

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення практичних занять  
та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ  
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та  
цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2026**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Відновлення об'єктів гідроенергетичної інфраструктури України» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. О. Мозговий. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 76 с.

Укладач д-р техн. наук, доц. А. О. Мозговий

#### Рецензент

**І. В. Храпатова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 6 від 27.11.2025*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 5  |
| Практичне заняття № 1 Вибір типу гідротурбін, розрахунок основних параметрів.....                      | 6  |
| 1 Вихідні дані.....  | 6  |
| 2 Вибір обладнання будівлі ГЕС.....  | 6  |
| 3 Приклад обчислення вихідних даних.....   | 7  |
| 4 Вибір типу гідротурбін, розрахунок основних параметрів.....  | 8  |
| 5 Приклад вибору типу гідротурбін і розрахунку основних параметрів.....                                | 11 |
| Практичне заняття № 2 Вибір параметрів і розрахунок турбінної камери.....                              | 15 |
| 1 Вибір параметрів і розрахунок турбінної камери.....  | 15 |
| 2 Приклад вибору параметрів і розрахунку турбінної камери.....   | 16 |
| Практичне заняття № 3 Вибір параметрів і розрахунок відсмоктувальної труби .....                       | 19 |
| 1 Вибір і розрахунок відсмоктувальної труби.....   | 19 |
| 2 Приклад вибору та розрахунку відсмоктувальної труби.....   | 19 |
| Практичне заняття № 4 Підбір вертикального гідрогенератора і визначення його параметрів.....           | 22 |
| 1 Підбір гідрогенераторного обладнання .....   | 22 |
| 2 Визначення параметрів гідрогенератора.....   | 23 |
| 3 Приклад підбору вертикального гідрогенератора .....  | 25 |
| 4 Визначення геометричних розмірів вертикальних гідрогенераторів.....                                  | 26 |
| 5 Приклад визначення геометричних розмірів вертикальних гідрогенераторів.....                          | 27 |
| Практичне заняття № 5 Підбір трансформатора, проектування відкритого розподільного пристрою (ВРП)..... | 29 |
| 1 Підбір трансформаторного обладнання.....   | 29 |
| 2 Приклад підбору трансформатора, проектування ВРП.....  | 30 |
| Практичне заняття № 6 Вибір сміттєзатримуючих решіток. Вибір аварійних і ремонтних затворів.....       | 31 |
| 1 Вибір сміттєзатримуючих решіток і їх розмірів.....   | 31 |
| 2 Приклад вибору сміттєзатримуючих решіток і їх розмірів.....  | 32 |
| 3 Вибір аварійних і ремонтних затворів.....  | 32 |
| 4 Приклад вибору аварійних і ремонтних затворів.....   | 33 |
| Практичне заняття № 7 Вибір кранового устаткування.....  | 35 |
| 1 Вибір мостових та козлових кранів.....   | 35 |
| 2 Приклад вибору кранового устаткування.....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Практичне заняття № 8 Підсилення залізобетонної балки перекриття, що зазнала пошкоджень унаслідок влучання засобу ураження.....  | 39 |
| Практичне заняття № 9 Розрахунок профільного та коробчастого коефіцієнтів перерізів колони. Підбір вогнезахисного матеріалу та способу вогнезахисту з метою підвищення класу вогнестійкості..... | 43 |
| Список посилань.....   | 47 |
| Додаток А Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбін.....  | 49 |
| Додаток Б Визначення ваги гідравлічної турбіни.....  | 67 |
| Додаток В Визначення розмірів спіральних турбінних камер.....  | 70 |
| Додаток Г Визначення основних параметрів і розмірів відсмоктувальних труб.....   | 71 |
| Додаток Д Визначення основних параметрів і розмірів вертикальних гідрогенераторів.....   | 72 |
| Додаток Е Визначення основних параметрів і розмірів трифазних трансформаторів.....   | 74 |
| Додаток Ж Визначення основних параметрів мостових і козлових кранів.....   | 75 |

## ВСТУП

В умовах бойових дій, що спричиняють значні руйнування критичної інфраструктури та актуалізацію питань національної безпеки, проблема захисту та відновлення об'єктів гідроенергетичної інфраструктури України набуває першочергового значення. Гідроелектростанції є важливими елементами енергетичної системи, що забезпечують гнучке балансування навантажень, резервне постачання та екологічно чисте виробництво електроенергії. Порушення їх функціонування спричиняє серйозні наслідки – від перебоїв в енергопостачанні до загроз техногенного й екологічного характеру.

Дисципліна «Відновлення об'єктів гідроенергетичної інфраструктури України» покликана сформувати у здобувачів освіти розуміння принципів забезпечення надійності, стійкості та функціонального відновлення будівель ГЕС, а також збереження їх технологічного обладнання [1–24]. Особливий акцент зроблено на вивченні пошкоджень, що виникають унаслідок вибухів, пожеж, гідродинамічних навантажень, і розгляді ефективних інженерних рішень щодо їхнього усунення [11, 13–14]. Розкриваються питання визначення критичності елементів об'єктів, сучасні методи оцінки вогнестійкості, аналізу температурного впливу, стійкості конструкцій до вибухових впливів і пожеж.

Гідроенергетичні об'єкти характеризуються складною структурою. Важливо розуміти функціональне призначення гідросилового, електротехнічного, допоміжного та механічного обладнання, принципи його компонування, експлуатації. Залежно від типу гідротурбіни, напору, потужності станції та особливостей генераторного комплексу проектується різні схеми розміщення гідроагрегатів, від яких залежить стійкість і ремонтпридатність об'єкта. Правильна оцінка взаємозв'язку між конструктивними елементами та інженерними системами дає змогу прийняти обґрунтоване рішення щодо відновлення та захисту.

Суттєвим елементом підготовки майбутніх фахівців є виконання практичних завдань, які передбачають самостійне опрацювання інженерних рішень, аналіз прикладів із реальної практики, розрахунки на вогнестійкість елементів споруд, вибір типів підсилення конструкцій – балок, плит, колон, ферм, стін залежно від умов пошкодження [11, 13–14]. Саме практичні заняття формують стійкі компетентності у прийнятті рішень, наближених до реальних умов експлуатації об'єктів гідроенергетики.

Навчальний матеріал охоплює огляд типових пошкоджень конструкцій ГЕС, класифікацію рівнів захисту, аналіз дії вибухових навантажень на конструкції, особливості конструктивних рішень з урахуванням нормативних вимог та світового досвіду протистояння терористичним загрозам.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

### ВИБІР ТИПУ ГІДРОТУРБІН, РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

#### 1 Вихідні дані

Необхідно підібрати основне устаткування будівлі ГЕС – гідротурбіни, турбінні камери, відсмоктувальні труби, гідрогенератори, трансформатори, затвори, сміттєзатримувальні решітки, вантажопідйомні механізми (табл. 1.1):

1. Встановлена потужність ГЕС  $N_B$ , МВт.
2. Відмітка нормального підпірного рівня водосховища  $\nabla_{НПР}$ , м.
3. Відмітка рівня мертвого об'єму водосховища  $\nabla_{РМО}$ , м.
4. Відмітка річки у створі ГЕС  $\nabla_D$ , м.
5. Рівні води у нижньому б'єфі:
  - 5.1. Глибина води при роботі одного агрегата ГЕС  $h_{МІН}$ , м.
  - 5.2. Мінімальна відмітка нижнього б'єфу  $\nabla_{НБ_{МІН}} = \nabla_D + h_{МІН}$ , м.
  - 5.3. Глибина води при роботі ГЕС  $h_{ГЕС}$ , м.
  - 5.4. Відмітка нижнього б'єфу при роботі ГЕС  $\nabla_{НБ_{ГЕС}} = \nabla_D + h_{ГЕС}$ , м.
  - 5.5. Глибина води при максимальній витраті  $h_{МАКС}$ , м.
  - 5.6. Максимальна відмітка нижнього б'єфу  $\nabla_{НБ_{МАКС}} = \nabla_D + h_{МАКС}$ , м.
6. Максимальна повенева витрата  $Q_{П}$ , тис. м<sup>3</sup>/с.
7. Кількість агрегатів ГЕС  $z$ , шт.
8. Тип машинної зали.

#### 2 Вибір обладнання будівлі ГЕС

Необхідно підібрати основне устаткування будівлі ГЕС: гідротурбіни, турбінні камери, відсмоктувальні труби, гідрогенератори, трансформатори, затвори, сміттєзатримувальні решітки, вантажопідйомні механізми.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

| Номер варіанта | $N_B$ , МВт | $\nabla_{НПР}$ , м | $\nabla_{РМО}$ , м | $\nabla_D$ , м | $Q_{П}$ , тис. м <sup>3</sup> /с | $h_{МІН}$ , м | $h_{ГЕС}$ , м | $h_{МАКС}$ , м | Кількість агрегатів | Тип машинної зали | Геологічні умови |
|----------------|-------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 1              | 2           | 3                  | 4                  | 5              | 6                                | 7             | 8             | 9              | 10                  | 11                | 12               |
| 1              | 500         | 200                | 195                | 182            | 12                               | 3,0           | 4,0           | 6,5            | 12                  | 3                 | Піски            |
| 2              | 520         | 730                | 726                | 705            | 40                               | 4,0           | 5,0           | 7,5            | 8                   | 3                 | Глина            |
| 3              | 540         | 600                | 595                | 579            | 40                               | 4,3           | 5,5           | 8,0            | 10                  | 3                 | Вапняки          |

Продовження таблиці 1.1

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7   | 8   | 9   | 10 | 11 | 12      |
|---|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|----|---------|
| 4   | 560 | 240 | 236 | 221 | 30 | 3,3 | 4,6 | 7,8 | 16 | 3  | Піски   |
| 5   | 580 | 660 | 655 | 641 | 35 | 3,2 | 3,9 | 6,3 | 20 | 3  | Супіски |
| 6   | 150 | 400 | 395 | 380 | 11 | 4,4 | 5,8 | 8,5 | 4  | 3  | Піски   |
| 7   | 320 | 210 | 205 | 191 | 20 | 5,1 | 6,1 | 8,2 | 8  | 3  | Граніт  |
| 8   | 440 | 340 | 334 | 321 | 20 | 4,0 | 5,0 | 8,8 | 10 | 3  | Глина   |
| 9   | 360 | 780 | 774 | 765 | 15 | 3,2 | 3,9 | 6,0 | 16 | 3  | Піски   |
| 10  | 680 | 820 | 814 | 790 | 18 | 4,5 | 5,8 | 9,0 | 20 | 3  | Супіски |
| 11  | 320 | 500 | 492 | 476 | 24 | 5,0 | 6,0 | 8,0 | 8  | 3  | Вапняки |
| 12  | 240 | 240 | 236 | 225 | 50 | 4,1 | 5,4 | 7,2 | 12 | 3  | Піски   |
| 13  | 440 | 720 | 712 | 698 | 30 | 3,0 | 3,9 | 6,1 | 10 | 3  | Граніт  |
| 14  | 360 | 380 | 375 | 363 | 30 | 4,4 | 5,6 | 8,2 | 16 | 3  | Супіски |
| 15  | 780 | 510 | 504 | 486 | 40 | 3,2 | 4,6 | 7,6 | 20 | 3  | Вапняки |
| 16  | 200 | 410 | 404 | 390 | 15 | 4,7 | 5,9 | 8,7 | 4  | 3  | Піски   |
| 17  | 200 | 220 | 217 | 206 | 22 | 4,1 | 5,5 | 9,0 | 8  | 3  | Граніт  |
| 18  | 420 | 200 | 197 | 180 | 30 | 5,0 | 6,0 | 8,2 | 10 | 3  | Глина   |
| 19  | 440 | 620 | 613 | 594 | 20 | 3,1 | 4,4 | 7,2 | 16 | 3  | Граніт  |
| 20  | 460 | 780 | 773 | 752 | 15 | 4,2 | 5,6 | 8,2 | 20 | 3  | Піски   |
| 21  | 220 | 230 | 224 | 204 | 40 | 4,4 | 5,7 | 9,1 | 4  | 3  | Граніт  |
| 22  | 500 | 150 | 144 | 124 | 10 | 4,9 | 6,9 | 8,8 | 8  | 3  | Супіски |
| 23  | 520 | 760 | 750 | 736 | 42 | 3,3 | 4,6 | 7,7 | 10 | 3  | Вапняки |
| 24  | 540 | 180 | 176 | 155 | 28 | 4,6 | 5,9 | 9,2 | 16 | 3  | Піски   |
| 25  | 560 | 150 | 144 | 130 | 15 | 3,0 | 4,0 | 6,5 | 20 | 3  | Граніт  |
| 26  | 100 | 700 | 692 | 681 | 35 | 3,1 | 4,1 | 6,7 | 4  | 3  | Глина   |
| 27  | 300 | 230 | 221 | 207 | 20 | 4,4 | 5,7 | 8,2 | 8  | 3  | Граніт  |
| 28  | 520 | 160 | 154 | 141 | 12 | 3,0 | 4,0 | 7,0 | 10 | 3  | Вапняки |
| 29  | 640 | 245 | 234 | 212 | 30 | 4,4 | 5,8 | 8,6 | 16 | 3  | Піски   |
| 30  | 660 | 760 | 752 | 730 | 25 | 3,3 | 4,5 | 7,5 | 20 | 3  | Глина   |
| Примітка. Тип машинної зали 3 – закритий. |     |     |     |     |    |     |     |     |    |    |         |

### 3 Приклад обчислення вихідних даних

Таблиця 1.2 – Приклад

| Номер<br>варіанта | $N_B$ , МВт | $V_{НПР}$ , м | $V_{РМО}$ , м | $V_D$ , м | $Q_{л}$ , тис. м <sup>3</sup> /с | $h_{МІН}$ , м | $h_{ГЕС}$ , м | $h_{МАКС}$ , м | Кількість<br>агрегатів | Тип машинної<br>зали | Геологічні<br>умови |
|-------------------|-------------|---------------|---------------|-----------|----------------------------------|---------------|---------------|----------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| 1                 | 30          | 212,0         | 210,0         | 193,4     | 300,0                            | 4,3           | 8,8           | 13,3           | 4                      | 3                    | Граніт              |

1. Встановлена потужність ГЕС,  $N_B = 30$  МВт.
2. Відмітка нормального підпірного рівня водосховища,  $\nabla_{НПР} = 212,0$  м.
3. Відмітка рівня мертвого об'єму водосховища,  $\nabla_{РМО} = 210,0$  м.
4. Відмітка дна річки у створі ГЕС,  $\nabla_{Д} = 193,4$  м.
5. Рівні води у нижньому б'єфі:
  - 5.1. Глибина води при роботі одного агрегата ГЕС,  $h_{\text{МИН}} = 4,3$  м.
  - 5.2. Мінімальна відмітка нижнього б'єфу,  $\nabla_{НБ_{\text{МИН}}} = \nabla_{Д} + h_{\text{МИН}} = 197,7$  м.
  - 5.3. Глибина води при роботі ГЕС,  $h_{\text{ГЕС}} = 8,8$ , м.
  - 5.4. Відмітка нижнього б'єфу при роботі ГЕС,  
 $\nabla_{НБ_{\text{ГЕС}}} = \nabla_{Д} + h_{\text{ГЕС}} = 202,2$  м.
  - 5.5. Глибина води при максимальній витраті  $h_{\text{МАКС}} = 13,3$  м.
  - 5.6. Максимальна відмітка нижнього б'єфу,  
 $\nabla_{НБ_{\text{МАКС}}} = \nabla_{Д} + h_{\text{МАКС}} = 206,7$  м.
6. Максимальна повенева витрата  $Q_{\text{П}} = 300$  м<sup>3</sup>/с.
7. Кількість агрегатів ГЕС  $z = 4$  шт.
8. Тип машинної зали – закритого типу.
9. Геологічні умови створу гідровузла – граніт.  
 Вихідні дані наведено в таблиці 1.3.

#### 4 Вибір типу гідротурбін, розрахунок основних параметрів

Тип гідротурбін обирається за величиною діючих напорів і потужністю турбін. З метою спрощення визначаємо статичні напори на ГЕС і вважаємо їх за діючі:

- максимальний напір,  $H_{\text{МАКС}} = \nabla_{НПР} - \nabla_{НБ_{\text{МИН}}}$ , м;
- мінімальний напір,  $H_{\text{МИН}} = \nabla_{РМО} - \nabla_{НБ_{\text{ГЕС}}}$ , м;
- розрахунковий напір,  $H_p = (2H_{\text{МИН}} + H_{\text{МАКС}})/3$ , м.

Визначаємо потужність турбіни за формулою

$$N_T = \frac{N_B}{z \cdot \eta_T}, \text{ МВт}, \quad (1.1)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність ГЕС, МВт;

$z$  – кількість агрегатів ГЕС, шт.;

$\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії генератора,  $\eta_T = 0,96-0,98$ .

Основні параметри гідротурбіни такі:  $H$  – напір, м,  $Q$  – витрати, м<sup>3</sup>/с,  $N_T$  – потужність на валу, кВт,  $n_c$  – частота обертання турбіни, об./хв,  $D_1$  – номінальний діаметр робочого колеса, м,  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) турбіни;  $H_s$  – висота відсмоктування, м.

Основні параметри турбіни та її тип попередньо визначаються за графіком областей застосування турбін (див. дод. А). Тип турбіни обирається залежно від максимального напору, а синхронна частота обертання агрегата та діаметр робочого колеса – за режимною точкою з параметрами  $N_T$  і  $H_P$ .

На попередньому етапі визначаються параметри турбіни (див. дод. А). Ці графіки наведені без урахування абсолютної висоти розташування турбін, тому отримані параметри потім уточнюються шляхом розрахунку.

Визначається витрата турбіни:

$$Q_T = \frac{N_T}{9,81 \cdot H_P \cdot \eta_T}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.2)$$

Коефіцієнт корисної дії турбіни  $\eta_T$  приймається в межах 0,87–0,90 для турбін ПЛ, 0,90–0,92 для турбіни РО.

Діаметр робочого колеса турбіни знаходимо за формулою

$$D_1 = \sqrt{\frac{N_T}{9,81 \cdot Q_I' \cdot H_P \cdot \sqrt{H_P} \cdot \eta_T}} = \sqrt{\frac{Q_T}{Q_I' \sqrt{H_P}}}, \text{ м}, \quad (1.3)$$

де  $Q_I'$  – розрахункова приведена витрата приймається за таблицею 1.3 або додатком А;

$N_T$  – потрібна розрахункова потужність;

$H_P$  – розрахунковий напір;

$\eta_T$  – ККД турбіни.

Частота обертання турбіни (агрегата) визначається так:

$$n = \frac{n_I' \cdot \sqrt{H_P}}{D_1}, \text{ об./хв}, \quad (1.4)$$

де  $n_I'$  – розрахункова приведена частота, об./хв;

$H_P$  і  $D_1$  – приймаються в метрах.

Значення  $n_I'$  приймається за таблицею 1.3 або додатком А. Отримане значення  $n$  округляється до найближчого синхронного  $n_C$  згідно з додатком А.

Допустиму висоту відсмоктування за умови відсутності кавітації знаходять так:

$$H_S \leq 10 - k \cdot \sigma \cdot H_H - \frac{v_T}{900}, \text{ м}, \quad (1.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу (для турбін типу ПЛ  $k = 1,1$ , типу РО  $k = 1,05$ );



$$\nabla T = \nabla H B_{\text{МИН}} + H_S + \frac{b_0}{2}, \quad (1.7)$$

де  $b_0$  – висота спрямовуючого апарату (табл. 1.3).

Встановлюється повна маса гідротурбіни  $G_T$  (дод. Б).

Таблиця 1.3 – Основні параметри і розміри турбін

| Показники                      | Тип турбіни |          |          |          |          |
|--------------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
|                                | ПЛ 10       | ПЛ 20    | ПЛ 30    | РО 45    | РО 75    |
| $n^I_{I, \text{об./хв}}$       | 180         | 145      | 150      | 85       | 80       |
| $Q^I_{I, \text{м}^3/\text{с}}$ | 2,4         | 1,8      | 1,8      | 1,4      | 1,25     |
| $\sigma$                       | 1,7         | 0,8      | 0,85     | 0,22     | 0,18     |
| $b_0/D_1$                      | 0,43        | 0,40     | 0,37     | 0,35     | 0,30     |
| $d_{BT}/D_1$                   | 0,35        | 0,37     | 0,41     | –        | –        |
| $D_a/D_1$                      | 1,63        | 1,63     | 1,63     | 1,63     | 1,63     |
| $D_b/D_1$                      | 1,38        | 1,38     | 1,38     | 1,38     | 1,38     |
| $D_0/D_1$                      | 1,2         | 1,2      | 1,2      | 1,2      | 1,2      |
| $h_{km}/D_1$                   | 0,2-0,25    | 0,2-0,25 | 0,2-0,25 | 0,2-0,25 | 0,2-0,25 |
| $h_1/D_1$                      | 0,21        | 0,21     | 0,21     | –        | –        |
| $h_2/D_1$                      | 0,21        | 0,21     | 0,21     | 0,21     | 0,25     |
| $D_2/D_1$                      | 0,97        | 0,97     | 0,97     | 1,15     | 1,15     |
| $h_s/D_1$                      | 0,31        | 0,35     | 0,40     | 0,31     | 0,31     |

Примітка 1. Щоб отримати відповідний розмір турбіни в метрах, необхідно відносно значення табличного параметру помножити на діаметр турбіни в метрах.  
Примітка 2. Діаметр вала  $d_b$  приймається згідно з додатком Д.

## 5 Приклад вибору типу гідротурбін та розрахунку основних параметрів

Тип гідротурбін обирається за величиною діючих напорів і потужністю турбін. З метою спрощення визначимо статичні напори на ГЕС і вважатимемо їх діючими:

– максимальний напір:  $H_{\text{МАКС}} = \nabla \text{НПР} - \nabla \text{НБ}_{\text{МИН}} = 212,0 - 197,7 = 14,3 \text{ м};$

– мінімальний напір:  $H_{\text{МИН}} = \nabla \text{РМО} - \nabla \text{НБ}_{\text{ГЕС}} = 210,0 - 202,2 = 7,8 \text{ м};$

– розрахунковий напір:

$$H_p = (2H_{\text{МИН}} + H_{\text{МАКС}}) / 3 = (2 \times 7,8 + 14,3) / 3 = 9,97 \text{ м.}$$

Визначимо потужність турбіни за формулою

$$N_T = \frac{N_B}{z \cdot \eta_T} = \frac{30}{4 \cdot 0,98} = 7,6 \text{ МВт}, \quad (1.8)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність ГЕС, МВт;

$z$  – кількість агрегатів ГЕС, шт.;

$\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії генератора,  $\eta_T = 0,96-0,98$ .

Таблиця 1.4 – Основні розміри турбіни

| № з/п | Параметр  | Розмір турбіни в частках діаметра робочого колеса | Натуральні розміри турбіни, мм |
|-------|---|---|--------------------------------|
| 1     | Діаметр робочого колеса, $D_1$                        |   |                                |
| 2     | Відносна висота напрямного апарата, $b_0$             |   |                                |
| 3     | Діаметр втулки, $d_{BT}$                              |   |                                |
| 4     | Діаметр цапфи, $d_{Ц}$                                |   |                                |
| 5     | Висота втулки обтікача, $h_B$                         |   |                                |
| 6     | Розміри камери робочого колеса                        | $h_1$   |                                |
|       |   | $h_2$   |                                |
|       |   | $D_2$   |                                |
| 7     | Розміри спряження поверхні робочого колеса            | $a_1$   |                                |
|       |   | $b_1$   |                                |
|       |   | $R_1$   |                                |
| 8     | Розміщення колон статора і лопаток напрямного апарата | $D_a$   |                                |
|       |   | $D_b$   |                                |
|       |   | $D_0$   |                                |
| 9     | Висота кришки турбіни, $h_{KT}$                       |   |                                |

Основні параметри гідротурбіни такі:  $H$  – напір, м;  $Q$  – витрати,  $m^3/c$ ;  $N_T$  – потужність на валу, кВт;  $n_C$  – частота обертання турбіни, об./хв;  $D_1$  – номінальний діаметр робочого колеса, м;  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії турбіни;  $H_S$  – висота відсмоктування, м.

Основні параметри турбіни та її тип попередньо визначаються за графіком областей застосування турбін (дод. А).

Тип турбіни обирається залежно від максимального напору, а синхронна частота обертання агрегата та діаметр робочого колеса – за режимною точкою з параметрами  $N_T = 7,6$  МВт і  $H_P = 9,97$  м.

Із універсальної характеристики для турбіни ПЛ-15:  $Q_T^I = 2,07$   $m^3/c$ ,  $n_T^I = 165$  хв<sup>-1</sup>,  $\sigma = 0,78$ ,  $D_1 = 3,55$  м,  $\eta_T = 90,5$  %.

Цей графік наведено без урахування абсолютної висоти розташування турбін, тому отримані параметри уточнюються шляхом розрахунку.

Визначається витрата турбіни:

$$Q_T = \frac{N_T}{9,81 \cdot H_P \cdot \eta_T} = \frac{7600}{9,81 \cdot 9,97 \cdot 0,905} = 85,86 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.9)$$

Діаметр робочого колеса турбіни знаходимо за формулою

$$D_1 = \sqrt{\frac{N_T}{9,81 \cdot Q'_I \cdot H_P \cdot \sqrt{H_P} \cdot \eta_T}} = \sqrt{\frac{Q_T}{Q'_I \sqrt{H_P}}} = \sqrt{\frac{85,86}{2,07 \sqrt{9,97}}} = 3,62 \text{ м}, \quad (1.10)$$

де  $Q'_I$  – розрахункова приведена витрата, приймається за таблицею 1.2 або додатком А;

$N_T$  – потрібна розрахункова потужність;

$H_P$  – розрахунковий напір;

$\eta_T$  – ККД турбіни.

Отримане значення округлюється до найближчого стандартного номенклатурного значення  $D_1 = 3,6$  м.

Частота обертання турбіни (агрегату) визначається так:

$$n = \frac{n'_I \cdot \sqrt{H_P}}{D_1} = \frac{165 \cdot \sqrt{9,97}}{3,6} = 144,7 \text{ об./хв}, \quad (1.11)$$

де  $n'_I$  – розрахункова приведена частота, об./хв;

$H_P$  і  $D_1$  – приймаються в метрах.

Значення  $n'_I$  приймається за таблицею 2.1 або додатком А.

Отримане значення  $n$  округляється до найближчого синхронного  $n_C = 150$  об./хв згідно з додатком А.

Допустиму висоту відсмоктування за умови відсутності кавітації знаходять так:

$$H_S = 10 - k \cdot \sigma \cdot H_P - \frac{\nabla T}{900} = 10 - 1,1 \cdot 0,7 \cdot 9,97 - \frac{198,4}{900} = +2,1 \text{ м}, \quad (1.12)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу (для турбін типу ПЛ  $k = 1.1$ );

$\sigma$  – коефіцієнт кавітації, приймається за таблицею 1.3;

$\nabla T$  – абсолютна відмітка розташування турбіни над рівнем моря.

У першому наближенні приймається  $\nabla T = \nabla_{\text{НБ}_{\text{МІН}}} = 197,7$  м. Значення  $H_S$  приймається на 0,1–0,2 м менше, ніж розрахункове.

Порівнюючи отримані дані з попередніми (отриманими за частковими даними номенклатури), робимо висновок щодо правильності отриманих результатів.

Підбір турбіни завершується визначенням відмітки осі турбіни типу ПЛ:

$$\nabla T = \nabla H B_{\text{MIN}} + H_S = 197,7 + 2,1 = 199,9\text{м.} \quad (1.13)$$

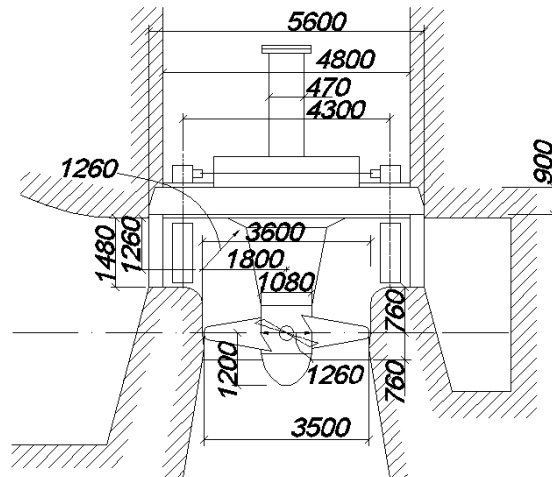


Рисунок 1.3 – Основні монтажні розміри поворотно-лопатевої турбіни

Таблиця 1.5 – Основні розміри турбіни

| № з/п | Параметр                                   | Розмір турбіни в частках діаметра робочого колеса | Натуральні розміри турбіни, мм |       |
|-------|--|---|--------------------------------|-------|
| 1     | 2  | 3   | 4                              |       |
| 1     | Діаметр робочого колеса, $D_1$             | 1   | 3 600                          |       |
| 2     | Відносна висота напрямного апарата, $b_0$  | 0,4   | 1 480                          |       |
| 3     | Діаметр втулки, $d_{\text{ВТ}}$            | 0,35  | 1 260                          |       |
| 4     | Діаметр цапфи, $d_{\text{Ц}}$              | 0,3   | 1 080                          |       |
| 5     | Висота втулки обтікача, $h_{\text{В}}$     | 0,33  | 1 200                          |       |
| 6     | Розміри камери Робочого колеса             | $h_1$   | 0,21                           | 760   |
|       |  | $h_2$   | 0,21                           | 760   |
|       |  | $D_2$   | 0,97                           | 3 500 |
| 7     | Розміри спряження поверхні робочого колеса | $a_1$   | 0,5                            | 1 800 |
|       |  | $b_1$   | 0,35                           | 1 260 |
|       |  | $R_1$   | 0,35                           | 1 260 |

Продовження таблиці 1.5

| 1 | 2   |                 | 3    | 4     |
|---|---|-----------------|------|-------|
| 8 | Розміщення колон статора і лопаток напрямного апарата | $D_a$           | 1,56 | 5 600 |
|   |   | $D_b = D_{III}$ | 1,34 | 4 800 |
|   |   | $D_0$           | 1,2  | 4 300 |
| 9 | Висота кришки турбіни, $h_{KT}$                       |                 | 0,25 | 900   |

Остаточне висотне положення агрегата визначено за умови заглиблення верхової кромки вихідного отвору відсмоктувальної труби на 0,5 м нижче, ніж мінімальний рівень води у нижньому б'єфі, а його позначка дорівнює  $\nabla T = 200,5$  м. Прийнята відмітка осі турбіни забезпечує її безкавітаційний режим роботи при різних рівнях води у нижньому б'єфі.

Повна вага гідротурбіни становить  $G_T = 96$  т (дод. Б).

### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри реактивних турбін.
2. Як визначити повну вагу гідравлічної турбіни?
3. Як визначити необхідну кількість турбін будівлі ГЕС?

### Завдання для самостійної роботи

1. Проаналізувати залежність діаметра робочого колеса турбіни від напору і потужності ГЕС.
2. Навести класифікацію гідравлічних турбін.
3. Чи корелюється діаметр робочого колеса турбіни і напір на ГЕС?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

### ВИБІР ПАРАМЕТРІВ І РОЗРАХУНОК ТУРБІННОЇ КАМЕРИ

#### 1 Вибір параметрів і розрахунок турбінної камери

Турбінна камера є одним з основних елементів реактивної турбіни та призначена для рівномірного підведення води до робочого колеса з мінімальними втратами. Вона, як правило, визначає ширину агрегатного блока та довжину будівлі ГЕС у цілому.

Тип турбінної камери залежить від напору і спочатку приймається згідно з типом турбіни: для турбін типу ПЛ – камера з бетону, для турбін типу РО – камера металева. Кут охоплення  $\varphi_0$  спіральної камери залежить від типу

турбіну і може прийматися за такими рекомендаціями: для турбін ПЛ – 10 і ПЛ-15  $\varphi_0=180^\circ$ , для турбін ПЛ-20 і ПЛ – 30  $\varphi_0=210^\circ$ , для турбін РО – 45 і РО – 75  $\varphi_0=345^\circ$  (див. рис. 2.1.–2.2).

Габарити спіральних камер визначаються за допомогою розрахунків, але на попередній стадії їх розміри визначаються за додатком В.

Щоб отримати відповідний розмір спіральної камери в метрах, необхідно відносно значення табличного параметра помножити на абсолютне значення діаметра  $D_1$  робочого колеса турбіни. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

Ширина спіралі впоперек потоку  $V_{СП}$  приймається  $V_{СП} = 2,5D_1$ . Стандартна ширина прогону складає  $V_{П} = 7,0$  м. Товщина проміжного бика  $\delta_B = 1,8$  м.

Таблиця 2.1 – Розміри бетонної турбінної камери з кутом охоплення  $\varphi_0=210^\circ$

| $\varphi_i, ^\circ$      |                         | 210° | 155° | 110° | 75° | 30° | 0° |
|--------------------------|-------------------------|------|------|------|-----|-----|----|
| $R_{\varphi}, \text{ м}$ | $D_1 = 1,0 \text{ м}$   |      |      |      |     |     |    |
| $b^I_i, \text{ м}$       |                         |      |      |      |     |     |    |
| $a_i, \text{ м}$         |                         |      |      |      |     |     |    |
| $R_{\varphi}, \text{ м}$ | $D_1 = \dots \text{ м}$ |      |      |      |     |     |    |
| $b^I_i, \text{ м}$       |                         |      |      |      |     |     |    |
| $a_i, \text{ м}$         |                         |      |      |      |     |     |    |

## 2 Приклад вибору параметрів і розрахунку турбінної камери

Тип турбінної камери залежить від напору і спочатку приймається згідно з типом турбіни: для турбін типу ПЛ – камера з бетону. Кут охоплення  $\varphi_0$  спіральної камери залежить від типу турбіни і може прийматись за такими рекомендаціями: для турбін ПЛ – 15,  $\varphi_0=180^\circ$  (рис. 2.1).

Габарити спіральних камер визначаються за допомогою розрахунків, але на попередній стадії їх розміри визначаються за додатком В.

Щоб отримати відповідний розмір спіральної камери в метрах, необхідно відносно значення табличного параметра помножити на абсолютне значення діаметра  $D_1$  робочого колеса турбіни. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.2.

Приймаємо: бетонна спіральна камера СУБ – 0,42–180°/38°30 (рис. 2.2).

Ширина спіралі впоперек потоку

$$V_{СП} = 2,5 \cdot D_1 = 2,5 \cdot 3,6 = 9,0 \text{ м.} \quad (2.1)$$

Таблиця 2.2 – Розміри бетонної турбінної камери з кутом охоплення  $\varphi_0 = 180^\circ$

| $\varphi_i, ^\circ$   |                       | $180^\circ$ | $135^\circ$ | $90^\circ$ | $45^\circ$ | $0^\circ$ |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|
| $R_\varphi, \text{м}$ | $D_1 = 1,0 \text{ м}$ | 1,66        | 1,50        | 1,33       | 1,11       | 0,69      |
| $b^I_{i, \text{м}}$   |                       | 0,92        | 0,61        | 0,34       | 0,16       | 0,43      |
| $R_\varphi, \text{м}$ | $D_1 = 3,6 \text{ м}$ | 6,00        | 5,40        | 4,80       | 4,00       | 2,50      |
| $b^I_{i, \text{м}}$   |                       | 3,30        | 2,20        | 1,22       | 0,60       | 1,60      |

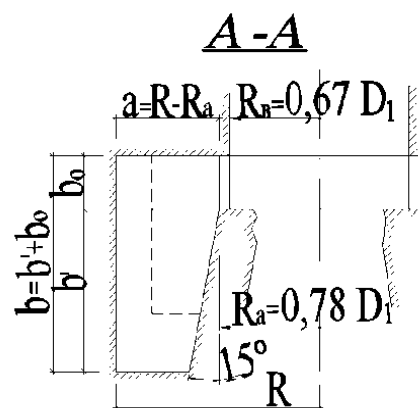
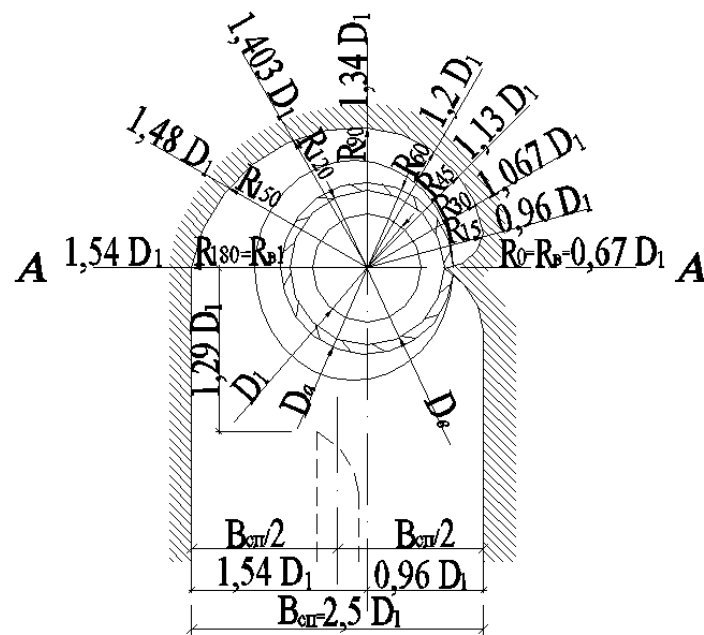


Рисунок 2.1 – Схема № 1 турбінної камери з бетону



Ширину спіралі впоперек потоку приймаємо  $V_{СП} = 10,0$  м. Стандартна ширина прогону складає  $V_{П} = 7,0$  м, тому в камері передбачаємо встановлення проміжного бика завтовшки  $\delta_B = 2,0$  м.

### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри турбінної камери.
2. Як визначити кут охоплення турбінної камери?
3. Як визначити тип турбінної камери?

### Завдання для самостійної роботи

1. Проаналізувати відмінність турбінної камери для ПЛ та РО турбін.
2. Навести класифікацію турбінних камер.
3. У якому випадку застосовується металева турбінна камера?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

### ВИБІР ПАРАМЕТРІВ І РОЗРАХУНОК ВІДСМОКТУВАЛЬНОЇ ТРУБИ

#### 1 Вибір і розрахунок відсмоктувальної труби

Відсмоктувальні труби обираються зі стандартного ряду залежно від типу турбін. Типи відсмоктувальних труб та їх відносні розміри наведені на рисунках 3.1–3.2 і в додатку Г.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні розміри відсмоктувальної труби

| Розміри відсмокт. труби, м | h | L | $B_4 = B_5$ | $L_1$ | $D_4$ | $h_4$ | $h_5$ | $h_6$ | $a/R_6$ | $a_1/R_7$ | $a_2/R_8$ |
|----------------------------|---|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------|-----------|
| $D_1 = 1,0$ м              |   |   |             |       |       |       |       |       |         |           |           |
| $D_1 = \dots$ м            |   |   |             |       |       |       |       |       |         |           |           |

#### 2 Приклад вибору та розрахунку відсмоктувальної труби

Відсмоктувальні труби обирають зі стандартного ряду залежно від типу турбін. Для турбіни типу ПЛ-15 приймаємо зігнуту відсмоктувальну трубу типу 4Е. Її відносні розміри наведені на рисунку 3.3 і в додатку Г.

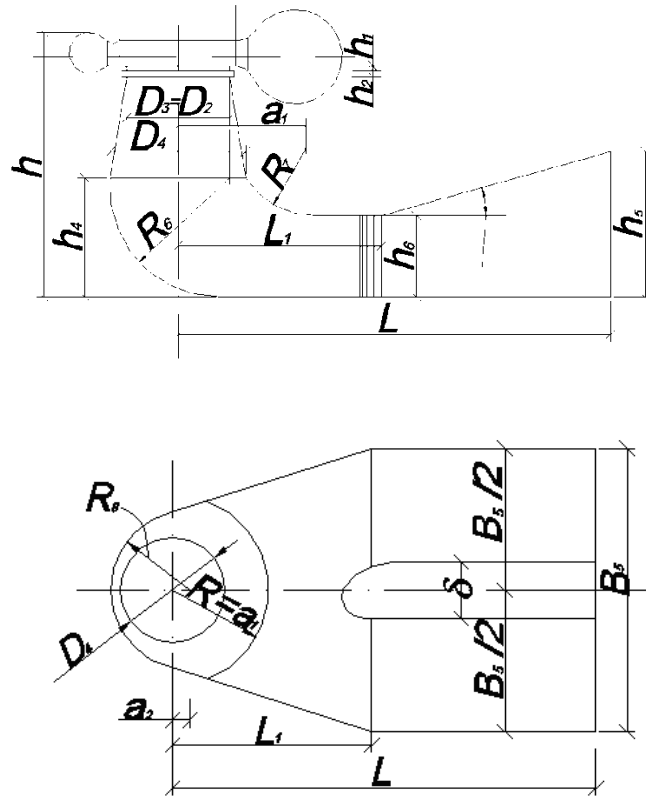


Рисунок 3.1 – Схема відсмоктувальної труби турбіни типу РО

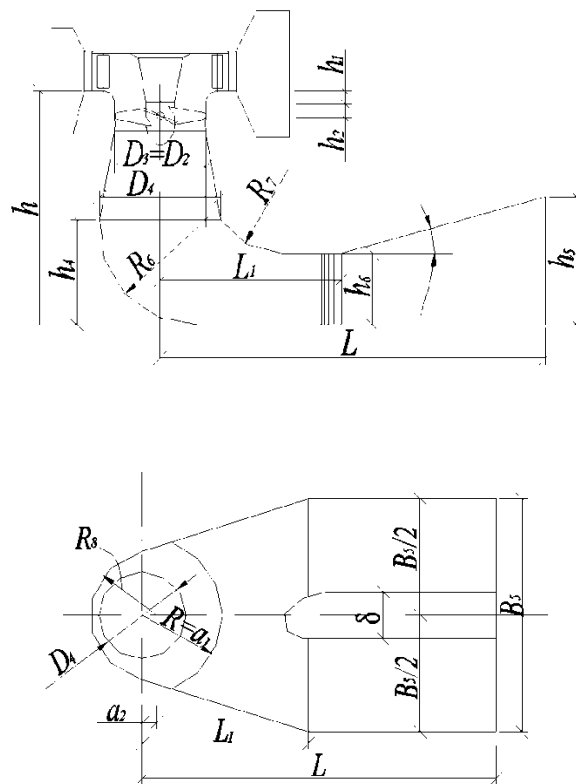


Рисунок 3.2 – Схема відсмоктувальної труби турбіни типу ПЛ

Результати розрахунків звести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні розміри відсмоктувальної труби

| Розміри відсм. труби, м | h   | L    | B <sub>4</sub> ,<br>B <sub>5</sub> | L <sub>1</sub> | D <sub>4</sub> | h <sub>4</sub> | h <sub>5</sub> | h <sub>6</sub> | a     | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | R <sub>6</sub> | R <sub>7</sub> | R <sub>8</sub> |
|-------------------------|-----|------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| D <sub>1</sub> = 1,0 м  | 2,5 | 4,5  | 2,5                                | 1,6            | 1,23           | 1,23           | 1,5            | 0,62           | 0,446 | 1,35           | 0,1            | 1,06           | 0,745          | 0,85           |
| D <sub>1</sub> = 3,6 м  | 9,0 | 16,2 | 9,0                                | 5,76           | 4,4            | 4,4            | 5,4            | 2,2            | 1,6   | 4,86           | 0,36           | 3,8            | 2,68           | 3,06           |

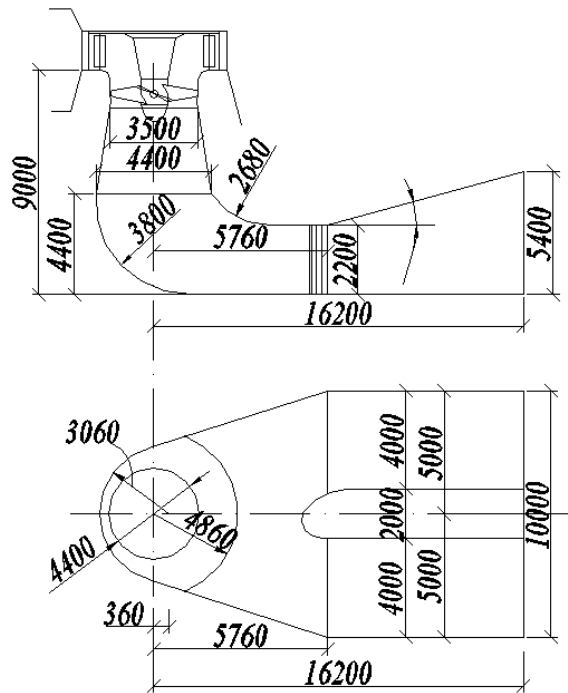


Рисунок 3.3 – Схема відсмоктувальної труби турбіни типу ПЛ

### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри відсмоктувальної труби.
2. Як визначити кількість проміжних биків у відсмоктувальній трубі?

### Завдання для самостійної роботи

1. Чи існують відмінності у конструкціях відсмоктувальних труб для ПЛ і РО турбін?
2. Навести класифікацію відсмоктувальних труб.

# ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

## ПІДБІР ВЕРТИКАЛЬНОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА І ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

### 1 Підбір гідрогенераторного обладнання

Застосовують гідрогенератори з вертикальним валом двох типів: підвісний з частотою обертання  $n > 150$  об./хв і парасольчатий з частотою обертання  $n < 150$  об./хв.

Наближене визначення габаритних і основних внутрішніх розмірів гідрогенераторів рекомендується виконувати на підставі графіків ЛЕО «Електросила». Ці графіки відображають загальні закономірності зростання параметрів електричних машин з поправками перевірених шляхом експлуатації гідрогенераторів.

Закономірності параметрів гідрогенераторів представлені на рисунку 4.1.

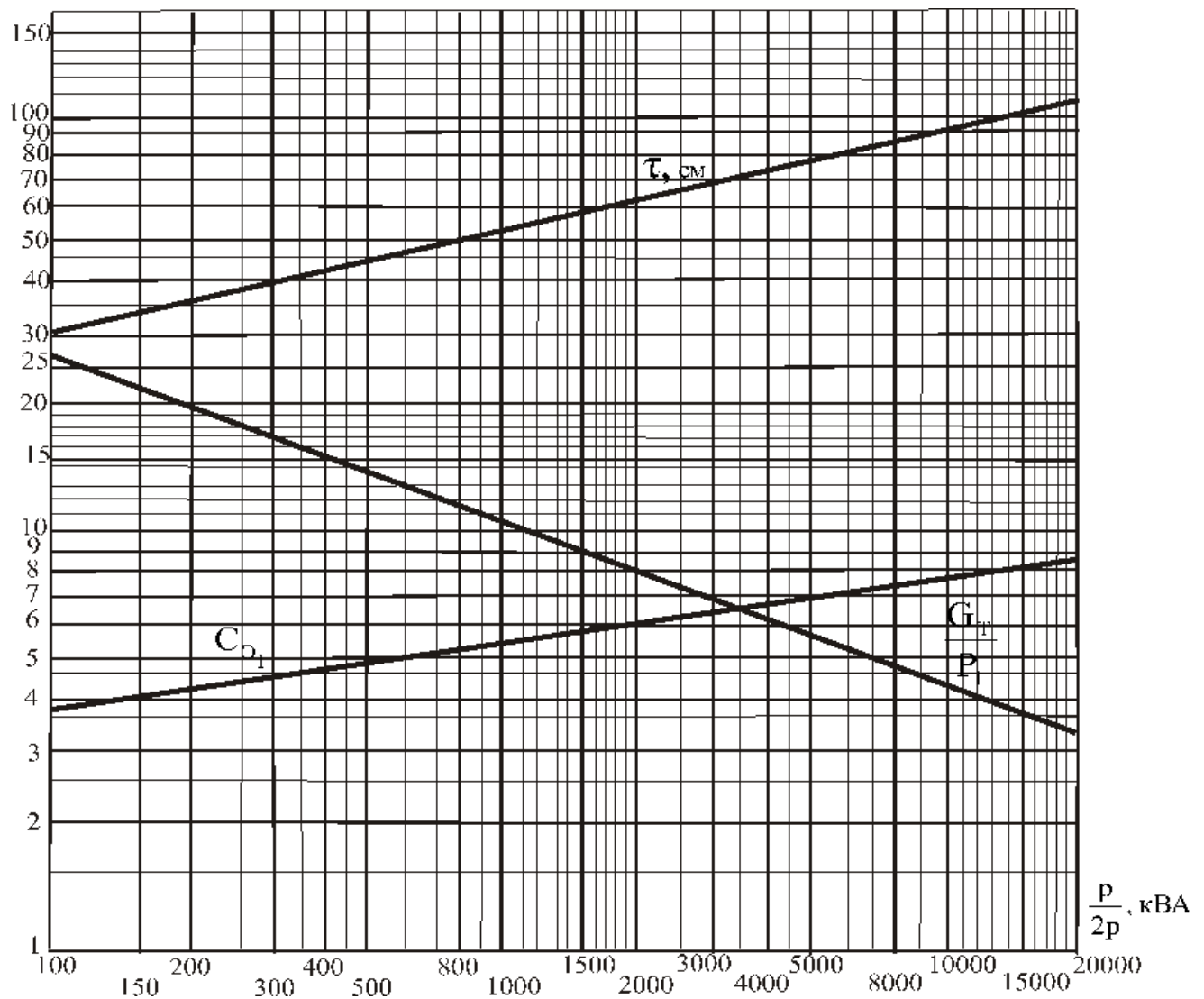


Рисунок 4.1 – Технічні параметри гідрогенераторів

На рисунку 4.1 представлені криві, які характеризують залежність від питомого навантаження на полюс  $\frac{P}{2p}$ , де  $P$  – потужність генератора в кВА;  $p$  – кількість пар полюсів таких величин:

$\tau$  – полюсна поділка, см;

$l_t$  – висота активного заліза, см;

$C_E$  – коефіцієнт Ессона, який характеризує міру використання гідрогенератора.

Коефіцієнт Ессона визначається за формулою

$$C_E = \frac{P}{D_i^2 \cdot l_t \cdot n}, \quad (4.1)$$

де  $D_i$  – діаметр осердя статора, м;

$l_t$  – висота осердя статора, м;

$n$  – номінальна частота обертів, об./хв.

Крива  $C_E$  на рисунку 4.1 відповідає гідрогенераторам із побічним повітряним охолодженням.

Крива  $G/P$  характеризує масу гідрогенератора, віднесену до одиниці потужності кг/кВА.

## 2 Визначення параметрів гідрогенератора

Активна потужність гідрогенератора визначається за формулою

$$P_a = N_T \cdot \eta_T, \quad \text{кВт}, \quad (4.2)$$

де  $N_T$  – номінальна потужність на валу турбіни, кВт;

$\eta_T$  – ККД гідрогенератора, приймається за таблицею 4.1.

Таблиця 4.1 – Орієнтовні значення ККД гідрогенераторів

| Потужність<br>МВА | n                  |                     |                     |                   |
|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
|                   | 51,8–100<br>об./хв | 100–187,5<br>об./хв | 187,5–300<br>об./хв | 300–500<br>об./хв |
| 25–60             | 96,15–96,8         | 96,50–97,1          | 96,30–97,0          | 96,1–96,9         |
| 60–100            | 96,8–97,2          | 97,1–97,8           | 97,0–97,6           | 96,9–97,5         |
| 100–250           | 97,5–98,3          | 98,2–98,35          | 98,0–98,3           | –                 |

Коефіцієнт потужності  $\cos\phi$  гідрогенераторів:  $\cos\phi = 0,8$  при  $P < 125\,000$  кВА;  $\cos\phi = 0,85$  при  $P = 125\,000 - 360\,000$  кВА;  $\cos\phi = 0,9$  при  $P > 360\,000$  кВА.

Повну потужність гідрогенератора визначають за формулою

$$P = \frac{P_a}{\cos\phi}, \text{ кВт.} \quad (4.3)$$

Кількість пар полюсів гідрогенератора визначають за формулою

$$p = \frac{3000}{n}, \quad (4.4)$$

де  $n$  – частота обертів гідрогенератора, об./хв.

$p$  – округлюється до більшого значення цілого числа.

Питоме навантаження на полюс становить відношення  $\frac{P}{2p}$ , кВА.

За величиною питомого навантаження на полюс за рисунком 4.1 визначаємо значення полюсної поділки  $\tau$ , см.

Величину розточення статора  $D_i$  визначають так:

$$D_i = \frac{2p \cdot \tau}{\pi}, \text{ см.} \quad (4.5)$$

Висота активного заліза статора

$$l_t = \frac{P}{D_i^2 \cdot n \cdot C_E}, \text{ м.} \quad (4.6)$$

Примітки:

1. Найбільше допустиме значення  $l_{t \text{ доп}}$  за умовами залізничного перевезення не повинна перевищувати 2,7 м.

2. Якщо  $l_t$  перевищує вказані межі, то обмотка статора повинна укладатися на монтажні.

3. Визначене значення  $l_t$  приймається згідно із стандартними розмірами з такого ряду: 40, 80, 100, 110, 130, 140, 150, 175, 190, 210, 230, 250, 275, 300, 320 см.

Маса генератора визначається за величиною  $\frac{G}{P}$ , що визначається за графіком на рисунку 4.1:

$$G_{\text{ген}} = \left(\frac{G}{P}\right) \cdot P. \quad (4.7)$$

Маса ротора генератора

$$G_{\text{рот}} = 0,5 \cdot G_{\text{ген}}. \quad (4.8)$$

При обпиранні підп'ятника на кришку турбіни виконується корегування маси генератора:

$$G_{\text{парасольч. ген}} = (0,90 - 0,93) \cdot G_{\text{ген}}. \quad (4.9)$$

### 3 Приклад підбору вертикального гідрогенератора

Активна потужність гідрогенератора визначається за формулою

$$P_a = N_T \cdot \eta_{\Gamma} = 7600 \cdot 0,98 = 7448 \text{ кВт}. \quad (4.10)$$

Повна потужність гідрогенератора визначається за формулою

$$P = \frac{P_a}{\cos\phi} = \frac{7448}{0,8} = 9310 \text{ кВт}. \quad (4.11)$$

Кількість пар полюсів гідрогенератора визначається за формулою

$$p = \frac{3000}{n} = \frac{3000}{150} = 20. \quad (4.12)$$

Оскільки номінальна частота обертів гідрогенератора  $n = 150$  об./хв, приймаємо парасольчатий тип генератора.

Питоме навантаження на полюс

$$\frac{P}{2p} = \frac{9310}{2 \times 20} = 232,75 \text{ кВА}. \quad (4.13)$$

За величиною питомого навантаження на полюс визначаємо значення полюсної поділки  $\tau = 35$  см.

Величина розточки статора визначається за формулою

$$D_i = \frac{2p \cdot \tau}{\pi} = \frac{2 \times 20 \times 35}{3,14} = 446 \text{ см} = 4,46 \text{ м}. \quad (4.14)$$

Діаметр турбінної шахти  $D_{\text{Ш}} = 4,8$  м, тому приймаємо:

$$D_i = D_{\text{Ш}} + 0,2 = 4,8 + 0,2 = 5,0 \text{ м}. \quad (4.15)$$

Висота активного заліза статора визначається за формулою

$$l_t = \frac{P}{D_i^2 \times n \times C_E} = \frac{9310}{5^2 \times 150 \times 4,4} = 0,564 \text{ м.} \quad (4.16)$$

Приймаємо  $l_t = 80 \text{ см.}$

Маса генератора визначається за величиною  $\frac{G}{P} = 18,5$ , визначеною за графіком на рисунку 4.1:

$$G_{\text{ген}} = \left(\frac{G}{P}\right) \cdot P = 18,5 \cdot 9310 = 172235 \text{ кг} = 172,24 \text{ т.} \quad (4.17)$$

При обпиранні під'ятника на кришку турбіни виконується корегування маси генератора:

$$G_{\text{парасольч. ген}} = (0,90 - 0,93) \cdot G_{\text{ген}} = 0,9 \cdot 172,24 = 155,02 \text{ т.} \quad (4.18)$$

Маса ротора генератора визначається так:

$$G_{\text{рот}} = 0,5 \cdot G_{\text{парасольч.ген}} = 0,5 \cdot 155,02 = 77,51 \text{ т.} \quad (4.19)$$

#### 4 Визначення геометричних розмірів вертикальних гідрогенераторів

Основні розміри гідрогенераторів визначаються за даними, наведеними в таблиці Д.1 додатка Д і на рисунках 4.1–4.2.

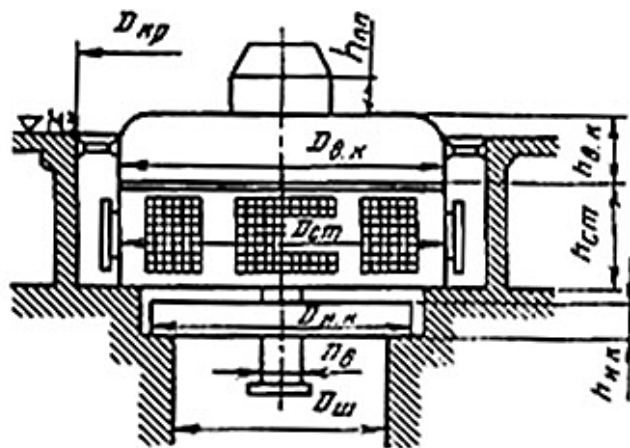


Рисунок 4.1 – Конструктивна схема та основні розміри вертикального підвісного генератора

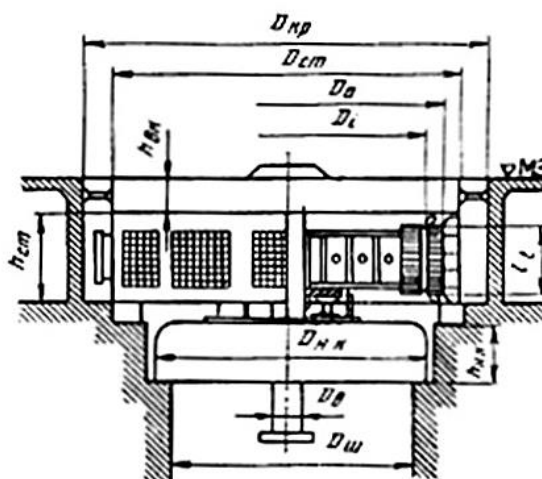


Рисунок 4.2 – Конструктивна схема та основні розміри вертикального парасольчатого генератора

### 5 Приклад визначення геометричних розмірів вертикальних гідрогенераторів

Основні розміри парасольчатого гідрогенератора визначаються за даними, наведеними в таблиці Д.1 додатка Д.

Таблиця 4.2 – Основні розміри парасольчатого генератора

| Елемент | Параметр                       | Позначення | Парасольчатий тип генератора                                     |  |
|---------|--------------------------------|------------|--|--|
| 1       | 2                              | 3          | 4  | 5  |
| Статор  | Діаметр розточки статора       | $D_i$      | Визначається розрахунком, але $D_i \geq D_{III} + 0,2 \text{ м}$ | $D_{III} = 4,8 \text{ м}$ ,<br>$D_i = 5,0 \text{ м}$   |
|         | Висота активної сталі          | $l_t$      | $l_t < 2,5 \text{ м}$  | $l_t = 0,8 \text{ м}$  |
|         | Діаметр по корпусу             | $D_1$      | при $n \geq 100 \text{ об./хв}$<br>$D_1 = (1,05 + 0,0017n) D_i$  | при $n \geq 100 \text{ об./хв}$<br>$D_1 = (1,05 + 0,0017 \times 150) \times 5,0 = 6,5 \text{ м}$ |
|         | Висота корпусу                 | $h_1$      | $h_1 = (1,7 - 1,9) l_t$  | $h_1 = 1,8 \times 0,8 = 1,44 \text{ м}$  |
|         | Діаметр по повітроохолоджувачу | $D_6$      | $D_6 = D_1 + 2(0,3 - 0,4), \text{ м}$                            | $D_6 = 6,5 + 2 \times 0,35 = 7,2 \text{ м}$  |
|         | Висота повітроохолоджувача     | $h_6$      | $h_6 \approx l_t$  | $h_6 \approx 0,8 \text{ м}$  |

Продовження таблиці 4.2

| 1                             | 2  | 3        | 4  | 5  |
|-------------------------------|--|----------|--|--|
| Ротор                         | Висота   | $h_3$    | $h_3 = l_t + (0,5 - 0,8), \text{ м}$       | $h_3 = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ м}$          |
|                               | Діаметр  | $D_3$    | $D_3 \approx D_i$                          | $D_3 \approx 5,0 \text{ м}$                |
| Верхня хрестовина             | Висота   | $h_4$    | $h_4 = (0,1 - 0,12)D_i \geq 0,4 \text{ м}$ | $h_4 = 0,1 \times 5,0 = 0,5 \text{ м}$     |
|                               | Діаметр променів                                   | $D_4$    | $D_4 = D_1$                                | $D_4 = 6,5 \text{ м}$                      |
| Підп'ятник                    | Висота   | $h_7$    | $h_7 = (0,15 - 0,2)D_i$                    | $h_7 = 0,2 \times 5,0 = 1,0 \text{ м}$     |
|                               | Діаметр ванни                                      | $D_7$    | $D_7 = (0,4 - 0,5)D_i$                     | $D_7 = 0,5 \times 5,0 = 2,5 \text{ м}$     |
| Нижня хрестовина              | Висота   | $h_5$    | –  | –  |
|                               | Діаметр променів                                   | $D_5$    | –  | –  |
| Надбудова                     | Висота   | $h_8$    | $h_8 = (0,3 - 0,5), \text{ м}$             | $h_8 = 0,4 \text{ м}$                      |
|                               | Діаметр  | $D_8$    | $D_8 = (0,2 - 0,25)D_i$                    | $D_8 = 0,2 \times 5,0 = 1,0 \text{ м}$     |
| Масило-приймач, для ПЛ турбін | Висота   | $h_9$    | $h_9 = 1,5 - 1,8, \text{ м}$               | $h_9 = 1,6 \text{ м}$                      |
| Кратер генератора             | Діаметр  | $D_2$    | $D_2 = D_6 + 2(0,4 - 0,5), \text{ м}$      | $D_2 = 7,2 + 2 \times 0,5 = 8,2 \text{ м}$ |
|                               | Висота повітряного каналу над статором             | $h_2$    | $h_2 \leq h_4, h_2 \geq 0,3 \text{ м}$     | $h_2 = 0,4 \text{ м}$                      |
|                               | Висота повітряного каналу під статором             | $h_{13}$ | $h_{13} \geq 0,8 \text{ м}$                | $h_{13} = 0,9 \text{ м}$                   |
|                               | Висота зазору між ротором і гальмуючим и колодками | $h_{11}$ | $h_{11} = 0,01 \text{ м}$                  | $h_{11} = 0,01 \text{ м}$                  |
|                               | Висота гальмуючих колодок                          | $h_{12}$ | $h_{12} = 0,3 \text{ м}$                   | $h_{12} = 0,3 \text{ м}$                   |
|                               | Габарит проходу                                    | $h_{10}$ | $h_{10} = 1,9 - 2,0 \text{ м}$             | $h_{10} = 2,0 \text{ м}$                   |

## Контрольні запитання

1. Навести основні параметри гідрогенераторів.
2. Як визначити вагу і розміри гідрогенератора?
3. Навести послідовність монтажу гідрогенератора.

## Завдання для самостійної роботи

1. Як визначити необхідну потужність гідрогенератора?
2. Навести класифікацію гідрогенераторів.
3. Укажіть відмінність між підвісним і парасольчатим гідрогенераторами.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 ПІДБІР ТРАНСФОРМАТОРА, ПРОЄКТУВАННЯ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ (ВРП)

### 1 Підбір трансформаторного обладнання

Трансформатор підбирається за потрібною потужністю  $S_T$  і високою напругою  $U$  (на виводах) за каталогами трансформаторів (дод. Е). Повну потужність трансформатора знаходять так:

$$S_T = \frac{N_{Гm}}{\eta_T \cos \phi}, \text{ кВА}, \quad (5.1)$$

де  $N_{Г}$  – номінальна активна потужність генератора, кВт;

$m$  – кількість генераторів, при підімкненні до одного трансформатора,  $m = 1$ ;

$\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії трансформаторів;

$\cos \phi$  – коефіцієнт потужності,  $\cos \phi = 0,8-0,85$ .

Висока напруга на виводах трансформатора  $U$  визначається встановленою потужністю гідроелектростанції  $N_B$ :  $U = 110$  кВ для  $N_B < 150\,000$  кВт,  $U = 220$  кВ для  $N_B > 150\,000$  кВт.

Добираючи трансформатор, враховується, що дозволяється його тимчасове перевантаження на 10 %. Якщо потужність генератора значна, приймається схема підімкнення двох трифазних трансформаторів до одного генератора ( $m = 1/2$ ) чи трьох однофазних трансформаторів ( $m = 1/3$ ).

Наводиться схема трансформатора (рис. 5.1) із визначеними розмірами.

## 2 Приклад підбору трансформатора, проектування ВРП

Трансформатор підбирається за потрібною потужністю  $S_T$  і високою напругою  $U$  (на виводах) за каталогами трансформаторів (дод. Е).

Повну потужність трансформатора знаходять так:

$$S_T = \frac{N_{ГТ}}{\eta_T \cos \phi} = \frac{9310 \times 1}{0,98 \times 0,8} = 11875 \text{ кВА.} \quad (5.2)$$

На плані будівлі ГЕС необхідно розмістити трансформатори – запроєктувати відкритий розподільний пристрій.

Висока напруга на виводах трансформатора  $U$  визначається встановленою потужністю гідроелектростанції  $N_B$ :  $U = 110 \text{ кВ}$  для  $N_B < 150\,000 \text{ кВт}$ ,  $U = 220 \text{ кВ}$  для  $N_B > 150\,000 \text{ кВт}$ .

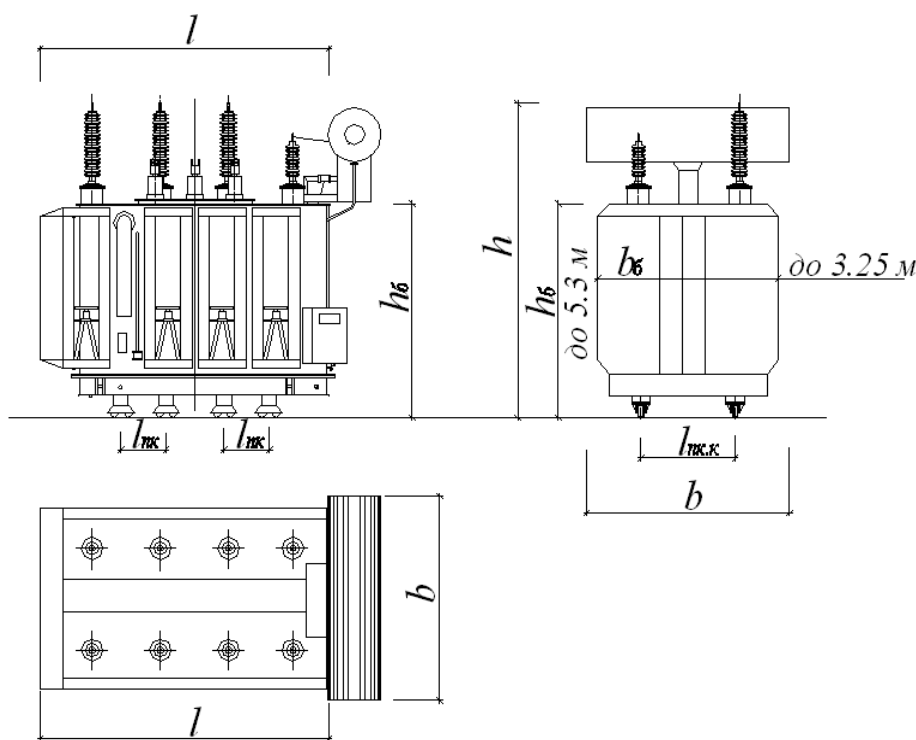


Рисунок 5.1 – Конструктивна схема трансформатора

Остаточно приймаємо високу напругу на виводах трансформатора  $U = 110 \text{ кВ}$ , за довідковою таблицею приймаємо трансформатор ТДГ – 20000/110, трифазний, масляне охолодження із вдувом, грозозахисний. Повна вага трансформатора становить 59,6 т.

Добираючи трансформатор, враховується що дозволяється його тимчасове перевантаження на 10 %.

Якщо потужність генератора значна, приймається схема підімкнення двох трифазних трансформаторів до одного генератора ( $m = 1/2$ ) чи трьох однофазних трансформаторів ( $m = 1/3$ ).

У записці наводиться схема трансформатора із визначеними розмірами.

### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри трансформаторів.
2. Як визначити вагу і розміри трансформатора?
3. Навести послідовність монтажу трансформатора.

### Завдання для самостійної роботи

1. Як визначити необхідну потужність трансформатора?
2. Навести класифікацію трансформаторів.
3. Проаналізувати маркування трансформаторів.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

### ВИБІР СМІТТЕЗАТРИМУЮЧИХ РЕШІТОК. ВИБІР АВАРІЙНИХ І РЕМОНТНИХ ЗАТВОРІВ

#### 1 Вибір сміттєзатримуючих решіток і їх розмірів

Сміттєзатримуючі решітки захищають турбіни від плаваючих тіл, льоду, сміття. Вони не є стандартним обладнанням і проєктуються індивідуально.

Зазвичай застосовуються вертикальні плоскі решітки, що встановлюються в пази биків (при заглибленні до 30–40 м), інколи встановлюються решітки стаціонарної нездійманої конструкції (при значному заглибленні).

Площа решіток, що перекривають отвір водоводу турбіни,

$$F_P = \frac{Q_T}{v_P}, \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

де  $Q_T$  – витрата турбіни,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$v_P$  – швидкість потоку на решітці,  $\text{м}/\text{с}$ .

Якщо поріг водосприймача заглиблений не більше ніж на 40 м нижче НПР, то  $v_P = 0,8\text{--}1,2$   $\text{м}/\text{с}$ , для глибинних водосприймачів  $v_P = 0,5\text{--}0,8$   $\text{м}/\text{с}$ .

Висота решіток  $H_p$  та їх довжина  $l_p$  повинні відповідати умові  $F_p < h_p \times l_p$ . Для руслових ГЕС  $l_p = B_{СП}$ , а якщо в турбінній камері присутні бики, то довжина решіток  $l_p$  буде меншою на загальну товщину биків.

## 2 Приклад вибору сміттєзатримуючих решіток і їх розмірів

Площа решіток, що перекидають отвір водоводу турбіни,

$$F_p = \frac{Q_T}{v_p} = \frac{85,86}{1,1} = 78,05 \text{ м}^2. \quad (6.2)$$

Визначимо ширину однієї сміттєзатримуючої решітки:

$$B_{p1} = \frac{B_{СП} - \delta}{n} = \frac{10 - 2}{2} = 4,0 \text{ м}, \quad (6.3)$$

де  $B_{СП}$  – ширина спіральної (турбінної) камери,  $B_{СП} = 10,0$  м;

$\delta$  – ширина бика,  $\delta = 2,0$  м;

$n$  – кількість прогонів,  $n = 2$ .

Визначимо висоту однієї решітки:

$$H_{p1} = \frac{F_p}{B_p \times n} = \frac{78,05}{4,0 \times 2} = 9,76 \text{ м}. \quad (6.4)$$

Розіб'ємо сміттєзатримуючу решітку по висоті на 3 секції по 3,3 м кожна.

Із досвіду експлуатації відомо, що вага  $1 \text{ м}^2$  решітки наближено становить  $0,22 \text{ т}$ , тому вага однієї секції –  $4 \text{ м} \times 3,3 \text{ м} \times 0,22 \text{ т} = 2,9 \text{ т}$ .

Паз сміттєзатримуючої решітки суміщаємо з пазом ремонтного затвору. Періодичне очищення решітки здійснюється грейфером, який обслуговується козловим краном верхнього щитового відділення. Паз грейфера розміщуємо безпосередньо в пазу сміттєзатримуючої решітки. Ширину пазу грейфера конструктивно приймаємо  $30 \text{ см}$ .

Решітки обслуговуються козловим краном верхнього щитового відділення.

## 3 Вибір аварійних і ремонтних затворів

У водосприймачах руслових та пригребельних ГЕС зазвичай застосовуються металеві плоскі затвори. Їх розміри визначаються конструктивно, згідно зі стандартними розмірами прогонів отворів, що перекидаються.

Вихідні отвори відсмоктувальних труб можуть перекриватися ремонтними затворами або шандорним загородженням з 3-х – 4-х секцій за висотою отвору.

Вага плоского колесного затвору визначається за формулою

$$G_{ЗАТ} = \left(\frac{Q \times L}{39}\right)^{0,73}, \text{ Т} \quad (6.5)$$

де  $Q$  – гідростатичний тиск, визначається за формулою

$$Q = (2H - h) \cdot \frac{L \cdot h}{2}, \text{ Т}, \quad (6.6)$$

де  $L$  – прогон затвору, м;

$H$  – геометричний напір на порозі затвору, для верхнього б'єфу визначається, як різниця між позначкою НІР і порогу затвору, для нижнього б'єфу визначається, як різниця між позначкою НБ<sub>МАХ</sub> і порогу затвору, м;

$h$  – висота отвору, що перекривається, м.

Вага плоского затвору на ковзаючих опорах визначається за формулою

$$G_{ЗАТ} = \left(\frac{Q \times L}{49}\right)^{0,7}, \text{ Т}. \quad (6.7)$$

#### 4 Приклад вибору аварійних і ремонтних затворів

У водосприймачах руслових та пригребельних ГЕС зазвичай застосовуються металеві плоскі затвори. Їх розміри визначаємо конструктивно, згідно зі стандартними розмірами прогонів отворів, що перекриваються.

У водосприймачі встановлено аварійно-ремонтні і ремонтні затвори. Аварійно-ремонтні затвори прийняті металеві плоскі колесні, ремонтні затвори прийняті металеві плоскі на ковзаючих опорах.

З боку нижнього б'єфу для виконання ремонтних та профілактичних робіт проточної частини вихідні отвори відсмоктувальних труб перекриваються ремонтними затворами – металевими плоскими на ковзаючих опорах.

З боку верхнього б'єфа гідростатичний тиск на аварійно-ремонтний затвор та його вагу визначають так:

$$Q = (2H - h) \cdot \frac{L \cdot h}{2} = (2(212 - 198) - 8,5) \cdot \frac{4 \cdot 8,5}{2} = 331,5 \text{ Т}, \quad (6.8)$$

$$G_{ЗАТ} = \left(\frac{Q \times L}{39}\right)^{0,73} = \left(\frac{331,5 \times 4}{39}\right)^{0,73} = 13,12 \text{ т}; \quad (6.9)$$

Гідростатичний тиск на ремонтний затвор та його вагу визначають так:

$$Q = (2H - h) \cdot \frac{L \cdot h}{2} = (2(212 - 198) - 11) \cdot \frac{4 \cdot 11}{2} = 374 \text{ т}, \quad (6.10)$$

$$G_{ЗАТ} = \left(\frac{Q \times L}{49}\right)^{0,7} = \left(\frac{374 \times 4}{49}\right)^{0,7} = 10,95 \text{ т}. \quad (6.11)$$

З боку нижнього б'єфа гідростатичний тиск на ремонтний затвор та його вагу визначають так:

$$Q = (2H - h) \cdot \frac{L \cdot h}{2} = (2(206,9 - 192,5) - 5,4) \cdot \frac{4 \cdot 5,4}{2} = 252,7 \text{ т}, \quad (6.12)$$

$$G_{ЗАТ} = \left(\frac{Q \times L}{49}\right)^{0,7} = \left(\frac{252,7 \times 4}{49}\right)^{0,7} = 8,3 \text{ т}. \quad (6.13)$$

Висоту затворів визначають після конструювання водоприймача ГЕС.

З боку верхнього б'єфа: висота аварійно-ремонтного затвору  $h_{АР} = 9,0$  м, висота ремонтного затвору  $h_{р} = 12,0$  м. Аварійно-ремонтний затвор ділимо на секції: 3 секції по 3,0 м кожна шириною 4,0 м. Ремонтний затвор ділимо на секції: 4 секції по 3,0 м кожна шириною 4,0 м. Вага секції аварійно-ремонтного затвору  $13,12 : 3 = 4,4$  т, вага секції ремонтного затвору  $10,95 : 4 = 2,7$  т.

Затвори обслуговуються козловим краном верхнього щитового відділення.

З боку нижнього б'єфа висота ремонтного затвору  $h_{р} = 6,0$  м.

Ремонтний затвор ділимо на секції: 2 секції по 3,0 м кожна шириною 4,0 м. Вага секції ремонтного затвору  $8,32 : 2 = 4,2$  т.

Затвори обслуговуються козловим краном нижнього щитового відділення.

### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри сміттєзатримуючих решіток.
2. Як визначити вагу і розміри, кількість секцій сміттєзатримуючої решітки?
3. Навести способи очищення сміттєзатримуючих решіток.

## Завдання для самостійної роботи

1. Як визначити вагу і розміри аварійних і ремонтних затворів?
2. Навести послідовність маневрування затворами ГЕС.
3. Вказати призначення аварійних і ремонтних затворів.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7 ВИБІР КРАНОВОГО УСТАТКУВАННЯ

### 1 Вибір мостових та козлових кранів

Необхідно підібрати основний кран машинної зали, крани, що обслуговують щитове відділення водосприймача ГЕС і затвори відсмоктувальних труб будівлі ГЕС. Застосовуються мостові і козлові крани, засоби малої механізації.

Мостові крани (рис. 7.1) використовують в закритих машинних залах, а козлові крани (рис. 7.2) – у напіввідкритих машинних залах із значною кількістю агрегатів (понад 6-ти). Також козлові крани застосовують для обслуговування затворів, решіток, для очищення прилеглого водного простору від сміття, топляків, деревини.

Крани підбирають залежно від вантажопідйомності, яка визначається за максимальною масою вантажу. Вантажопідйомність головного крана, який застосовується для монтажу і ремонту агрегатів, визначається за масою ротора генератора  $G_p$ .

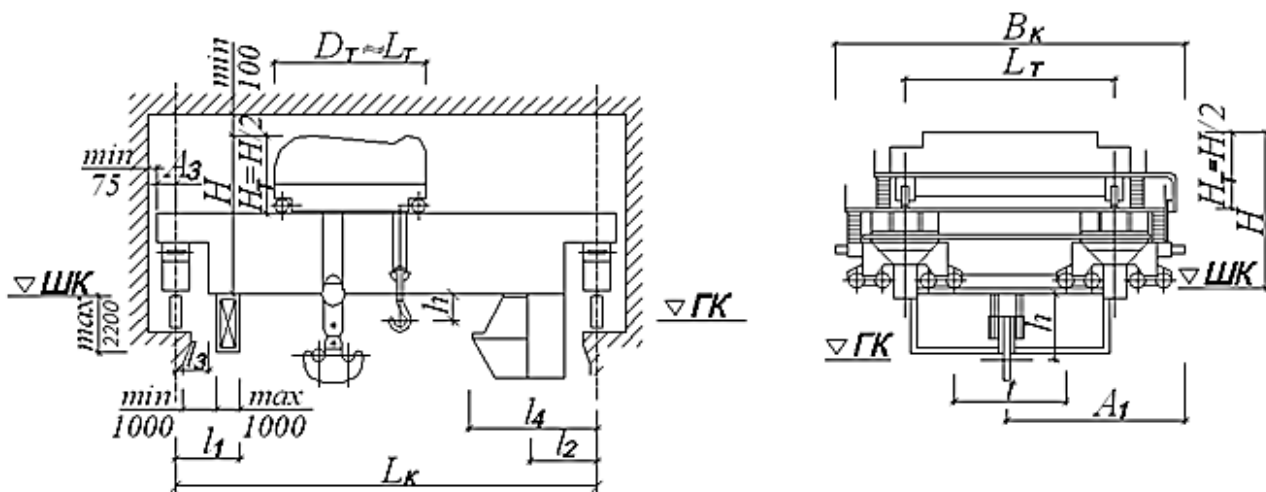


Рисунок 7.1 – Схема мостового крана

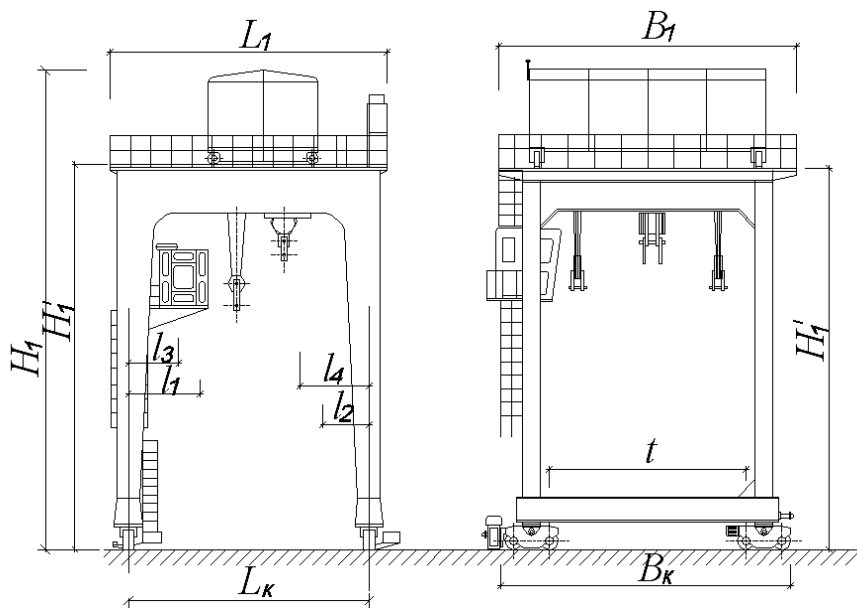


Рисунок 7.2 – Схема козлового крана

Заводи випускають мостові крани вантажопідйомністю: 50/10 т, 75/20 т, 100/20 т, 125/20 т, 150/30 т, 200/30 т, 250/30 т, 320/32 т (в чисельнику – вантажопідйомність основного гака, в знаменнику – вантажопідйомність допоміжного гака).

Якщо маса ротора перевищує 400 т, його переносять два спарені крани, які мають спільну балку-траверсу. Маса траверси становить 10–15 % від маси ротора. Обидва крани повинні мати однакову вантажопідйомність, яка дорівнює половині маси ротора і траверси. Спарені крани застосовують і у випадку, коли маса ротора менше 400 т, але кількість агрегатів більше 10 шт. Для спареної роботи застосовуються тільки мостові крани.

Прогони кранів залежать від конструктивних особливостей машинної зали. Для серійних кранів прогони проектується з кроком 1,0 м, для індивідуальних та козлових кранів – із кроком 0,5 м.

Крани, які обслуговують щитове відділення водосприймача ГЕС та затвори відсмоктуючих труб, підбирають згідно з масою найбільших елементів – затворів, решіток.

Необхідно навести вантажопідйомність кранів, їх прогони, навести схему основного крана за розмірами, поданими в додатку Ж.

## 2 Приклад вибору кранового устаткування

Для проведення монтажних робіт по основному гідроенергетичному обладнанню в машинній залі передбачаємо встановлення основного крана. Приймаємо будівлю ГЕС з машинною залю закритого типу, у якій встановлено мостовий кран.

Основний кран будівлі ГЕС підбирають залежно від маси ротора генератора  $G_p = 77,51$  т.

Таблиця 7.1 – Параметри затворів і решіток для визначення вантажопід'ємності козлових кранів

| Найменування  | К-ть<br>шт. | Площа, м <sup>2</sup> |          | Маса, т |          |
|---|-------------|-----------------------|----------|---------|----------|
|   |             | Од.                   | Загальна | Од.     | Загальна |
| Водоприймач будівлі ГЕС                                     |             |                       |          |         |          |
| Решітка сміттєзатримуюча<br>4,0–9,9–14,3                    | 8           | 39,05                 | 312      | 8,7     | 69,6     |
| Затвор ремонтний плоский ковзний<br>4,0–9,0–14,3            | 8           | 48                    | 288      | 8,4     | 201,6    |
| Затвор плоский колісний аварійно-<br>ремонтний 4,0–7,5–14,3 | 8           | 36                    | 288      | 8,4     | 201,6    |
| Нижній б'єф ГЕС   |             |                       |          |         |          |
| Затвор плоский ковзний 4,0–5,0–14,4                         | 8           | 24                    | 144      | 8,4     | 100,8    |

При кількості агрегатів  $Z < 10$  шт. і потужності ГЕС менше 500 МВт приймаємо кран мостовий спеціальний, в. п. 100/20 т із прогоном 12,5 м (в. п. – вантажопідйомність).

Ширина закритої машинної зали при підвісному генераторі визначається за формулою

$$B_{м.з.} = D_{кр} + П_1 + П_2 = 8,20 + 2,0 + 1,5 = 11,70 \text{ м}, \quad (7.1)$$

де  $D_{кр}$  – діаметр кратера генератора,  $D_{кр} = 8,20$  м;

$П_1, П_2$  – ширина експлуатаційних проходів,  $П_1 = 2,0$  м,  $П_2 = 1,5$  м.

Висотне розміщення і проліт основного крана визначається з умови пронесення обладнання, що монтується.

Для обслуговування щитових відділень зі сторони ВБ та НБ передбачаємо встановлення козлових кранів.

Вантажопідйомність крана  $T_{кр}$  для обслуговування щитового відділення ВБ підбираємо за найбільшою масою аварійно-ремонтного затвора:

$$T_{кр} = 1,5 \cdot G_{зат} = 1,5 \cdot 13,12 = 19,68 \text{ т}. \quad (7.2)$$

Приймаємо кран козловий 50/10 т із прогоном 8,2 м. Цей кран обладнується грейфером для очищення сміттєзатримуючої решітки.

Аналогічно визначаємо вантажопідйомність крана  $T_{кр}$  для обслуговування ремонтного затвора відсмоктувальної труби:

$$T_{кр} = 1,1 \cdot G_{зат} = 1,1 \cdot 8,0 = 8,8 \text{ т.} \quad (7.3)$$

Приймаємо кран козловий спеціальний 2 т × 5 т із прогоном 4,0 м. Результати розрахунків зводимо в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати вибору кранового устаткування

| Найменування  | К-ть шт. | Маса, т |          |
|---|----------|---------|----------|
|   |          | Од.     | Загальна |
| 1   | 2        | 3       | 4        |
| <b>Водоприймач будівлі ГЕС</b>                            |          |         |          |
| Кран козловий спеціальний 2 т × 32 т, прогон 8,2 м        | 1        | 50,0    | 50,0     |
| Затворосховище  | 1        | 6,0     | 6,0      |
| Грейфер плоскощелепний                                    | 1        | 4,0     | 4,0      |
| Інше допоміжне обладнання                                 | –        | –       | 106,3    |
| Всього механічного обладнання на водоприймачі будівлі ГЕС | –        | –       | 258,3    |
| <b>Машинна зала</b>                                       |          |         |          |
| Кран мостовий спеціальний, 100/20 т, прогон 10,5 м        | 1        | 80,0    | 80,0     |
| Інше допоміжне обладнання                                 | –        | –       | 21,0     |
| Всього механічного обладнання в машинній залі             | –        | –       | 101,0    |
| <b>Нижній б'єф ГЕС</b>                                    |          |         |          |
| Кран козловий спеціальний, 2 т × 5 т, прольот 4,0 м       | 1        | 13,0    | 13,0     |
| Інше допоміжне обладнання                                 | –        | –       | 37,0     |
| Всього механічного обладнання в нижньому б'єфі ГЕС        | –        | –       | 66,0     |
| <b>Водозливна гребля</b>                                  |          |         |          |
| Гідропривід для керування сегментним затвором             | 1        | 26,5    | 26,5     |
| Гідропривід для керування клапаном                        | 1        | 4,0     | 4,0      |
| Керування гідроприводом місцеве                           | 1        | 0,5     | 0,5      |
| Інше допоміжне обладнання                                 | –        | –       | 131,0    |
| Всього механічного обладнання на водозливній греблі       | –        | –       | 452,0    |

## Контрольні запитання

1. Для чого призначені монтажні крани машинної зали?
2. Як визначити вантажопідйомність кранів машинної зали?
3. У якому випадку обирають козловий монтажний кран машинної зали.

## Завдання для самостійної роботи

1. Навести основні технічні параметри мостових кранів.
2. Навести основні технічні параметри козлових кранів.
3. У якому випадку в машинній залі встановлюють два крани?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8 ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ПЕРЕКРИТТЯ, ЩО ЗАЗНАЛА ПОШКОДЖЕНЬ УНАСЛІДОК ВЛУЧАННЯ ЗАСОБУ УРАЖЕННЯ

Розглянемо схему підсилення залізобетонної балки монолітного перекриття металічної балкою, опертою на столики (рис. 8.1).

Посилення металевою балкою, опертою на столики, застосовується для збільшення несучої здатності балки у зв'язку зі збільшенням навантаження на перекриття або її пошкодження унаслідок влучання засобу ураження. Суть методу полягає в такому. До колони, що має металеву обойму (5) приварюється опорний столик (4). На столик встановлюється металева балка у вигляді двотавра або швелера (1). Біля опор та всередині прогону з обох боків балки (1) приварюються ребра жорсткості зі смугової сталі (2).

При посиленні залізобетонної балки попередньо напруженими металевими балками (1) із застосуванням опорних столиків (4) обов'язковою умовою є створення конструкцією підсилення реактивної сили, до того ж такої величини, яка необхідна для сприйняття діючих на елемент розрахункових навантажень. Після монтажу балки виконується установка в зазор елементів підклинювання (3). Встановлені клини потрібно приварювати до металевої балки (1).

Приклад розрахунку. Вихідні дані:

1. Прогон залізобетонної балки  $l = 6$  м.
2. Прогон балки підсилення  $l_1 = 5,5$  м.
3. Вантажна площа залізобетонної балки  $A = 36$  м<sup>2</sup>.
4. Корисне навантаження на перекриття з урахуванням власної ваги конструкцій  $q = 4$  кПа.

5. Колона зі сталі S235. При попередній максимальній товщині елементів перерізу колони  $t \leq 40$  мм границя текучості  $f_y = 235$  Н/мм<sup>2</sup>.  
 6. Модуль пружності сталі  $E = 210\,000$  Н/мм<sup>2</sup>.

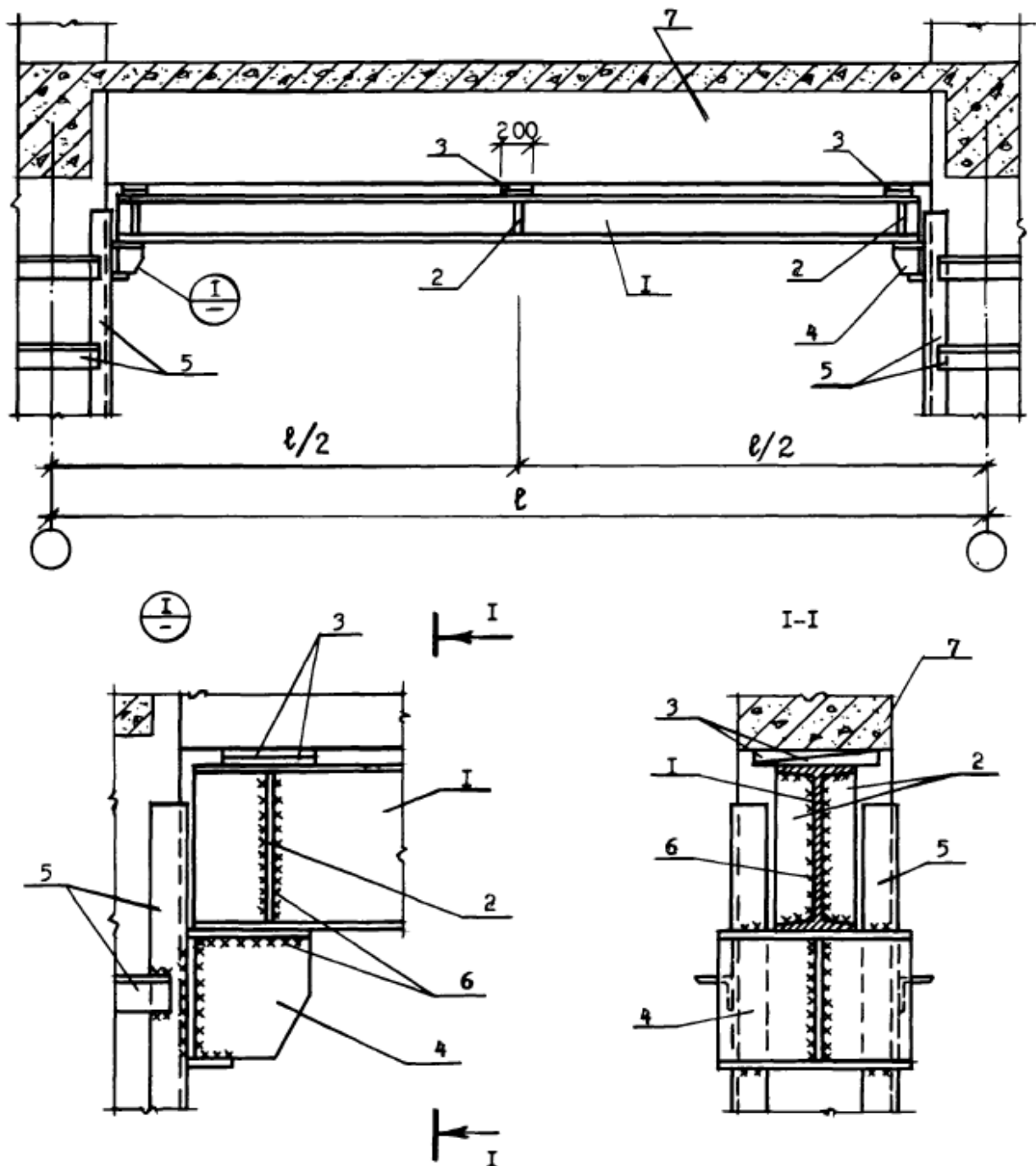


Рисунок 8.1 – Схема підсилення залізобетонної балки монолітного перекриття металічною балкою, опертою на столики: 1 – двотавр; 2 – ребро жорсткості завтовшки 10 мм; 3 – елементи підклинювання; 4 – опорний столик; 5 – металева обойма; 6 – зварювання; 7 – підсилювальна балка

Зосереджена сила на опорі балки підсилення

$$P_1 = (q \cdot A)/4 = (4 \cdot 36)/4 = 36 \text{ кН.} \quad (8.1)$$

Зосереджена сила в середині прогону балки підсилення

$$P_2 = (q \cdot A)/2 = (4 \cdot 36)/2 = 72 \text{ кН.} \quad (8.2)$$

Максимальний згинальний момент всередині прогону балки підсилення

$$M_{max} = P_1 \cdot (l_1/2) = 36 \cdot (5,5/2) = 99 \text{ кНм.} \quad (8.3)$$

Визначимо осьовий момент опору, необхідний для забезпечення несучої здатності балки підсилення:

$$\begin{aligned} W_n &= M_{max}/f_y = 99 \text{ (кНм)} / 235 \text{ (Н/мм}^2\text{)} = & (8.4) \\ &= 99 \cdot 103 \cdot 103 \text{ (Н} \cdot \text{мм)} / 235 \text{ (Н/мм}^2\text{)} = 4,2128 \cdot 10^5 \text{ (мм}^3\text{)} = 421,28 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

За ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент обираємо двотавр із найближчим більшим осьовим моментом опору – двотавр №30 із  $W_x = 472 \text{ см}^3 > W_n = 421,28 \text{ см}^3$ . Умова міцності балки підсилення забезпечена.

Осьовий момент інерції  $I_x = 7\,080 \text{ см}^4$ .

Перевіримо деформаційний критерій неперевищення прогином балки підсилення допустимої величини:

1) знаходимо допустимий прогин балки підсилення відповідно до ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини та переміщення:

$$f_{доп} = l_1/200 = 5500 \text{ (мм)} / 200 = 27,5 \text{ мм;} \quad (8.5)$$

2) знаходимо максимальний прогин балки підсилення:

$$\begin{aligned} f_{max} &= (P_2 \cdot l_1^3)/48 \cdot E \cdot I_x = \\ &= 72 \text{ (кН)} \cdot 5,5 \text{ (м}^3\text{)}/48 \cdot 210000 \text{ (Н/мм}^2\text{)} \cdot 7080 \text{ (см}^4\text{)} = & (8.6) \\ &= 72 \text{ (кН)} \cdot 5,53 \cdot 109 \text{ (мм}^3\text{)}/48 \cdot 210 \text{ (кН/мм}^2\text{)} \cdot 7080 \cdot 104 \text{ (мм}^4\text{)} = 16,78 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Отже,  $f_{max} = 16,78 \text{ мм} < f_{доп} = 27,5 \text{ мм}$ , деформаційний критерій забезпечено.

За наведеним вище алгоритмом виконуємо розрахунки за вихідними даними, наведеними в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані

| № з/п | $l$ , м | $l_1$ , м | $A$ , м <sup>2</sup> ; | $q$ , кПа | Переріз     | $f_y$ , Н/мм <sup>2</sup> |
|-------|---------|-----------|------------------------|-----------|-------------|---------------------------|
| 1     | 6       | 5,5       | 36                     | 4         | двотавр     | 235                       |
| 2     | 6       | 5,5       | 32                     | 5         | швелери [ ] | 235                       |
| 3     | 6       | 5,5       | 30                     | 6         | швелери ] [ | 235                       |
| 4     | 6       | 5,5       | 38                     | 8         | двотавр     | 235                       |
| 5     | 6       | 5,5       | 40                     | 4         | швелери [ ] | 235                       |
| 6     | 6       | 5,5       | 34                     | 5         | швелери ] [ | 235                       |
| 7     | 6       | 5,5       | 36                     | 6         | двотавр     | 235                       |
| 8     | 6       | 5,5       | 32                     | 8         | швелери [ ] | 235                       |
| 9     | 6       | 5,5       | 30                     | 4         | швелери ] [ | 235                       |
| 10    | 6       | 5,5       | 38                     | 5         | двотавр     | 235                       |
| 11    | 6       | 5,5       | 40                     | 6         | швелери [ ] | 235                       |
| 12    | 6       | 5,5       | 34                     | 8         | швелери ] [ | 235                       |
| 13    | 6       | 5,5       | 36                     | 4         | двотавр     | 235                       |
| 14    | 6       | 5,5       | 32                     | 5         | швелери [ ] | 235                       |
| 15    | 6       | 5,5       | 30                     | 6         | швелери ] [ | 235                       |
| 16    | 6       | 5,5       | 38                     | 8         | двотавр     | 235                       |
| 17    | 6       | 5,5       | 40                     | 4         | швелери [ ] | 235                       |
| 18    | 6       | 5,5       | 34                     | 5         | швелери ] [ | 235                       |
| 19    | 6       | 5,5       | 36                     | 6         | двотавр     | 235                       |
| 20    | 6       | 5,5       | 32                     | 8         | швелери [ ] | 235                       |
| 21    | 6       | 5,5       | 30                     | 4         | швелери ] [ | 235                       |
| 22    | 6       | 5,5       | 38                     | 5         | двотавр     | 235                       |
| 23    | 6       | 5,5       | 40                     | 6         | швелери [ ] | 235                       |
| 24    | 6       | 5,5       | 34                     | 8         | швелери ] [ | 235                       |

### Контрольні запитання

1. Навести альтернативні варіанти улаштування підсилення балки.
2. Пояснити, на що впливає тип перерізу – двотавр чи швелер?
3. Проаналізувати ефективність підсилення від величини прогону?

### Завдання для самостійної роботи

1. З якою метою здійснюється підclinювання балок?
2. Навести алгоритм розрахунку підбору балки підсилення.
3. Проаналізувати, який переріз балки підсилення краще використовувати – у вигляді двотавра або швелера?

**ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9**  
**РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЬНОГО ТА КОРОБЧАСТОГО КОЕФІЦІЄНТІВ**  
**ПЕРЕРІЗІВ КОЛОНИ. ПІДБІР ВОГНЕЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ ТА**  
**СПОСОБУ ВОГНЕЗАХИСТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ КЛАСУ**  
**ВОГНЕСТІЙКОСТІ**

1. Розглянемо приклад розрахунку профільного та коробчастого коефіцієнтів перерізів колони [7]. Колона машинної зали будівлі гідроелектростанції має геометричні характеристики, представлені на рисунку 9.1:

1. Висота поперечного перерізу  $h = 304$  мм.
2. Ширина поперечного перерізу  $b = 200$  мм.
3. Висота стінки  $h_w = 280$  мм.
4. Товщина стінки  $t_w = 10$  мм.
5. Товщина полиці  $t_f = 12$  мм.

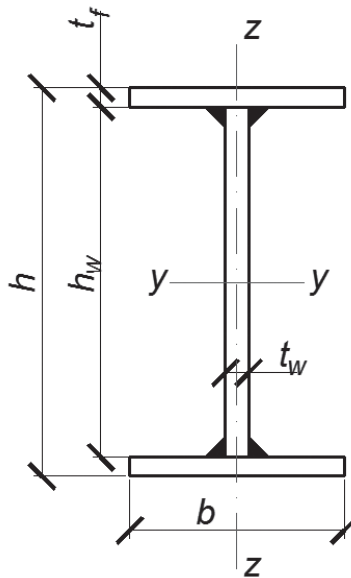


Рисунок 9.1 – Схематичне зображення перерізу колони

Необхідно виконати розрахунок профільного коефіцієнта перерізу. При дії вогню колона буде зазнавати вогневого впливу з усіх боків, відповідно периметр її перерізу, який піддається дії вогню,

$$\begin{aligned} P &= 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = \\ &= 400 + 380 + 48 + 560 = 1388 \text{ мм} = 1,388 \text{ м.} \end{aligned} \quad (9.1)$$

Площа поперечного перерізу колони

$$S = 2 \cdot t_f \cdot b + t_w \cdot h_w = 4800 + 2800 = 7600 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,0076\text{м}^2. \quad (9.2)$$

Таким чином, профільний коефіцієнт перерізу  $A_m/V$  колони

$$A_m/V = 1,388/0,0076 = 183 \text{ м}^{-1}. \quad (9.3)$$

2. Розрахунок коробчастого коефіцієнта перерізу. При дії вогню колони буде зазнавати вогневого впливу з усіх боків, відповідно, периметр прямокутника, який зазнає дії вогню і може бути описаний навколо розглянутого сталевого профілю,

$$P_k = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 2 \cdot 304 + 2 \cdot 200 = 1008 \text{ (мм)} = 1,008 \text{ м}. \quad (9.4)$$

Площа поперечного перерізу колони (див. формулу (9.2))  $S = 0,0076 \text{ м}^2$ .

Таким чином, профільний коефіцієнт перерізу  $A_m/V$  колони

$$A_{mk}/V = 1,008/0,0076 = 133 \text{ м}^{-1}. \quad (9.5)$$

3. Підбір вогнезахисного матеріалу та способу вогнезахисту для сталеві колони з метою підвищення класу вогнестійкості до R 60.

Відповідно до вихідних даних, критична температура колони в умовах пожежі при заданому навантаженні  $\theta_{cr} = 650 \text{ }^\circ\text{C}$  при профільному коефіцієнті перерізу, що дорівнює  $A_m / V = 183 \text{ (м}^{-1}\text{)}$ , і коробчастому коефіцієнті перерізу  $A_{mk} / V = 133 \text{ (м}^{-1}\text{)}$ .

З метою підвищення межі вогнестійкості колони до 60 хв можна використовувати інтумесцентні вогнезахисні покриття. Склад «POLYLACK A», випробуваний відповідно до методики, викладеної в ДСТУ Б В.1.1-17, та для класу вогнестійкості R 60, має значення товщини, наведені в таблиці 9.1.

Із таблиці зрозуміло, що для розглянутого прикладу найближчим значенням профільного коефіцієнта перерізу є  $190 \text{ м}^{-1}$ , оскільки обране значення коефіцієнта перерізу сталеві конструкції повинно бути не менше, ніж розрахункове, а значення критичної температури –  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , оскільки обране значення критичної температури повинно бути не більше, ніж розрахункове.

Таким чином, для заданих параметрів металоконструкції мінімальна товщина вогнезахисного покриття «POLYLACK A»  $dp = 1,18 \text{ мм}$ .

За наведеним вище алгоритмом потрібно виконати розрахунки за вихідними даними, наведеними в таблиці 9.2.

Таблиця 9.1 – Мінімальні значення товщини вогнезахисного покриття «POLYLACK А», при яких температура нижча, ніж проєктна, для R 60

| Проєктна температура, °C            |                                      | 400   | 450  | 500  | 550  | 600  | 650  |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---|------|------|------|------|------|
| Зведена товщина, $\delta_{np}$ , мм | Коефіцієнт перерізу, $A_m/V$ , (м-1) | Клас вогнестійкості R 60  |      |      |      |      |      |
|                                     |                                      | Мінімальна товщина покриття, при якій температура нижча, ніж проєктна, мм |      |      |      |      |      |
| 14,49                               | 69                                   | 0,86  | 0,73 | 0,60 | 0,48 | 0,35 | 0,26 |
| 14,29                               | 70                                   | 0,87  | 0,74 | 0,61 | 0,49 | 0,36 | 0,26 |
| 12,50                               | 80                                   | 0,99  | 0,86 | 0,72 | 0,59 | 0,46 | 0,34 |
| 11,11                               | 90                                   | 1,11  | 0,97 | 0,83 | 0,69 | 0,56 | 0,43 |
| 10,00                               | 100                                  | 1,22  | 1,07 | 0,93 | 0,79 | 0,65 | 0,52 |
| 9,09                                | 110                                  | 1,32  | 1,18 | 1,03 | 0,89 | 0,74 | 0,60 |
| 8,33                                | 120                                  | 1,43  | 1,27 | 1,12 | 0,98 | 0,83 | 0,69 |
| 7,69                                | 130                                  | –   | 1,37 | 1,21 | 1,05 | 0,91 | 0,77 |
| 7,14                                | 140                                  | –   | 1,46 | 1,30 | 1,15 | 0,99 | 0,84 |
| 6,67                                | 150                                  | –   | –    | 1,39 | 1,23 | 1,07 | 0,91 |
| 6,25                                | 160                                  | –   | –    | 1,47 | 1,30 | 1,14 | 0,98 |
| 5,88                                | 170                                  | –   | –    | –    | 1,38 | 1,21 | 1,05 |
| 5,56                                | 180                                  | –   | –    | –    | 1,45 | 1,28 | 1,12 |
| 5,26                                | 190                                  | –   | –    | –    | –    | 1,35 | 1,18 |
| 5,00                                | 200                                  | –   | –    | –    | –    | 1,41 | 1,24 |
| 4,76                                | 210                                  | –   | –    | –    | –    | –    | 1,30 |
| 4,55                                | 220                                  | –   | –    | –    | –    | –    | 1,36 |
| 4,35                                | 230                                  | –   | –    | –    | –    | –    | 1,41 |
| 4,17                                | 240                                  | –   | –    | –    | –    | –    | 1,46 |

Таблиця 9.2 – Вихідні дані

| № з/п | $h$ , мм | $b$ , мм | $h_w$ , мм | $t_w$ , мм | $t_f$ , мм | $\theta_{cr}$ , °C |
|-------|----------|----------|------------|------------|------------|--------------------|
| 1     | 2        | 3        | 4          | 5          | 6          | 7                  |
| 1     | 314      | 210      | 290        | 12         | 12         | 600                |
| 2     | 328      | 220      | 300        | 14         | 14         | 610                |
| 3     | 342      | 230      | 310        | 16         | 16         | 620                |
| 4     | 356      | 240      | 320        | 18         | 18         | 630                |
| 5     | 370      | 250      | 330        | 20         | 20         | 640                |
| 6     | 384      | 260      | 340        | 22         | 22         | 650                |
| 7     | 398      | 270      | 350        | 24         | 24         | 500                |
| 8     | 412      | 280      | 360        | 26         | 26         | 510                |
| 9     | 314      | 210      | 290        | 12         | 12         | 520                |
| 10    | 328      | 220      | 300        | 14         | 14         | 530                |

### Продовження таблиці 9.2

| 1  | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  | 7   |
|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 11 | 342 | 230 | 310 | 16 | 16 | 540 |
| 12 | 356 | 240 | 320 | 18 | 18 | 550 |
| 13 | 370 | 250 | 330 | 20 | 20 | 560 |
| 14 | 384 | 260 | 340 | 22 | 22 | 570 |
| 15 | 398 | 270 | 350 | 24 | 24 | 580 |
| 16 | 412 | 280 | 360 | 26 | 26 | 590 |
| 17 | 314 | 210 | 290 | 12 | 12 | 450 |
| 18 | 328 | 220 | 300 | 14 | 14 | 460 |
| 19 | 342 | 230 | 310 | 16 | 16 | 470 |
| 20 | 356 | 240 | 320 | 18 | 18 | 480 |
| 21 | 370 | 250 | 330 | 20 | 20 | 490 |
| 22 | 384 | 260 | 340 | 22 | 22 | 500 |
| 23 | 398 | 270 | 350 | 24 | 24 | 510 |
| 24 | 412 | 280 | 360 | 26 | 26 | 520 |

### Контрольні запитання

1. Навести алгоритм визначення товщини шару вогнезахисного покриття.
2. Пояснити, що означає клас вогнестійкості R 60?
3. Вказати, на що впливає критична температура?

### Завдання для самостійної роботи

1. Навести основні технічні параметри вогнезахисного покриття «POLYLACK A».
2. Навести алгоритм розрахунку необхідної товщини вогнезахисного покриття.
3. У якому випадку необхідно виконувати випробування вогнезахисного покриття?

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Дистанційний курс «Особливості проектування сучасних гідротехнічних споруд». URL: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=4792> , вільний (дата звернення: 05.02.2026).
2. Hydraulic structures: textbook / Novak P., Moffat A. I. B., Nalluri C., Narayanan R. A. I. B. 4-th ed. New York : Taylor & Francis, 2017. 700 p.
3. Лутаєв В. В., Сунічук С. В. Гідроелектростанції (Машинна будівля ГЕС) : Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2008. 138 с.
4. Лутаєв В. В., Сунічук С. В. Гідроелектростанції (Водопровідні споруди ГЕС) : Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2009. 63с.
5. Erbisti P. C. F. Design of hydraulic gates. 2-nd ed. Lisse, Netherlands : Balkema, 2014. 417 p.
6. Гідротехнічні споруди : підручник для вузів / А. Ф. Дмитрієв та ін. ; за ред. А.Ф. Дмитрієва. Рівне: РДТУ, 1999. 328 с.
7. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010 / Український Центр Сталевого Будівництва ; [розробн.: К. В. Калафат, А. С. Білик, М. А. Біляєв, Е. А. Ковалевська]. Київ : УЦСБ, 2016. 81 с.
8. Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2. Практичний посібник / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) ; [розробн.: В. Г. Поклонський, О. А. Фесенко, В. Г. Тарасюк та ін.]. Київ : Інтертехнологія, 2016. 83 с.
9. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. Київ : Сталь, 2006. 15 с. (Національний стандарт України).
10. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. [Чинний від 2011–01–01]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2010. 37 с. (Державні будівельні норми України).
11. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023–11–01]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2023. 112 с. (Державні будівельні норми України).
12. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду / А. В. Яцик та ін. Київ : Генеза, 2003. 176 с.
13. Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника: монографія / [М. В. Коваль, В. В. Коваль, А. С. Білик, В. І. Коцюруба, О. М. Кубраков] ; під ред. А. С. Білика. Київ : Генеральний штаб Збройних Сил України, 2023. 185 с.

14. Розрахунок конструкцій будівель і споруд на дії основних факторів ураження засобів повітряного нападу : монографія / [Д. В. Михайловський, А. С. Білик, І. О. Склярів]. Київ : КНУБА, 2024. 92 с.

15. Engineering guidelines for the evaluation of hydropower : Chapter 1. Washington : FERC, 2016. 77 p. (Federal energy regulatory commission, Division of dam safety and inspections).

16. Bonilla B. A., Freire L. O., Quinatoa C. I. Flow Prediction Models for a Mini Hydroelectric Power Station // International Conference on Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability : materials of the conference. Singapore, 2023. P. 349–360.

17. Riabenko, O., Panasenko, A., Olefir, D., & Tymoshchuk, V. Improving the Efficiency of Using Water Resources for the Production of Electricity in Market // International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów : materials of the conference. Cham, 2023. P. 337–350.

18. Wu, R., Mao, H., Yang, Y., Zhang, Q., Tong, K., Li, X., & Lin, Y. Performance assessment of hydropower generator unit with the nonlinear transmissibility function method. *Measurement Science and Technology*. Bristol, 2023. Vol. 35, No 1. P. 015028.

19. Chanda N., Chintalacheruvu M. R., Choudhary. Performance Appraisal of Ravi Shankar Sagar Project Using Comparative Indicators // International Conference on Science, Technology and Engineering : materials of the conference. Singapore, 2023. P. 101–110.

20. Huang, K., Mu, Z., Shi, X., Ai, X., Guo, J., & Ding, J. Comparative Study on Real-Time Economic Operation Algorithm of Three Gorges Hydropower Station // International Conference on Advances in Civil and Ecological Engineering Research : materials of the conference. Singapore, 2023. P. 266–277.

21. Liu, K., Lin, Y., Ji, B., Cheng, Y., Liu, D., Ding, J., & Chen, H. Revealing the pressure pulsations that can cause water column separation in pump-turbine. *Journal of Fluids and Structures*. Amsterdam, 2023. Vol. 123. P. 103989.

22. Wang, S., Gao, X., Ren, Z., & Xiao, Y. A method for calculating the moisture load in the tailrace surge tank of underground hydropower station based on field tests. *International Journal of Thermal Sciences*. Amsterdam, 2023. Vol. 193. P. 108538.

23. Wang, N. F., He, J. X., Du, X. X., Cai, B., & Zhao, J. J. Deformation and failure mechanism of Yanjiao rock slope influenced by rainfall and water level fluctuation of the Xiluodu hydropower station reservoir. *Journal of Mountain Science*. Luxembourg, 2023. Vol. 20, No 1. P. 1–14.

24. Hämmerling M., Walczak N., Kałuża T. Analysis of the Influence of Hydraulic and Hydrological Factors on the Operating Conditions of a Small Hydropower Station on the Example of the Stary Młyn Barrage on the Głomia River in Poland. *Energies*. Basel, 2023. Vol. 16, No 19. P. 6905.

# ДОДАТОК А

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбін

### Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 10

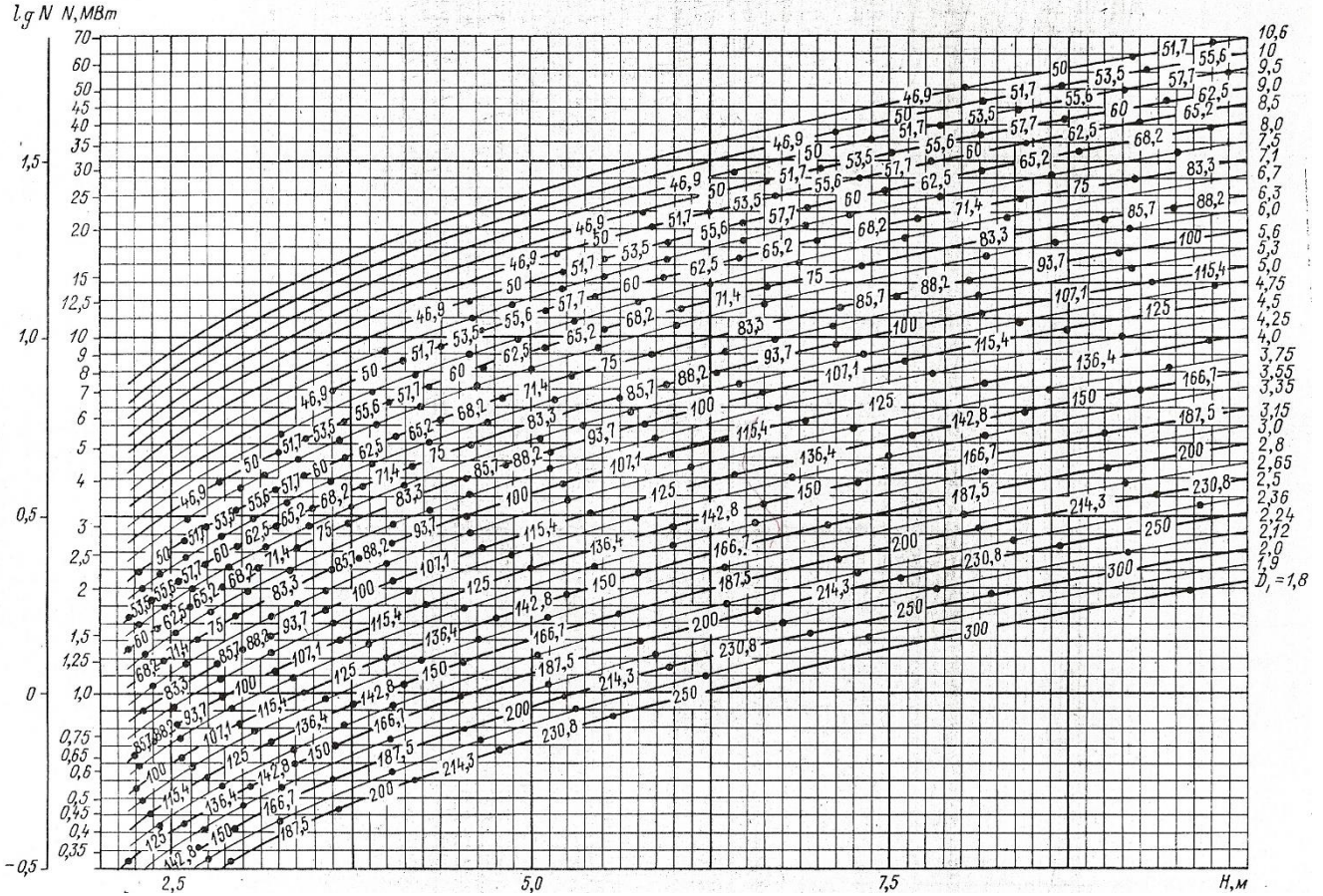


Рисунок А.1 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 175 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 2\,300 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 89\%$ ,  $\sigma < 1,6$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 15

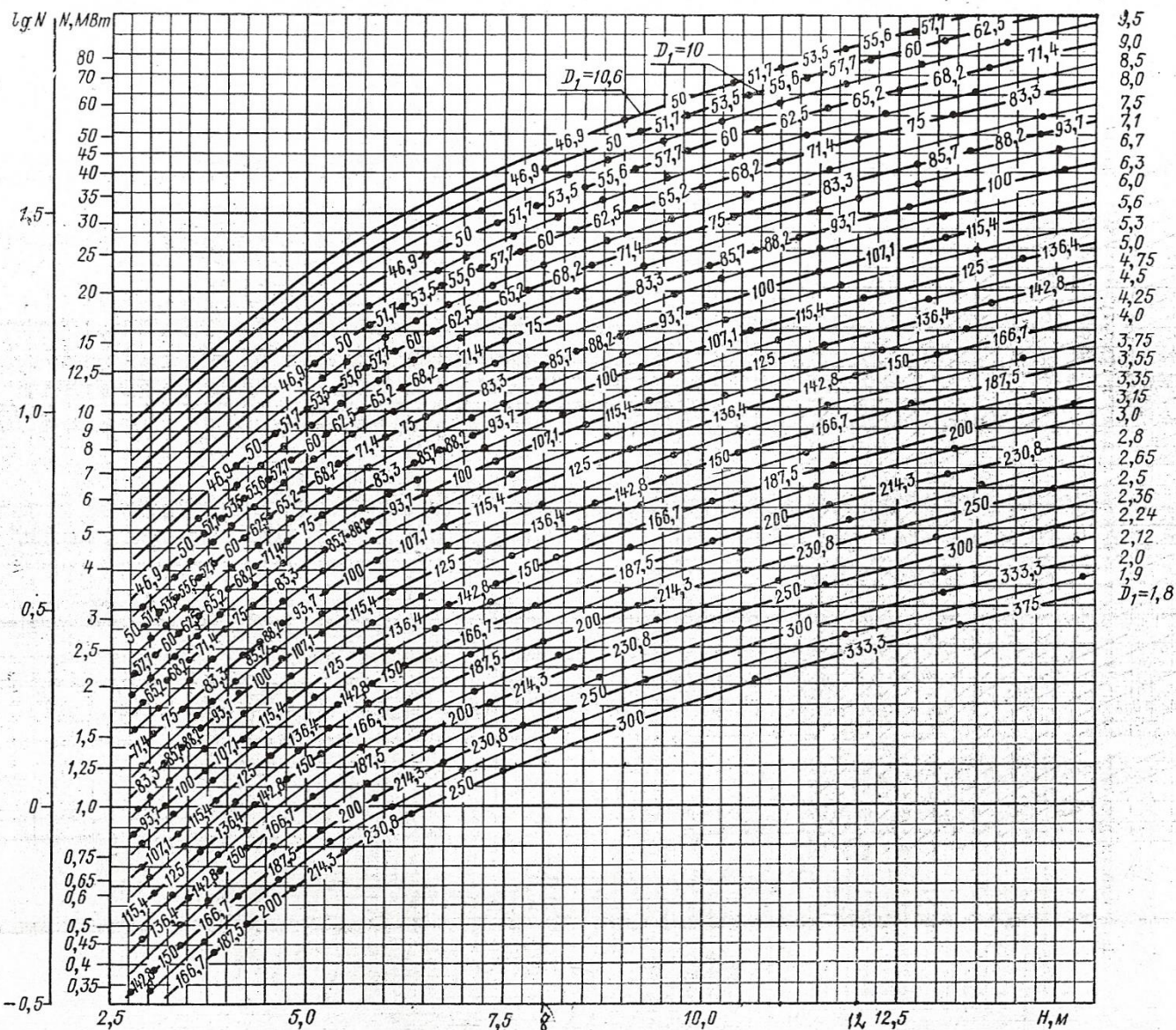


Рисунок А.2 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 165 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 2\,070 \text{ л/с}$ ,  
 $n_H = 90,5 \%$ ,  $\sigma < 1,6$

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ20

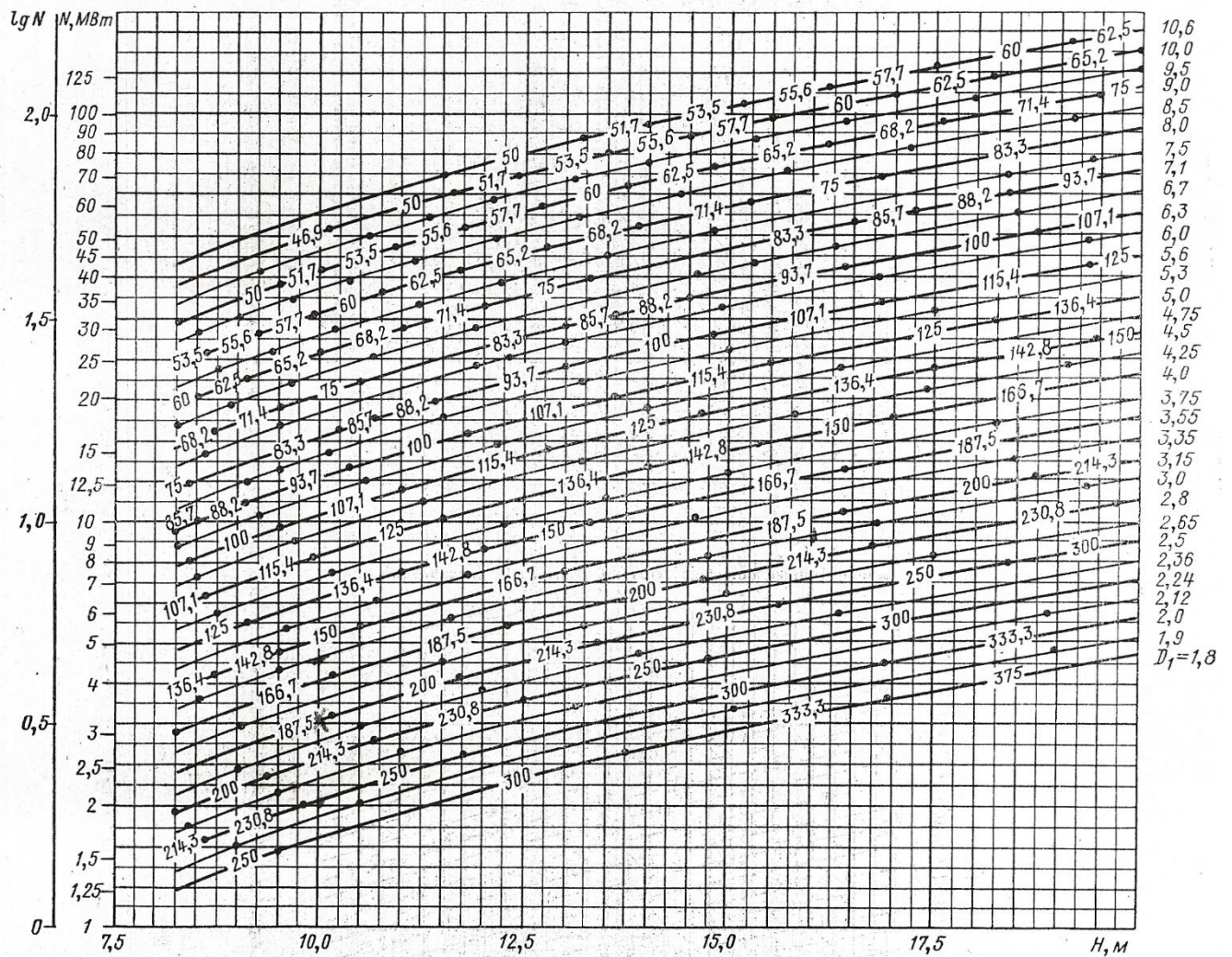


Рисунок А.3 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 146 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1\,790 \text{ л/с}$ ,  
 $n_H = 92 \%$ ,  $\sigma = 0,775$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 30

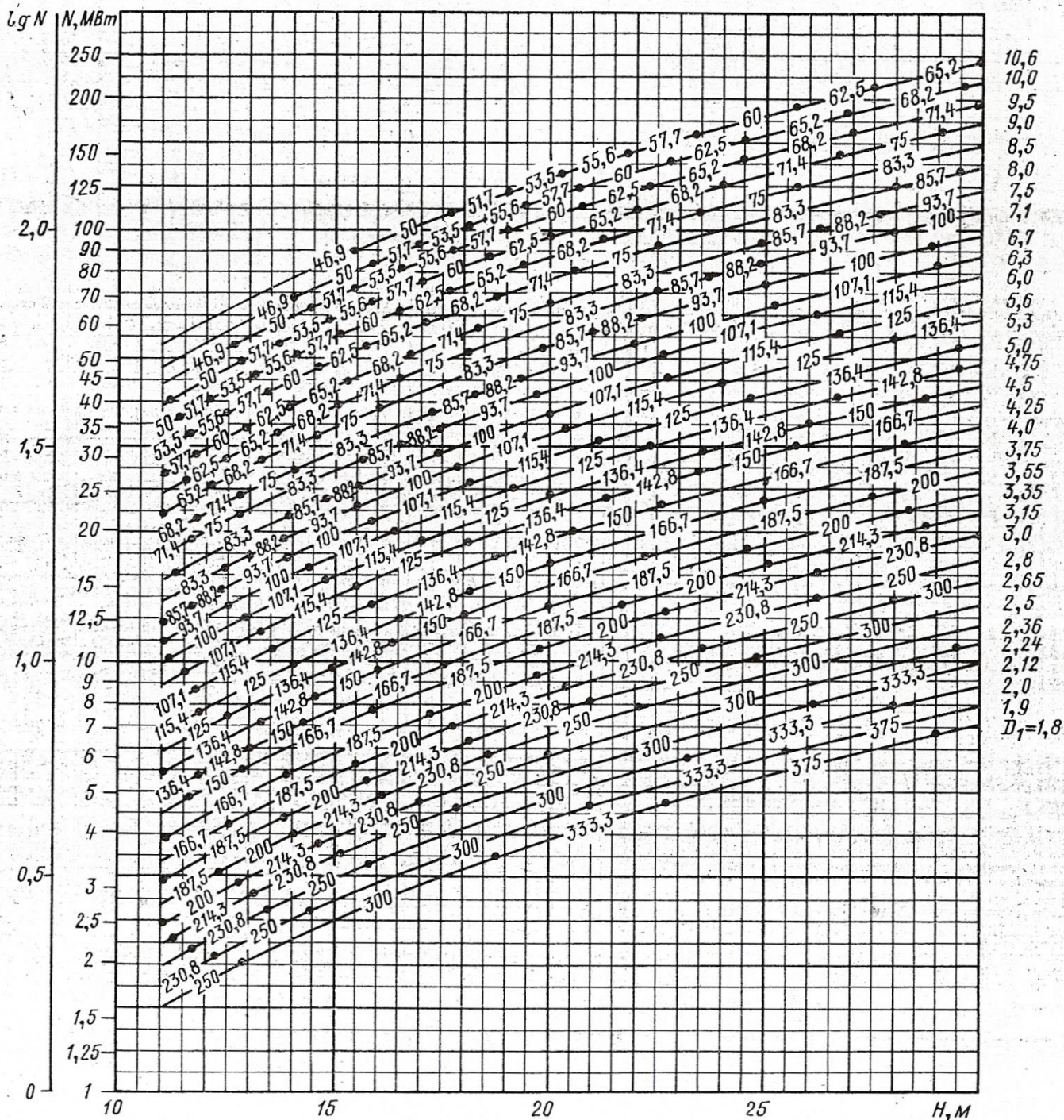


Рисунок А.4 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 126 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1\,460 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 93,5 \%$ ,  $\sigma = 0,525$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 40

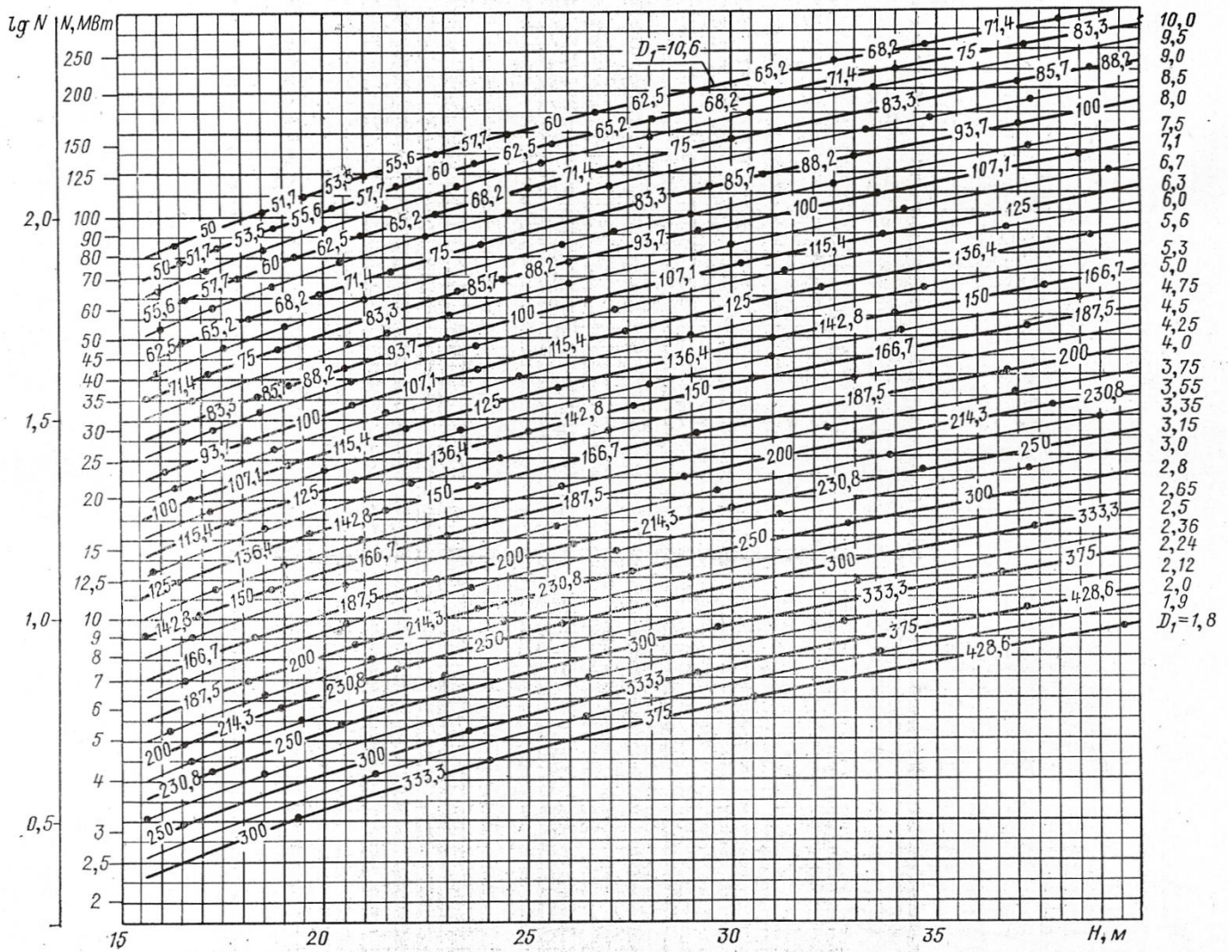


Рисунок А.5 – Універсальна характеристика:  $\eta_1' = 123 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1\,270 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 93 \%$ ,  $\sigma = 0,350$

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 50

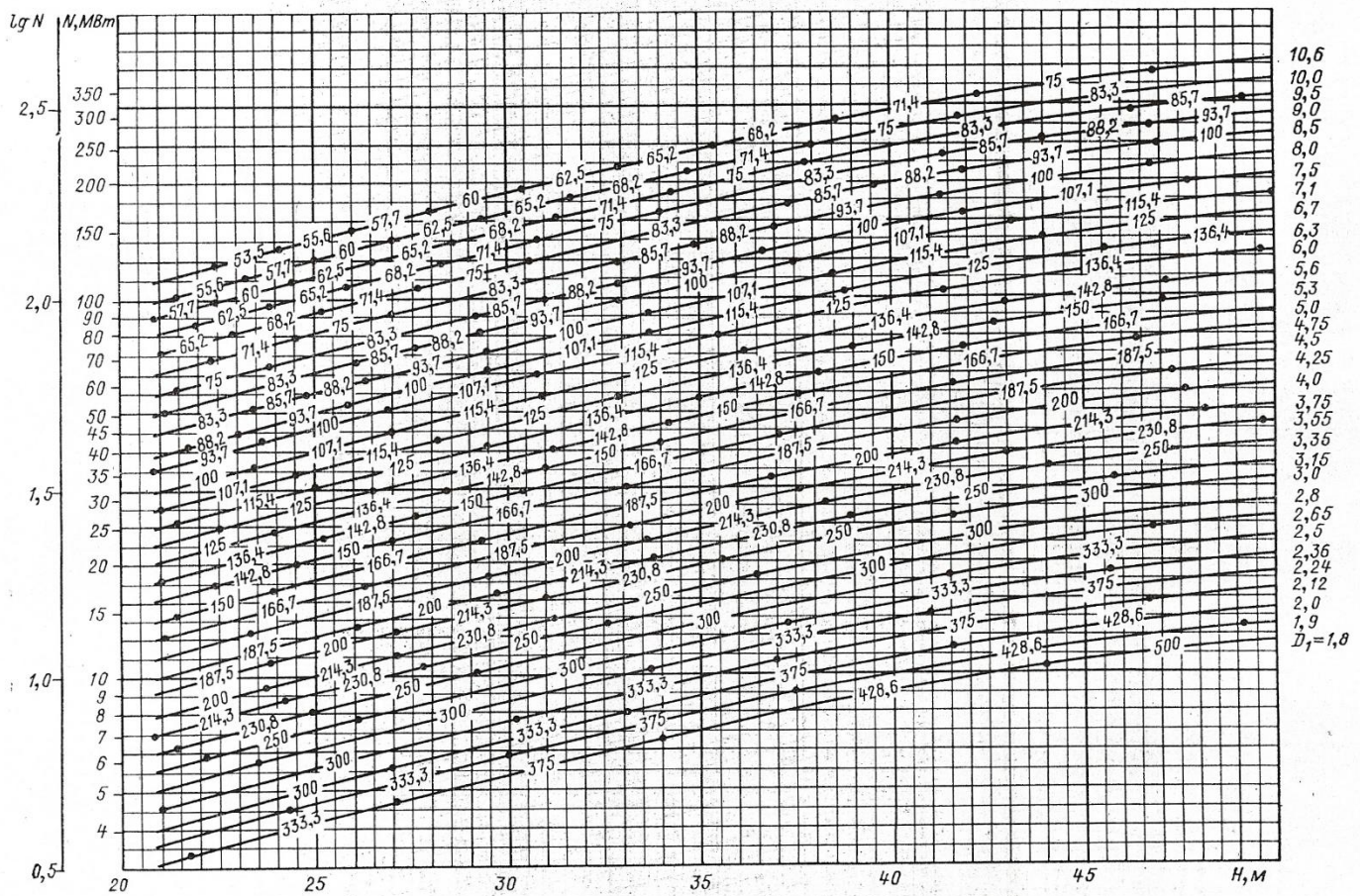


Рисунок А.6 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 116 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1130 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 94,5\%$ ,  $\sigma = 0,311$

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 60

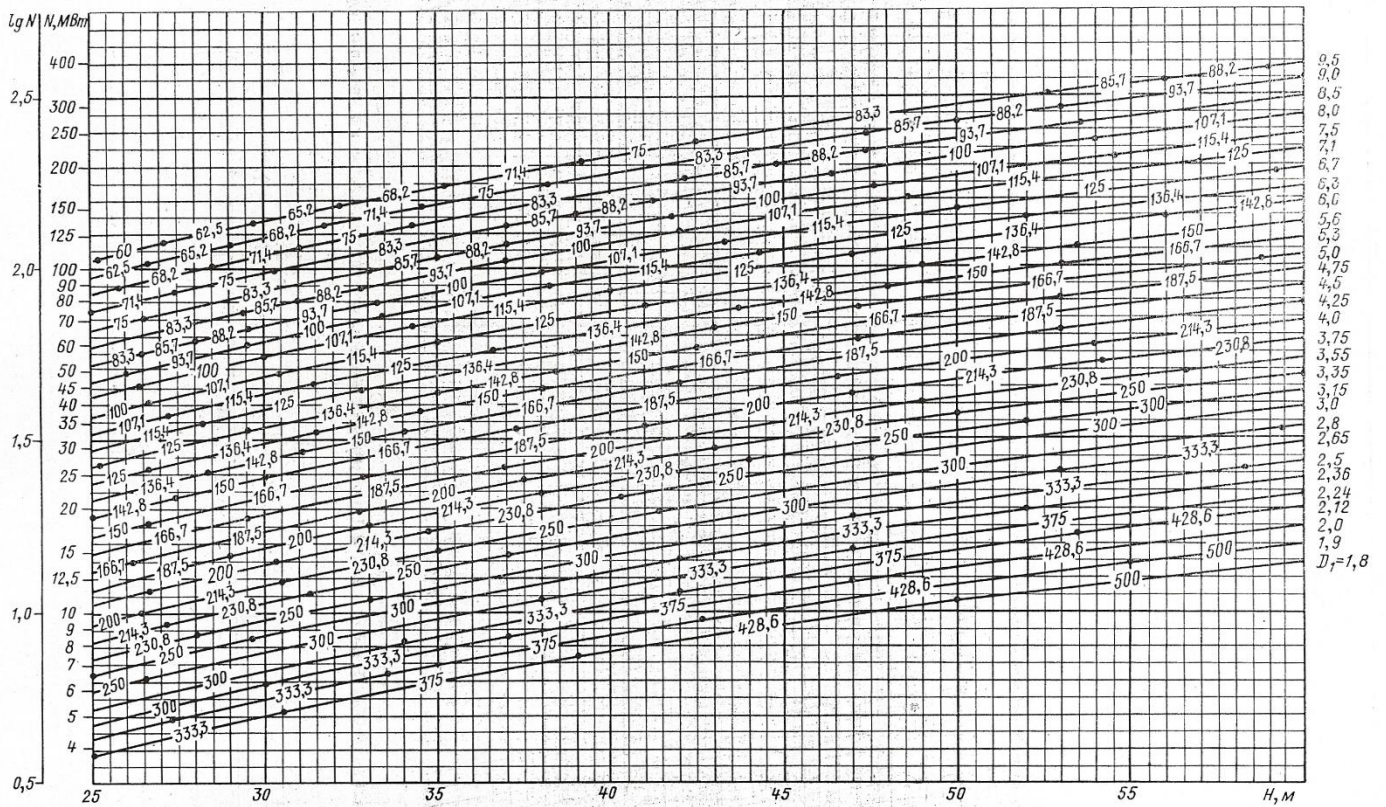


Рисунок А.7 – Універсальна характеристика:  $\eta_1' = 109 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1 \text{ 030 л/с}$ ,  
 $\eta_H = 92,5 \%$ ,  $\sigma = 0,265$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 70

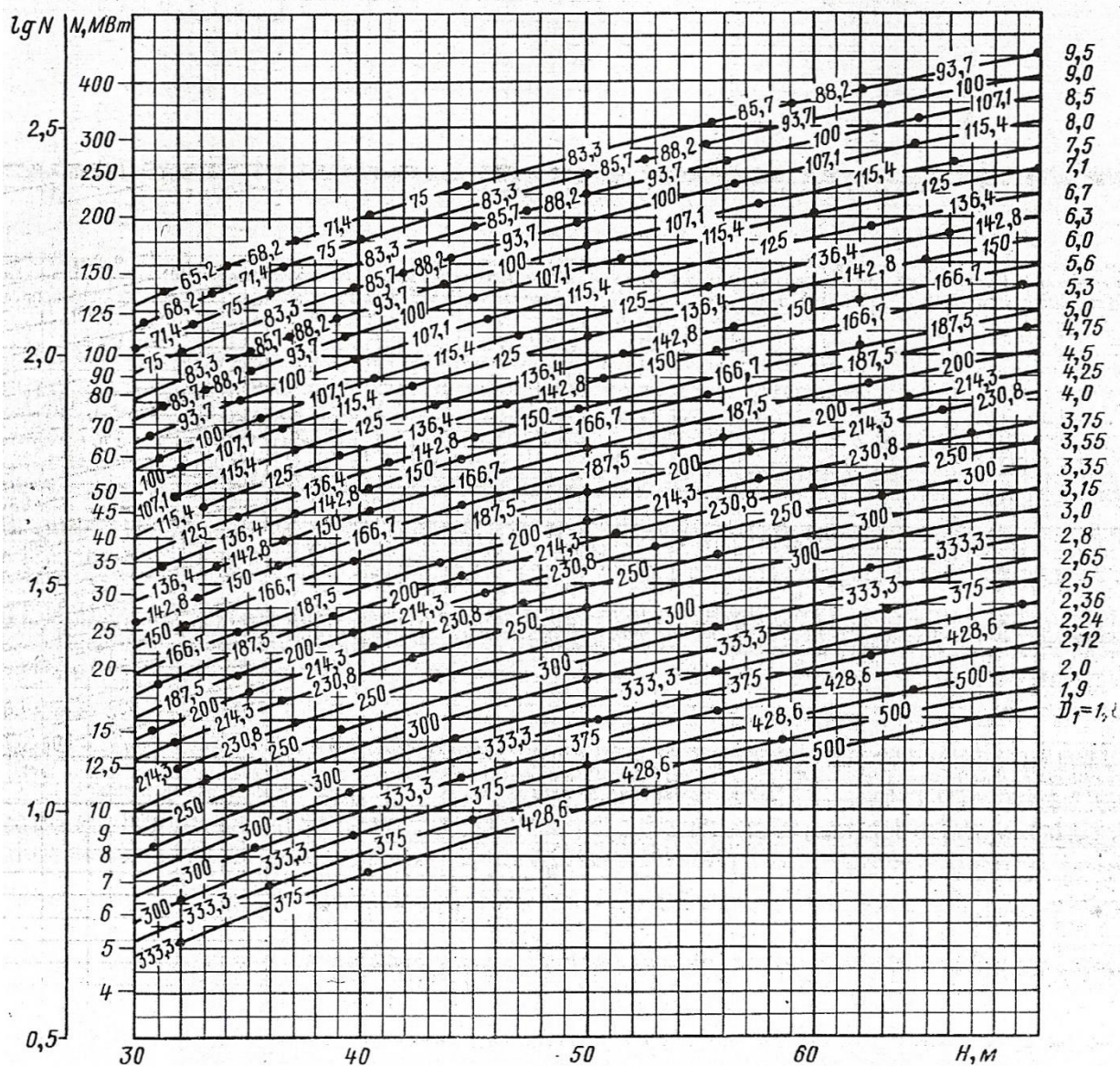


Рисунок А.8 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 106 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 960 \text{ л/с}$ ,  
 $n_H = 93 \%$ ,  $\sigma = 0,250$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни ПЛ 80

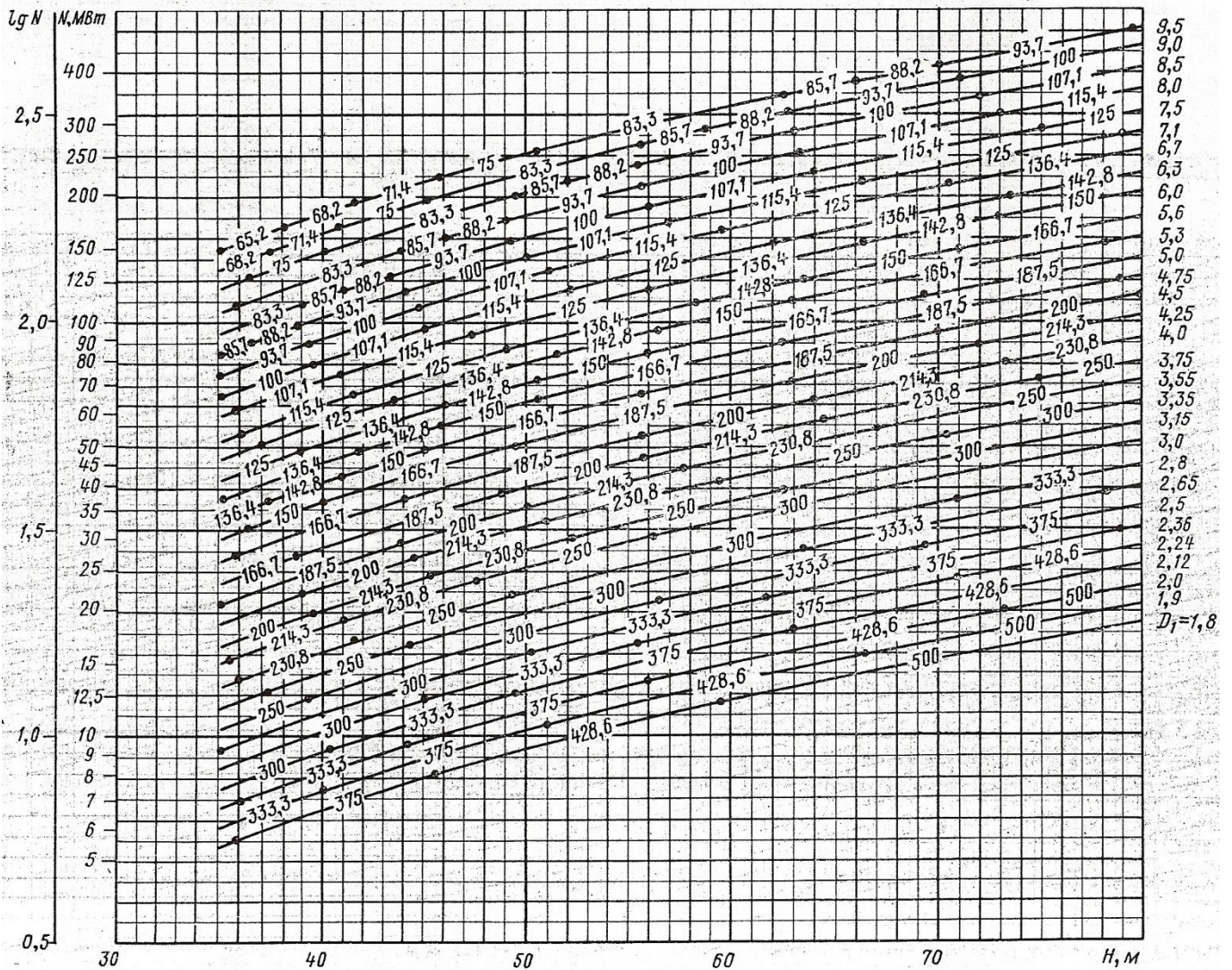


Рисунок А.9 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 100 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 890 \text{ л/с}$ ,  
 $n_H = 92 \%$ ,  $\sigma = 0,25$

# Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 45

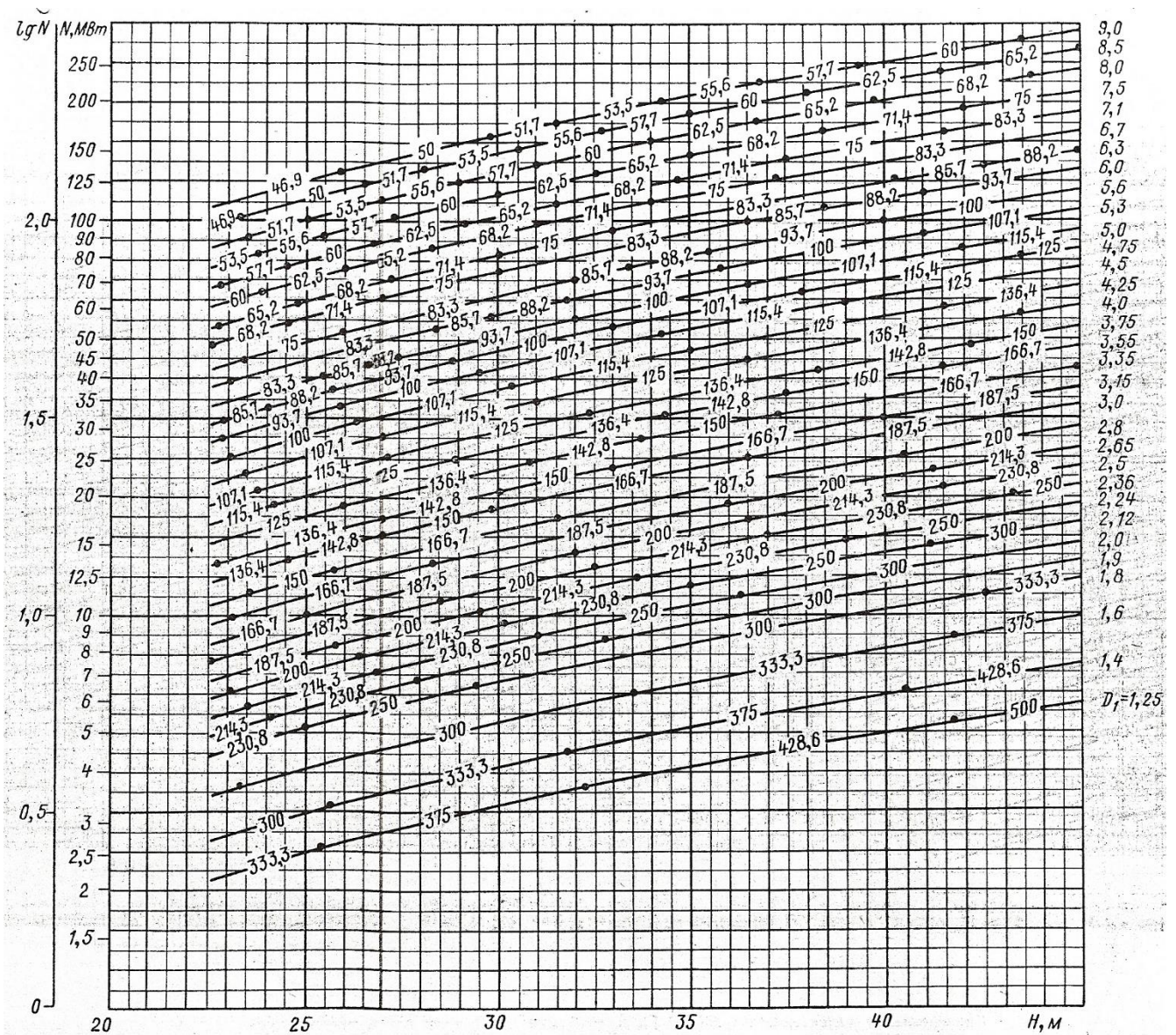


Рисунок А.10 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 82,5 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1\,430 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 90,5 \%$ ,  $\sigma = 0,230$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 75

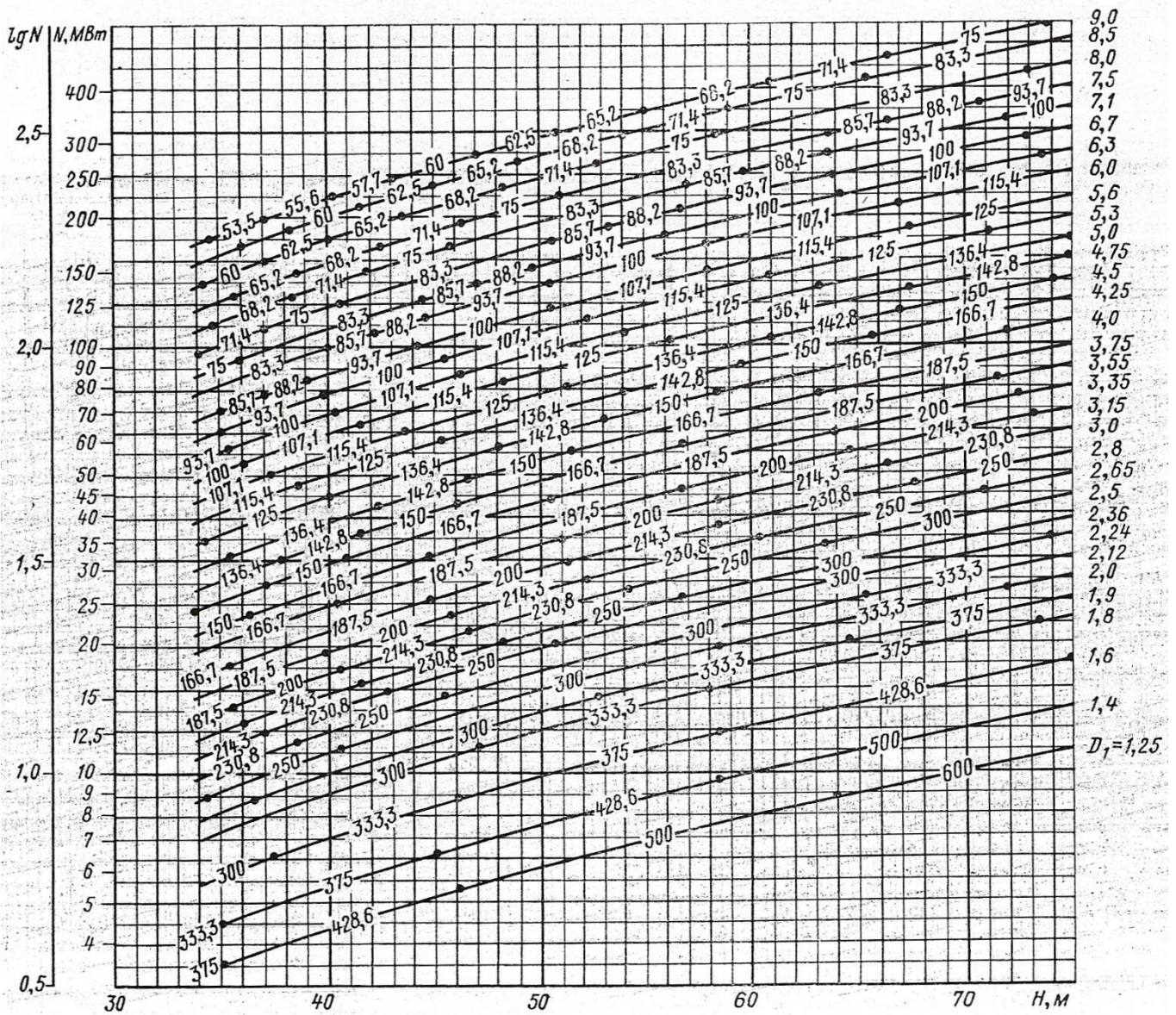


Рисунок А.11 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 78,7 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 1\,220 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 91,5 \%$ ,  $\sigma = 0,128$

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 115

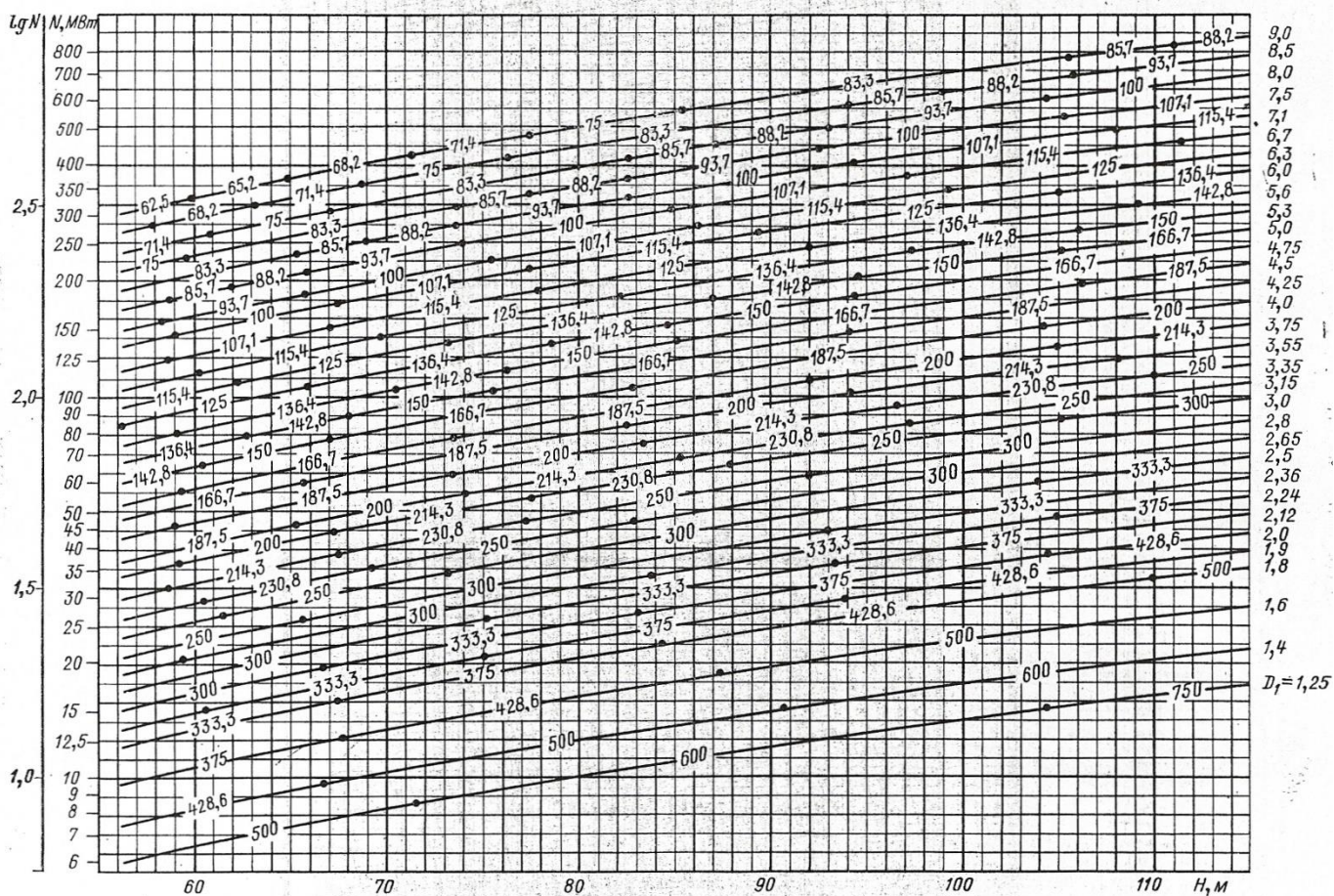


Рисунок А.12 – Універсальна характеристика:  $\eta'_1 = 72,3 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q'_1 = 1\,080 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 91,5 \%$ ,  $\sigma = 0,147$

## Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 140

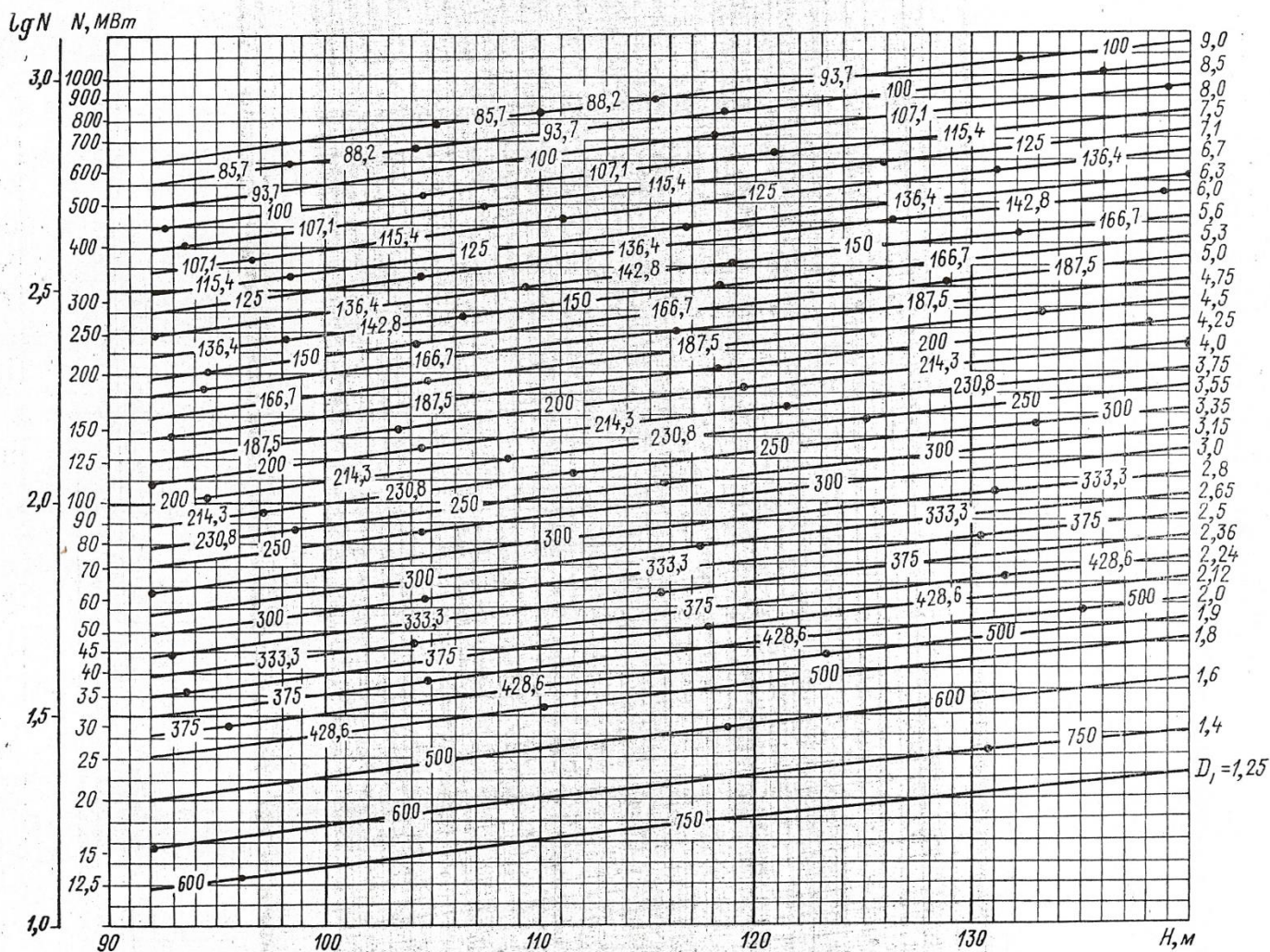


Рисунок А.13 – Універсальна характеристика:  $\eta_1' = 73 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 980 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 92,0 \%$ ,  $\sigma = 0,160$

# Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 170

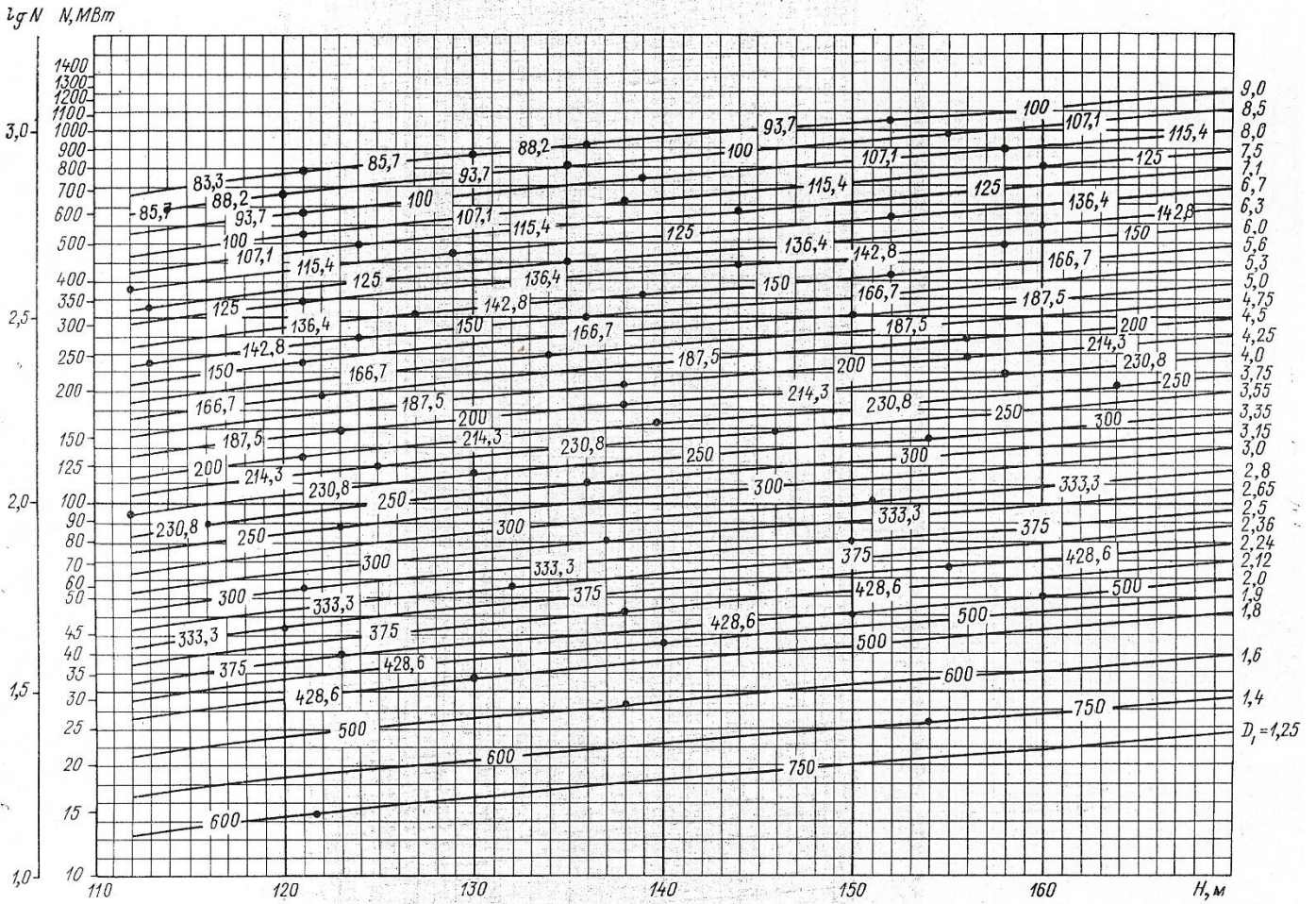


Рисунок А.14 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 68 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 790 \text{ л/с}$ ,  
 $n_H = 91 \%$ ,  $\sigma = 0,08$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 230

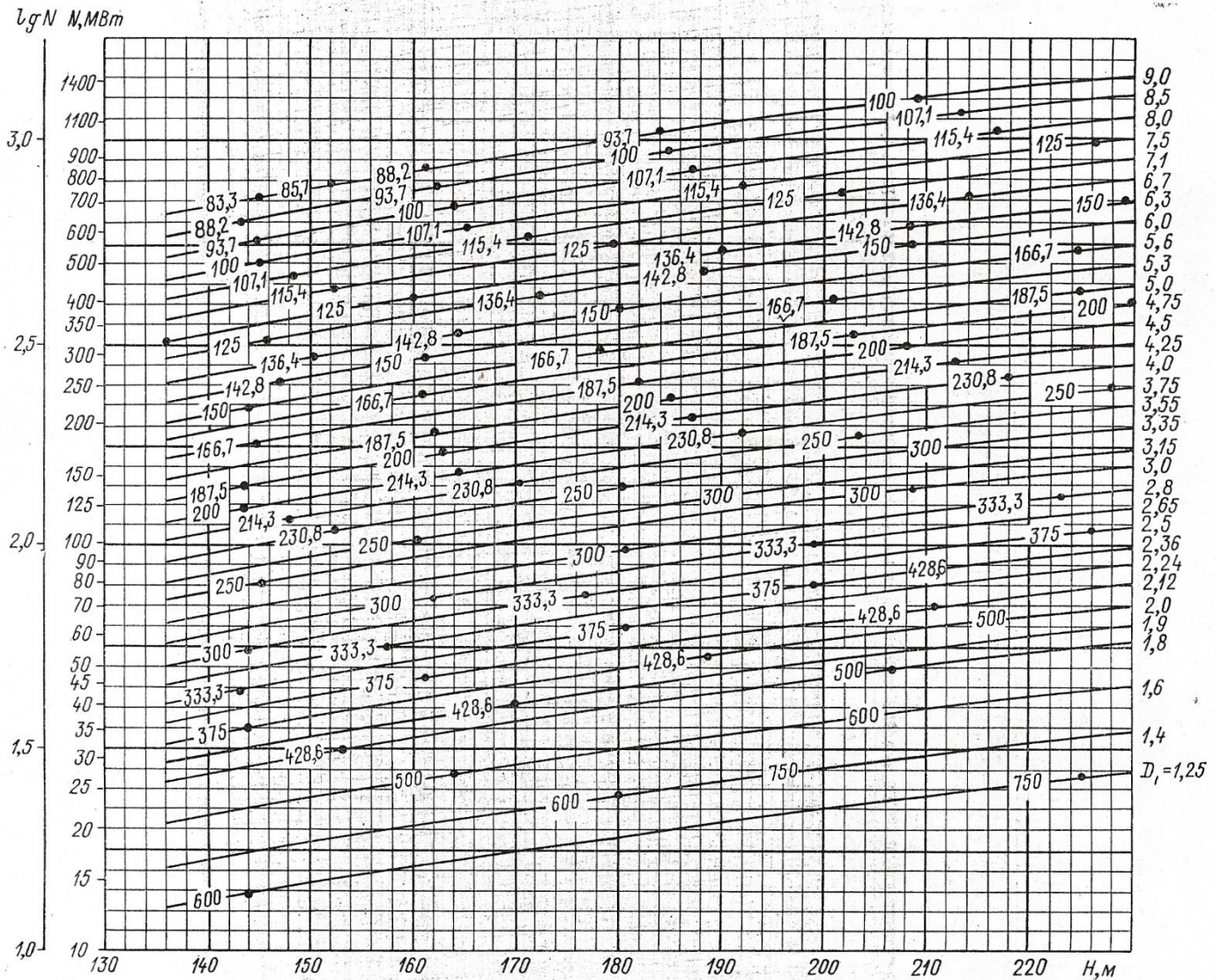


Рисунок А.15 – Універсальна характеристика:  $n'_1 = 62,5 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q'_1 = 570 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 91,5 \%$ ,  $\sigma = 0,060$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 310

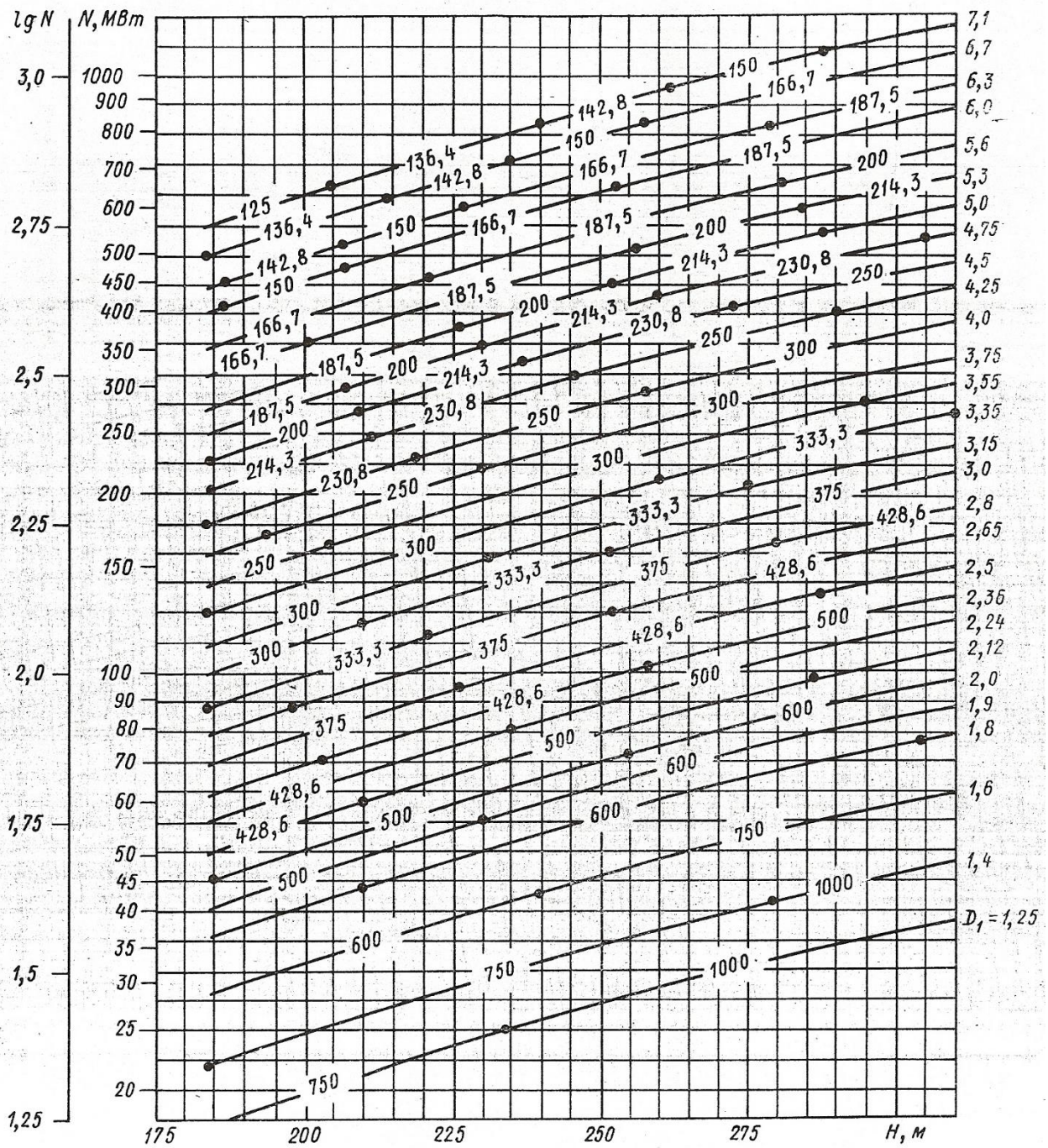


Рисунок А.16 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 63 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 513 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 92,5 \%$ ,  $\sigma = 0,079$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 400

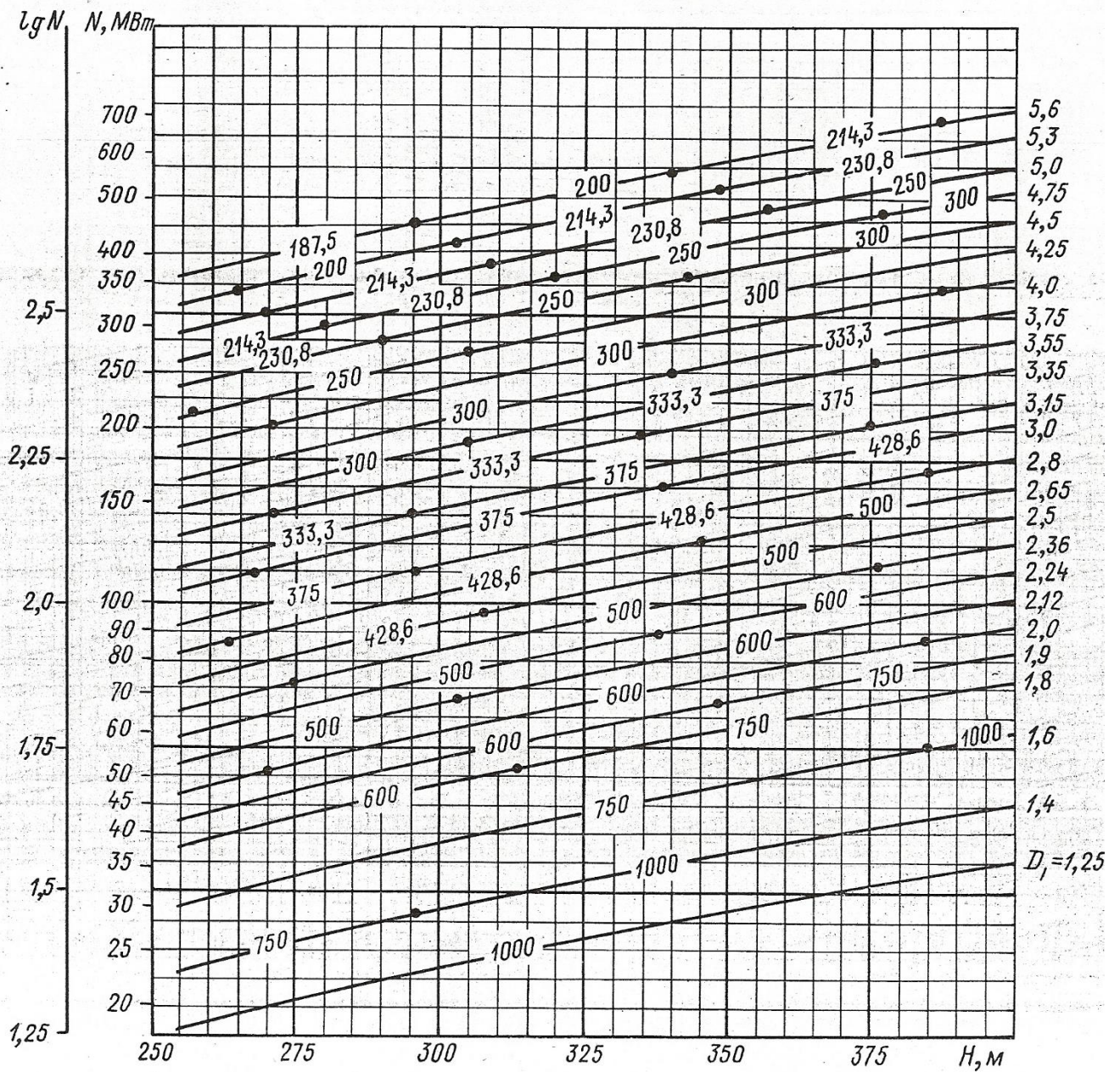


Рисунок А.17 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 61 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 330 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 88,5 \%$ ,  $\sigma = 0,045$

Залежності для визначення діаметра і частоти обертання гідротурбіни РО 500

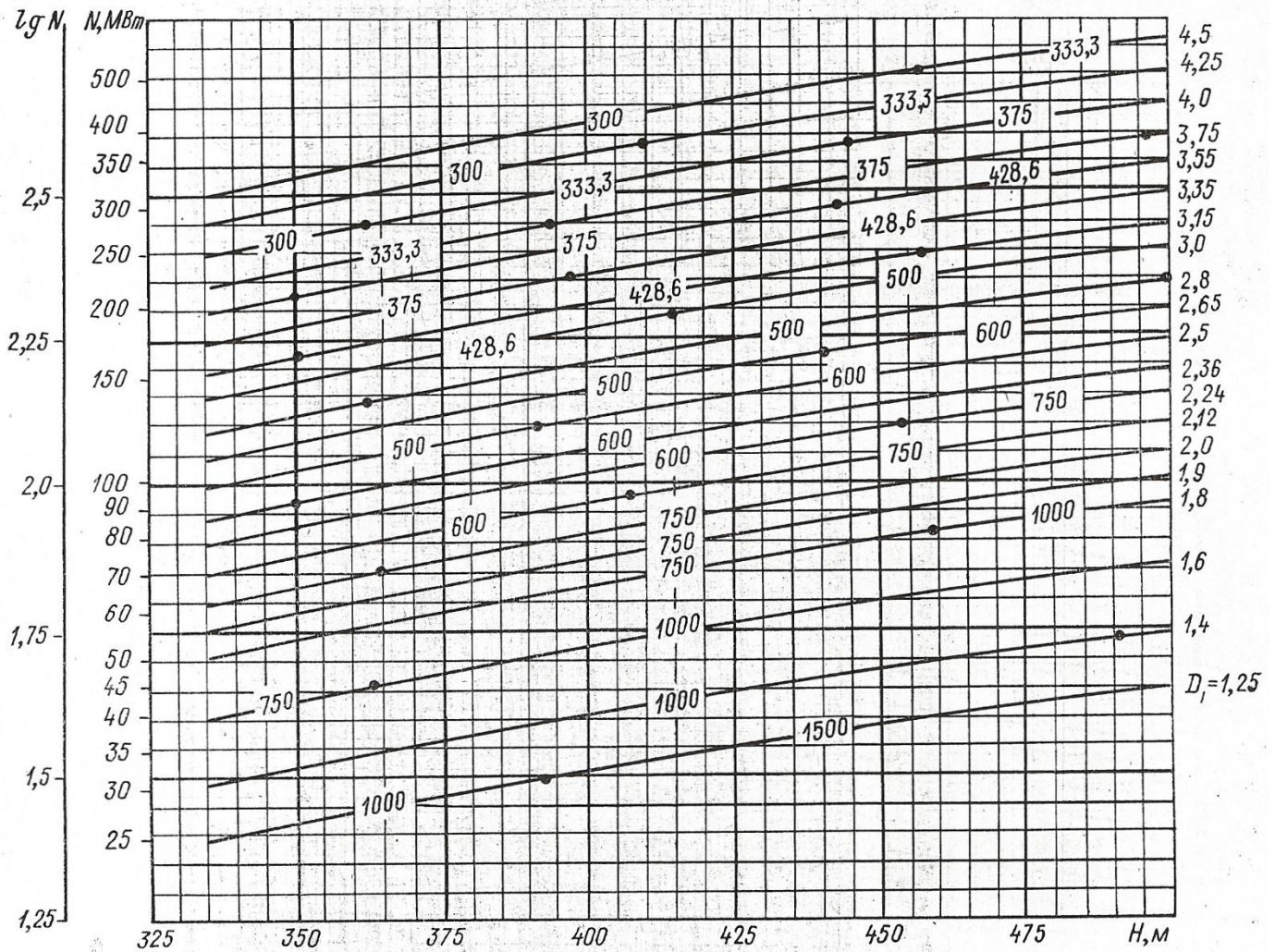


Рисунок А.18 – Універсальна характеристика:  $n_1' = 63 \text{ хв}^{-1}$ ,  $Q_1' = 290 \text{ л/с}$ ,  
 $\eta_H = 89,5 \%$ ,  $\sigma = 0,064$

## ДОДАТОК Б

### Визначення ваги гідравлічної турбіни

Основними факторами, які визначають вагу гідравлічної турбіни, є діаметр робочого колеса і напір. Обраний діаметр робочого колеса визначає розміри машини, а напір обумовлює ступінь масивності деталей, необхідний для забезпечення їх міцності. Для визначення чистої ваги турбін ( $G$ ) в гідротурбобудівництві застосовують такі емпіричні формули:

– для поворотно-лопатевої турбіни:

$$G_{ПЛ} = k_1 D_1^{a_1} H^{b_1}, \quad (1)$$

де  $D_1$  – діаметр робочого колеса, м;

$H$  – напір, м;

$k_1, a_1, b_1$  – безрозмірні коефіцієнти, які залежать від напору і набувають таких значень:

|       |               |                |
|-------|---------------|----------------|
| $H$   | 10,0 – 40,0 м | 50,0 – 80,0 м; |
| $k_1$ | 2,88          | 1,435          |
| $a_1$ | 2,1           | 2,1            |
| $b_1$ | 0,4           | 0,6            |

– для радіально-осьових турбін:

$$G_{РО} = k_2 e^{a_2 D_1} H^{b_2}, \quad (2)$$

де  $D_1$  – діаметр робочого колеса, м;

$H$  – напір, м;

$k_2, a_2, b_2$  – безрозмірні коефіцієнти, які залежать від напору і набувають таких значень:

|       |                |                  |
|-------|----------------|------------------|
| $H$   | 45,0 – 300,0 м | 300,0 – 500,0 м. |
| $k_2$ | 17,4           | 14,0             |
| $a_2$ | 0,49           | 0,49             |
| $b_2$ | 0,16           | 0,2              |

Номограми, обчислені за наведеними вище формулами значень чистої ваги гідротурбін, наведені на рисунках Б.1 – Б.4.

Чиста вага, т

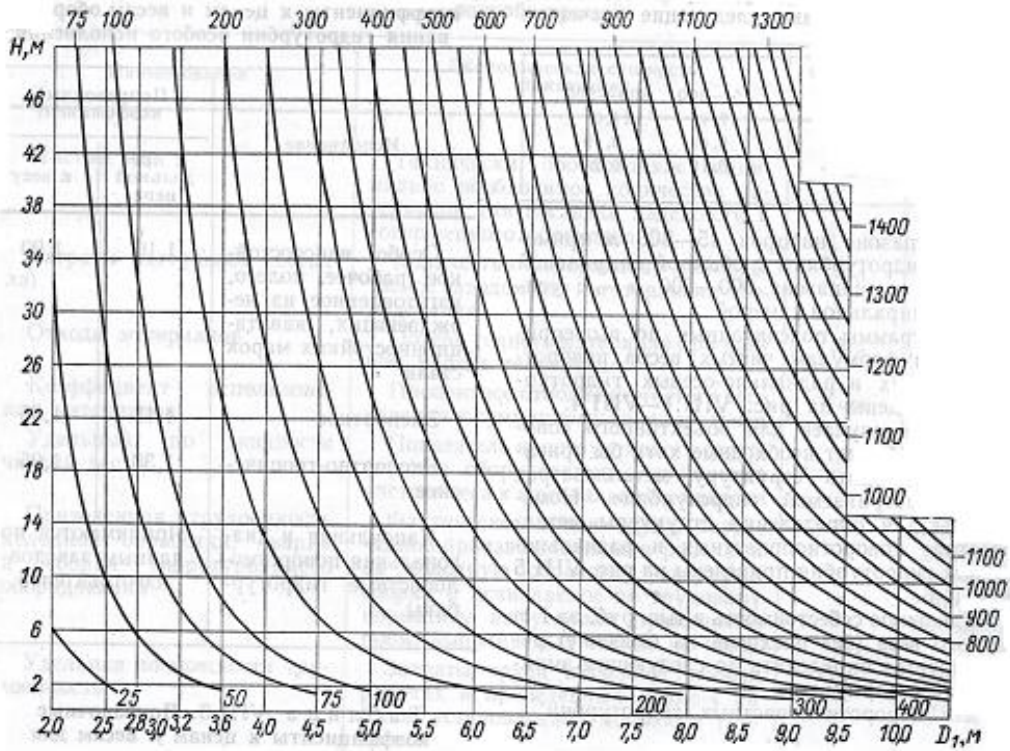


Рисунок Б.1 – Номограма для визначення чистої ваги поворотно-лопатевих турбін ПЛ 10 – ПЛ 40:  $G = 2,88D^{2,1}H^{0,4}$

Чиста вага, т

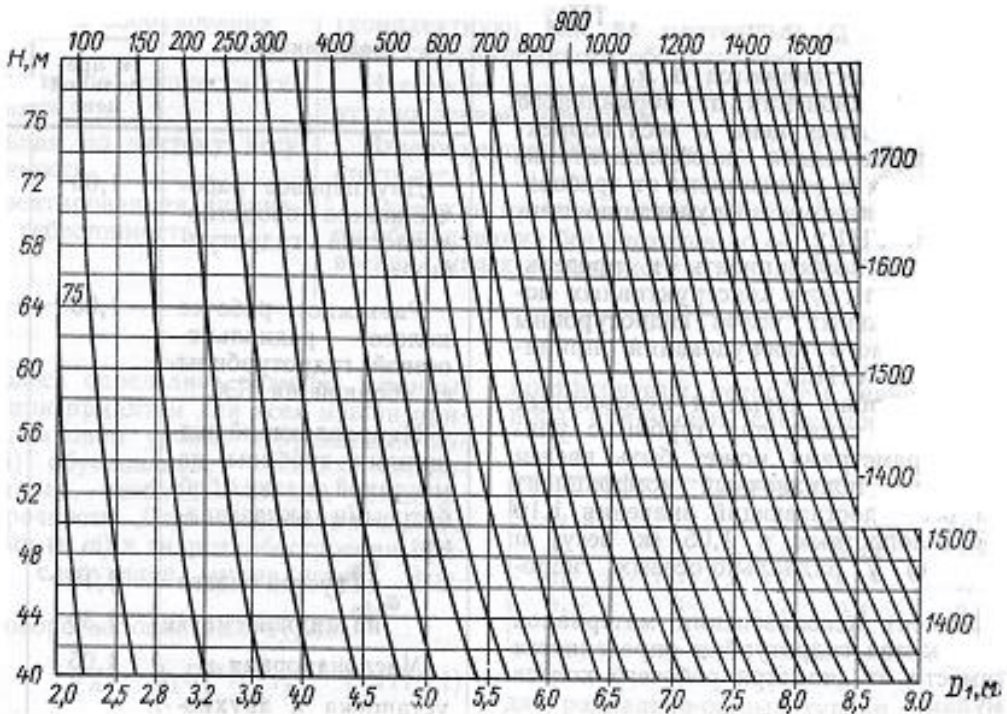


Рисунок Б.2 – Номограма для визначення чистої ваги поворотно-лопатевих турбін ПЛ 50 – ПЛ 80:  $G = 1,435D^{2,1}H^{0,6}$

Чиста вага, т

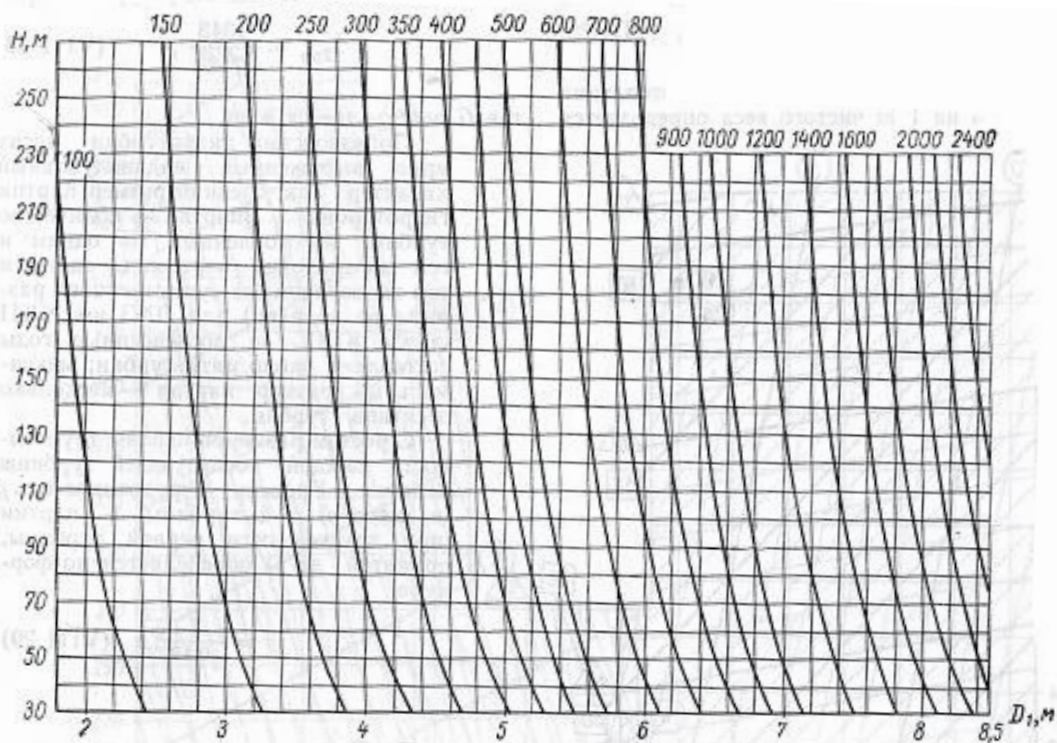


Рисунок Б.3 – Номограма для визначення чистої ваги радіально-осьових турбін РО 45 – РО 270 із звичайною спіральною камерою:  $G = 17,4 e^{0,49D_1} H^{0,16}$

Чиста вага, т

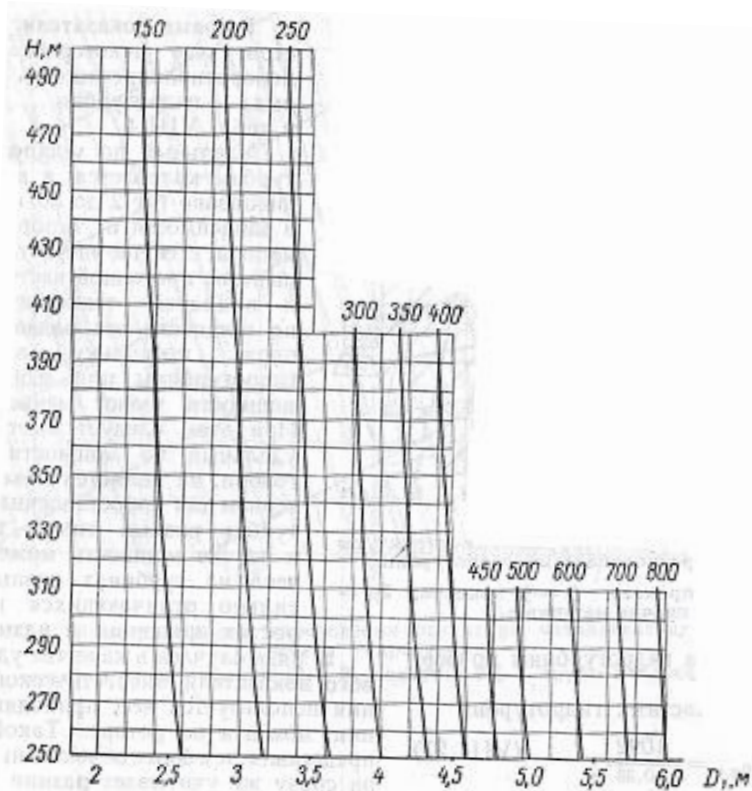


Рисунок Б.4 – Номограма для визначення чистої ваги радіально-осьових турбін РО 310 – РО 500 з підсиленою спіральною камерою:  $G = 14,0 e^{0,49D_1} H^{0,2}$

**ДОДАТОК В**  
**Визначення розмірів спіральних турбінних камер**

Таблиця В.1 – Розміри спіральних турбінних камер з  $D_1 = 1,0$  м

| Кути<br>$\varphi_i$ | Бетонні камери      |                         |                         | Металеві камери     |                         |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
|                     | Розміри<br>перерізу | ПЛ 10                   | ПЛ 20<br>ПЛ 30          | Розміри<br>перерізу | РО 45                   | РО 75                   |
|                     |                     | $\varphi_0 = 180^\circ$ | $\varphi_0 = 210^\circ$ |                     | $\varphi_0 = 345^\circ$ | $\varphi_0 = 345^\circ$ |
| 345°                | –                   | –                       | –                       | $R/D_1$             | 2,17                    | 2,08                    |
|                     | –                   | –                       | –                       | $\rho/D_1$          | 0,70                    | 0,65                    |
| 270°                | –                   | –                       | –                       | $R/D_1$             | 2,08                    | 2,01                    |
|                     | –                   | –                       | –                       | $\rho/D_1$          | 0,65                    | 0,615                   |
| 225°                | –                   | –                       | –                       | $R/D_1$             | 1,98                    | 1,91                    |
|                     | –                   | –                       | –                       | $\rho/D_1$          | 0,60                    | 0,565                   |
| 210°                | –                   | –                       | 1,65                    | $R/D_1$             | 1,86                    | 1,81                    |
|                     | –                   | –                       | 0,97                    | $\rho/D_1$          | 0,54                    | 0,515                   |
| 180°                | $R/D_1$             | 1,66                    | 1,54                    | $R/D_1$             | 1,73                    | 1,69                    |
|                     | $b^I/D_1$           | 0,92                    | 0,70                    | $\rho/D_1$          | 0,475                   | 0,455                   |
| 135°                | $R/D_1$             | 1,50                    | 1,38                    | –                   | –                       | –                       |
|                     | $b^I/D_1$           | 0,61                    | 0,45                    | –                   | –                       | –                       |
| 90°                 | $R/D_1$             | 1,33                    | 1,19                    | $R/D_1$             | 1,59                    | 1,56                    |
|                     | $b^I/D_1$           | 0,34                    | 0,25                    | $\rho/D_1$          | 0,405                   | 0,39                    |
| 45°                 | $R/D_1$             | 1,11                    | 0,95                    | $R/D_1$             | 1,43                    | 1,39                    |
|                     | $b^I/D_1$           | 0,16                    | 0,11                    | $\rho/D_1$          | 0,325                   | 0,305                   |
| 0°                  | $R/D_1$             | 0,69                    | 0,69                    | $R/D_1$             | 0,69                    | 0,69                    |

## ДОДАТОК Г

### Визначення основних параметрів і розмірів відсмоктувальних труб

Таблиця Г.1 – Основні параметри та розміри відсмоктувальних труб  
для  $D_1 = 1,0$  м

| Параметри | Типи турбін  |              |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
|           | ПЛ 10, ПЛ 15 | ПЛ 20, ПЛ 30 | РО 45, РО 75 |
| $h/D_1$   | 2,5          | 2,3          | 2,5          |
| $L_B/D_1$ | 4,5          | 4,5          | 4,5          |
| $L_1/D_1$ | 1,6          | 1,5          | 1,75         |
| $D_4/D_1$ | 1,23         | 1,17         | 1,35         |
| $h_4/D_1$ | 1,23         | 1,17         | 1,35         |
| $h_5/D_1$ | 1,20         | 1,20         | 1,31         |
| $h_6/D_1$ | 0,62         | 0,58         | 0,67         |
| $a/D_1$   | 0,446        | 0,42         | 0,487        |
| $a_1/D_1$ | 1,35         | 1,275        | 1,476        |
| $a_2/D_1$ | 0,1          | 0,095        | 0,107        |
| $R_6/D_1$ | 1,06         | 1,0          | 1,16         |
| $R_7/D_1$ | 0,745        | 0,7          | 0,815        |
| $R_8/D_1$ | 0,85         | 0,677        | 0,782        |
| $B_5/D_1$ | 2,5          | 2,38         | 2,74         |

**ДОДАТОК Д**  
**Визначення основних параметрів і розмірів вертикальних**  
**гідрогенераторів**

Таблиця Д.1 – Основні параметри та розміри вертикальних гідрогенераторів

| Елемент конст-рукції | Параметр                       | Позна-чення | Тип генератора  |   |
|----------------------|--------------------------------|-------------|---|---|
|                      |                                |             | підвісний   | парасольчатий   |
| 1                    | 2                              | 3           | 4   | 5   |
| Статор               | Діаметр розточки статора       | $D_i$       | Визначається розрахунком, але $D_i \geq D_{III} + 0,6$ , м  | Визначається розрахунком, але $D_i \geq D_{III} + 0,2$ м. Для роторів, які монтуються у кратері, $D_i \geq D_{III} + 2,0$ м |
|                      | Висота активної сталі          | $l_t$       | $l_t < 2,5$ м   | $l_t < 2,5$ м   |
|                      | Діаметр по корпусу             | $D_1$       | при $n \leq 250$ об./хв<br>$D_1 = (1,15 + 0,0008n) D_i$ ;<br>при $n > 250$ об./хв<br>$D_1 = (1,05 + 0,0017n) D_i$ | при $n \geq 100$ об./хв<br>$D_1 = (1,05 + 0,0017n) D_i$ ;<br>при $n < 100$ об./хв<br>$D_1 = (1,05 + 0,002n) D_i$            |
|                      | Висота корпусу                 | $h_1$       | $h_1 = (1,7 \div 1,9) l_t$  | $h_1 = (1,7 \div 1,9) l_t$  |
|                      | Діаметр по повітроохолоджувачу | $D_6$       | $D_6 = D_1 + 2(0,3 - 0,4)$ , м  | $D_6 = D_1 + 2(0,3 - 0,4)$ , м  |
|                      | Висота повітроохолоджувача     | $h_6$       | $h_6 \approx l_t$   | $h_6 \approx l_t$   |
|                      | Ротор                          | Висота      | $h_3$   | $h_3 = l_t + (0,5 - 0,8)$ , м   |
| Діаметр              |                                | $D_3$       | $D_3 \approx D_i$   | $D_3 \approx D_i$   |
| Верхня хрестовина    | Висота                         | $h_4$       | $h_4 = (0,2 - 0,25)D_i$   | $h_4 = (0,1 - 0,12)D_i \geq 0,4$ м  |
|                      | Діаметр променів               | $D_4$       | $D_4 = D_1$   | $D_4 = D_1$   |
| Підп'ятник           | Висота                         | $h_7$       | $h_7 = (0,2 - 0,25)D_i$   | $h_7 = (0,15 - 0,2)D_i$   |
|                      | Діаметр ванни                  | $D_7$       | $D_7 = (0,4 - 0,5)D_i$  | $D_7 = (0,4 - 0,5)D_i$  |

Продовження таблиці Д.1

| 1                             | 2   | 3        | 4                                   | 5                                |
|-------------------------------|---|----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Нижня хрестовина              | Висота  | $h_5$    | $h_5 = (0,1 - 0,12)D_{III}$         | –                                |
|                               | Діаметр променів                                  | $D_5$    | $D_5 = D_{III} + (0,3 - 0,5),$<br>м | –                                |
| Надбудова                     | Висота  | $h_8$    | $h_8 = (0,3 - 0,5),$ м              | $h_8 = (0,3 - 0,5),$ м           |
|                               | Діаметр   | $D_8$    | $D_8 = (0,2 - 0,25)D_i$             | $D_8 = (0,2 - 0,25)D_i$          |
| Мастилоприймач, для ПЛ турбін | Висота  | $h_9$    | $h_9 = 1,5 - 1,8,$ м                | $h_9 = 1,5 - 1,8,$ м             |
|                               |   | $D_9$    | $D_9 = (0,35 - 0,40)D_i$            | $D_9 = (0,35 - 0,40)D_i$         |
| Кратер генератора             | Діаметр   | $D_2$    | $D_2 = D_6 + 2(0,4 - 0,5),$<br>м    | $D_2 = D_6 + 2(0,4 - 0,5),$<br>м |
|                               | Висота повітряного каналу над статором            | $h_2$    | $h_2 \leq h_4, h_2 \geq 0,3$ м      | $h_2 \leq h_4, h_2 \geq 0,3$ м   |
|                               | Висота повітряного каналу під статором            | $h_{13}$ | $h_{13} \geq 0,8$ м                 | $h_{13} \geq 0,8$ м              |
|                               | Висота зазору між ротором і гальмуючими колодками | $h_{11}$ | $h_{11} = 0,01$ м                   | $h_{11} = 0,01$ м                |
|                               | Висота гальмуючих колодок                         | $h_{12}$ | $h_{12} = 0,3$ м                    | $h_{12} = 0,3$ м                 |
|                               | Габарит проходу                                   | $h_{10}$ | $h_{10} = 1,9 - 2,0$ м              | $h_{10} = 1,9 - 2,0$ м           |

## ДОДАТОК Е

### Визначення основних параметрів і розмірів трифазних трансформаторів

Таблиця Е.1 – Основні параметри та розміри трифазних трансформаторів

| Потужність,<br>$S_T$ , кВА  | Марка<br>трансформатора | Основні розміри,<br>м |      |      | Повна<br>маса, т | Ширина<br>поперечної<br>колії $l_{ПК}$ , мм |
|---|-------------------------|-----------------------|------|------|------------------|---|
|   |                         | l                     | b    | h    |                  |   |
| Напруга $U = 110$ кВ  |                         |                       |      |      |                  |   |
| 20 000  | ТДГ-20000/110           | 5,60                  | 4,45 | 5,48 | 59,6             | 1 524                                       |
| 25 000  | ТДГ-25000/110           | 7,40                  | 4,60 | 6,40 | 78               | 1 524                                       |
| 31 500  | ТДГ-31500/110           | 6,45                  | 4,60 | 6,06 | 72               | 1 524                                       |
| 40 500  | ТДГ-40500/110           | 6,90                  | 4,70 | 6,60 | 88               | 2 000                                       |
| 45 000  | ТДГ-45000/110           | 7,0                   | 5,0  | 6,40 | 90               | 2 000                                       |
| 60 000  | ТДГ-60000/110           | 7,5                   | 5,0  | 7,3  | 110              | 2 000                                       |
| 63 000  | ТДГ-63000/110           | 8,3                   | 4,4  | 6,5  | 107              | 2 000                                       |
| 70 000  | ТДГ-70000/110           | 8,5                   | 5,0  | 7,5  | 115              | 2 000                                       |
| 75 000  | ТДГ-75000/110           | 7,9                   | 5,5  | 7,4  | 126              | 2 000                                       |
| Напруга $U = 220$ кВ  |                         |                       |      |      |                  |   |
| 20 000  | ТДГ-20000/220           | 9,5                   | 5,5  | 7,9  | 133              | 2 500                                       |
| 25 000  | ТДГ-25000/220           | 10,1                  | 5,1  | 8,4  | 114              | 2 500                                       |
| 32 000  | ТДГ-32000/220           | 11,6                  | 5,7  | 7,6  | 145              | 3 000                                       |
| 40 000  | ТДГ-40000/220           | 11,1                  | 5,4  | 7,5  | 170              | 3 000                                       |
| 63 000  | ТДГ-63000/220           | 8,0                   | 5,6  | 8,6  | 145              | 3 000                                       |
| 90 000  | АТТДГ-90000/220         | 12,1                  | 8,2  | 7,6  | 160              | 3 000                                       |
| 120 000   | ТДГ-120000/220          | 13,3                  | 7,5  | 7,8  | 250              | 2 × 1 524                                   |
| 125 000   | ТДГ-125000/220          | 9,7                   | 5,7  | 7,6  | 182              | 2 × 2 000                                   |
| 180 000   | ТДГ-180000/220          | 10,2                  | 6,7  | 7,3  | 245              | 2 × 2 000                                   |
| 200 000   | ТДГ-200000/220          | 7,8                   | 4,2  | 7,4  | 203              | 2 × 2 000                                   |
| Примітка. Літери марки трансформаторів означають: Т – трифазний; Д – масляне охолодження із вдувом; Ц – із циркуляцією масла; Г – грозозахисний; Н – під навантаженням. |                         |                       |      |      |                  |   |

**ДОДАТОК Ж**  
**Визначення основних параметрів мостових і козлових кранів**

Таблиця Ж.1 – Основні параметри мостових і козлових кранів

| № з/п | Вантажо-<br>підйомність, т<br>гол. гак,<br>дод. гак | Розміри, м     |     |                |      |                |                |                |
|-------|---|----------------|-----|----------------|------|----------------|----------------|----------------|
|       |   | L <sub>к</sub> | H   | H <sub>т</sub> | h    | A <sub>1</sub> | A <sub>3</sub> | L <sub>т</sub> |
| 1     | 50/10   | 10–34          | 3,7 | 1,8            | 0,4  | 3,3            | 0,3            | 5,25           |
| 2     | 75/20   | 10–34          | 3,7 | 1,8            | 1,3  | 4,5            | 0,4            | 4,5            |
| 3     | 100/20  | 10–34          | 4,0 | 2,0            | 1,5  | 4,75           | 0,4            | 4,75           |
| 4     | 125/20  | 10–34          | 4,0 | 2,0            | 1,3  | 4,75           | 0,4            | 4,75           |
| 5     | 150/30  | 10–34          | 4,8 | 2,4            | 1,2  | 5,25           | 0,5            | 5,25           |
| 6     | 200/30  | 10–34          | 4,8 | 2,4            | 1,5  | 5,25           | 0,5            | 5,25           |
| 7     | 250/30  | 10–34          | 5,2 | 2,6            | 1,5  | 5,5            | 0,5            | 5,5            |
| 8     | 300/30  | 9,5–33,5       | 5,9 | 2,9            | 2,25 | 5,5            | 0,5            | 5,5            |
| 9     | 350/40  | 9,5–33,5       | 5,9 | 2,9            | 2,25 | 6,7            | 0,5            | 6,7            |
| 10    | 400/40  | 15,5–33,5      | 5,9 | 2,9            | 2,25 | 6,7            | 0,5            | 6,7            |
| 11    | 450/50  | 15,5–33,5      | 8,0 | 4,0            | 2,25 | 7,25           | 0,5            | 7,25           |
| 12    | 500/50  | 15,5–33,5      | 8,0 | 4,0            | 2,25 | 7,25           | 0,5            | 7,25           |

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації  
до проведення практичних занять  
та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ  
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної  
форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладач **МОЗГОВИЙ** Андрій Олексійович

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *А. О. Мозговий*

План 2026, поз. 13М

---

Підп. до друку 27.03.2026. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,5.

Видавець і виготовлювач:

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

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

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 8386 від 14.07.2025.