заняття № 8

Варіант	Продуктивність станції, м <sup>3</sup> /добу	Необхідний напір насосів, м	Категорія надійності
1	140 000	45	II
2	67 000	50	I
3	33 500	50	II
4	96 000	80	I
5	25 000	50	II
6	29 000	70	II
7	240 000	70	I
8	29 000	80	II
9	240 000	65	I
10	29 000	90	II
11	240 000	75	I
12	33 500	55	II
13	48 000	50	I
14	33 500	45	II
15	48 000	60	I
16	130 000	70	II
17	70 000	45	II
18	30 000	65	II
19	50 000	45	II
20	150 000	60	II

## ДОДАТОК Б

### Дані для гідравлічного розрахунку трубопроводу

Таблиця Б.1 – Коефіцієнт питомого опору трубопроводу  $A_0$  для поліетиленових труб (для розмірності витрати м<sup>3</sup>/с)

Діаметр труби, мм	Значення коефіцієнта $A_0$	Діаметр труби, мм	Значення коефіцієнта $A_0$
160	45,91	315	0,876 1
180	24,76	355	0,466 2
200	14,26	400	0,250 2
225	7,715	450	0,135 1
250	4,454	500	0,063 22
280	2,459	560	0,034 95

Таблиця Б.2 – Числові значення коефіцієнта  $k$ , який коригує неквадратичність залежності

Швидкість руху води у трубі $V$ , м/с	Значення коефіцієнта $k$	Швидкість руху води у трубі $V$ , м/с	Значення коефіцієнта $k$
1,0	1,0	2,0	0,855
1,1	0,981	2,1	0,846
1,2	0,960	2,2	0,837
1,3	0,943	2,3	0,828
1,4	0,926	2,4	0,821
1,5	0,912	2,5	0,813
1,6	0,899	2,6	0,806
1,7	0,887	2,7	0,799
1,8	0,876	2,8	0,792
1,9	0,865	2,9	0,786

## ДОДАТОК В

### Атмосферний тиск і тиск насиченої пари рідини у місцевих умовах

Таблиця В.1 – Атмосферний тиск,  $H_A$ , м, залежно від висоти місцевості над рівнем моря  $Z$ , м

Висота над рівнем моря, $Z$ , м	-600	0	100	200	300	400	500
$H_A$ , м	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7
Висота над рівнем моря, $Z$ , м	600	700	800	900	1 000	1 500	2 000
$H_A$ , м	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,4

Таблиця В.2 – Тиск насиченої пари води,  $h_t$ , м, за заданої температури  $t$ , °С

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

## ДОДАТОК Г

### Числові значення коефіцієнтів для розрахунку гідравлічного ухилу трубопроводу

Таблиця Г.1 – Коефіцієнт **K** та показники ступенів **p** і **n**

Матеріал та вид труб	<b>1 000 K</b>	<b>p</b>	<b>n</b>
Нові сталеві і чавунні без внутрішнього захисного покриття	1,79	5,1	1,9
Не нові сталеві і чавунні без внутрішнього захисного покриття	1,735	5,3	2,0
Залізобетонні віброгідропресовані	1,688	4,89	1,85
Залізобетонні центрифуговані	1,486	4,89	1,85
Сталеві і чавунні з внутрішнім пластмасовим або полімер-цементним покриттям	1,18	4,89	1,85
Сталеві і чавунні з внутрішнім цементно-піщаним покриттям	1,486	4,89	1,85
Пластмасові	1,052	4,774	1,774

## ДОДАТОК Д

### Характеристики (Q – H) насосів для практичного заняття № 4

Таблиця Д.1 – Насос № 1

Н, м	85,0	83,5	82,0	80,5	79,0	70,0	57,0
Q, м <sup>3</sup> /год	0,0	50,0	100,0	200,0	250,0	300,0	350,0

Таблиця Д.2 – Насос № 2

Н, м	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
Q, м <sup>3</sup> /год	0,0	300,0	600,0	1200,0	1800,0	2100,0	2400

Таблиця Д.3 – Насос № 3

Н, м	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
Q, м <sup>3</sup> /год	0,0	400,0	800,0	1 000,0	1 400,0	2 000,0	2 600,0

Таблиця Д.4 – Насос № 4

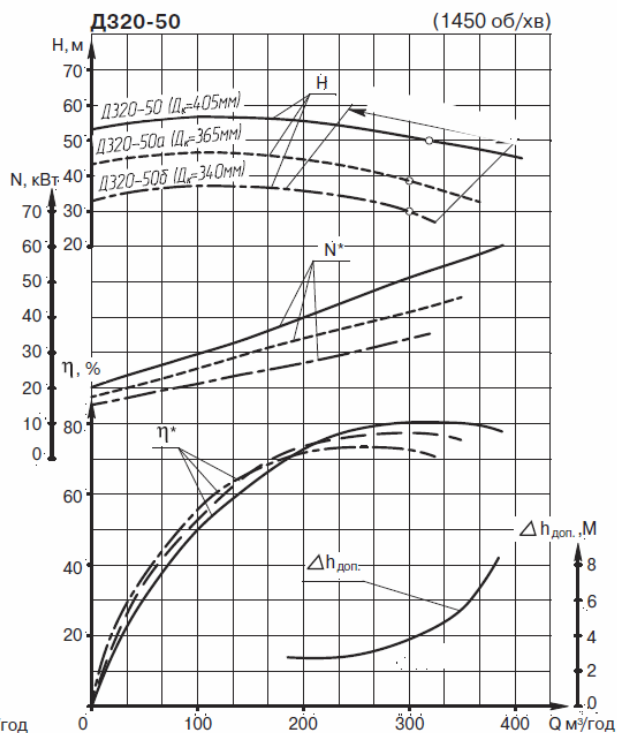
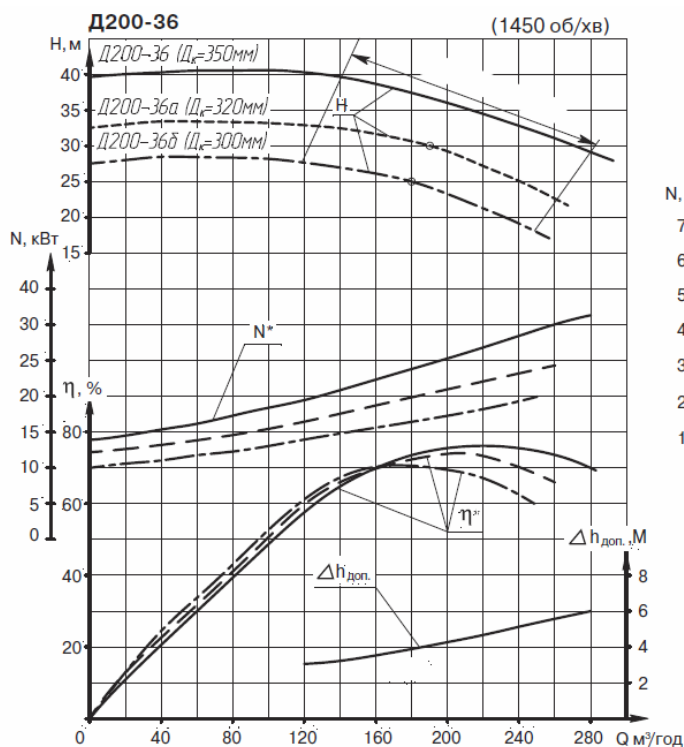
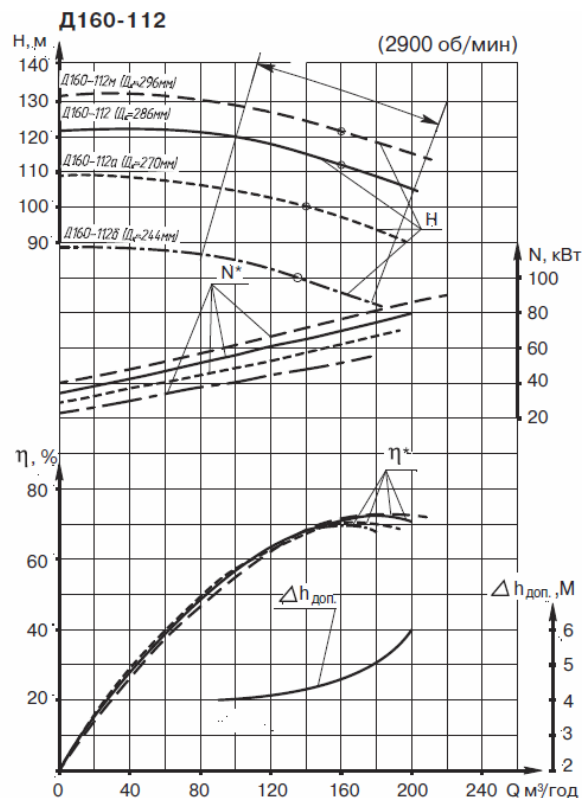
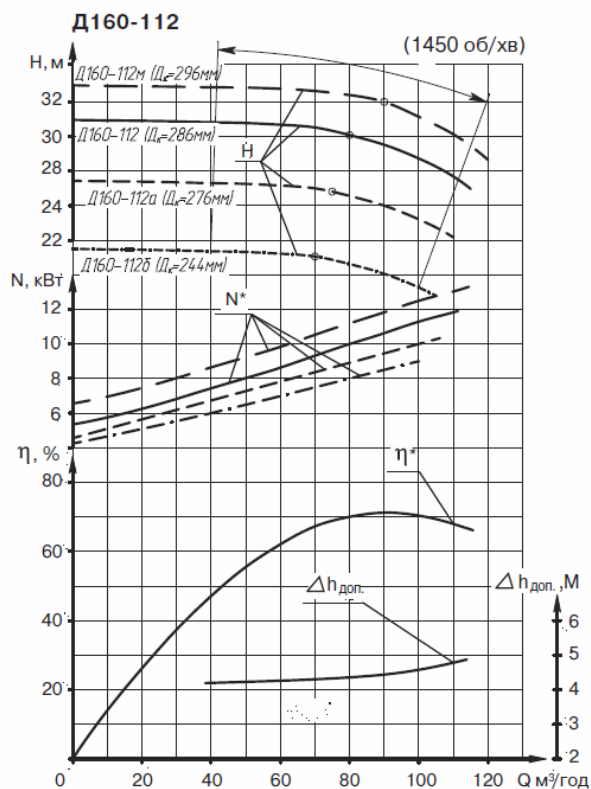
Н, м	109,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
Q, м <sup>3</sup> /год	0,0	1 500,0	3 000,0	3 900,0	4 500,0	5 400,0	6 000,0

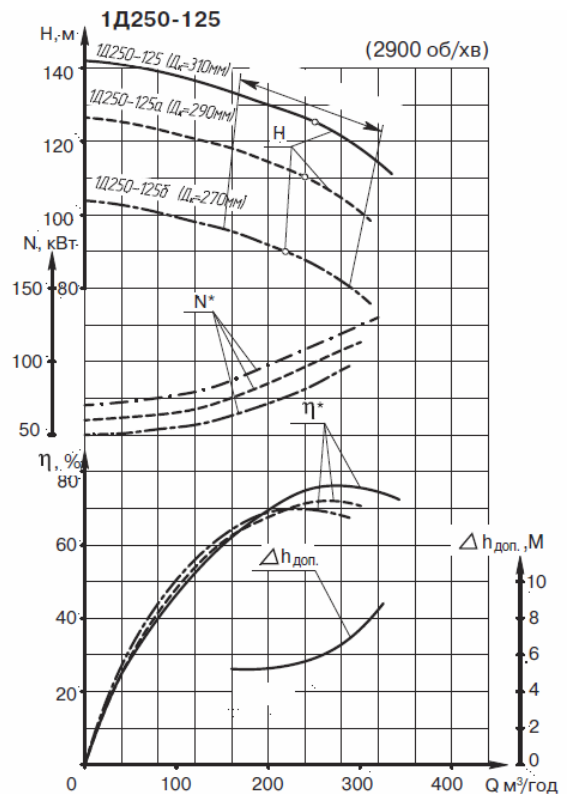
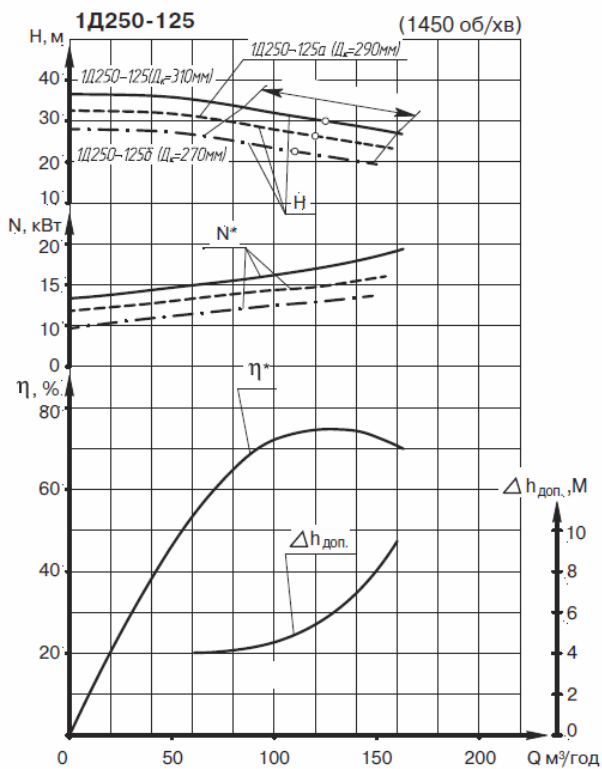
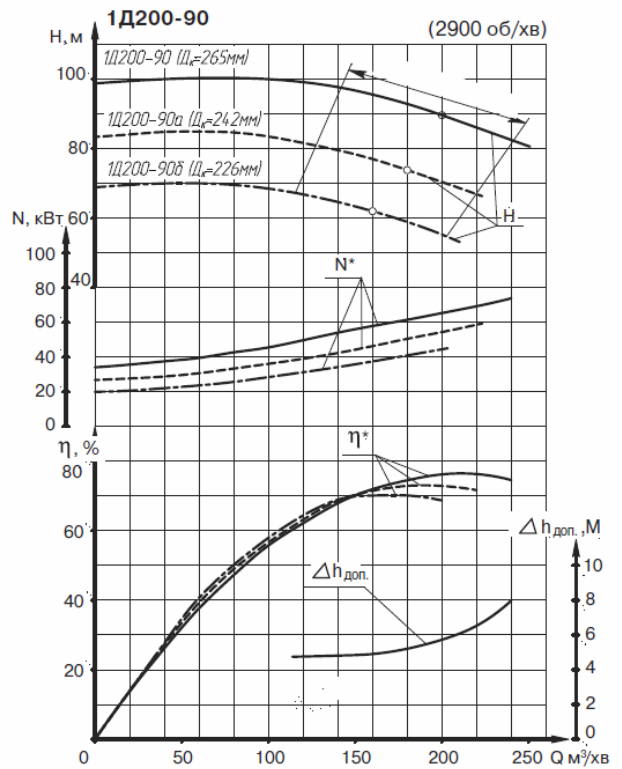
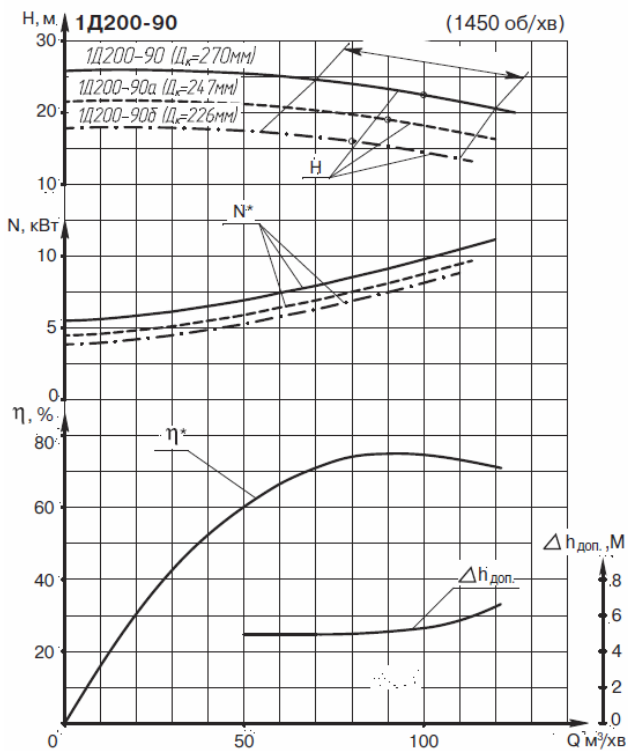
Таблиця Д.5 – Насос № 5

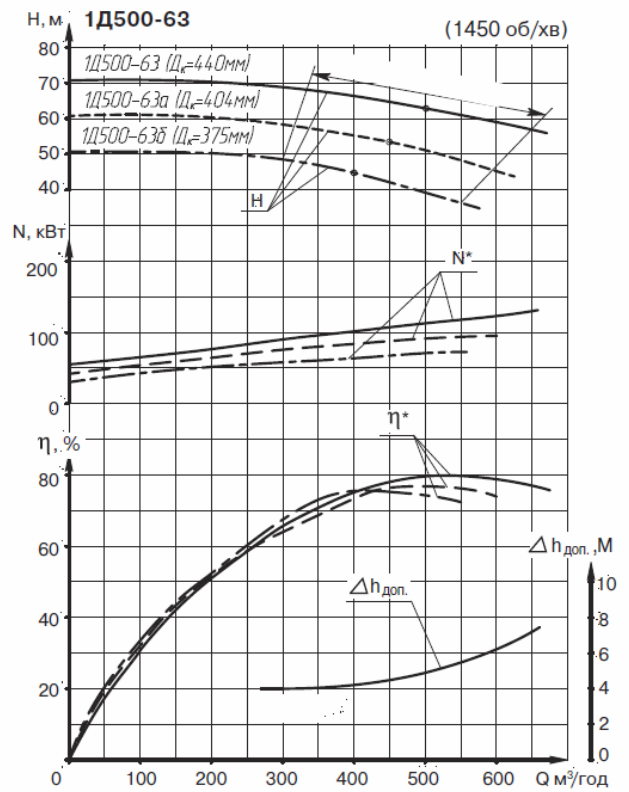
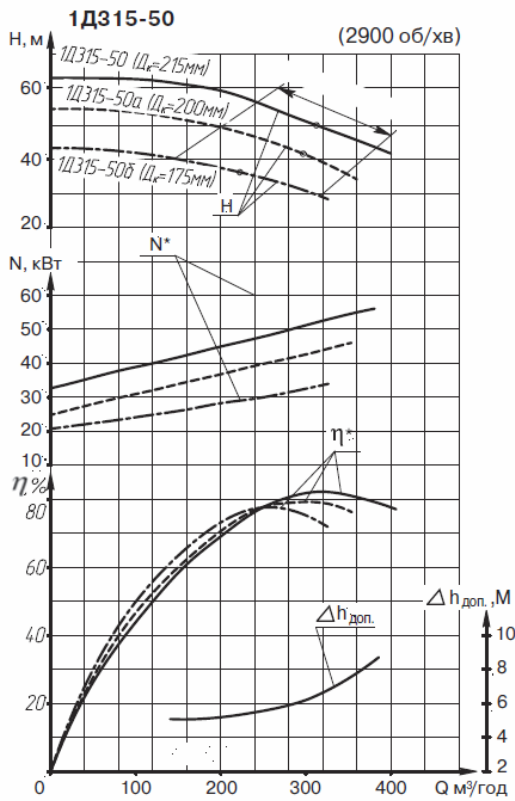
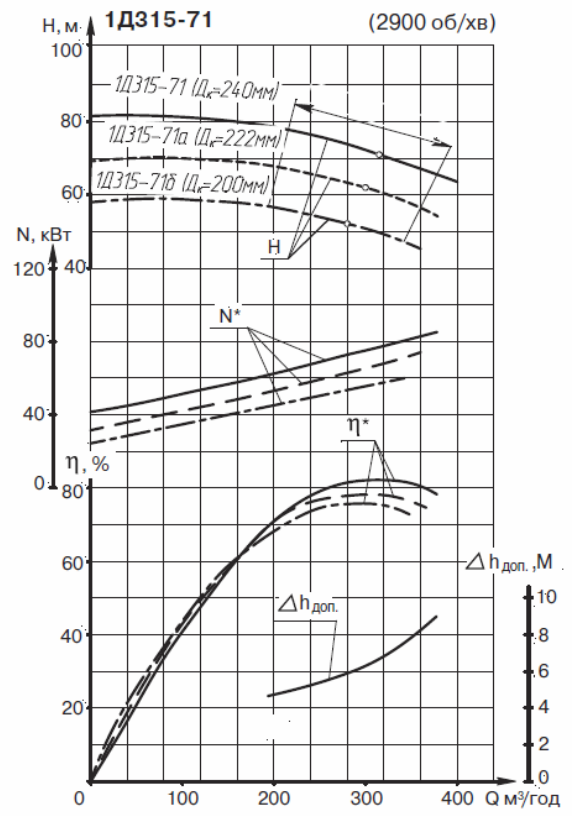
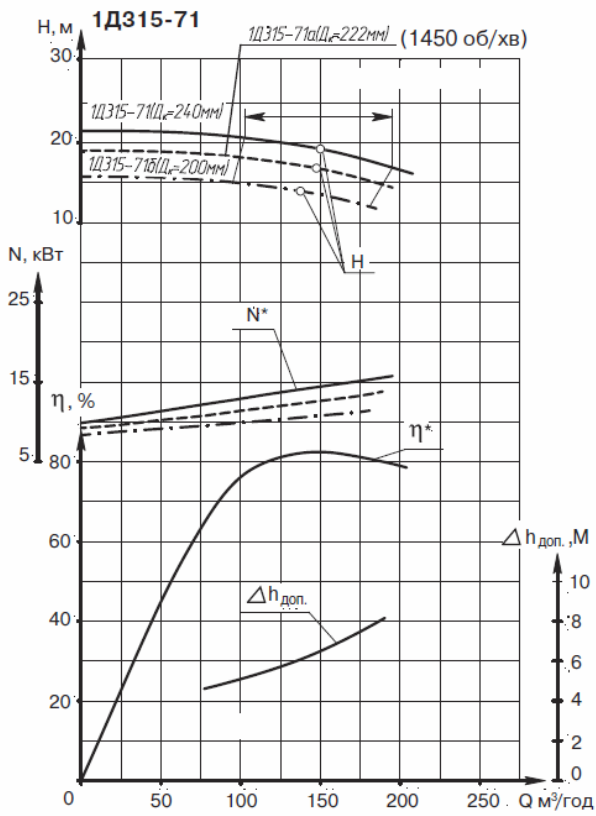
Н, м	45,0	43,5	40,0	35,0	32,0	28,0	20,0
Q, м <sup>3</sup> /год	0,0	800,0	2 000,0	4 000,0	5 200,0	6 000,0	7 200,0

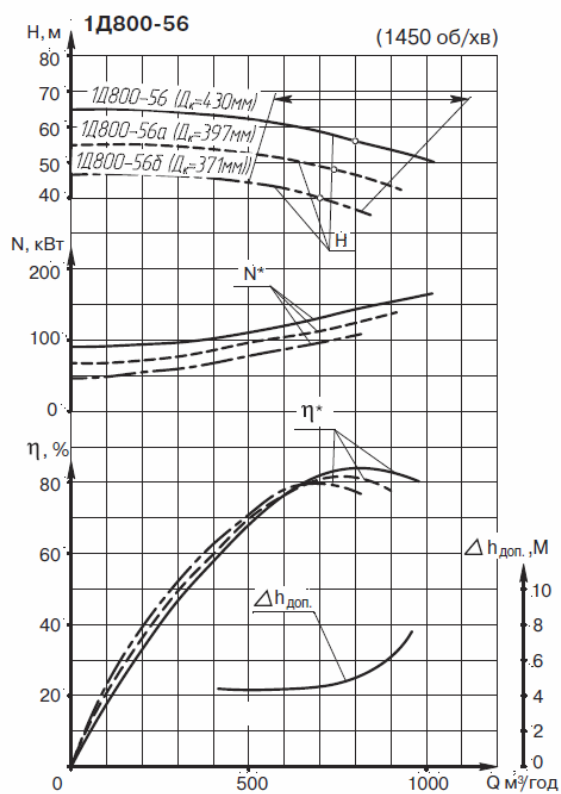
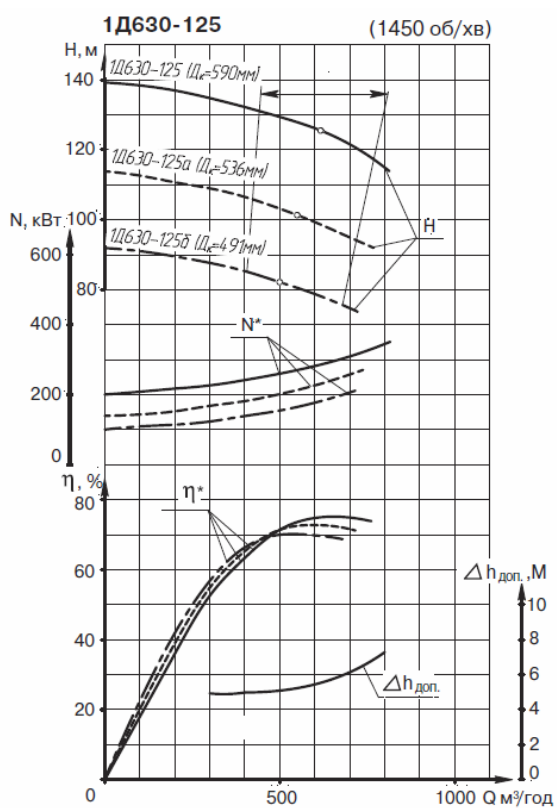
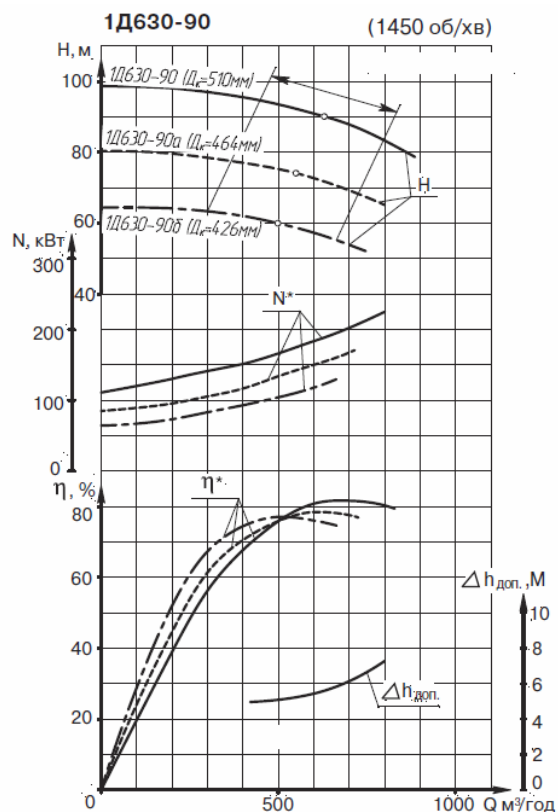
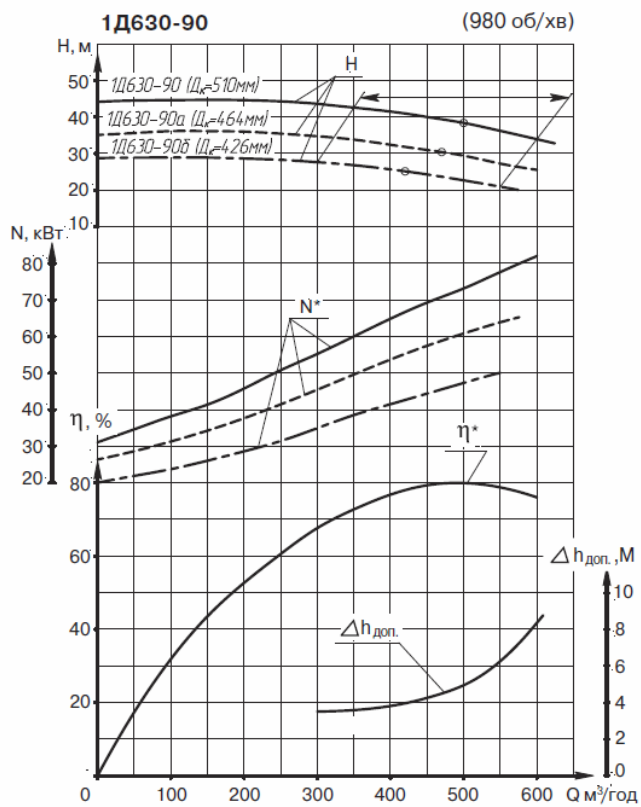
# ДОДАТОК Е

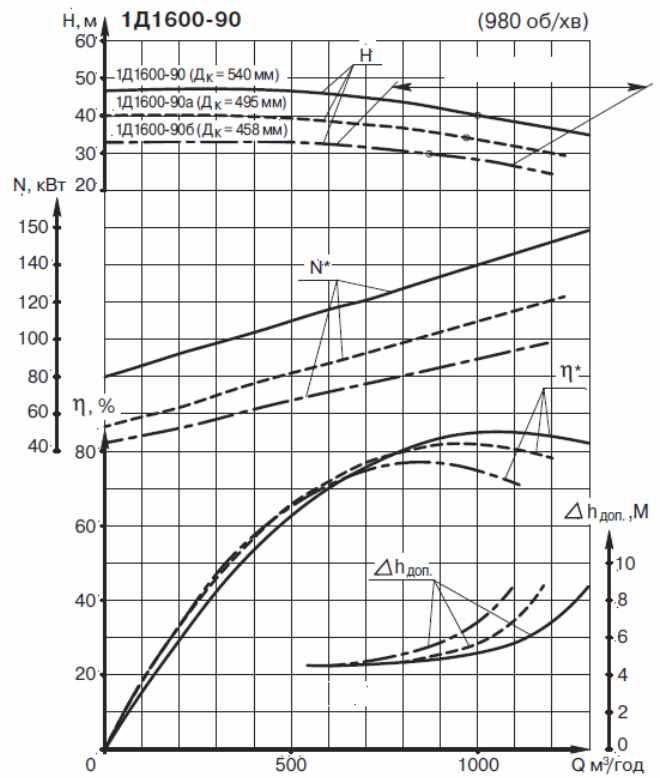
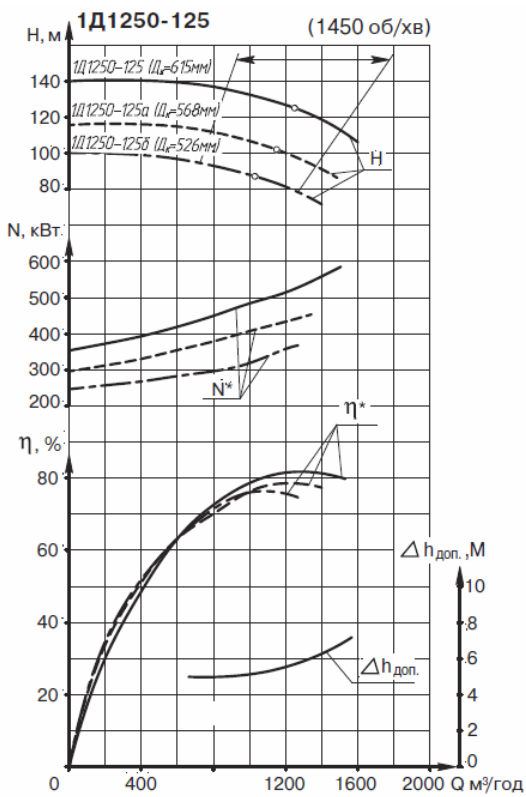
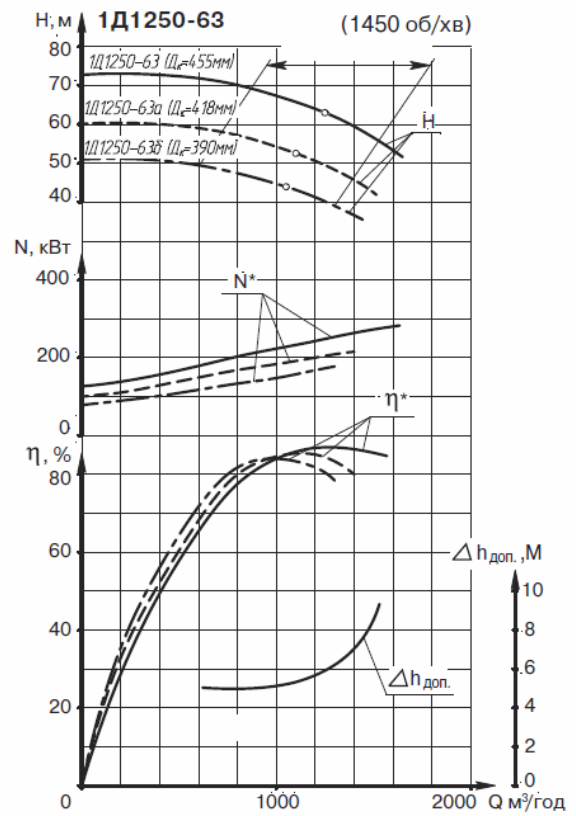
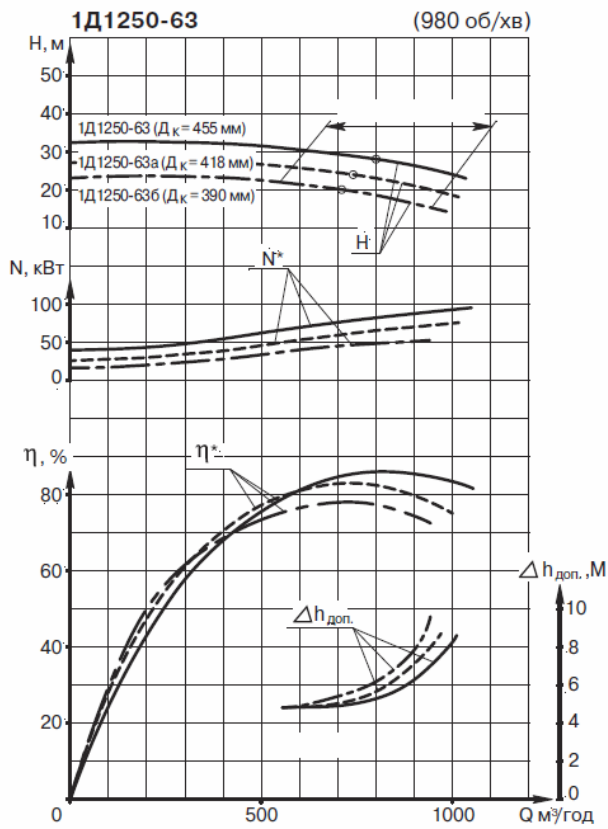
## Робочі характеристики насосів типу Д

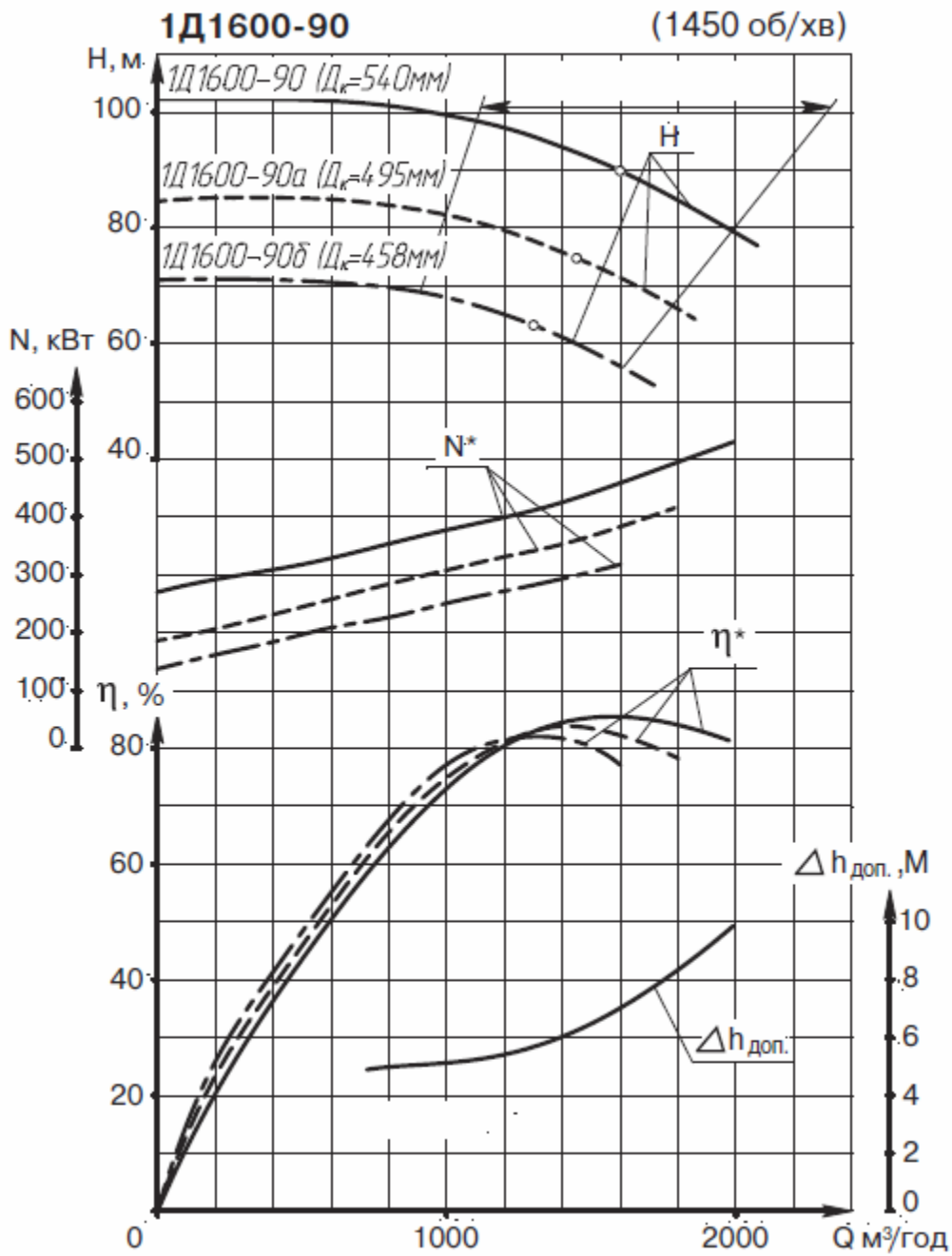


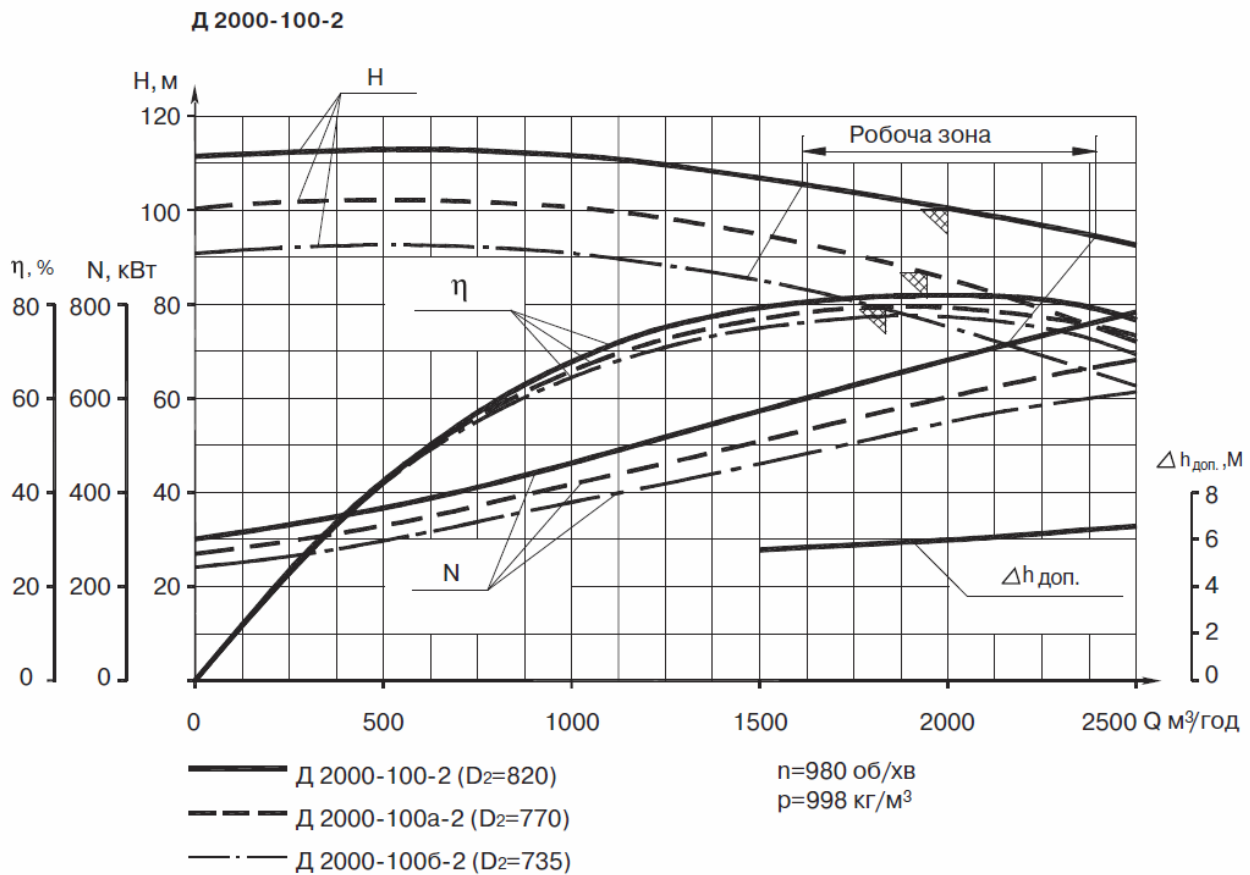
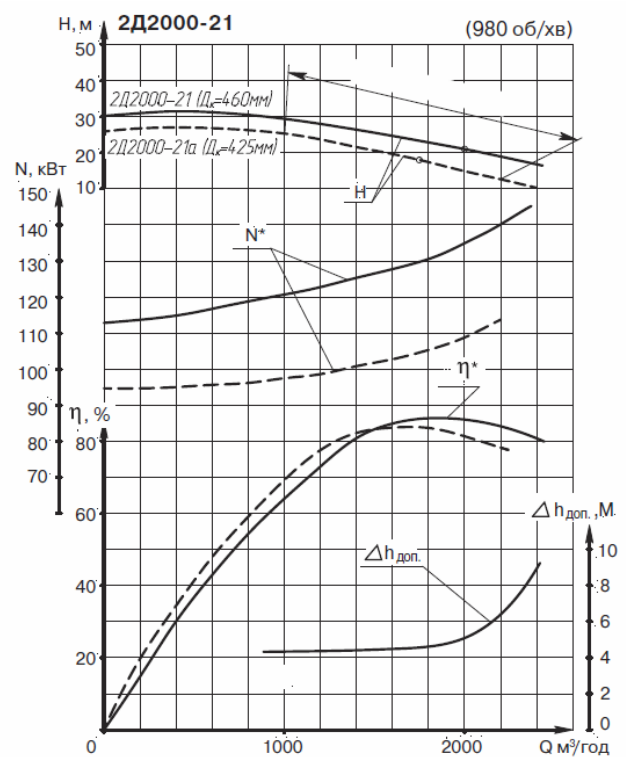
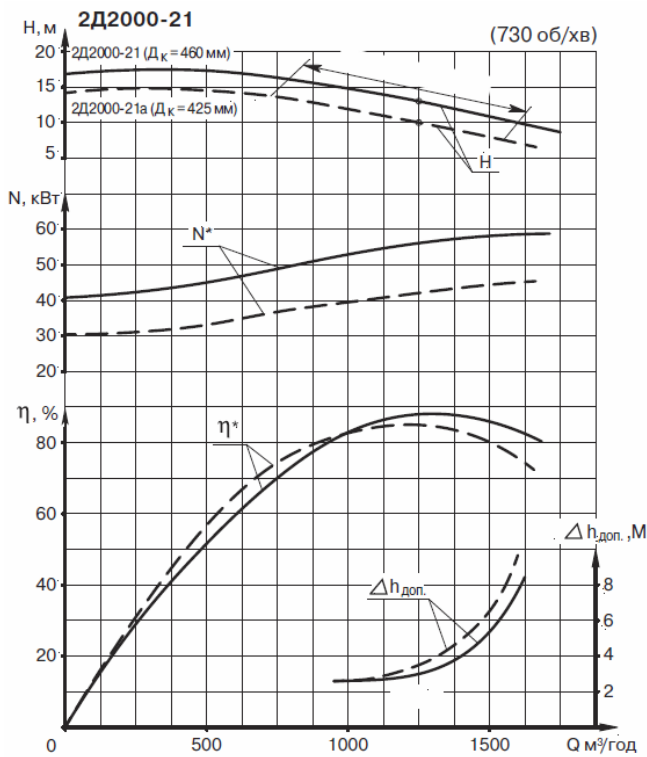




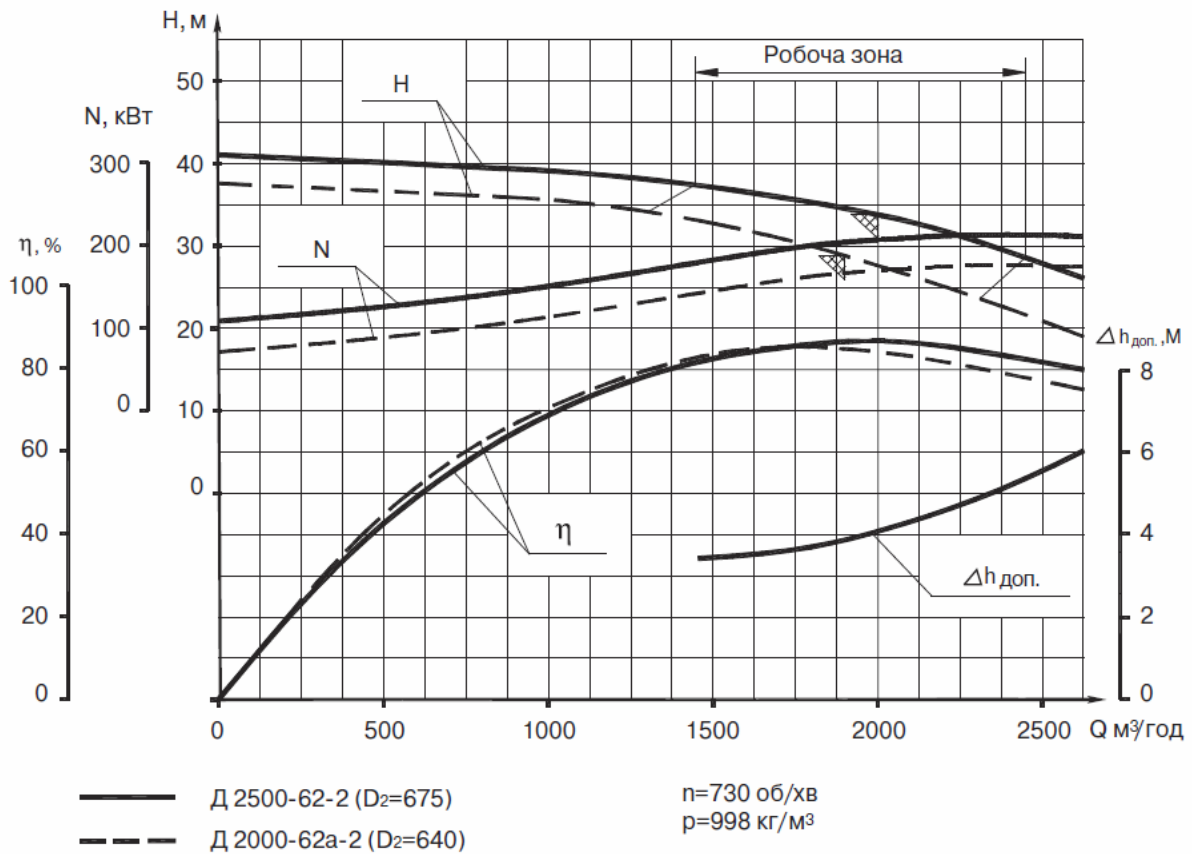




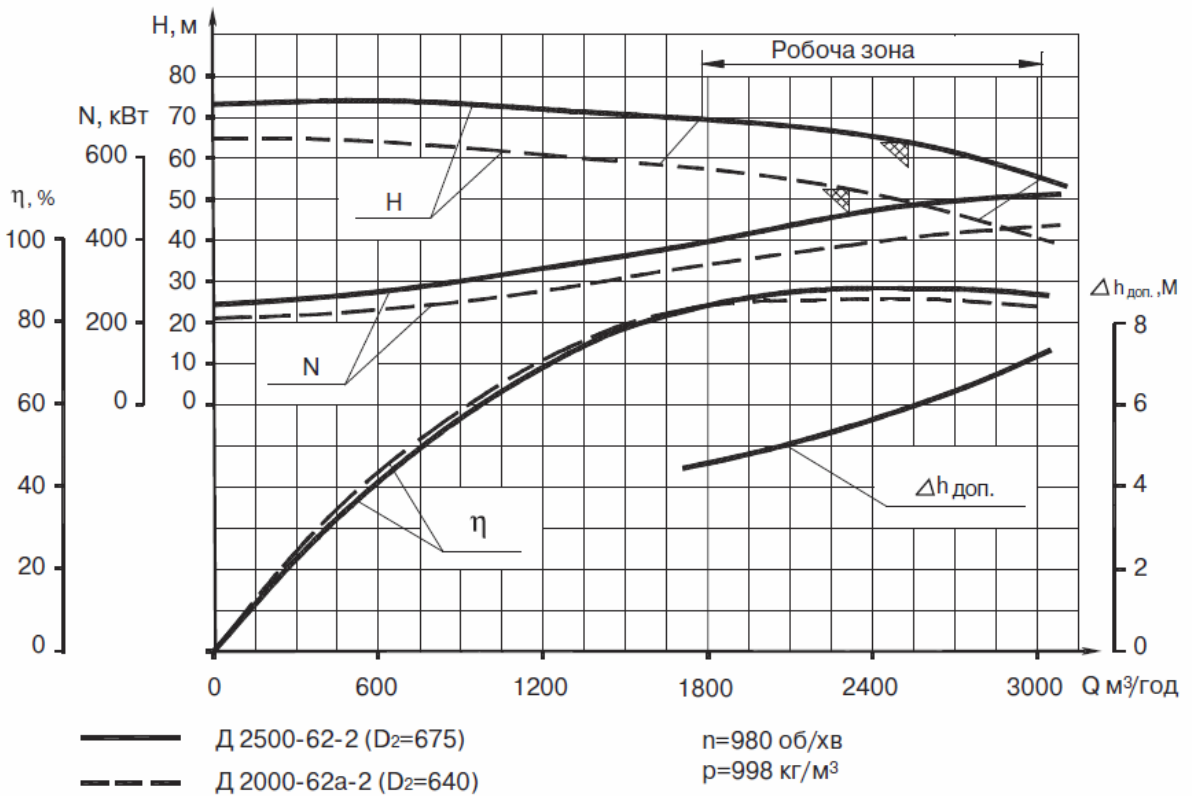




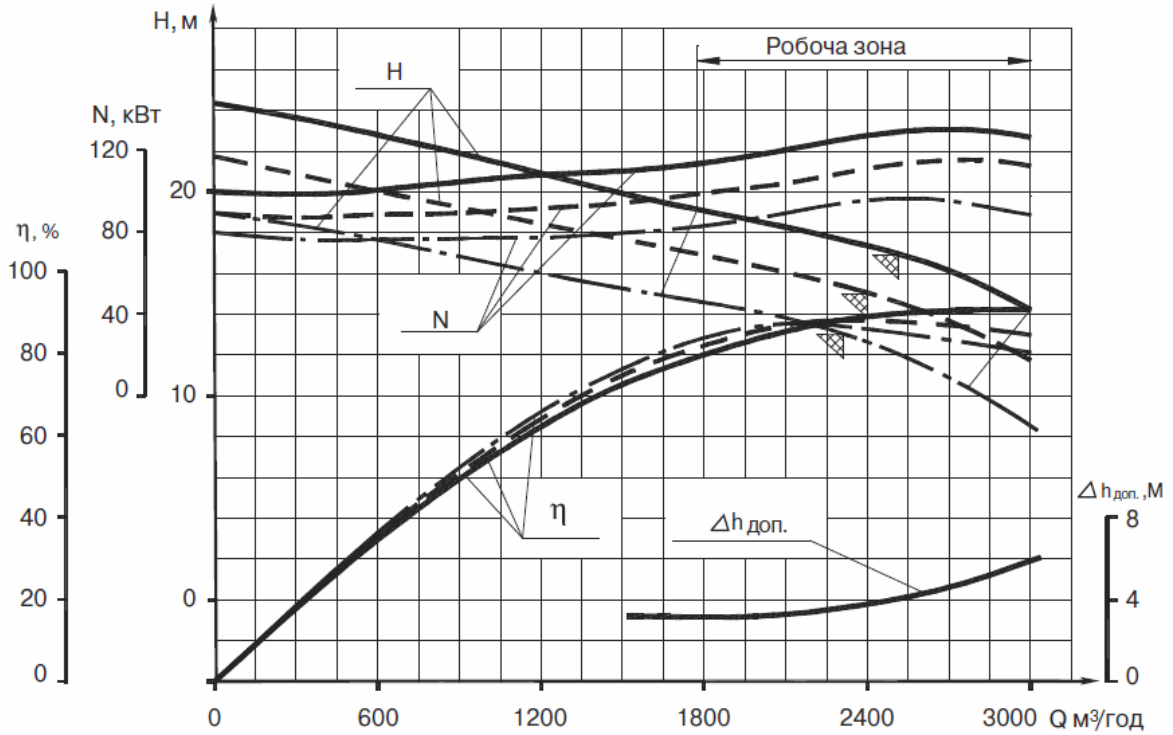
Д 2500-62-2



Д 2500-62-2

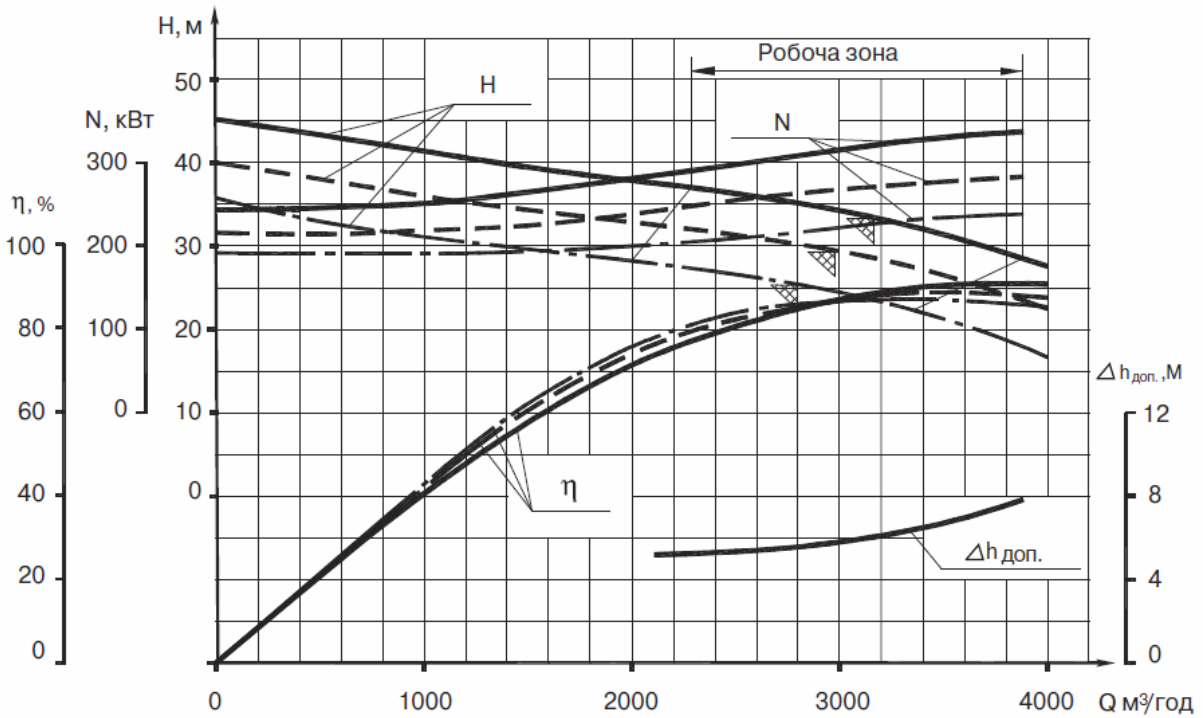


Д 3200-33-2



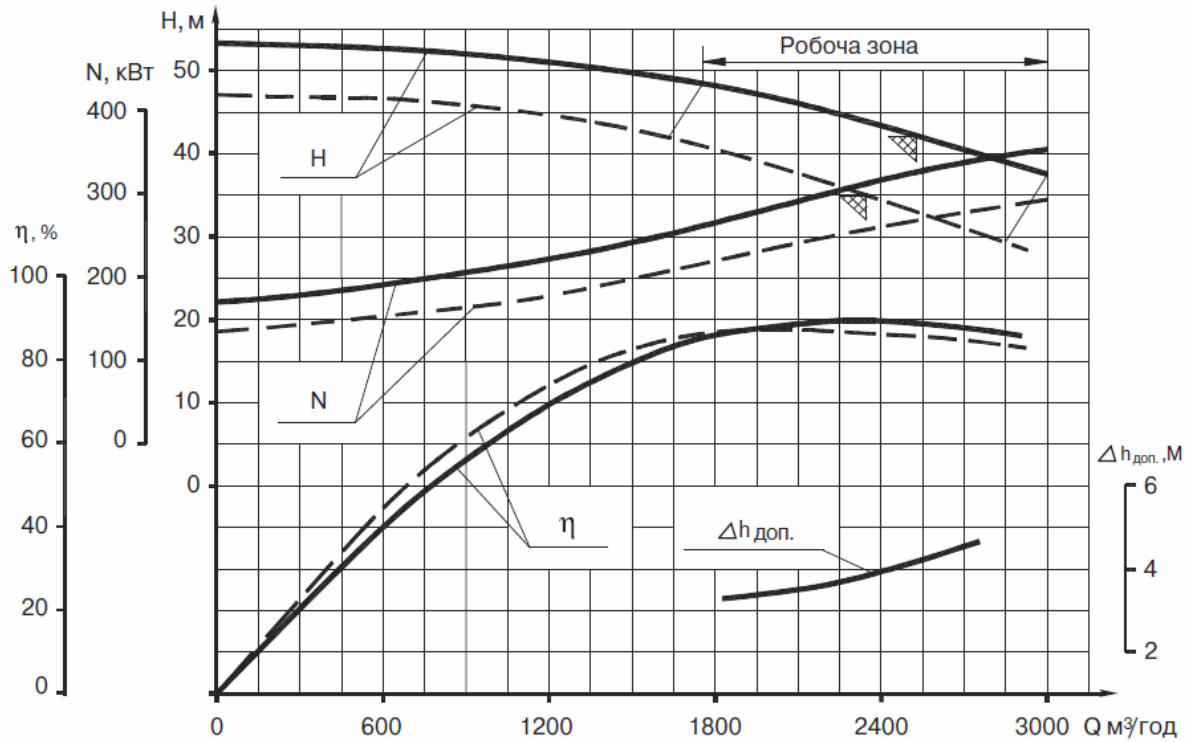
- Д 3200-33-2 ( $D_2=540$ )
  - - - Д 2000-33а-2 ( $D_2=515$ )
  - · - Д 2000-33б-2 ( $D_2=480$ )
- $n=730$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

Д 3200-33-2



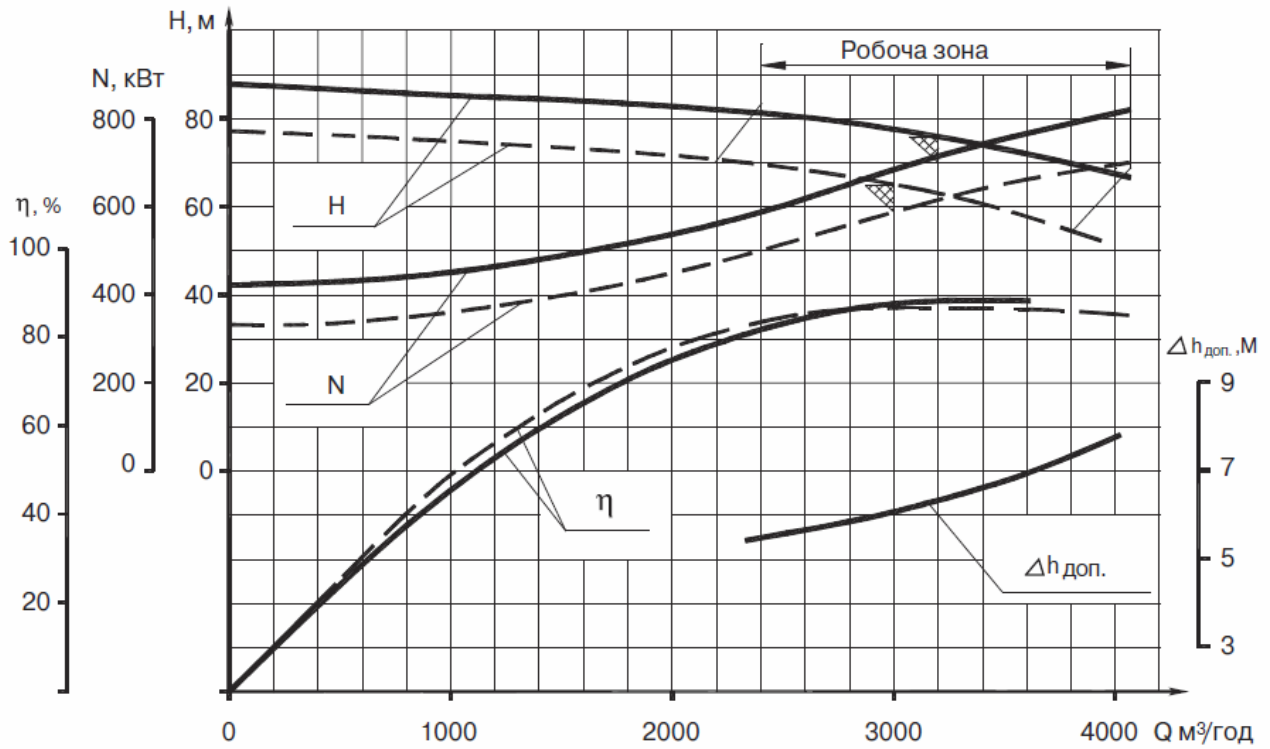
- Д 3200-33-2 ( $D_2=540$ )
  - - - Д 2000-33а-2 ( $D_2=515$ )
  - · - Д 2000-33б-2 ( $D_2=480$ )
- $n=980$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

**Д 3200-75-2**



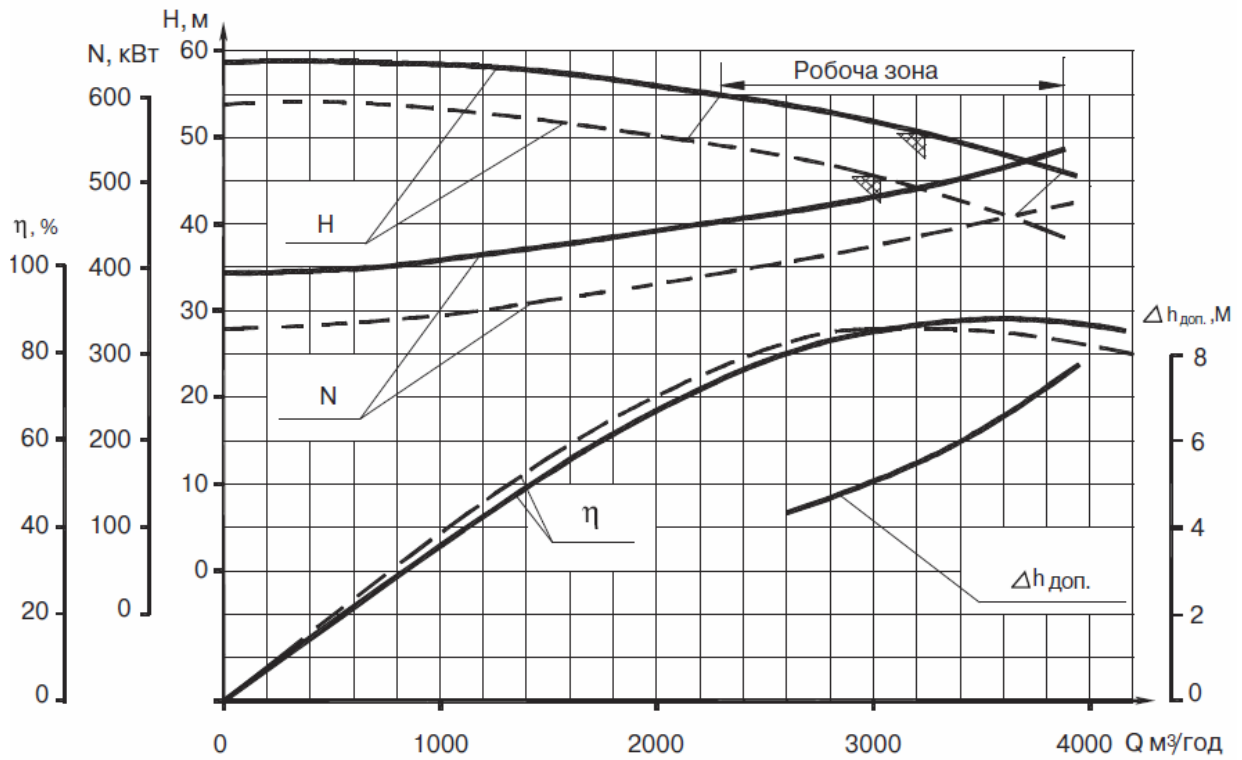
— Д 3200-75-2 ( $D_2=740$ )  $n=730$  об/хв  
 - - - Д 3200-75a-2 ( $D_2=705$ )

**Д 3200-75-2**



— Д 3200-75-2 ( $D_2=740$ )  $n=980$  об/хв  
 - - - Д 3200-75a-2 ( $D_2=705$ )  $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

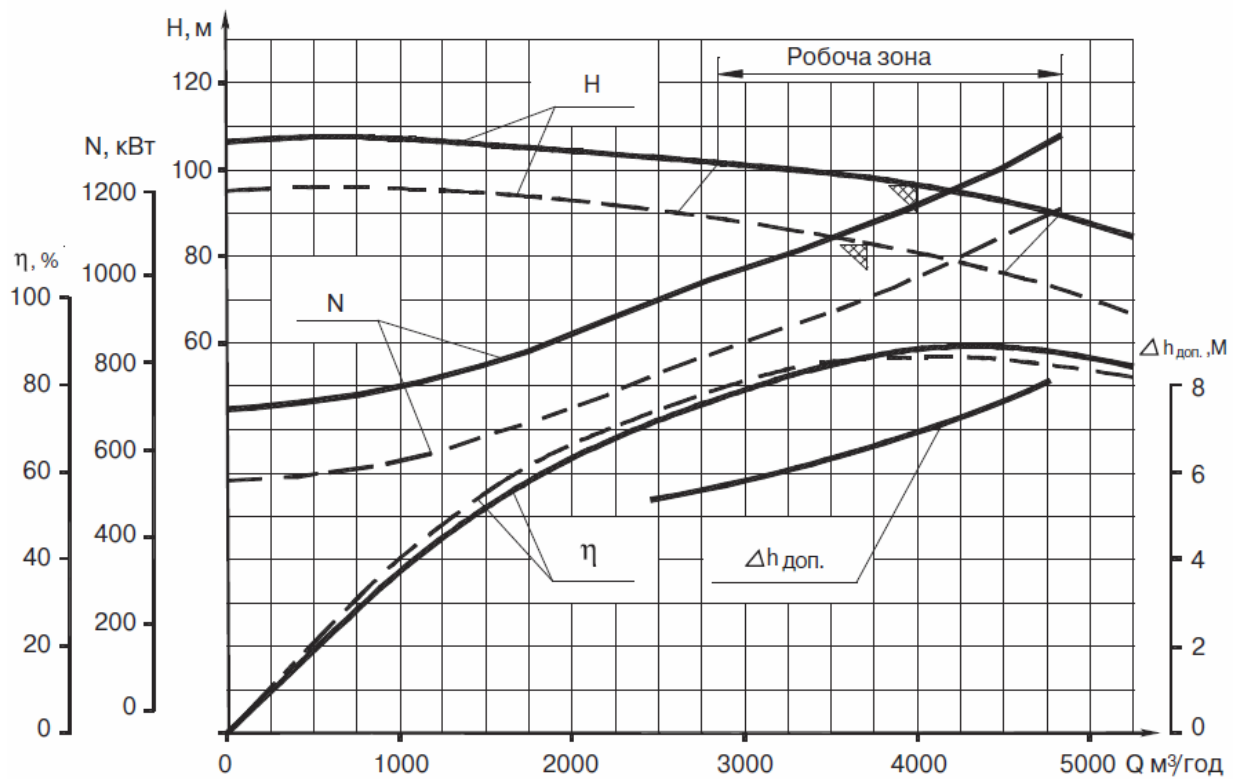
**Д 4000-95-2**



— Д 4000-95-2 ( $D_2=816$ )  
 - - - Д 4000-95а-2 ( $D_2=775$ )

$n=730$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

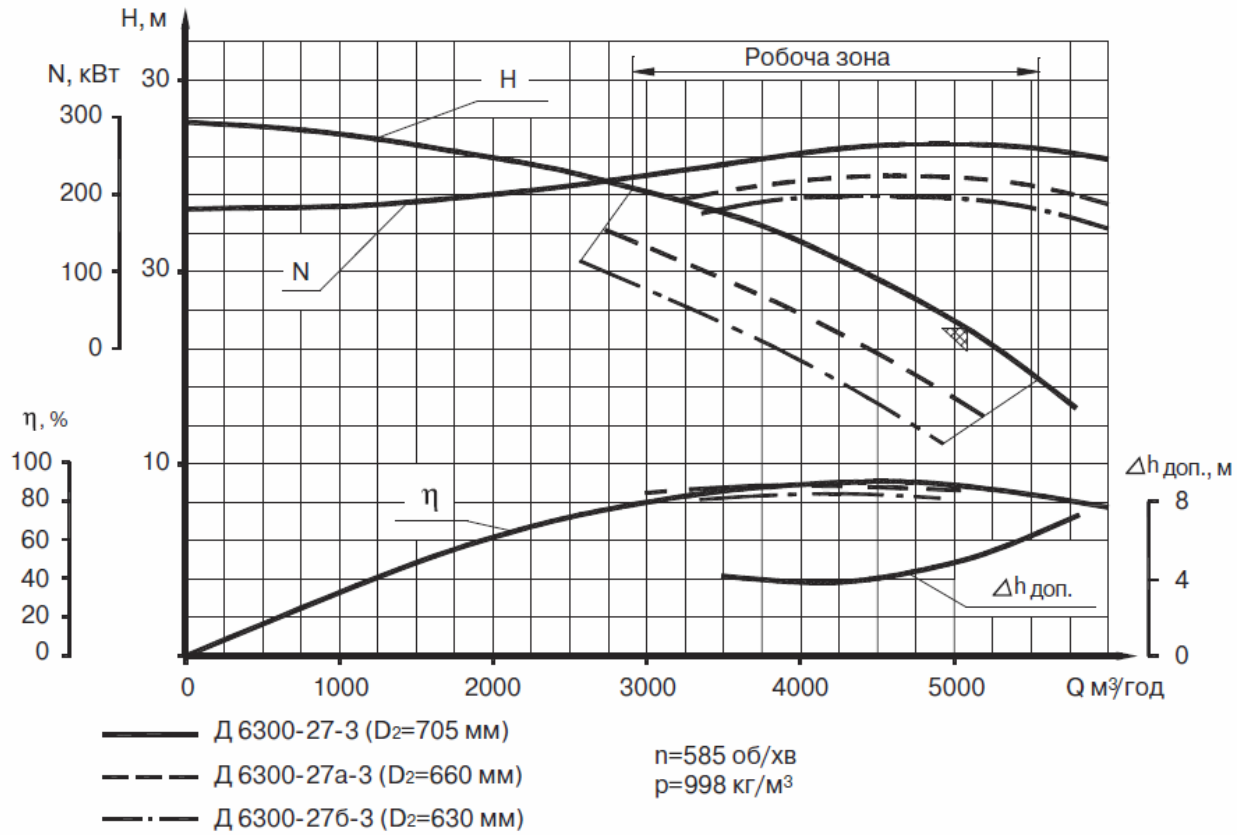
**Д 4000-95-2**



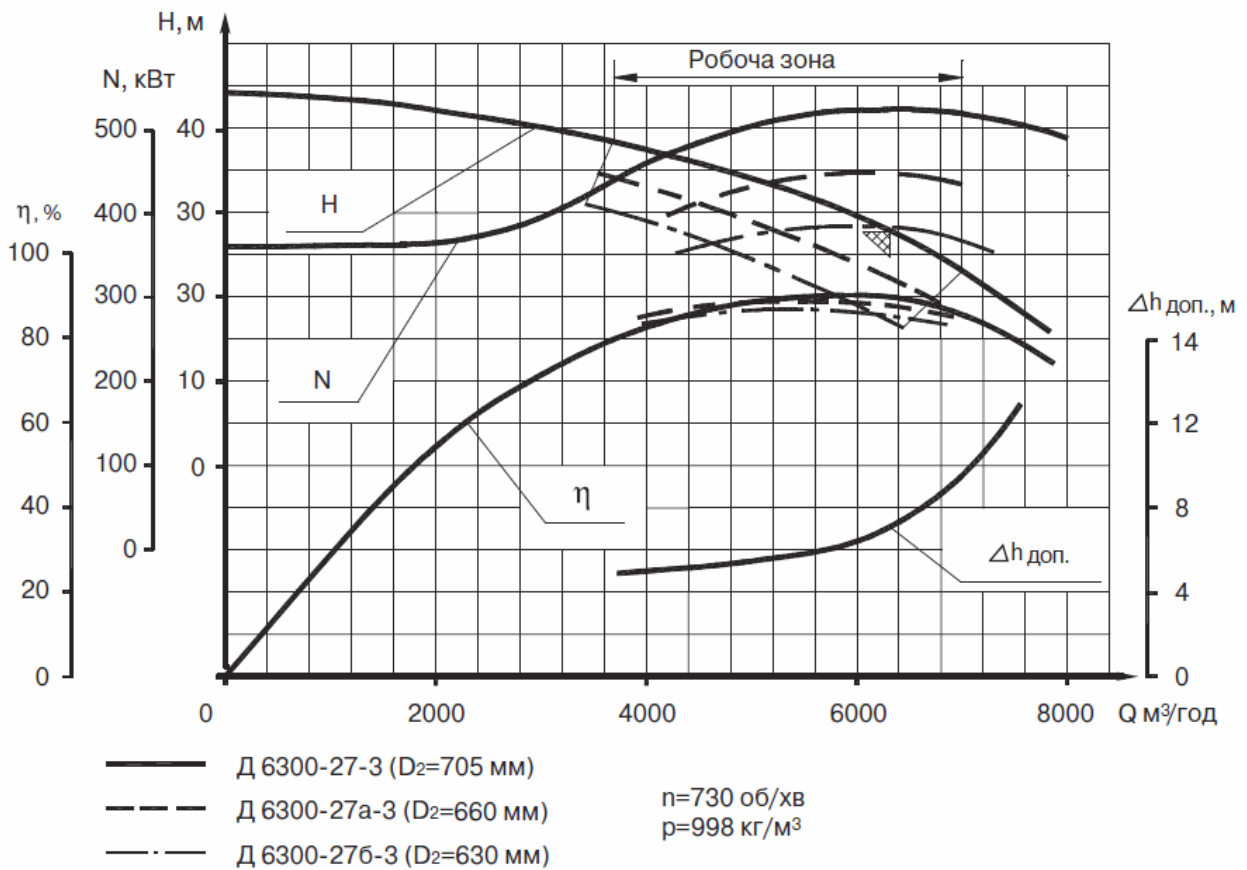
— Д 4000-95-2 ( $D_2=816$ )  
 - - - Д 4000-95а-2 ( $D_2=775$ )

$n=980$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

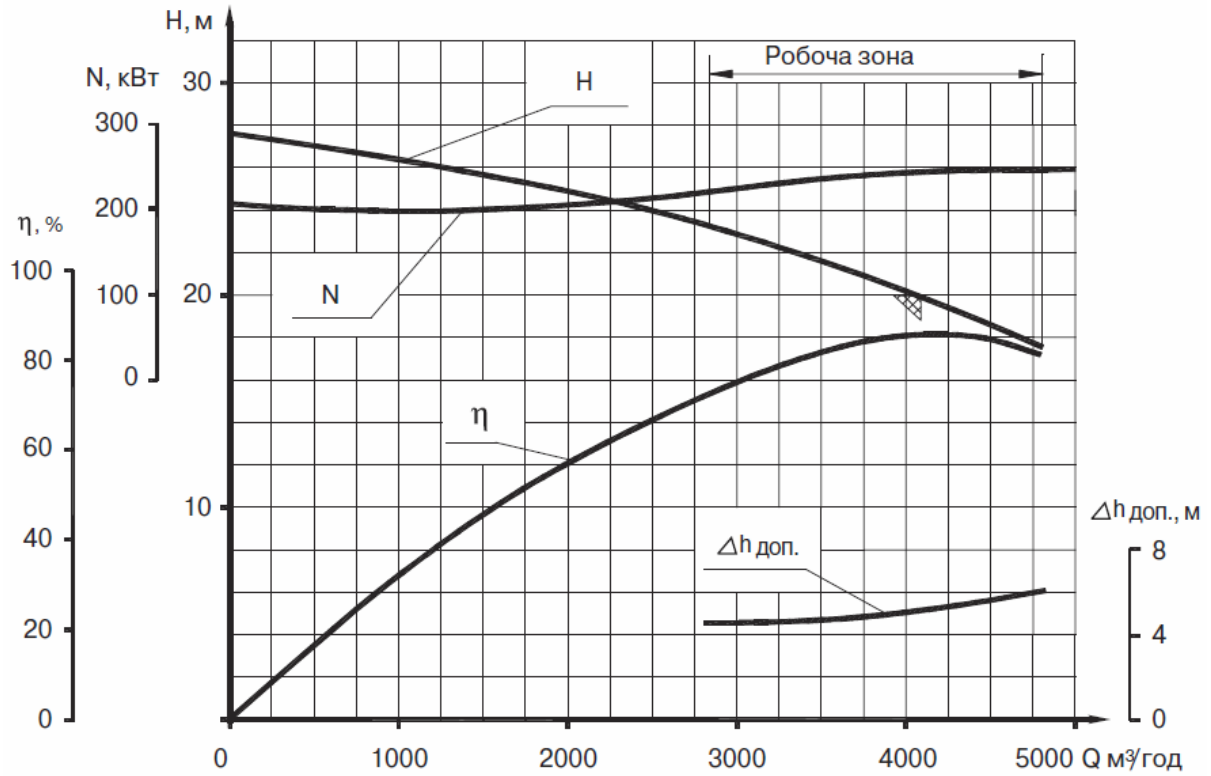
**Д 6300-27-3**



**Д 6300-27-3**



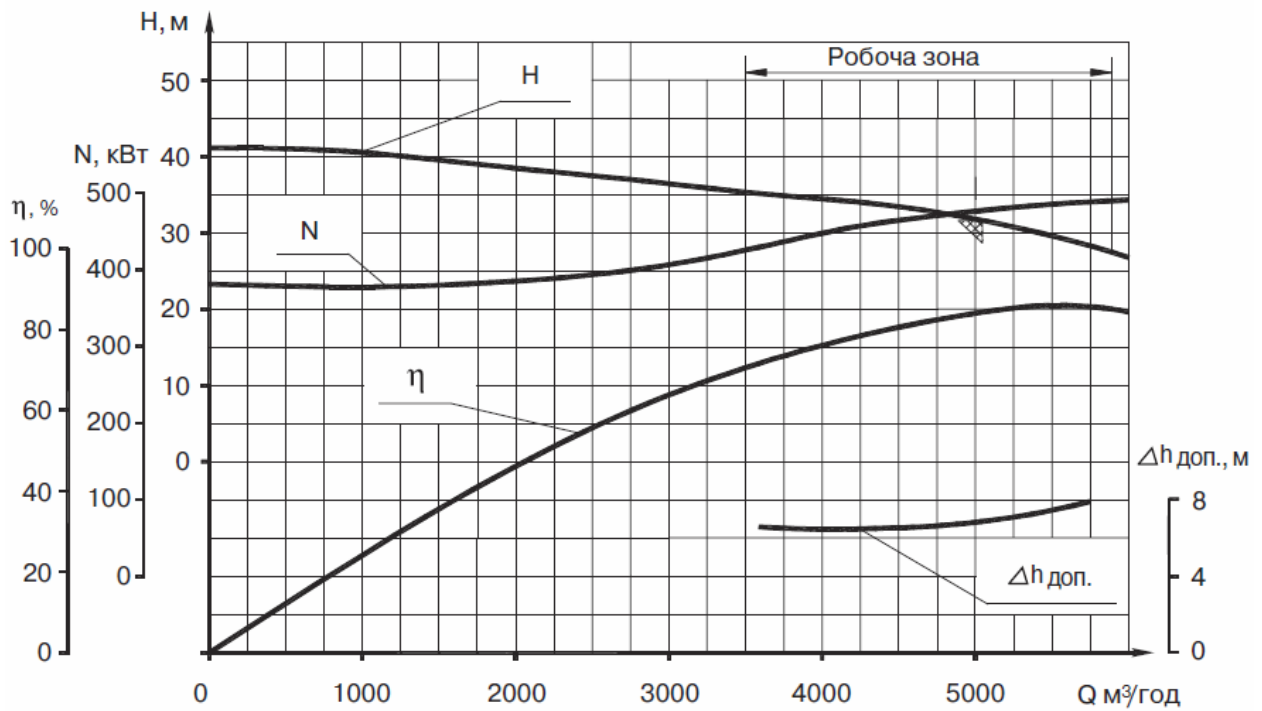
Д 6300-27-3-1



$D_2=700$  мм

$n=585$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

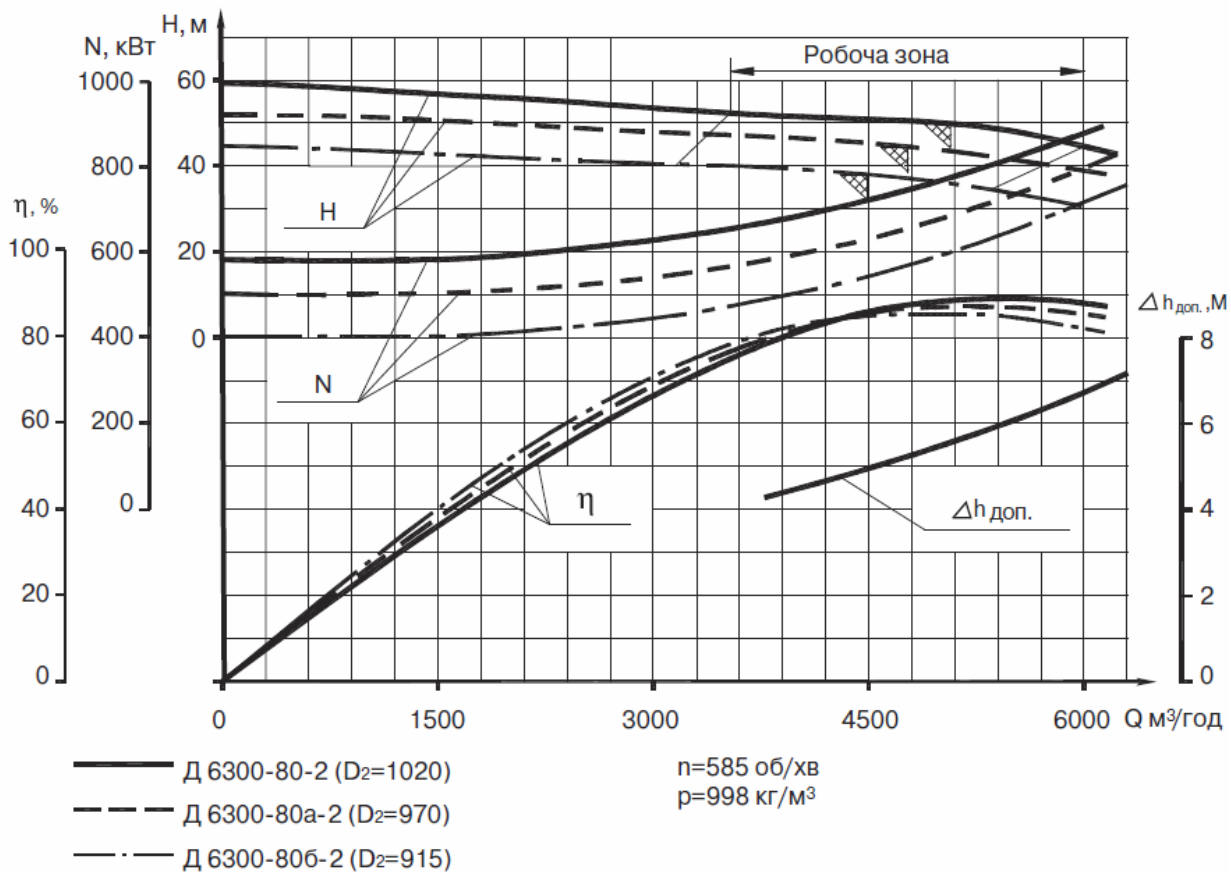
Д 6300-27-3-1



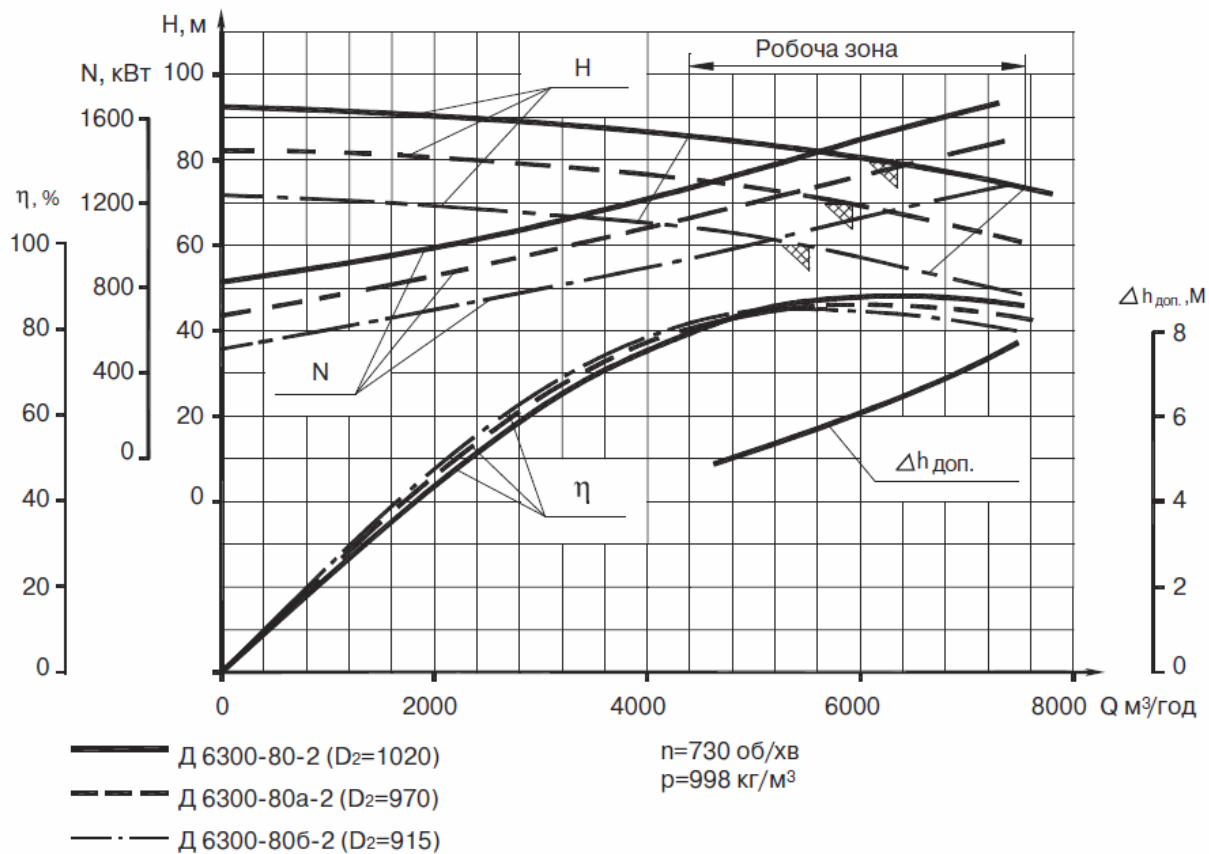
$D_2=700$  мм

$n=730$  об/хв  
 $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>

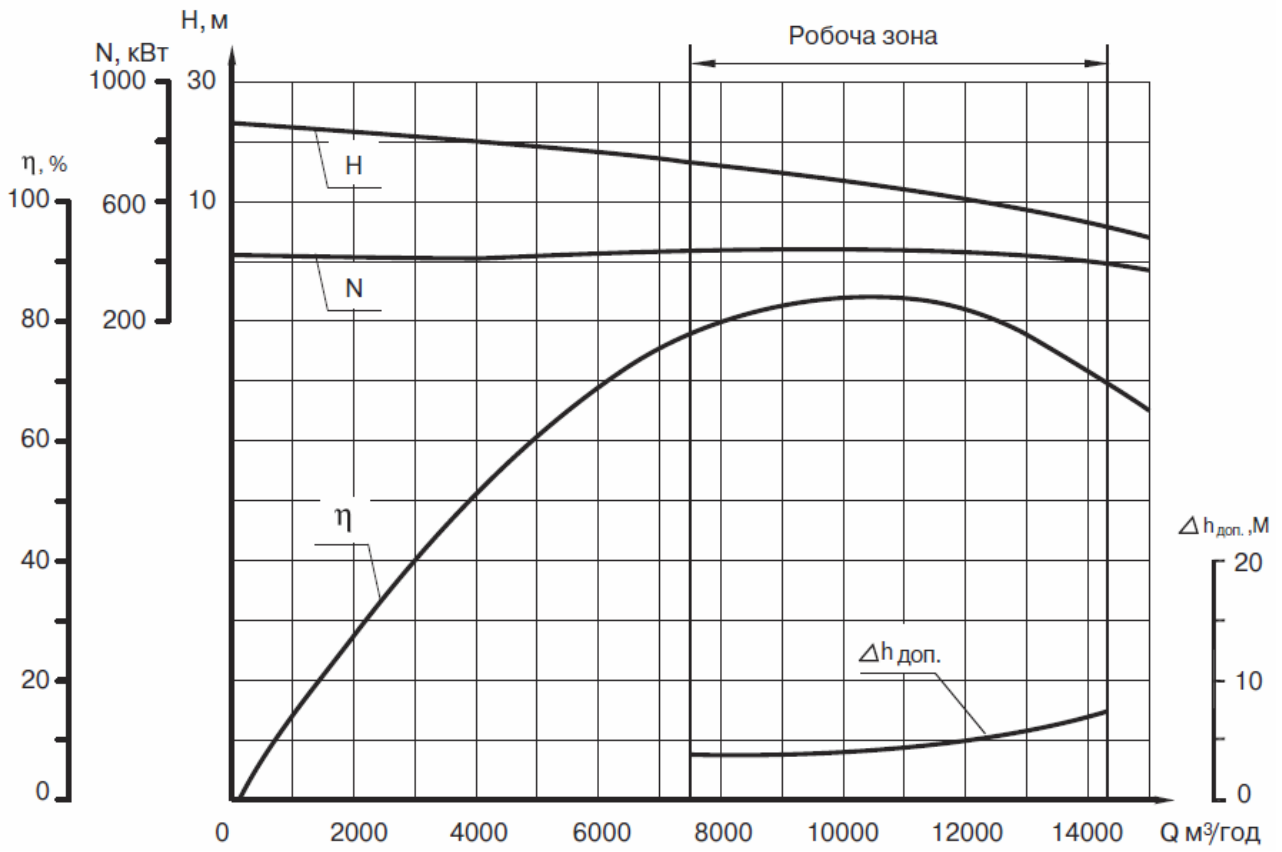
### Д 6300-80-2



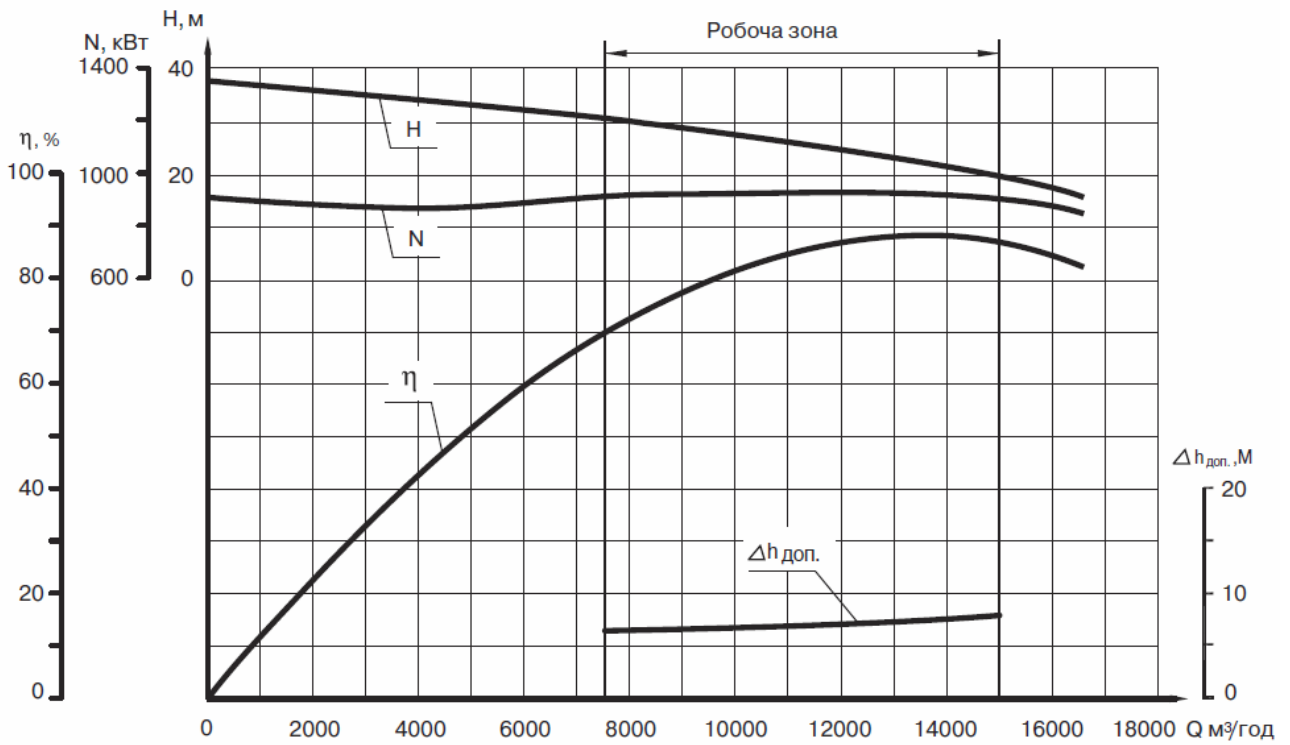
### Д 6300-80-2



Д 12500-10



Д 12500-24



$n=495$  об/хв

## ДОДАТОК Ж

### Характеристики насосів для практичного заняття № 6

Таблиця Ж.1 – Насос № 1

Н, м	27,5	26,5	24,0		21,0	18,0	16,0	14,0
Q, м <sup>3</sup> /Год	0	1 000	2 000		3 000	3 500	4 000	4 500

Таблиця Ж.2 – Насос № 2

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

Таблиця Ж.3 – Насос № 3

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

Таблиця Ж.4 – Насос № 4

Н, м	45,0	43,5	40,5	38,0	35,5	32,0	25,0
Q, м <sup>3</sup> /Год	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000

Таблиця Ж.5 – Насос № 5

Н, м	46,0	41,0	38,0	36,0	35,0	32,5	30,5
Q, м <sup>3</sup> /Год	0	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500

Таблиця Ж.6 – Насос № 6

Н, м	50,0	49,5	44,0	41,0	39,5	35,0	30,0
Q, м <sup>3</sup> /Год	0	400	800	1 000	1 200	1 400	1 600

## ДОДАТОК И

### Характеристики насосів для практичного заняття № 7

Таблиця И.1 – Насос № 1

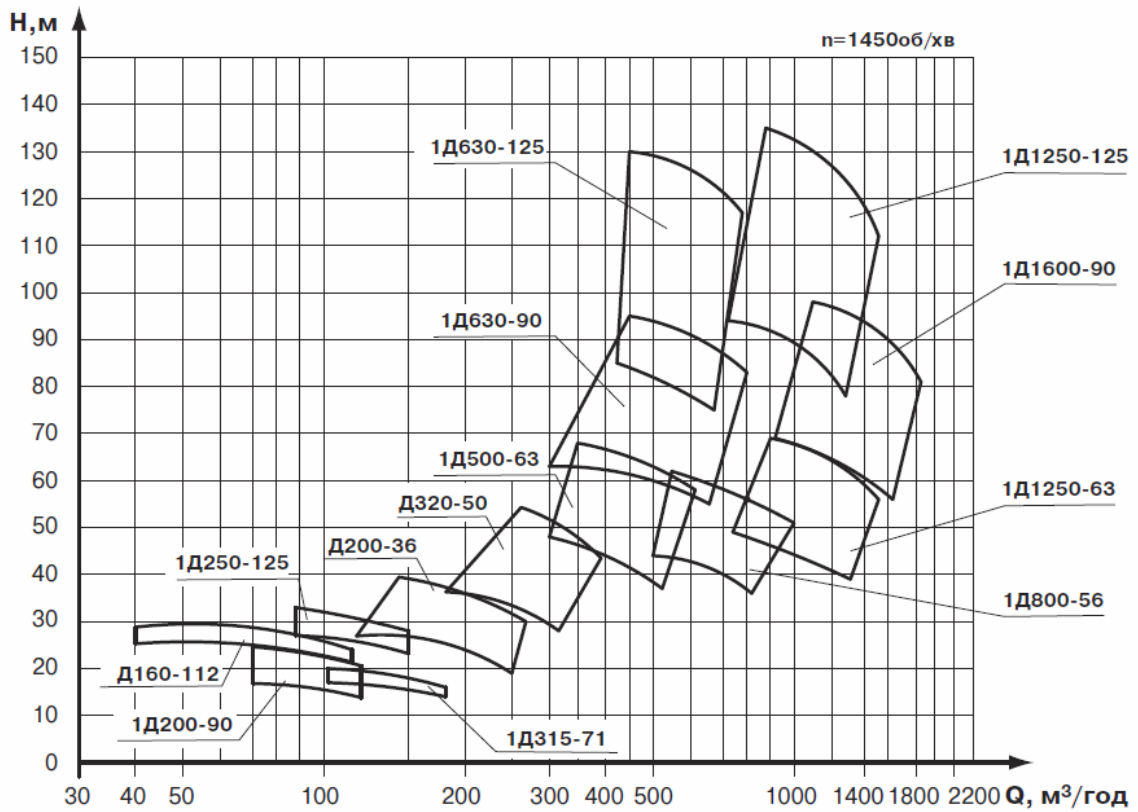
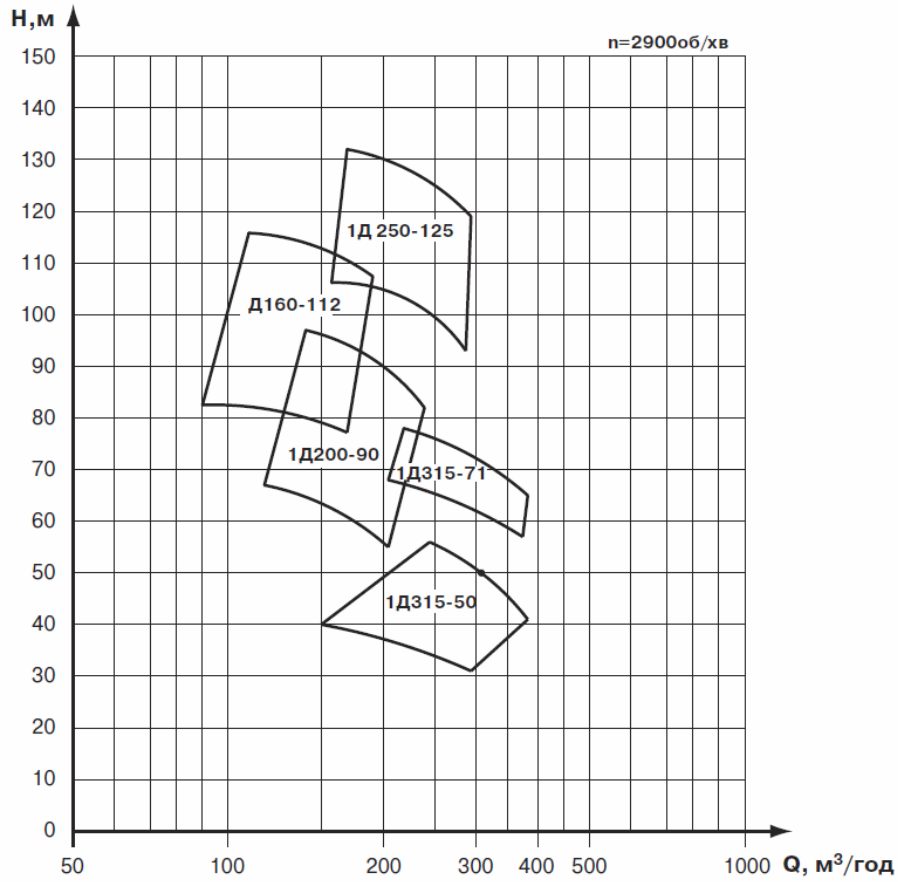
Н, м	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
Q, м <sup>3</sup> /Год	0,0	300,0	600,0	1 200,0	1 800,0	2 100,0	2 400

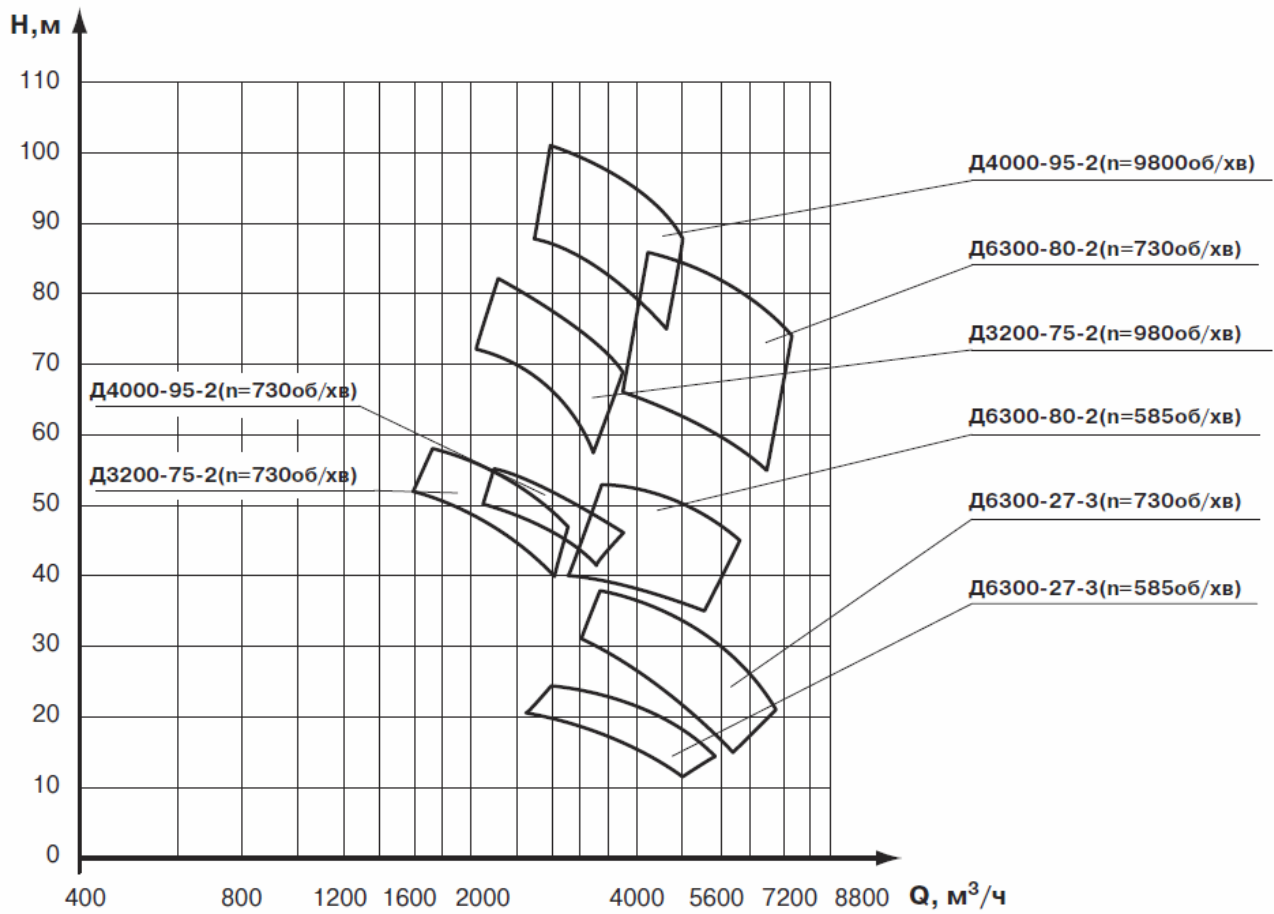
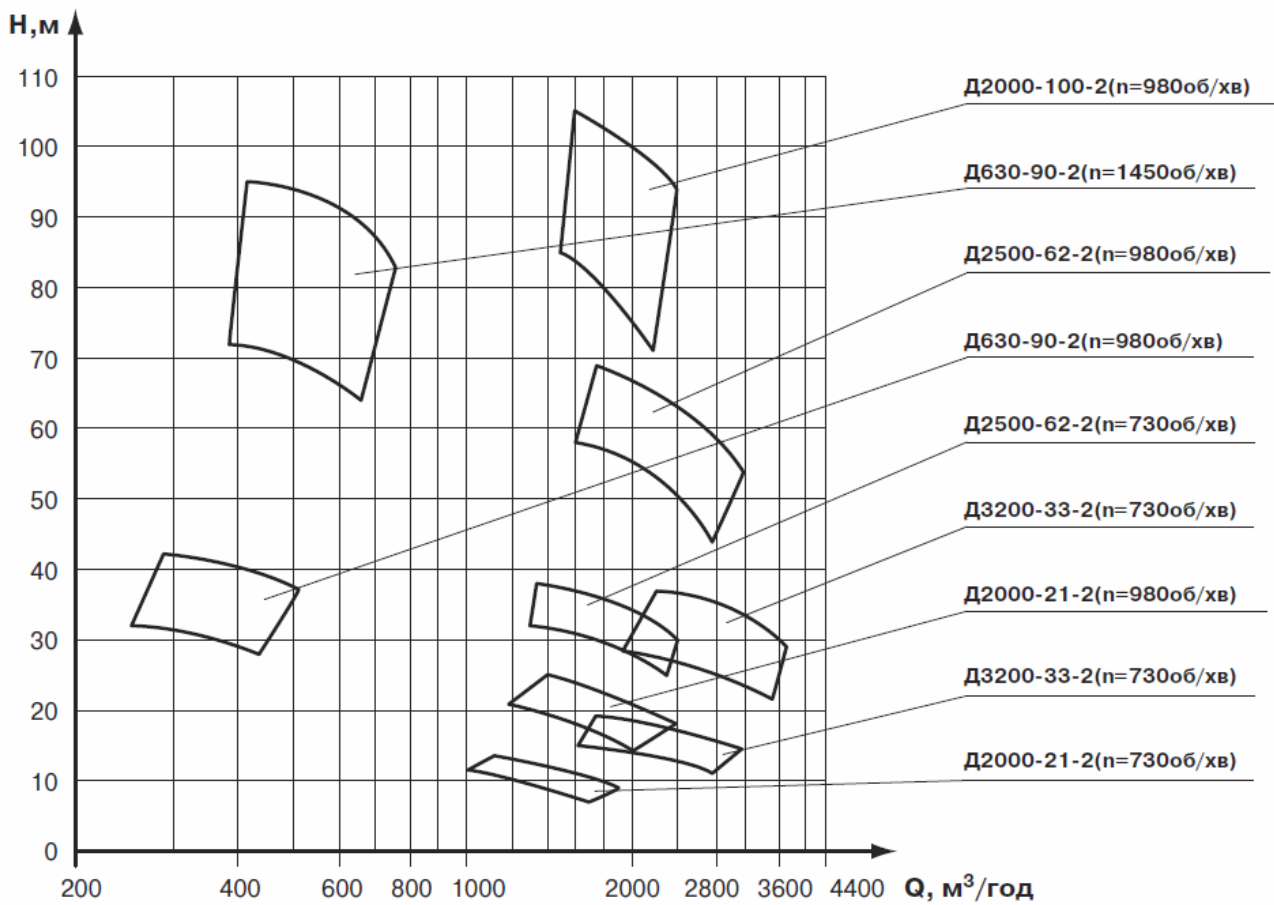
Таблиця И.2 – Насос № 2

Н, м	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
Q, м <sup>3</sup> /Год	0,0	400,0	800,0	1 000,0	1 400,0	2 000,0	2 600,0

## ДОДАТОК К

### Зведені робочі поля насосів типу Д





*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації

до проведення практичних занять  
із навчальної дисципліни

**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

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

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

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

План 2025, поз. 556М

---

Підп. до друку 10.12.2025. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 3,7.

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