

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

3 КУРСУ

«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»

на тему

**“Електропривід насосної станції для системи
водопостачання”**

**для здобувачів вищої освіти
за ОПІ Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка
першого рівня вищої освіти**

ID 823

Тернопіль 2025

Методичні вказівки до курсового проєкту з курсу «Основи електроприводу» на тему “Електропривід насосної станції для системи водопостачання” для здобувачів вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка першого рівня вищої освіти за напрямом підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» всіх форм навчання. Укладачі: Андрійчук В.А, Філюк Я.О.– Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2025. – 76 с

Укладач: д.т.н. проф. Андрійчук В.А., к.т.н., ст.в. Філюк Я.О.

Рецензент: к.т.н., доц. Костик Л.М.

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії

Протокол № 1 від 27.08.2025 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Протокол № 1 від 29.08.2025 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ТА ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	7
1.1 Зміст пояснювальної записки курсового проєкту	7
1.2 Оформлення текстових документів	8
1.3. Графічна документація проєкту	10
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	11
2. Опис технологічної схеми насосної станції . Вибір типорозміру насоса. Аналіз експериментальних заводських характеристик насоса. Побудова частотної регульовальної характеристики насоса. Побудова характеристик системи.....	11
2.1 Вибір типу та розміру насоса за вихідними даними варіанту.....	11
2.2 Аналіз характеристик насоса	12
2.3 Побудова регульовальних характеристик насоса і розрахунок втрат потужності при дросельному і частотному регулюванні.....	16
2.3.1 Побудова характеристики системи.	16
2.3.2 Побудова напірної характеристики при зниженій частоті обертання насоса.....	17
2.3.3 Побудова дросельної характеристики системи.	21
2.3.4 Аналіз регульовальних характеристик.	24
2.4 Розрахунок економії енергії.....	24
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	26
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	27
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА. СКЛАДАННЯ СХЕМИ ТА ВИБІР КОМПЛЕКТНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ І ЗАХИСТУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ	27
3.1 Розрахунок механічних і електричних параметрів електродвигуна.....	27

3.2 Складання схеми та вибір комплектної системи живлення і захисту насосної установки.....	30
3.3 Обґрунтування вибору комплектної системи живлення, захисту та керування насосної установки	31
3.4 Огляд існуючих систем живлення, захисту та керування насосними установками систем водопостачання	33
3.5 Опис технологічної схеми автоматизованої свердловинної системи водопостачання.....	37
3.6 Вибір схеми живлення, керування і захисту автоматизованої системи водопостачання.....	41
4. ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	47
Додаток А.....	48
Додаток Б	49
Додаток В.....	51
Додаток Г	53
Додаток Д.....	55
Додаток Е	56
Додаток Ж.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76

ВСТУП

Насоси і насосні станції є основними елементами систем водопостачання і водовідведення. Технічні показники насосних станцій визначають надійність і економічну ефективність подачі і відведення води населенню, промисловим і комунально-побутовим підприємствам. У той же час насосні станції є основними споживачами електроенергії в системах водопостачання і водовідведення. Тому при проектуванні насосних установок питання енергозбереження і зменшення питомих витрат електроенергії на подачу і відведення води стоїть на першому місці. Метою даного курсового проекту є здобуття й закріплення студентами знань з проектування сучасних систем електроприводу, автоматизованих за допомогою тиристорних перетворювачів напруги і частоти струму (ТПЧ) та програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Сучасна тенденція розвитку електроприводу полягає в заміні традиційно нерегульованого асинхронного електроприводу насосів і вентиляторів регульованим електроприводом, оснащеним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором (АДКЗ) з частотним регулюванням. Регулювання подачі насосів і вентиляторів частотою обертання двигуна дозволяє зменшити втрати енергії на 20 - 30% проти регулювання кранами, засувками, шиберами.

Вихідними даними для проектування насосної станції є добові і річні графіки споживання води населенням, комунально-побутовими і промисловими підприємствами селища чи міста для якого виконується проєкт, характеристики джерела (річка, озеро чи підземні води, чи свердловина), рельєф місцевості біля місця відбору води, характеристики води (чистота, мутність, хімічний склад), характеристики водогінної розподільної системи (матеріал і діаметри труб, їх довжина і уклін до горизонту, найнижча і найвища точки відбору). За цими вихідними даними інженери-гідравліки виконують розрахунки подачі і напору (тиску), під яким необхідно подавати воду в водогінну систему. Вони ж обирають з каталогів типорозміри насосів, які повинні забезпечити розрахункові значення подачі і напору при вибраних характеристиках системи. Ці дані є вихідними для проектування системи електропостачання і електроприводу насосної станції.

Отже, вихідними даними для проектування електроприводу насосної установки є технологічна схема системи водопостачання з числовими значеннями параметрів її елементів, за якими визначають:

номінальні значення подачі і напору в системі;

визначають тип і типорозміри насосів та їх напірні характеристики;

розраховують електромеханічні характеристики насосного агрегату;

складають схему живлення і захисту електродвигуна і розраховують її елементи;

визначають спосіб регулювання подачі та частоти обертання насоса;

вибирають комплектну апаратуру системи живлення, комутації та програмного керування насосною установкою;

розраховують параметри програми налагодження системи керування на енергозберігаючі режими роботи.

1. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ТА ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1.1 Зміст пояснювальної записки курсового проєкту

Системність у викладі змісту курсового проєкту досягається такою послідовністю текстових документів:

Титульний лист (Додаток А);

Бланк завдання; виконується за загальноприйнятим зразком і видається викладачем (Додаток Б); містить номер варіанту (додаток В) із вихідними даними до курсового проєкту та перелік розділів, які повинні бути висвітлені виконанням курсового проєкту, графік виконання проєкту.

ЗМІСТ; зміст складається із заголовків, послідовно викладених структурних розділів і підрозділів текстової частини проєкту.

ВСТУП (постановка завдання); містить коротку характеристику перспектив розвитку трансформаторів; вказується мета та завдання (обсяг 1-2 сторінки).

Теоретична частина, перший розділ пояснювальної записки:

– Загальні відомості про системи водопостачання населених пунктів. Насоси і насосні станції. Технологічна схема свердловинної системи водопостачання, її основні елементи та їх характеристика. Характеристика насоса. Керування насосним агрегатом. Методи регулювання подачі відцентрових насосів. Асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (АДКР) як об'єкт керування. Схема заміщення і методи регулювання частоти обертання АДКР. Регулювання частоти обертання АДКР. Апаратурна реалізація частотного методу регулювання АД.

Технологічна частина, другий розділ пояснювальної записки:

– Опис технологічної схеми насосної станції. Вибір типорозміру насоса. Аналіз експериментальних заводських характеристик насоса. Побудова частотної регулювальної характеристики насоса. Побудова характеристик системи.

Конструкторська частина, третій розділ пояснювальної записки:

– Розрахунок параметрів електродвигуна. Складання схеми та вибір комплектної системи живлення і захисту насосної установки.

Вказівки щодо виконання основних розрахунків наведені в розділі 2 і 3 методичних вказівок.

ВИСНОВКИ; містять оцінку отриманих результатів розрахунку, відповідність вимогам стандартів (обсяг 1-2 сторінки).

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ; містить кількість літературних джерел, які використовувалися при виконанні проєкту.

1.2 Оформлення текстових документів

1.2.1. Текстові документи пишуть на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 (210×297 мм), мають титульний лист і наступні текстові листи.

1.2.2. Текст курсового проєкту друкують залишаючи береги таких розмірів: лівий – не менше 25 мм, правий - не менше 15 мм, верхній – не менше 15 мм, нижній – не менше 15 мм. Абзаци в тексті починають відступом 1,25 см.

1.2.3. Текстову частину проєкту виконують відповідно до вимог державного стандарту ДСТУ 3008-95 шрифтами тестового редактора Times New Roman розміру 14 з полуторним міжрядковим інтервалом. Відстань між заголовком і текстом 1 (один) інтервал пропуску

1.2.4. Текст проєкту складається з розділів, підрозділів та пунктів. Розділи, підрозділи повинні мати заголовки. Пункти заголовків не мають. Заголовки повинні чітко та коротко відбивати зміст розділів, підрозділів.

Кожний розділ текстового документа повинен починатися з нового листа (сторінки).

Розділи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами. У курсовому проєкті «ЗМІСТ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ» не нумерують та оформлюють із нового листа (сторінки).

Підрозділи нумеруються арабськими цифрами в межах кожного розділу. Номер підрозділу складають з номерів розділу та підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера підрозділу крапки не ставити.

Пункти нумеруються арабськими цифрами в межах кожного підрозділу. Номер пункту складається з номерів розділу, підрозділу та пункту, розділених крапкою. Наприкінці номера пункту крапка не ставити.

1.2.5. Ілюстрації повинні відповідати вимогам до змісту проєкту. Ілюстрації повинні бути розташовані як можна ближче до відповідних частин тексту. Ілюстрацію підписують словом «Рисунок» та нумерують арабськими цифрами в межах розділу; номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера в розділі, розділених крапкою. В тексті обов'язкове посилання на ілюстрації – ... відповідно до рисунка 2.1.

За необхідністю, ілюстрації можуть мати найменування та пояснювальні дані. Слово – «Рисунок» та найменування розміщують після пояснювальних даних і розташовують наступним чином:

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд.

1.2.6. Таблиці (за наявності) у тексті розташовують по тексту та позначають – «Таблиця» із вказівкою номера розділу та порядкового номера таблиці в його межах. Далі розташовується назва таблиці через дефіс, наприклад:

Таблиця 2.1 – Характеристики

У тексті обов'язково повинне бути посилання на таблицю, наприклад: «... відповідно до даних таблиці 2.1».

1.2.7. Формули застосовуються в контексті розрахунку (підстановки значень). Пояснення символів і числових коефіцієнтів, які входять у формулу, якщо вони не пояснені раніше в тексті, повинні бути наведені безпосередньо під формулою. Пояснення кожного символу слід давати з нового рядка в тій послідовності, у якій символи наведені у формулі. Перший рядок пояснення повинен починатися зі слова «де» без двокрапки після нього, наприклад:

Потужність одної фази трансформатора:

$$S_{\phi} = S / m = 630/3 = 210 \text{ кВА},$$

де m – число фаз; S – потужність, kVA .

1.2.8. У тексті проєкту обов'язкові посилання на таблиці з рекомендованої літератури, додатки з методичних вказівок до курсового проєкту при означенні коефіцієнтів (параметрів), значення яких вибираються.

1.3. Графічна документація проєкту

Графічна частина містить два аркуші креслення (Додаток Г):

1. Схема технологічна принципова свердловини і системи водопостачання – на форматі А4 зобразити із параметрами згідно варіанту.

2. Схема електрична принципова пристрою керування і захисту – на форматі А4 зобразити схему відповідно до розрахованих даних.

Електрична схема станції залежить від потужності насоса. Залежно від номеру варіанта потужність насоса знаходиться у межах від $1,1\text{ кВт}$ до 100 кВт .

Специфікацію позначень елементів бажано розміщувати в правому куті відповідного креслення над основною назвою. За відсутності місця на кресленні її можна виконати на окремих стандартних листах формату А4 та розмістити в додатку пояснювальної записки.

Розміри креслень, що виконуються, повинні відповідати розрахованим у проєкті та вимогам міждержавних стандартів ЄСКД.

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2. Опис технологічної схеми насосної станції . Вибір типорозміру насоса. Аналіз експериментальних заводських характеристик насоса. Побудова частотної регулювальної характеристики насоса. Побудова характеристик системи

2.1 Вибір типу та розміру насоса за вихідними даними варіанту

Номер варіанту студент обирає з таблиці Додаток В. за номером прізвища у списку в журналі. За даними варіанта з Додатку В студент визначає значення подачі і напору в системі і обирає типорозмір насоса.

Значення напору H студент обчислює за формулою

$$h_{cm} = H_{оин} + H_{гео} + \Delta h, \quad (2.1)$$

де

$$H_{оин} = h_{св} + S \quad (2.2)$$

$h_{св}$ - глибина свердловини від нульової відмітки до рівня води в насосі;

S – прогнозоване зниження рівня води в свердловині за графіком питомого дебіту (для всіх варіантів обираємо $S = 5 м$);

Δh - втрати напору в трубопроводі, засувках і кранах

$$\Delta h = \frac{h_{св} + l_m}{100} \cdot \Delta h_m \quad (2.3)$$

Значення втрати напору в трубі Δh_m студент визначає за заданою довжиною труби l_{mp} і глибиною за допомогою додатку Д.

Спочатку студент обирає діаметр трубопроводу, по якому вода подається з свердловини в бак. Діаметр труби обирають таким, щоб при даній подачі швидкість потоку була у межах 1,5...3,0 м/с. Потім для вибраного діаметра в таблиці знаходять значення втрати напору на 100 м труби і обчислюють значення втрат для свого варіанту.

Отже, довжина трубопроводу, на якій рахуємо втрати, дорівнює

$$L_{mp} = h_{св} + l_{mp} \quad (2.4)$$

Далі з додатку Е насосів типу ЕЦВ вибираємо серію насосів, ККД яких при даній

подачі буде максимальним. На напірній характеристиці знаходимо робочу точку і найближчу до неї криву відповідного насоса. За формулою (2.2) знаходимо значення напору. За вибраним типорозміром насоса обирається типорозмір електродвигуна. Під вибраним двигун студент з каталогів обирає серійний перетворювач частоти, виконує необхідні розрахунки системи живлення та захисту електродвигуна, розробляє схему живлення та захисту, складає алгоритми та програми контролю та керування роботою насоса.

Таблиця 2.1 - ПРИКЛАД. Далі все будемо показано на прикладі варіанту 51.

Варіант №	Свердловина			Башта-резервуар		Насос
	Дебіт, м ³ /ГОД	Трубо-провід l_{Tp} , м	Глибина h_{cv} , м	Висота $H_{ГЕО}$, м	Об'єм бака, м ³	Типорозмір-подача-напір
51	30...50	60	40	15	1000	ЕЦВ 8-40-Х

8 – діаметр трубопроводу (у дюймах) у метрах: $8 \times 0,0254 = 0,2$ м

40 ($Q_{i_{max}}$) – номінальна подача насосу

X (те, що необхідно знайти) – номінальний напір за формулою (2.1)

$$X = h_{cm} = H_{оин} + H_{ГЕО} + \Delta h = 45 + 15 + 20 = 80(м)$$

де за (2.2) і (2.3)

$$H_{оин} = 40 + 5 = 45 (м)$$

$$\Delta h = \frac{h_{cv} + l_{mp}}{100} \cdot \Delta h_m$$

де $\Delta h = 19,89$ м для 100 м сталеві труби діаметром Ду65 (76×3,5/69) при подачі 40 м³/год швидкість потоку 2,97 м/с (відповідає заданим межам 1,5...3,0 м/с задовільну для охолодження двигуна) у додатку Д насосів типу ЕЦВ

$$\Delta h = \frac{40 + 60}{100} \cdot 19,89 = 19,9 м$$

2.2 Аналіз характеристик насоса

Отже, номінальний напір **80** м. З додатку Е вибираємо (найближчий більший) насос **ЕЦВ 8-40-90**. В додатку Е знаходимо характеристики цього насосу, визначаємо на кожній характеристиці робочу точку і зону робочого режиму $Q_{min} \dots Q_{max}$, переносимо дані в таблицю 2.2.

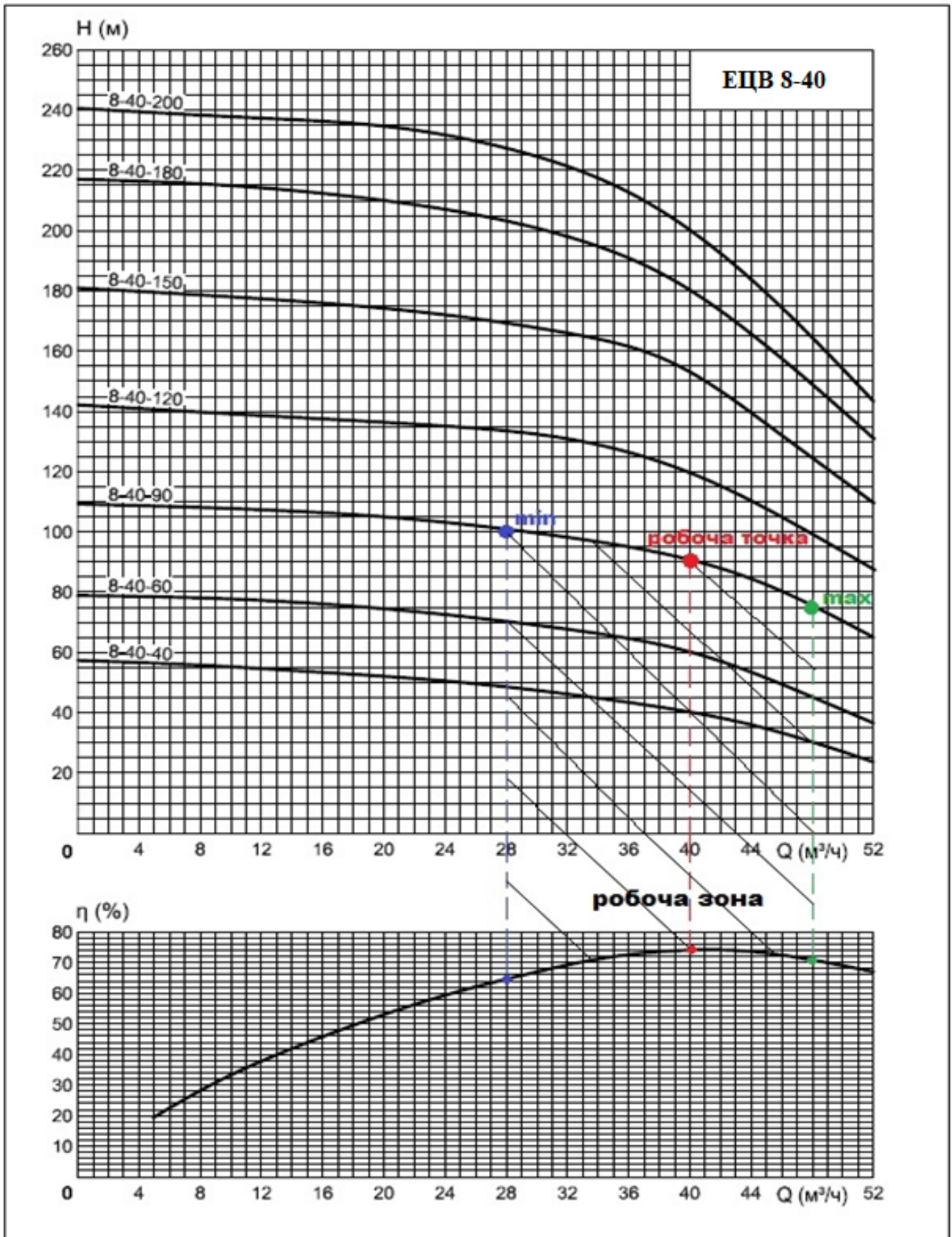


Рисунок 2.1 – Характеристики $H-Q$ і $\eta(Q)$ насоса ЕЦВ 8-40-90

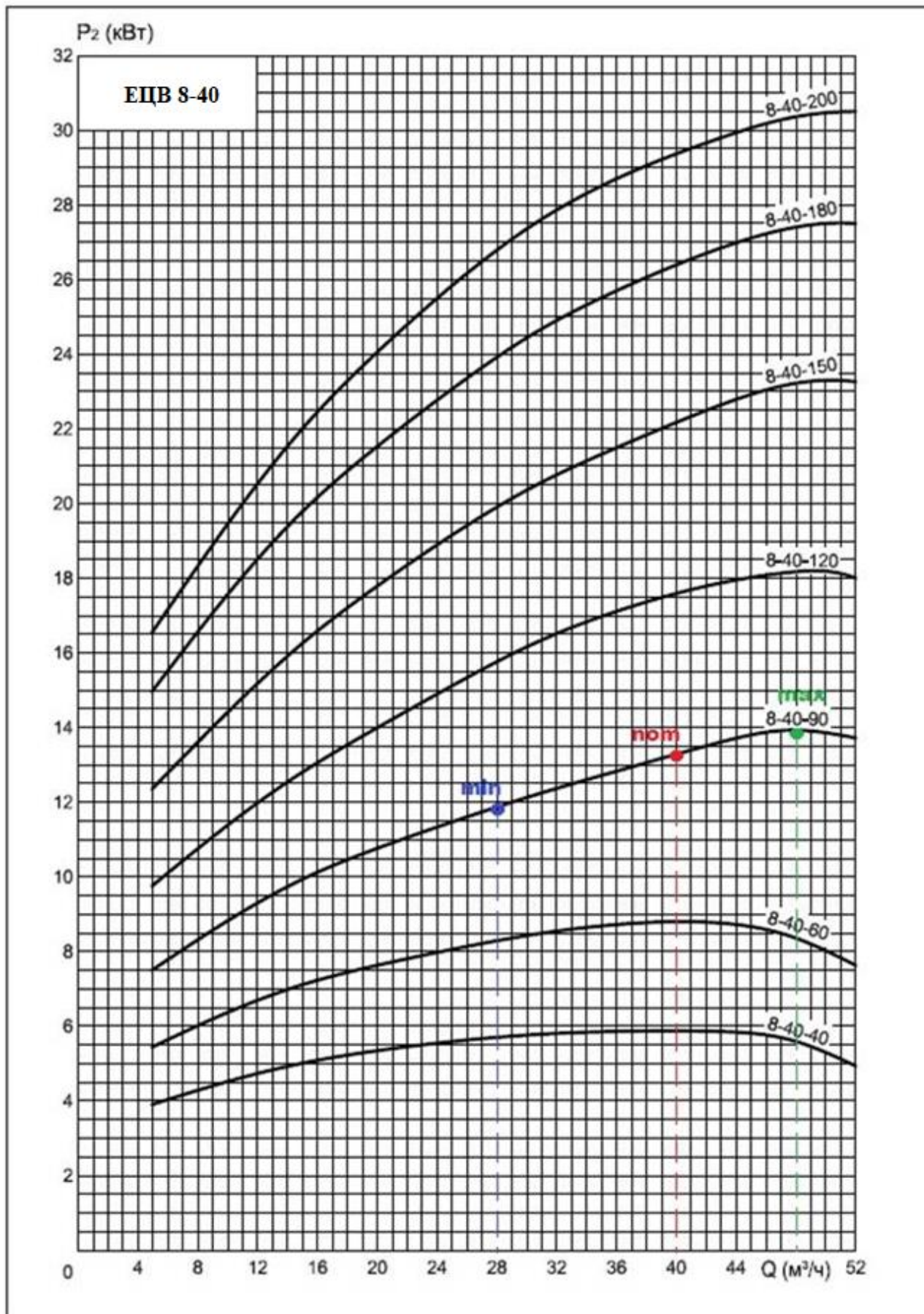


Рисунок 2.2 – Характеристика $P_2(Q)$ насоса ЕЦВ 8-40-90

Таблиця 2.2 – Параметри робочого режиму насоса ЕЦВ 8-40-90

Подача Q , м ³ /год	$Q_{\min} = 0,7 \cdot Q_{\text{ном}} =$ $= 0,7 \cdot 40 = 28$	$Q_{\text{ном}} = 40$	$Q_{\max} = 1,2 \cdot Q_{\text{ном}} =$ $= 1,2 \cdot 40 = 48$
Напір H , м	$H_{\min} = 100$	$H_{\text{ном}} = 90$	$H_{\max} = 75$
Споживана потужність P_2 , кВт (графічна)	$P_{2\min} = 11,75$	$P_{2\text{ном}} = 13,25$	$P_{2\max} = 13,9$
ККД, η	$\eta_{\min} = 0,65$	$\eta_{\text{ном}} = 0,74$	$\eta_{\max} = 0,7$
Розрахункова потужність P_{2p} , кВт	$P_{2p \min} = 11,6$	$P_{2p \text{ном}} = 13,13$	$P_{2p \max} = 13,9$

*Примітка: для насосів ЕЦВ 4-2,5 (4-6,5; 4-10) P_2 (графічна)

$$P_2 = P_{2(\text{граф})} k_{\text{ст}}$$

де $k_{\text{ст}}$ – кількість ступенів.

Для складання схеми живлення насосного агрегату, розрахунку і вибору елементів комутації, захисту, контролю та керування, побудови механічної та регулювальних характеристик необхідно обчислити основні технічні параметри установки.

1. Механічну потужність насоса в номінальному режимі визначимо за формулою

$$N = 0,0027 \cdot Q \cdot H = 0,0027 \cdot 40 \cdot 90 = 9,72 \text{ кВт}.$$

2. Споживану потужність насоса визначимо за формулою (1.6)

$$P_{2p, \text{ном}} = N / \eta_{\text{ном}} = 9,72 / 0,74 = 13,13 \text{ кВт}$$

3. Знайдемо розрахункові значення P_{2p} на краях робочого діапазону.

$$P_{2p, \min} = 0,0027 \cdot 28 \cdot 100 / 0,65 = 11,6 \text{ кВт}$$

$$P_{2p, \max} = 0,0027 \cdot 48 \cdot 75 / 0,7 = 13,9 \text{ кВт}$$

Запишемо отримані дані в таблицю 2.2. Розрахункові дані і дані заводських характеристик добре співпадають.

2.3 Побудова регулювальних характеристик насоса і розрахунок втрат потужності при дросельному і частотному регулюванні

2.3.1 Побудова характеристики системи.

На напірній характеристиці насоса 1 (рис. 2.3) відмітимо дві точки – точку статичної складової напору на ординаті (точка 1)

$$Q_1 = 0$$

$$H = H_1 + H_{гEO} + \Delta h_{св}$$

$$H = H_1 = 15 + 40 = 55 \text{ м}$$

та точку робочого режиму з номінальними координатами (точка 11)

$$Q_{11} = 40 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$H_{11} = 90 \text{ м}$$

Проміжні точки визначаємо за формулами

$$\Delta H = H_{ном} - H \quad (2.5)$$

$$\Delta H = 90 - 55 = 35$$

$$\Delta H_i = \kappa \cdot Q_i^2 \quad (2.6)$$

$$\kappa = \Delta H / Q_n^2 \quad (2.7)$$

$$\kappa = 35 / 40^2 = 0,022$$

Точка 2:

$$Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$\Delta H_2 = \kappa \cdot Q_2^2$$

$$\Delta H_2 = 0,022 \cdot 4^2 = 0,35 \text{ м}$$

$$H_2 = H + \Delta H_2$$

$$H_2 = 55 + 0,352 = 55,35 \text{ м}$$

Аналогічним способом знаходимо значення інших точок. Дані заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Розрахунок значень напору у відповідних точках подачі для побудови характеристики системи

№ точки	$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	$H_i = H + \Delta H_i, \text{ м}$
1	0	55
2	4	55,35
3	8	56,41
4	12	58,17
5	16	60,63
6	20	63,8
7	24	67,67
8	28	72,25
9	32	77,53
10	36	83,51
11	40	90
12	44	97,6
13	48	105,69
14	52	114,5

Наносимо точки на координатну сітку (рис. 2.3) і отримуємо характеристику системи (криву 2).

Також отримуємо точку перетину А з напірною характеристикою при номінальному режимі (верхня межа подачі $40 \text{ м}^3/\text{год}$)

2.3.2 Побудова напірної характеристики при зниженій частоті обертання насоса.

Для забезпечення достатнього охолодження двигуна насос повинен працювати в робочому діапазоні подач, його подача не повинна знижуватися більше, ніж на 20% від номінальної.

Подача пропорційна частоті обертання, значить і частоту не можна знижувати більше ніж на 20% від номінальної;

Зауваження:

- в тих же рекомендаціях виробник насосів пише, що для нормальної роботи радіальних і опорного підшипників частота обертання валу двигуна не повинна бути нижчою 2700 об/хв , що обмежує діапазон регулювання до 5%.

- в реальних системах водопостачання діапазон регулювання подачі може бути до 45 %;

- крім того, виробник насосів попереджає, що застосування частотного перетворювача в системах з переважаючою статичною складовою характеристики

системи призводить до спаду ККД насоса.

Отже, якщо керуватися рекомендаціями виробника, то застосування частотного перетворювача у свердловинних системах доцільне тільки у межах 5 % в системах з переважаючою динамічною складовою характеристики. Але при такому вузькому діапазоні регулювання економічний ефект від застосування частотного перетворювача буде незначним.

Враховуючі викладені зауваження, в курсовому проєкті приймаємо діапазон регулювання частоти 20%, тобто частоту регулюємо в діапазоні $n_{ном} - 0,2n_{ном}$.

Для декотрих варіантів діапазон регулювання частоти 20% є звеликим: характеристика системи та напірна характеристика при зниженій частоті обертання насоса на 20 % не мають спільних точок перетину. У такому випадку в курсовому проєкті приймаємо діапазон регулювання частоти 15%, тобто частоту регулюємо в діапазоні $n_{ном} - 0,15n_{ном}$.

Електродвигун, що відповідає типорозміру насосу ЕЦВ 8-40-90 є ПЕДВ 8-17.

З таблиці «Занурювальний асинхронний електродвигун ПЕДВ» з додатку Ж виписуємо значення номінальної частоти обертання для ПЕДВ 8-17

$$n_{ном} = n_1 = 2850 \text{ об / хв}$$

Нижня межа діапазону частотного регулювання (частота знижена на 20%)

$$n_{min} = n_2 = n_{ном} - 0,2 \cdot n_{ном} \quad (2.8)$$

$$n_{min} = n_2 = 2850 - 0,2 \cdot 2850 = 2850 - 570 = 2280 \text{ об / хв}$$

Побудова напірної характеристики при зниженій частоті обертання 20% ($n_2 = 2280 \text{ об / хв}$;))

Для побудови скористуємось законом пропорційності

$$\frac{Q_i \cdot H_{in_1}}{Q_i \cdot H_{in_2}} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (2.9)$$

де Q_i - значення подачі по шкалі подач (відповідно до варіанту);

H_{in_1} - відповідне значення напору при частоті n_1 ;

H_{in_2} - відповідне значення напору при частоті n_2 ;

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{2850}{2280}\right)^3 = 1,25^3 = 1,95$$

$$\frac{Q_i \cdot H_{in_1}}{Q_i \cdot H_{in_2}} = 1,95$$

звідки

$$H_{in_2} = \frac{H_{in_1}}{1,95}$$

Точка 1:

$$Q_1 = 0$$

$$H_{in_2} = \frac{H_{in_1}}{1,91}$$

де значення H_{in_1} визначаємо графічно при відповідному значенні Q_1 на рис. 2.3.

При $Q_1 = 0$, $H_{in_2} = 109$ м.

$$H_{in_2} = \frac{109}{1,95} = 55,9 \text{ м}$$

Точка 2:

$$Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$H_{2n_2} = \frac{H_{2n_1}}{1,95}$$

де значення H_{2n_1} визначаємо графічно при відповідному значенні Q_2 на рис. 2.3.

При $Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$, $H_{2n_1} = 108$ м.

$$H_{2n_2} = \frac{108}{1,95} = 55,4 \text{ м}$$

Відмітивши першу і другу точку на рис. 2.3 бачимо, що наша напірна характеристика при зниженій частоті обертання 20% має спадаючий характер і не має точок перетину з характеристикою системи.

У такому випадку приймаємо діапазон регулювання частоти 15%, тобто частоту регулюємо в діапазоні $n_{ном} - 0,15n_{ном}$.

Нижня межа діапазону частотного регулювання (частота знижена на 15%)

$$n_{\min} = n_2 = n_{ном} - 0,15 \cdot n_{ном} \quad (2.10)$$

$$n_{\min} = n_2 = 2850 - 0,15 \cdot 2850 = 2850 - 427,5 = 2422,5 \approx 2423 \text{ об / хв}$$

Побудова напірної характеристики при зниженій частоті обертання 15% ($n_2 = 2423 \text{ об / хв}$;))

Із закону пропорційності (2.9)

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{2850}{2423}\right)^3 = (1,176)^3 = 1,63$$

$$\frac{Q_i \cdot H_{n_1}}{Q_i H_{n_2}} = 1,63$$

звідки

$$H_{n_2} = \frac{H_{n_1}}{1,63}$$

Точка 1:

$$Q_1 = 0$$

$$H_{1n_2} = \frac{H_{1n_1}}{1,63}$$

де значення H_{1n_1} визначаємо графічно при відповідному значенні Q_1 на рис. 2.3

При $Q_1 = 0$, $H_{1n_1} = 109 \text{ м}$.

$$H_{1n_2} = \frac{109}{1,63} = 66,9 \text{ м}$$

Точка 2:

$$Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$H_{2n_2} = \frac{H_{2n_1}}{1,63}$$

де значення H_{2n_1} визначаємо графічно при відповідному значенні Q_2 на рис. 2.3.

При $Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$, $H_{2n_1} = 108 \text{ м}$.

$$H_{2n_2} = \frac{108}{1,63} = 66,3 \text{ м}$$

Аналогічним способом обчислюємо значення напору при частоті 2423 об/хв для кожного значення подачі і дані заносимо в таблицю 2.4, а точки відмічаємо на рис. 2.3.

Отримуємо характеристику при зниженій частоті обертання 2423 об/хв (криву 3).

Також отримуємо точку перетину С з характеристикою системи (нижня межа

подачі 20 м³/год)

Таблиця 2.4 – Розрахунок значень напору у відповідних точках подачі для побудови напірної характеристики при зниженій частоті обертання

№ точки	$Q_i, \text{ м}^3 / \text{год}$	$H_{in_2}, \text{ м}$
1	0	66,9
2	4	66,3
3	8	66
4	12	65,6
5	16	65
6	20	64,4
7	24	63,8
8	28	61,4
9	32	60,1
10	36	58,2
11	40	55,2
12	44	52,2
13	48	46
14	52	39,9

2.3.3 Побудова дросельної характеристики системи.

Далі потрібно побудувати дросельну характеристику системи, тобто характеристику при положенні засувки 4 (рис. 2.3) на нижній межі подачі (20 м³/год). Її будуємо тим же способом, як і характеристику системи.

Точка 1:

$$Q_1 = 0$$

$$H = H_1 + H_{ггo} + \Delta h_{св}$$

$$H = H_1 = 15 + 40 = 55 \text{ м}$$

Точка 6: отримуємо шляхом проведення допоміжної вертикальної лінії від точки С до перетину з напірною характеристикою при номінальному режимі – точка В

$$Q_6 = 20 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$H_6 = 105 \text{ м}$$

Проміжні точки визначаємо за формулами (2.5), (2.6), (2.7)

$$\Delta H = H_6 - H$$

$$\Delta H = 105 - 55 = 50$$

$$\kappa = \Delta H / Q_6^2$$

$$\kappa = 50 / 20^2 = 0,125$$

Точка 2:

$$Q_2 = 4 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$\Delta H_2 = \kappa \cdot Q_2^2$$

$$\Delta H_2 = 0,125 \cdot 4^2 = 2 \text{ м}$$

$$H_2 = H + \Delta H_2$$

$$H_2 = 55 + 2 = 57 \text{ м}$$

Аналогічним способом знаходимо значення інших точок. Дані заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок значень напору у відповідних точках подачі для побудови дросельної характеристики

№ точки	$Q_i, \text{ м}^3 / \text{год}$	$H_i = H + \Delta H_i, \text{ м}$
1	0	55
2	4	57
3	8	63
4	12	73
5	16	87
6	20	105

Наносимо точки на координатну сітку (рис. 2.3) і отримуємо дросельну характеристику (крива 4).

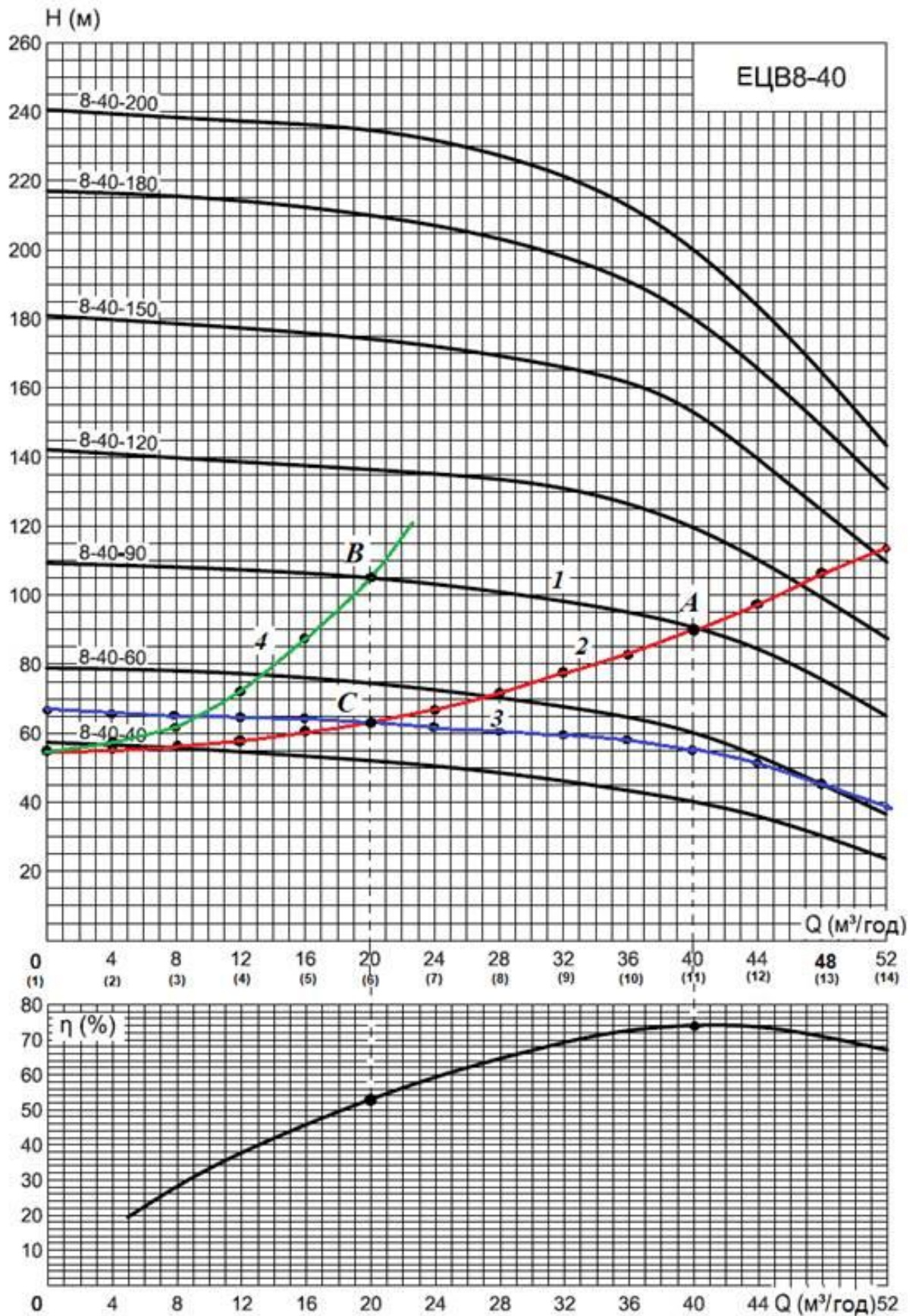


Рисунок 2.3 – Характеристики насоса ЕЦВ 8-40-90: 1 – напірна характеристика при номінальному режимі; 2 – характеристика системи; 3 – характеристика при зниженій частоті обертання; 4 – дросельна характеристика.

2.3.4 Аналіз регулювальних характеристик.

1. Регулювальна частотна характеристика пересікає характеристику системи при повністю відкритій засувці в точці С. Цій точці від повідає мінімальна подача 20 м³/год або 50% від номінальної 40 м³/год.

2. При регулюванні засувкою в тому ж діапазоні подачі робочою точкою режиму насоса буде точка В, у якій значення напору більше на 50 м.

Отже, обчислюємо втрати потужності при частотному і дросельному регулюванні, визначаємо економічний ефект і приймаємо рішення щодо доцільності застосування ЧРП.

2.4 Розрахунок економії енергії

Робочий режим насоса при подачі 20 м³/год при регулюванні засувкою характеризується точкою В на кривій 1, а при регулюванні частотою обертів двигуна – точкою С. Обчислимо витрати енергії при роботі насоса в точці В і в точці С і порівняємо їх.

Витрати енергії в точці В

$$W_B = P_B \cdot \Delta t_B = (Q_B \cdot H_B \cdot 0,0027 / \eta_{HB} \cdot \eta_D) \cdot \Delta t_B, \quad (2.11)$$

де P_B - споживана потужність у точці В;

Δt_B - тривалість часу роботи в цьому режимі ($\Delta t_B = 4$ год);

Q_B, H_B - значення подачі і напору в точці В;

η_{HB}, η_D - значення ККД насоса (в точці В) і двигуна відповідно.

$$W_B = (20 \cdot 105 \cdot 0,0027 / 0,53 \cdot 0,82) \cdot 4 = 13,05 \cdot 4 = 52,2 \text{ кВт} \cdot \text{год за 1 добу}$$

Витрати енергії в точці С

$$W_C = P_C \cdot \Delta t_C = (Q_C \cdot H_C \cdot 0,0027 / \eta_{HC} \cdot \eta_D) \cdot \Delta t_C \quad (2.12)$$

де P_C - споживана потужність у точці С;

Δt_C - тривалість часу роботи в цьому режимі ($\Delta t_C = 4$ год);

Q_C, H_C - значення подачі і напору в точці С;

η_{HC}, η_D - значення ККД насоса (в точці С) і двигуна відповідно.

$$W_C = (20 \cdot 64 \cdot 0,0027 / 0,46 \cdot 0,82) \cdot 4 = 7,95 \cdot 4 = 31,8 \text{ кВт} \cdot \text{год за 1 добу}$$

Економія електроенергії дорівнює

$$\Delta W = W_B - W_C \quad (2.13)$$

$$\Delta W = 52,2 - 31,8 = 20,4 \text{ кВт} \cdot \text{год за 1 добу.}$$

Споживана енергія в номінальному режимі (точка А)

$$W_A = P_A \cdot \Delta t_A = (Q_A \cdot H_A \cdot 0,0027 / \eta_{HA} \cdot \eta_A) \cdot \Delta t_A \quad (2.14)$$

де P_A - споживана потужність у точці А;

Δt_A - тривалість часу роботи в цьому режимі ($\Delta t_A = 20$ год);

Q_A, H_A - значення подачі і напору в точці А;

η_{HA}, η_D - значення ККД насоса (в точці А) і двигуна відповідно.

$$W_A = (40 \cdot 90 \cdot 0,0027 / 0,74 \cdot 0,82) \cdot 20 = 16,02 \cdot 20 = 320,4 \text{ кВт} \cdot \text{год за 1 добу}$$

Споживана енергія за 1 добу при роботі тривалістю 20 год. номінального режиму і 4 год при частотному регулюванні в точці С

$$W_p = (W_A + W_C) \cdot 365 \quad (2.15)$$

$$W_p = (320,4 + 31,8) \cdot 365 = 128541,7 \text{ кВт} \cdot \text{год за 1 рік.}$$

Економія електроенергії за 1 рік

$$\Delta W_p = \Delta W \cdot 365 \quad (2.16)$$

$$\Delta W_p = 20,4 \cdot 365 = 7446 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія у %

$$E = \left(\frac{\Delta W_p}{W_p} \right) \cdot 100 \quad (2.17)$$

$$E = \left(\frac{7446}{128541,7} \right) \cdot 100 = 5,8\%$$

При сучасній ціні на електроенергію

$$c = 4,32 \text{ грн. за 1 кВт} \cdot \text{год}$$

економія у грошовому еквіваленті, грн.

$$E_{\text{ГРН}} = \Delta W_p \cdot c \quad (2.18)$$

$$E_{\text{ГРН}} = 7446 \cdot 4,32 = 32167 \text{ грн.}$$

Розрахунок терміну окупності додаткового обладнання (напівпровідниковий

перетворювач частоти)

$$T_o = \frac{K_2 - K_1}{E_{грн}} \quad (2.19)$$

Де K_1 - капіталовкладення без перетворювача частоти ($K_1 = 0$);

K_2 - капіталовкладення з перетворювачем частоти ($K_2 = 55000$ грн - вартість напівпровідникового перетворювача потужністю 18,5 кВт типу ALTIVAR 600 , оскільки потужність двигуна відповідно до варіанту 17 кВт).

$$T_o = 55000/32167 = 1,7 \text{ років}$$

Таким чином, при вартості перетворювача частоти типу ALTIVAR 600 у 55000 грн , термін окупності додаткового електрообладнання не перевищує 3-х років.

Отже, є сенс вибрати станцію захисту і керування укомплектовану напівпровідниковим перетворювачем частоти (НПЧ).

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У варіантах з малими потужностями насосів від 1 до 7,5 кВт, з малими глибинами свердловини і коротким трубопроводом економія енергії може бути незначною, такою, що застосування НПЧ є неефективним, тому вибирають “Пристрій L3” з прямим пуском.

2. Для насосів середніх потужностей більше 7,5 кВт вибирають “Пристрій L3” з плавним пуском.

3. У варіантах з суттєвим економічним ефектом, у яких вартість енергії, зекономленої за рахунок запровадження частотного регулювання дозволяє окупити витрати на додаткове обладнання за 2-3 роки потрібно вибрати частотний перетворювач ALTIVAR 312 (31), 600 (61).

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА. СКЛАДАННЯ СХЕМИ ТА ВИБІР КОМПЛЕКТНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ І ЗАХИСТУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Розрахунок механічних і електричних параметрів електродвигуна

Насосний агрегат ЕЦВ 8-40-90 укомплектований асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором типу ПЕДВ 8-17, параметри якого наведемо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри електродвигуна ПЕДВ 8-17

Тип	Потужність $P_2, кВт$	$I_{ном}, А$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	$\cos \varphi_{ном}$	ККД $\eta_{ном}$	$n_{ном},$ об./хв	Площа перерізу кабелю, $мм^2$
ПЕДВ 8-17	17	38	5	0,82	0,82	2850	10

Для побудови математичної моделі двигуна, крім наведених у таблиці параметрів необхідно знати значення наступних параметрів:

- активних і реактивних опорів первинної і вторинної обмоток;
- коефіцієнт максимального моменту;
- критичне ковзання.

Зважаючи на те, що це двигуни специфічні і повних даних у каталогах немає, будемо визначати наближені значення деяких параметрів методом подібності до електродвигунів загальнопромислової серії 4А еквівалентної потужності.

Зауваження. В додатку Ж під потужністю P_2 розуміють механічну потужність споживану насосом. В таблиці параметрів електродвигунів потужність АД позначена як P_2 . Але це не потужність, споживана двигуном, а номінальна потужність на валу двигуна.

Відповідно до зауваження електрична потужність, споживана двигуном від електромережі, дорівнює

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{ном}} \quad (3.1)$$

$$P_1 = \frac{17}{0,82} = 20,73 \text{ кВт}$$

Це підтверджується значенням струму

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{лін} \cdot \cos \varphi} \quad (3.2)$$

$$I_1 = \frac{20730}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.82} = 38,4 \text{ А}$$

Саме це значення струму наведене в таблиці 3.1.

Обчислимо значення пускового струму

$$I_n = I_1 \cdot \frac{I_n}{I_{ном}} \quad (3.3)$$

$$I_n = 38,4 \cdot 5 = 192 \text{ А}$$

Обчислимо значення номінального моменту двигуна

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_{ном}} \quad (3.4)$$

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{17000}{2850} = 56,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

У двигунів загальнопромислової серії в діапазоні потужностей 1...45 кВт коефіцієнт критичного моменту знаходиться у межах 2,2...2.8. Припустимо, що у двигуна ПЕДВ 8-17 при потужності 17 кВт цей коефіцієнт дорівнює

$$\lambda_k \approx 2,5$$

Обчислимо наближене значення критичного ковзання ($n_{ном} = 3000 \text{ об / хв}$)

$$s_k = s_n (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}) \quad (3.5)$$

де номінальне значення ковзання

$$s_n = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_0} \quad (3.6)$$

$$s_n = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05$$

$$s_k = 0,05(2,5 + \sqrt{2,25^2 - 1}) = 0,23$$

Обчислимо значення критичного моменту

$$M_{\kappa} = \lambda_{\kappa} \cdot M_{ном} \quad (3.7)$$

$$M_{\kappa} = 2,5 \cdot 57 = 142 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Запишемо рівняння механічної характеристики двигуна у вигляді формули Клоса

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}} = \frac{2M_{\kappa} \cdot s_{\kappa} \cdot s}{s^2 + s_{\kappa}^2} \quad (3.8)$$

$$M = \frac{(2 \cdot 142 \cdot 0,23) \cdot s}{s^2 + 0,23^2} = \frac{65,3 \cdot s}{s^2 + 0,23^2}$$

Отримане рівняння механічної характеристики для нашого асинхронного двигуна ПЕДВ 8-17 використаємо для побудови природної механічної (рис. 3.1) і регулювальних характеристик (рис. 3.2, у випадку варіанту із застосуванням частотного перетворювача ALTIVAR).

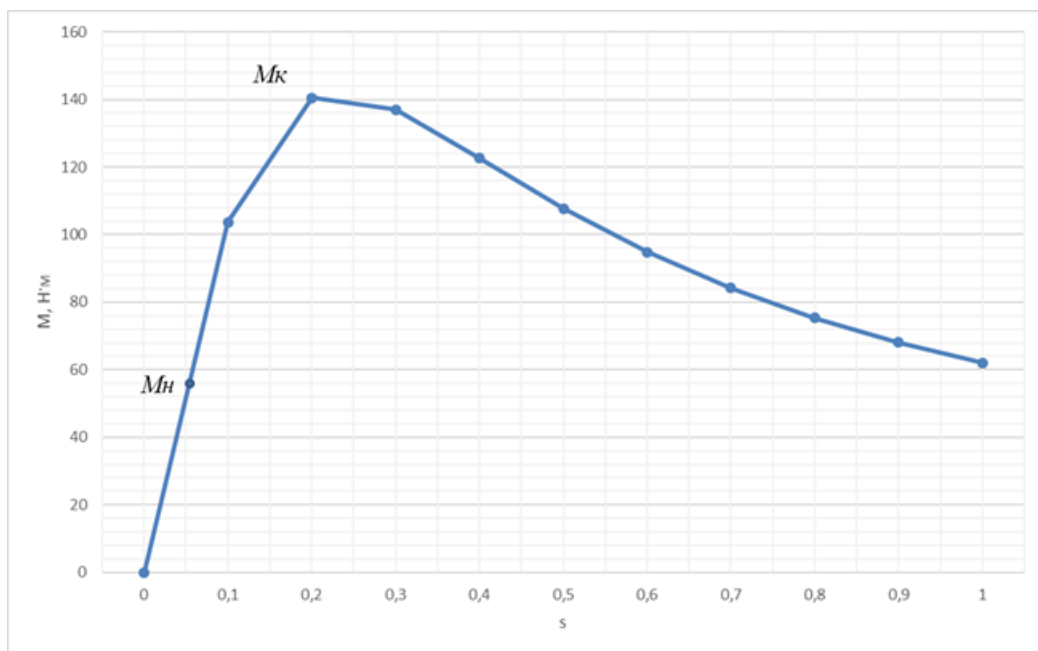


Рисунок 3.1 – Механічна характеристика двигуна ПЕДВ 8-17

Оскільки ми вибрали станцію захисту і керування укомплектовану напівпровідниковим перетворювачем частоти типу ALTIVAR, то побудуємо регулювальні характеристики для ПЕДВ 8-17 (рис. 3.2).

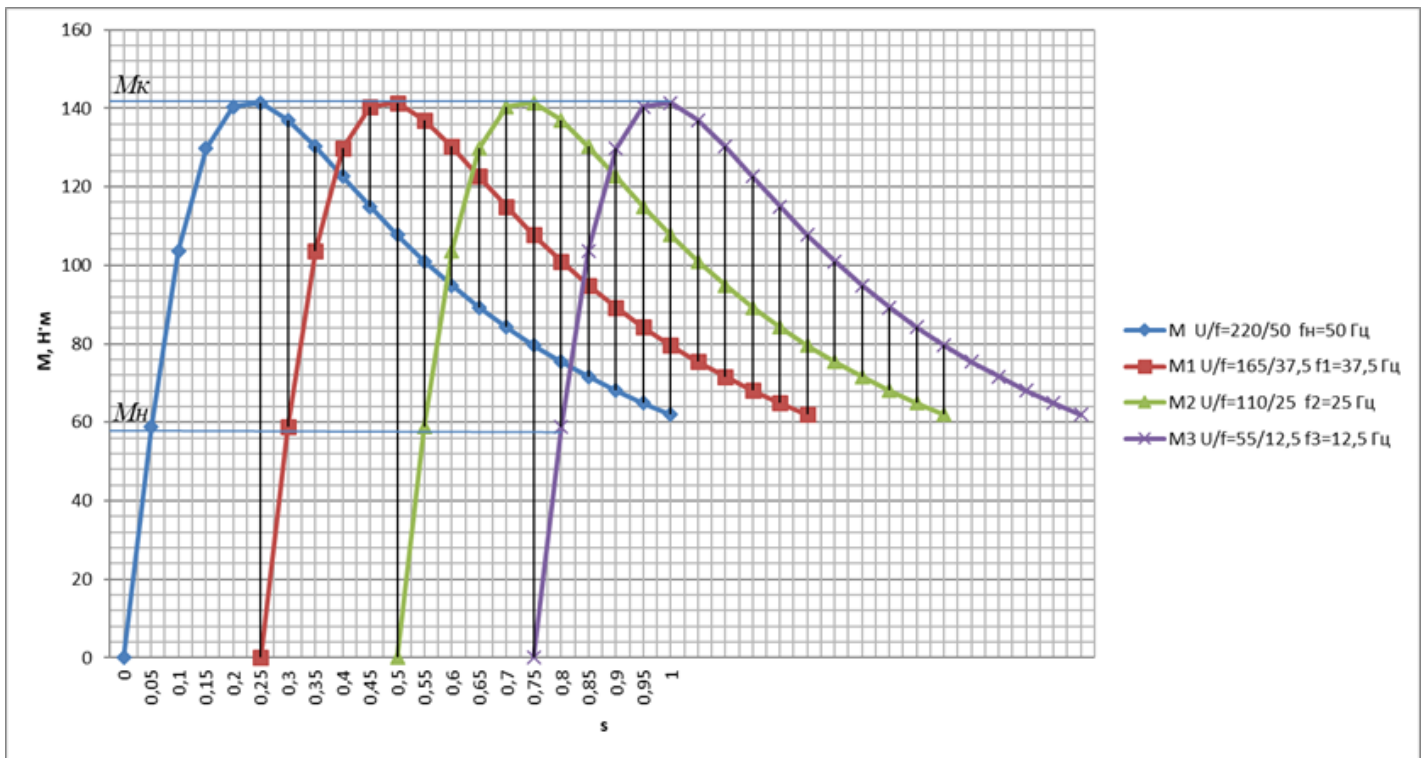


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики двигуна ПЕДВ 8-17 при частотному регулюванні

3.2 Складання схеми та вибір комплектної системи живлення і захисту насосної установки

Схема живлення насосної установки залежить від її потужності. Діапазон потужностей електроприводу для всіх варіантів курсового проєкту – від **1,1 кВт** до **90 кВт**. Розіб'ємо його на 3 інтервали:

- від 1,1 до 7,5 кВт будемо вважати малими потужностями;
- від 7,5 до 45 кВт – середніми;
- більші 45 кВт – великими.

Для варіантів малої потужності доцільно живлення здійснювати від трифазної лінії 380/220 В районних електромереж.

Для варіантів середньої та великої потужності доцільно встановити окрему підстанцію або трансформатор 10/0,4 кВ.

Відповідно до нашого варіанту, потужність електроприводу 17 кВт відносимо до діапазону середніх потужностей. Отже для живлення насосної установки доцільно встановити окремий трансформатор 10/0,4 кВ.

Схема живлення та захисту повинна відповідати наступним вимогам:

1. Забезпечити захист двигуна від коротких замикань, від перевантажень за струмом, від обриву та перекосу фаз, від роботи в режимі “сухого ходу” і в недовантаженому режимі;
2. Для насосних агрегатів потужністю більше 7,5 кВт мати можливість плавного пуску насоса;
3. Забезпечити контроль напруги живлення та контроль опору ізоляції;
4. Забезпечити роботу насосного агрегату в ручному, автоматичному і дистанційному режимах;
5. Система керування повинна забезпечувати контроль та підтримання заданого рівня води в резервуарі та тиску в системі водопостачання за сигналами давачів рівня і тиску.

3.3 Обґрунтування вибору комплектної системи живлення, захисту та керування насосної установки

Світові і національні фірми з випуску електрообладнання, такі як “SIEMENS”, “SCHNEIDER ELECTRIC”, “MITSUBISHI ELECTRIC”, “ та інші ще з кінця ХХ-го сторіччя виготовляють на продаж тиристорні перетворювачі частоти струму з програмованим логічним контролером для частотно-регульованого асинхронного електроприводу. Ринок електротехнічного обладнання вже давно заповнений електроприводами АД- ТПЧ-ПЛК потужністю від 0,18 кВт до 750 кВт. У першому поколінні майже всі розробники застосовували ТПЧ за схемою “Автономний інвертор напруги з ланкою постійного струму (керований випрямляч)”. У цій схемі випрямляч і інвертор виконувались на силових тиристорах, а керування за законом $U / f = const$ здійснювалось по двох каналах – напруги у випрямлячі, частоти в інверторі. Згодом на ринку електронних компонентів з’явилися біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT- транзистори, БТІЗ- транзистори), застосування яких дозволило спростити схему перетворювача частоти. В сучасних перетворювачах використовують схеми “некерований діодний випрямляч – широтно-імпульсний

модулятор на IGBT- транзисторах”. Переваги IGBT-транзисторів – високий вхідний опір, керування не струмом, а напругою (мала потужність керуючого сигналу), малий спад напруги відкритого транзистора. Діапазон застосування – за струмом 10...1200 А, за напругою від 100 В до 10000 В.

Сучасна схема силового блоку ТПЧ на БТІЗ-транзисторах зображена на рис. 3.3. Схема складається з трифазного мостового випрямляча з фільтром LC і трифазного ШИМ-модулятора. Керування за законом U/f здійснюється по одному каналу – в модуляторі амплітудою і частотою модулюючого сигналу, який формується системою керування.

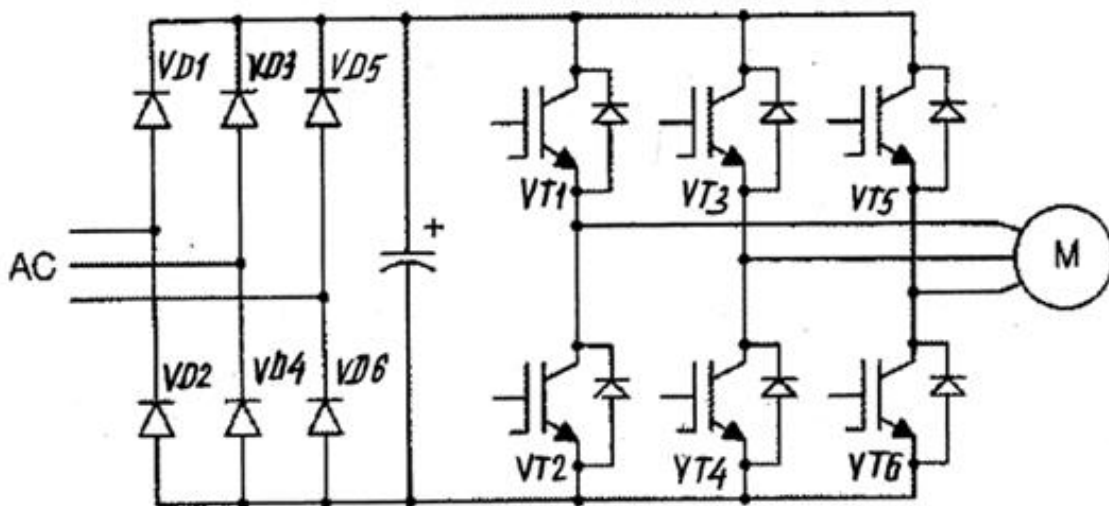


Рисунок 3.3 – Схема перетворювача частоти струму на БТІЗ- транзисторах

Отже, розглянемо пристрої живлення, захисту і керування, які застосовують в сучасних насосних установках систем водопостачання. Насоси свердловинні типу ЕЦВ їх розробники і виробники рекомендують приєднувати до електричної мережі тільки через станції керування і захисту СУЗ, які виготовляють вони ж. Ці станції виготовляють за широкою номенклатурою потужностей (від 1 кВт до 132 кВт) і функцій, з прямим пуском і плавним пуском, з частотним регулюванням і без нього.

3.4 Огляд існуючих систем живлення, захисту та керування насосними установками систем водопостачання

Станції керування і захисту “HMS Control ST”

Станція керування з каскадно-частотним керуванням “HMS Control ST” призначена для керування групою насосних агрегатів від 1 до 4 у відповідності з сигналами керування. Станції призначені для застосування в системах водопостачання, теплопостачання та ін. Модельний ряд станцій складається з 21 типорозмірів з потужностями від 0,37 *кВт* до 132 *кВт*, модифікаціями з прямим пуском (до 5,5 *кВт*) і з плавним пуском (від 7,5 *кВт* до 132 *кВт*).

Станція виконує функції автоматичного керування рівня і тиску, в режимі водопідіймання або дренажу, дистанційного і місцевого керування трифазними електродвигунами глибинних насосів і захисту їх від перевантажень за струмом, коротких замикань, неповнофазного режиму роботи і сухого ходу. В режимі пуску електродвигунів потужністю 7,5...132 *кВт* станція забезпечує плавний пуск.

В автоматичному режимі станція забезпечує керування за сигналами давачів верхнього і нижнього рівнів, встановлених у резервуарі, від електроконтактного манометра або реле тиску.

В режимі дистанційного керування станція забезпечує керування по двопровідній лінії (до 2 км). В режимі місцевого керування станція вмикається і вимикається автоматичним вимикачем.

В усіх режимах станція забезпечує:

- вимикання електродвигуна при обриві будь-якої з трьох фаз;
- вимикання електродвигуна при перевантаженні за струмом;
- вимикання електродвигуна при відсутності води у свердловині;
- світлову сигналізацію аварійних станів;
- відновлення роботи після виходу з аварійного стану;
- індикацію споживаного струму в одній з фаз.

Принцип роботи станції керування заснований на каскадному вмиканні насосів. На виході насосної установки встановлено аналоговий давач тиску, сигнал з якого подається на вхід системи керування. На початку роботи виконується перевірка

сигналів давачів (наявність води в насосі, справність давача тиску і все інше). Якщо сигнали задовільняють умовам пуску, то програма за умови оцінки напрацювання вибирає основний насос (той що має найменше з усіх напрацювання). Основний насос – це той, який в даний момент працює від перетворювача частоти, далі насос-майстер. Інші насоси приєднуються до мережі напряму або через пристрій плавного пуску. Програма ПЛК обирає насос-майстер, приєднує до ТПЧ і починає роботу, регулюючи частоту обертання насоса у відповідності с сигналами давача тиску, регульованому ПІД-регулятором. Якщо поточне значення тиску менше значення уставки і насос-майстер працює на максимальній частоті, то через певний проміжок часу програма ПЛК вмикає додатковий насос. І так до того часу, поки тиск у системі не досягне встановленого значення. Через встановлений час програма дає команду на заміну насоса-майстра. Далі ПЛК обирає нового насоса-майстра за умови часу напрацювання і стану насосів. Станція зупиняється, виконується перемикання насоса-майстра і робота відновлюється. Цей принцип забезпечує рівномірне напрацювання всіх насосів в системі. Якщо заданого значення тиску в системі досягнуто і насос працює з мінімальною частотою, програма почне вимикати насоси в залежності від напрацювання і стану.

Склад станції “HMS Control ST”:

- Перетворювач частоти;
- Програмований логічний контролер SEGNETICS;
- Система індикації і сигналізації;
- Магнітні пускачі з тепловими реле;
- Органи керування і автомати захисту;
- Пристрій плавного пуску (при потужності двигуна 7,5 кВт і більше);
- Пристрій контролю мережі;
- Пристрій обмеження імпульсних перенапруг;
- Вольтметр на ввіді мережі;
- Амперметр на кожний насос;
- GSM- модем, модуль зв’язку “Modbus”, модуль зв’язку “Profibus”

Виробником пропонується 10 модифікацій станцій з прямим пуском і 10 модифікацій станцій з плавним пуском на потужності від 1.1 кВт до 132 кВт.

Електроприводи насосних установок ALTIVAR 312 (31)

Перетворювач частоти ALTIVAR 312 (ATV312) призначений для трифазних і однофазних асинхронних двигунів з живленням від 220 і 380 до 600В і потужністю від 0,18 до 15 кВт. Вмонтовані в ПЛК програми дозволяють виконувати всі перелічені вище функції комутації, захисту, регулювання і діагностики двигуна. Крім стандартних функцій перетворювач ALTIVAR 312 дозволяє реалізувати деякі додаткові функції – застосування в насосних установках енергозберігаючого закону керування та ПІ-регулятора для регулювання тиску за допомогою датчика зворотного зв'язку.

Призначений для використання на виробництвах:

- транспортувальне обладнання (невеликі конвеєри, електроталі);
- фасувально-пакувальне устаткування;
- спеціальні механізми (мішалки, змішувачі, текстильні машини);
- вентилятори, насоси та компресори.

Перетворювач Altivar 312 відрізняється надійністю і компактністю, простотою введення в експлуатацію. Вбудовані функції адаптовані для його застосування в простих виробничих механізмах.

Легкість введення в експлуатацію та сучасна концепція виробу дозволяють запропонувати економічне і надійне рішення розробникам простих компактних машин (ОЕМ) і інтеграторам. Перетворювач Altivar 312 легко вбудовується в більшість систем автоматизації завдяки запропонованим додатковим комунікаційним картками.

Перетворювачі Altivar 312 мають шість дискретних і три аналогові входи, один дискретний / аналоговий і два релейними виходами.

Основними функціями перетворювача частоти є:

- захист двигуна і перетворювача;
- лінійні, S-, U-подібні і індивідуальні криві розгону-гальмування;
- локальне задання швидкості за допомогою ручки навігатора;
- робота в режимі «швидше-повільніше»;
- 16 попередньо заданих швидкостей;
- ПІ-регулятор і завдання для нього;
- дво- і трипровідне управління;
- логіка управління гальмом;

- автоматичний захват з пошуком швидкості і повторний пуск;
- конфігурація несправностей і типів зупинки;
- збереження конфігурації в пам'яті ПЧ.

Кілька функцій можуть бути призначені на один і той же дискретний вхід.

Електроприводи насосних установок ALTIVAR 600 (61)

Перетворювачі частоти Altivar 600 (ATV630, ATV650) призначені для керування трифазними асинхронними і синхронними електродвигунами, використовуваними в технологічних установках таких галузей промисловості, як:

- водопідготовка, водопостачання та водовідведення;
- нафтогазова промисловість;
- металургія та видобуток корисних копалин;
- харчова промисловість.

Використовувані напруги та потужності:

- напруга 200/240 В - від 7,5 до 22 кВт;
- напруга 380/480 В - від 7,5 до 90 кВт,
- напруга 690 В для 1500 кВт.

Розширений діапазон ТНДі 48%% від 100%% до 80%% номінального навантаження двигуна. Вбудовані протоколи:

- Ethernet, Modbus TCP;
- Modbus RTU.

Altivar 600 включає в себе перетворювачі ATV630 настінного або підлогового виконання зі ступенем захисту IP21 і перетворювачі ATV650 настінного виконання зі ступенем захисту IP55 з роз'єднувачем серії Varіо або без нього, і підлогового шафового виконання із степовою захисту IP54.

ATV630, ATV650 IP55, IP54 мають розширені функціональні можливості:

- точність вимірювання споживаної електроенергії з похибкою < 5%%;
- контроль відхилення енергоспоживання системи від номінального значення;
- вбудований порт Ethernet з можливістю прямого доступу до параметрів конфігурації і контролю;
- можливість введення фактичних характеристик насоса для розрахунку оптимальної робочої точки;

- моніторинг насосного агрегату, заснований на контролі фактичної робочої точки;
- розрахунок очікуваного витрати без використання датчика;
- висновок значень в одиницях користувача;
- обмеження перенапруг на клемах двигуна;
- доступ до технічної документації за допомогою динамічного QR коду;
- вимірювання в режимі реального часу з можливістю настройки інформаційної панелі;
- функції попередження про необхідність технічного обслуговування (наприклад, контролю температури за допомогою датчиків PT100 / 1000, відстеження часу роботи вентиляторів).

Перетворювачі частоти ATV630, ATV650, ATV660 за потужністю поділяються:

- ATV630 IP21 настінного виконання - 0,75-75кВт 3×200-240В;
- ATV630 IP21 настінного виконання - 0,75-160кВт 3×380-480В;
- ATV630 IP21 підлогового виконання - 110-315кВт 3×380-480В;
- ATV650 IP55 настінного виконання з роз'єднувачем або без - 0,75-90 кВт 3×380-480В;
- ATV650 IP54 підлогового виконання - 110-315кВт / 150-500кВт 3×380-480В;
- ATV660 підлогового виконання.

3.5 Опис технологічної схеми автоматизованої свердловинної системи водопостачання

Свердловинна система водопостачання складається з наступних основних елементів: свердловини, насосної установки з насосом і електродвигуном, системи живлення, захисту і автоматичного керування електродвигуном і насосом. Свердловина характеризується глибиною і дебітом. Підземні води, придатні до споживання, залягають на різних глибинах.

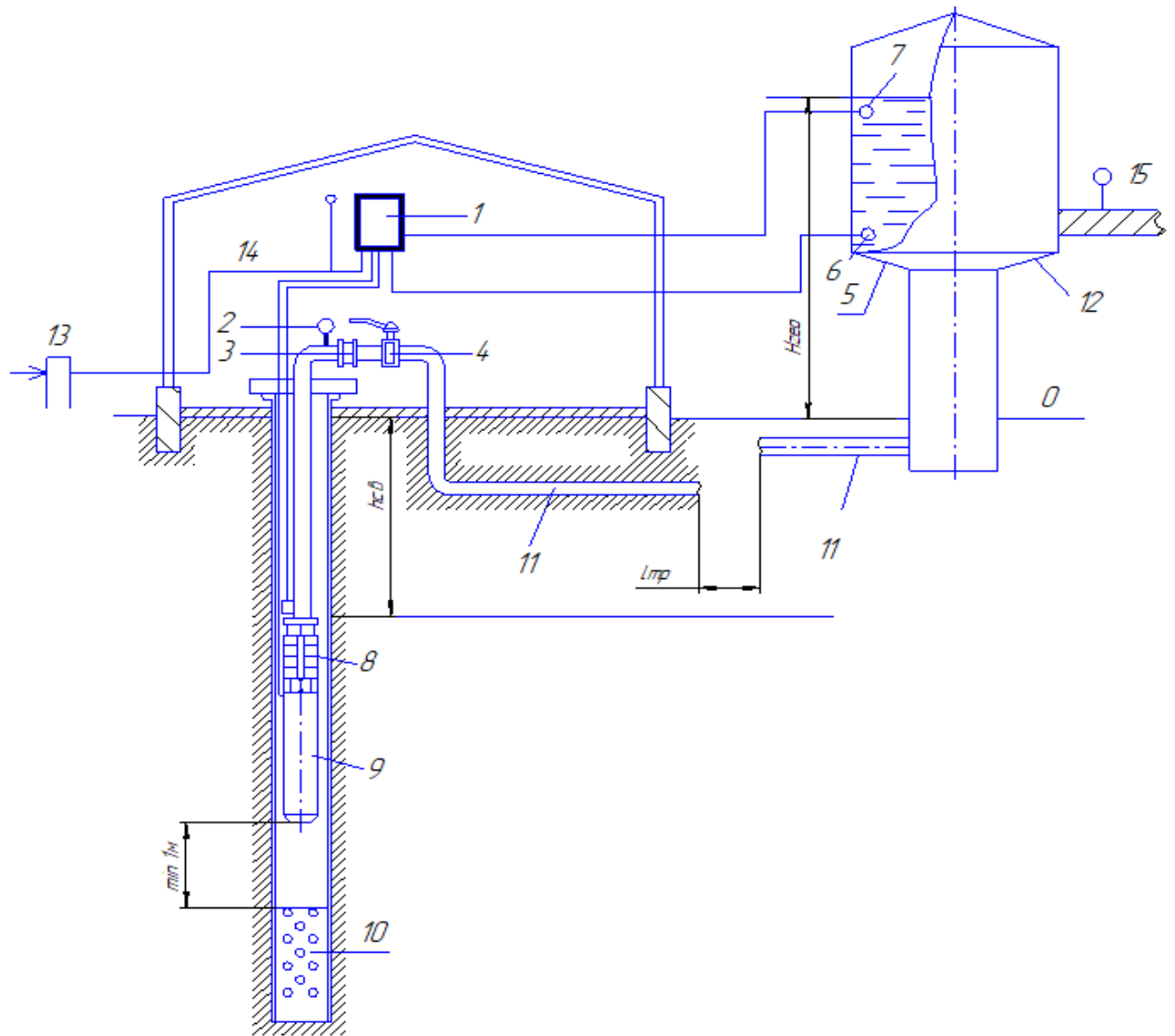


Рисунок 3.4 – Схема технологічна принципова свердловинної системи водопостачання: 1 – станція керування і захисту; 2 – манометр; 3 – клапан зворотний; 4 – засувка; 5 – резервуар; 6 – давач сигналу нижнього рівня; 7 – давач сигналу верхнього рівня; 8 – насос ЕЦВ; 9 – електродвигун ПЕДВ; 10 – фільтр; 11 - трубопровід; 12 – башта; 13 – трансформаторна підстанція; 14 – кабель живлення; 15 – давач тиску.

У наших варіантах курсового проєкту глибини свердловин варіюють у межах 25...80 м. Дебіт свердловини (не плутати з дебетом бухгалтерським) – це кількість води, нафти чи газу, яку за одиницю часу може дати джерело).

У наших варіантах курсового проєкту дебіт свердловин варіює у межах 3...200 м³/год. Свердловина облаштовується обсадною трубою відповідного діаметра, у яку на відповідну глибину опускають на тросі глибинний насос ЕЦВ з електродвигуном

ПЕДВ. Живлення електродвигуна застосовують через трижильний герметично броньований кабель відповідної струму площі перерізу.

Живлення електродвигунів великої потужності здійснюють від трансформаторної підстанції 13, а електродвигунів малої потужності від трифазної лінії електропередачі. Для запобігання перетоку води з резервуара у свердловину на виході з насосу встановлено зворотний клапан 3, а для керування потоком – засувка 4. Для контролю тиску води на виході з насосу встановлено електроконтактний манометр 2. До троса на сигнальному кабелі закріплений давач сигналу “сухого ходу”. Він замикає контакт і дає сигнал на відключення насоса, якщо рівень води у свердловині опуститься нижче допустимого. Для запобігання переливу води з резервуару у нього встановлено давач верхнього рівня 7. Цей давач дає сигнал на вимикання електродвигуна коли рівень води в резервуарі дійде до верхньої межі, а давач нижнього рівня дає сигнал на ввімкнення електродвигуна коли рівень води понизиться до нижньої межі. На виході з насосу встановлено контрольний манометр 2 (давач тиску), а на виході з резервуару (на вході у розподільну мережу) давач тиску 15.

ПД-регулятор. Задача насосної станції полягає у підтриманні заданого тиску у розподільній мережі. Давач 15 є давачем сигналу зворотного зв'язку у системі регулювання тиску в системі водопостачання, тобто напруга на його виході пропорційна тиску. Ця напруга подається на вхід регулятора, де порівнюється з напругою заданого сигналу. В момент їх рівності тиск в системі дорівнює заданому. Водорозбір у системі неперервно змінюється, за тим же законом змінювався би й тиск, якби не було регулятора тиску. Регулятор тиску за певним законом керує насосом, який за тим же законом наповнює резервуар. Таким законом є пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання, а регулятор, який реалізує цей закон називають **ПД-регулятором**.

Закон регулювання – це закон, за яким змінюється вихідний (керуючий) сигнал регулятора в часі. Типовим сигналом, який подають на вхід регулятора, є ступінчастий сигнал. Це сигнал постійної напруги. Якщо його подати на вхід операційного підсилювача, то на виході отримаємо такий самий за формою сигнал, тільки більший, чи менший за рівнем. Такий підсилювач можна назвати пропорційним регулятором. Якщо в операційному підсилювачі є інтегруюча ланка, то вона інтегрує вхідний сигнал,

а у вихідному сигналі до пропорційної складової додається інтегральна складова. Тепер це буде ПІ-регулятор. Інтегральна складова змінює властивості ПІ- регулятора. Пропорційна складова забезпечує швидкодію відпрацювання вихідної величини, а інтегральна складова зменшує статичну похибку. Наявність диференціальної складової в ПІД-регуляторі дозволяє ще збільшити швидкодію. В сучасних системах керування функції ПІД- регулятора виконує програмований логічний контролер ПЛК (PLC), який отримує інформацію від датчиків тиску, датчиків рівня, датчиків швидкості потоку, температури та інших елементів автоматики, зображених на рис.3.5.

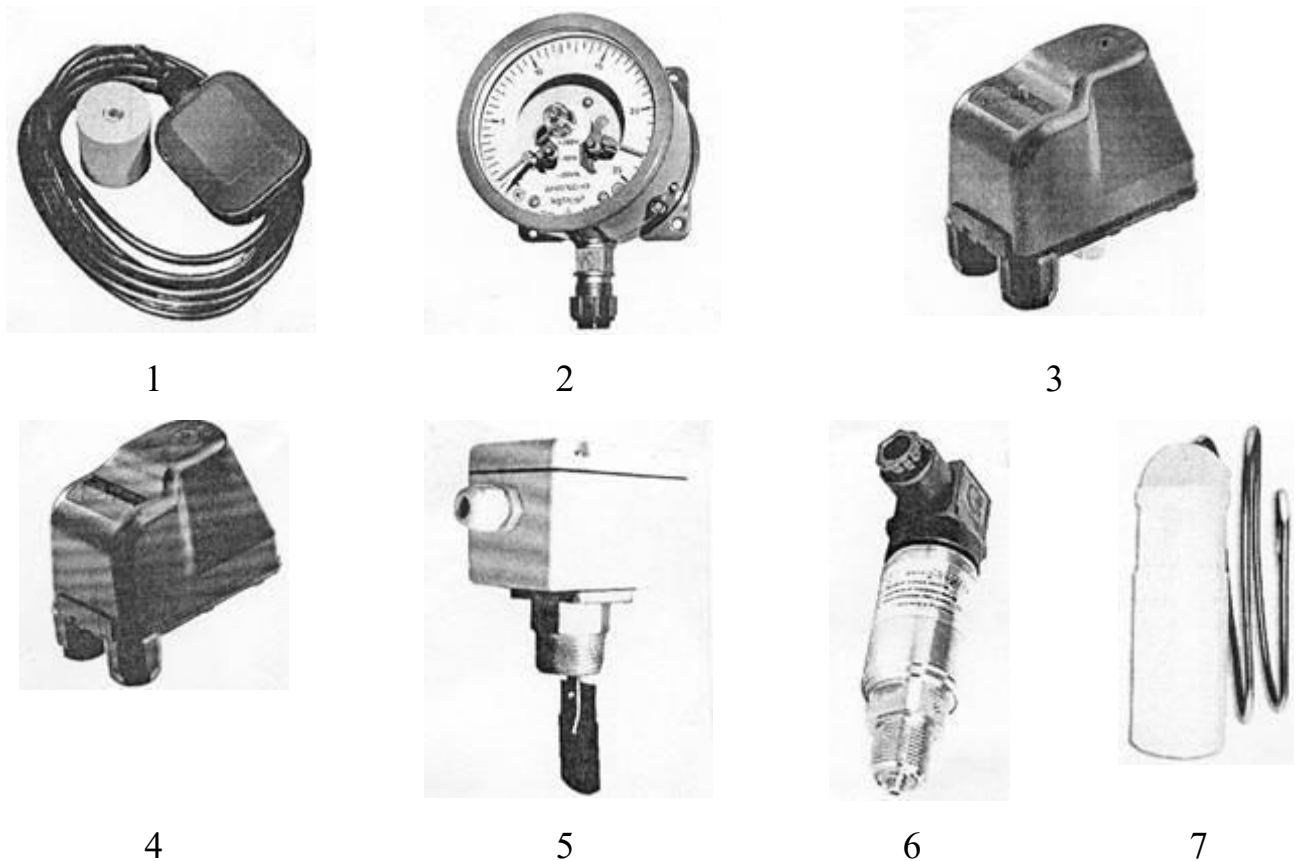


Рисунок 3.5 – Елементи автоматики насосних систем

На рисунку 3.5: 1 – поплавковий вимикач рівня Н 07 RN, призначений для захисту насоса від сухого ходу; 2 – манометр показуючий і сигналізуючий типу ДМ2010Cr- 0,6 МПа, має дві пари контактів – 1 пару на розімкнення (НЗ) і 1 пару на замкнення (НР); манометр показуючий і сигналізуючий типу ДМ2010Cr- 1,0 МПа; манометр показуючий і сигналізуючий типу ДМ2010Cr- 1,6 МПа; 3 – реле тиску РМ/5; РМ/12 встановлюється в напірній лінії, для регулювання і контролю тиску, робочий тиск 0,1...0,5 МПа та 0,3...1,2 МПа, має 2 контакти НЗ

(нормально замкнених), струм комутації 10 А, напруга 250 В; 4 – реле тиску LP – застосовують як реле сигналізації і вимикання при сухому ході, має 2 нормально-замкнених (НЗ) контакти; 5 – реле потоку, призначається для контролю потоку води в трубопроводі; 6 – Перетворювач тиску в уніфікований сигнал постійного струму 4-20 мА типу МТ100-У2, має модифікації на діапазони 0...0,6 МПа; 0...1,0 МПа; 0...1,6 МПа; 7 – електродний давач сигналу сухого ходу, застосовують для захисту глибинного насоса від сухого ходу.

3.6 Вибір схеми живлення, керування і захисту автоматизованої системи водопостачання

Електрична схема станції залежить від потужності насоса. Залежно від номеру варіанта потужність насоса знаходиться у межах від 1,1 кВт до 100 кВт.

В пояснювальній записці на кількох аркушах потрібно дати скорочений опис вибраного пристрою у такій послідовності:

1. Опис і робота пристрою:

- призначення пристрою,
- технічні характеристики,
- виконувані функції;

2. Використання:

- режими роботи – ручний, автоматичний, дистанційний;
- органи керування,
- робота з зовнішніми пристроями – пристроєм плавного пуску, давачами сигналів сухого ходу, нижнього рівня, верхнього рівня, ПД-регулятором,

3. Схеми приєднання давачів і виконавчих механізмів;

4. Порядок пуску і виходу на робочий режим

Найпростішою є схема живлення і керування насосом малої потужності до 7,5 кВт з прямим пуском і без частотного регулювання. У цих варіантах для живлення і керування насосною установкою вибирають **“Пристрій керування і захисту L3”** – далі **“Пристрій L3” з прямим пуском**. Для цих випадків **“Схема електрична**

принципова живлення, керування і захисту насосної установки” має вигляд, зображений на рис. 3.6.

Для варіантів потужністю двигуна більше 7,5 кВт і без частотного перетворювача необхідно застосовувати пристрій плавного (“м’якого”) пуску. У варіантах з частотним перетворювачем плавний пуск двигуна забезпечується програмою функції розгону.

Пристрій плавного пуску двигуна значно зменшує пускові навантаження на робочий механізм. Крім плавного пуску, цей пристрій забезпечує плавне гальмування насоса, що дозволяє уникати гідравлічних ударів у мережі водопостачання, які призводять до аварій. У варіантах курсового проєкту потрібно вибрати тип серійного пристрою плавного пуску, який за струмом і потужністю відповідає параметрам електродвигуна. Схема «Пристрою керування і захисту L3”з плавним пуском» подана на рисунку 3.7.

Для варіантів з застосуванням частотного регулювання схема електрична принципова електроприводу має вигляд, зображений на рис. 3.8.

Кожен варіант цієї схеми відрізняється потужністю електродвигуна, а значить номінальним і пусковим струмом. Тому в кожному варіанті необхідно розрахувати площу перерізу проводу живлення, вибрати відповідний провід, автоматичний вимикач та електромагнітний контактор.

Специфікація до схеми рисунку 3.6

1. Електродвигун ЕЦВХ –хх-хх (дані за варіантом);
2. КМ1 – контактор електромагнітний (дані за варіантом);
3. QF1 – вимикач автоматичний (дані за варіантом);
4. Wh – лічильник енергії трифазний НІК 2303;
5. pA – амперметр;
6. pV – вольтметр;
7. ТА1 – трансформатор струму (тип за варіантом);
8. ТА2 – трансформатор струму (за варіантом);
9. А1 – пристрій керування L3 мікропроцесорний.

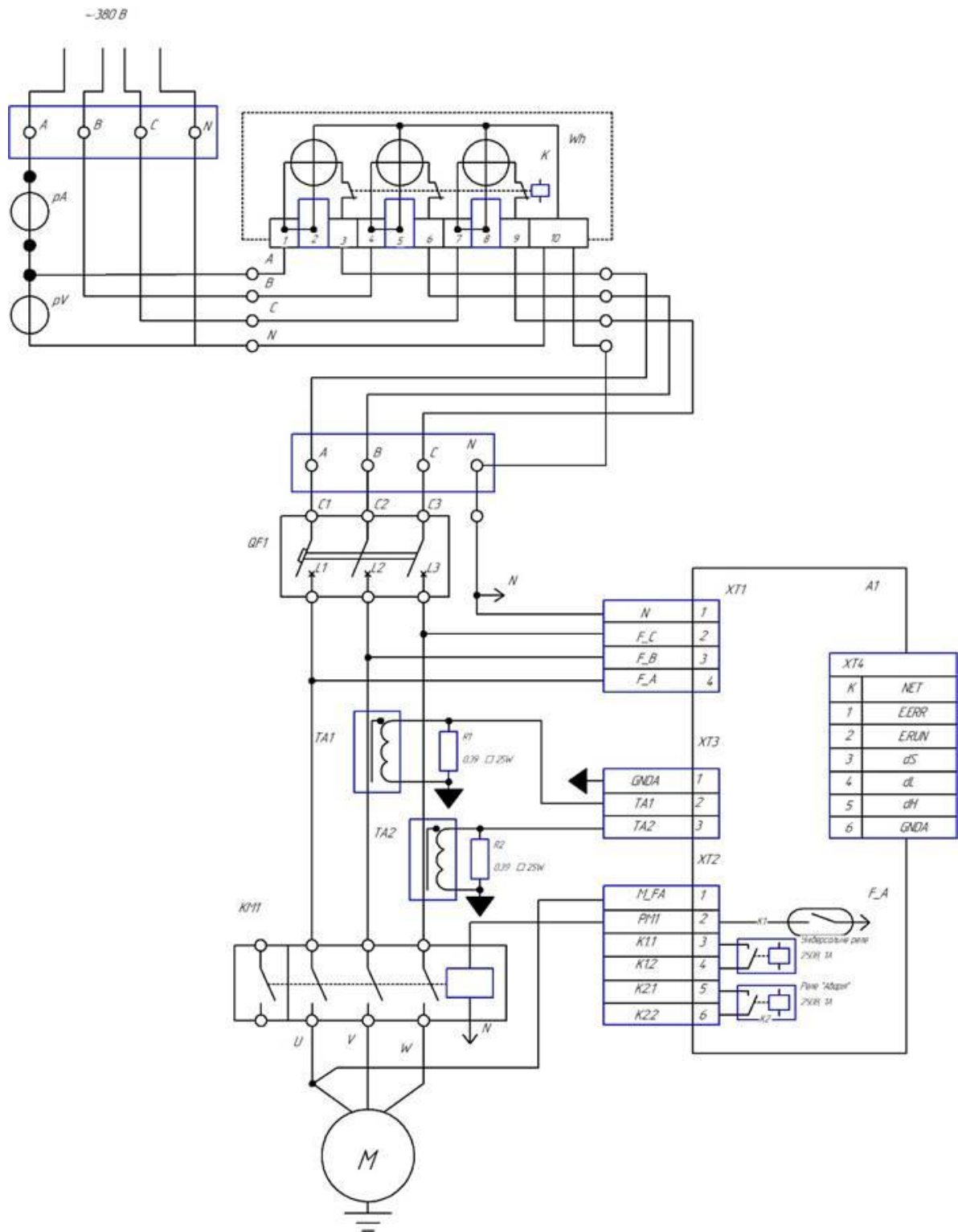


Рисунок 3.6 – Схема електрична принципова “Пристрою керування і захисту L3” з прямим пуском: М- електродвигун ЕЦВХ –хх-хх (дані за варіантом); КМ1 – контактор електромагнітний (дані за варіантом); QF1 – вимикач автоматичний (дані за варіантом); Wh – лічильник енергії трифазний НІК 2303; рА – амперметр; рV – вольтметр; ТА1 – трансформатор струму (тип за варіантом); ТА2 – трансформатор струму (за варіантом); А1 – пристрій керування L3 мікропроцесорний.

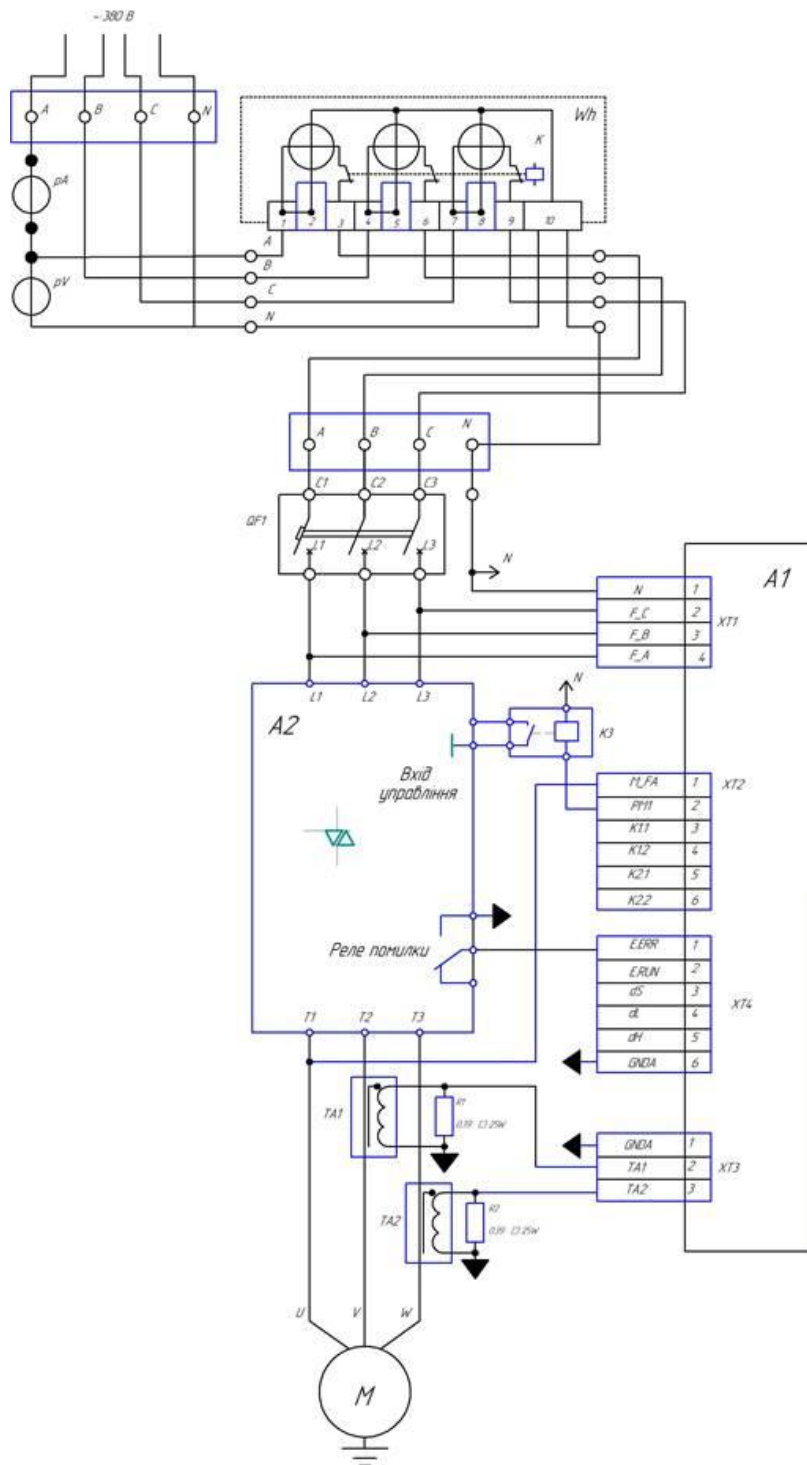


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова “Пристрою керування і захисту L3” з плавним пуском: М - Електродвигун ЕЦВХ –xx-xx (дані за варіантом); КМ1 – контактор електромагнітний (дані за варіантом); QF1 – вимикач автоматичний (дані за варіантом); Wh – лічильник енергії трифазний НІК 2303; рА – амперметр; рV – вольтметр; ТА1 – трансформатор струму (тип за варіантом); ТА2 – трансформатор струму (за варіантом); А1 – пристрій керування L3 мікропроцесорний; А2 – пристрій плавного пуску (дані за варіантом).

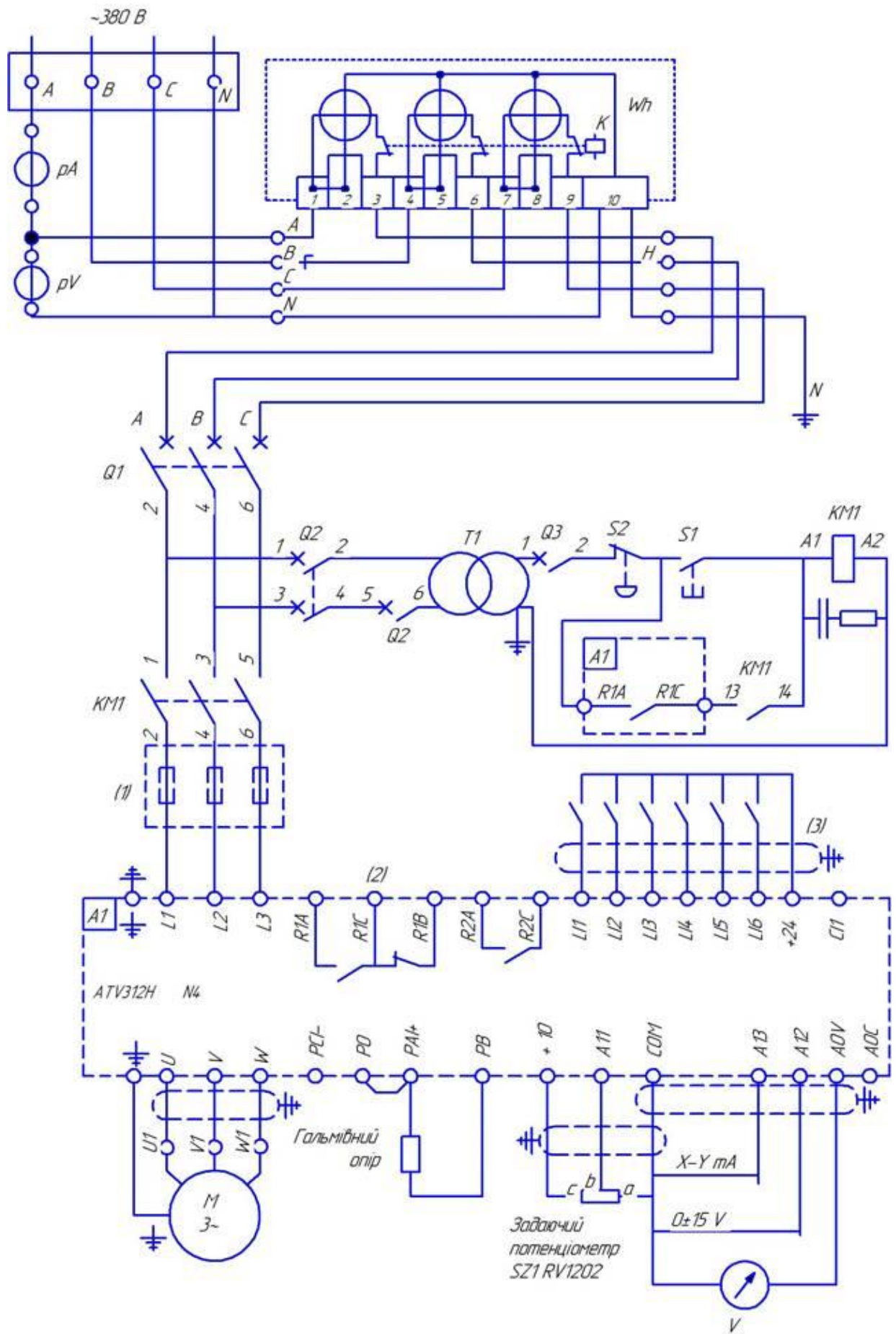


Рисунок 3.8 – Схема електрична принципова електроприводу з частотним перетворювачем типу ATV 312

Специфікація до схеми рис. 3.7

1. Електродвигун ЕЦВХ –хх-хх (дані за варіантом);
2. КМ1 – контактор електромагнітний (дані за варіантом);
3. QF1 – вимикач автоматичний (дані за варіантом);
4. Wh – лічильник енергії трифазний НІК 2303;
5. pA – амперметр;
6. pV – вольтметр;
7. ТА1 – трансформатор струму (тип за варіантом);
8. ТА2 – трансформатор струму (за варіантом);
9. А1 – пристрій керування L3 мікропроцесорний;
10. А2 – пристрій плавного пуску (дані за варіантом)

4. ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Виконаний проєкт пред'являється керівнику проєкту для перевірки, після якої, за умови правильності розрахунків і оформлення текстової та графічної частини проєкту, на титульному листі робиться позначка про допуск до захисту.

На захисті проєкту студент розміщує на дошці графічну документацію та віддає текстову частину викладачам.

Захист курсового проєкту передбачає:

– коротка доповідь (до 10 хв.) з використанням графічної частини, в якій необхідно висвітлити: основні етапи; отримані результати розрахунків; технічні рішення.

– відповіді на запитання керівника та членів комісії.

Курсовий проєкт та його захист оцінюється в відповідності до вимог кредитно-модульної системи.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ (РОБОТА)

з Основи електроприводу

(назва дисципліни)

на тему: Електропривід насосної станції для системи водопостачання

Студента (ки) 4 курсу, групи _____
спеціальності 141 Електроенергетика
електротехніка та електромеханіка

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент, к.т.н.,

Філюк Я.О

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Оцінка за національною шкалою _____

Кількість балів: _____

Оцінка ECTS _____

Члени комісії:

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 202 _

Додаток Б

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра Електричної інженерії

Дисципліна Основи електроприводу

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Курс 4 Група ЕТ- Семестр 7

ЗАВДАННЯ на курсовий проєкт

Студентові _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Електропривід насосної станції для системи водопостачання

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту «Методичні вказівки до виконання курсового проєкту»

Варіант №	Свердловина			Башта-резервуар		Насос	
	Дебіт, $m^3/год$	Трубо-провід l_{Tr}, m	Глибина $h_{св}, m$	Висота $H_{ГЕО}, m$	Об'єм бака, m^3	Типорозмір-подача-напір	Потужність, kW
51	30...50	60	40	15	1000	ЕЦВ 8-40-Х	

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) _____

Титульний аркуш

Завдання

I Теоретична частина

II Технологічна частина

III Конструкторська частина

Висновки до курсового проєкту

Перелік посилань

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу, якщо передбачено _____

1. Схема технологічна принципова свердловинної системи водопостачання (А4)

2. Схема електрична принципова електроприводу і станції керування та

захисту свердловинної системи водопостачання (А4)

6. Дата видачі завдання _____

Додаток В

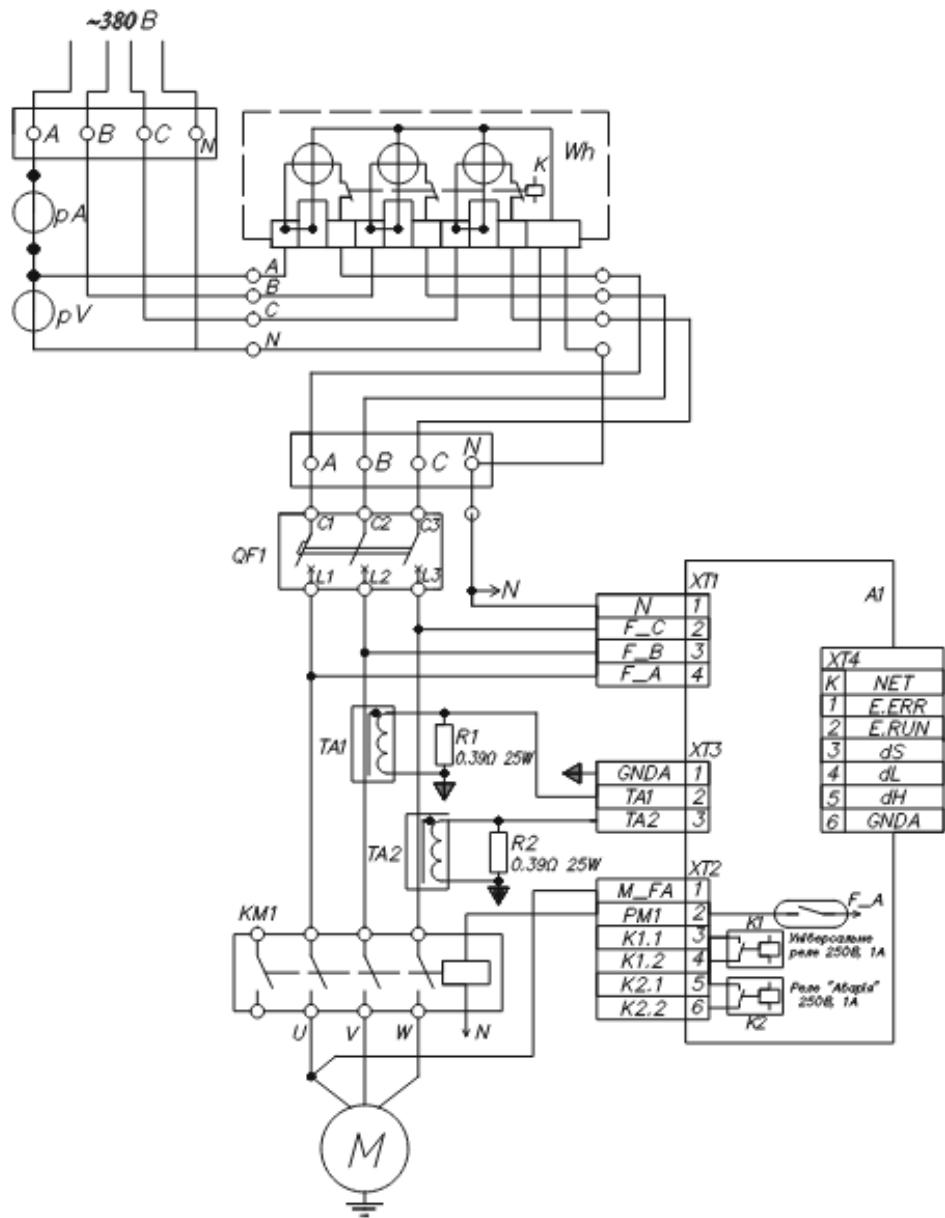
Таблиця варіантів завдань

Варіант №	Свердловина			Башта-резервуар		Насос	
	Дебіт, $m^3 / год$	Трубо-провід l_{Tr}, m	Глибина $h_{св}, m$	Висота $H_{ГЕО}, m$	Об'єм бака, m^3	Типорозмір-подача-напір	Потужність, kW
1	3...5	150	40	20	50	ЕЦВ 4-2,5-Х	
2	5...8	50	45	15	100	ЕЦВ 4-6,5-Х	
3	8...12	140	40	18	250	ЕЦВ 4-10-Х	
4	12...20	150	50	20	300	ЕЦВ 6-16-Х	
5	20...30	160	30	15	600	ЕЦВ 6-25-Х	
6	30...50	170	30	20	1200	ЕЦВ 8-40-Х	
7	50...80	80	40	25	1500	ЕЦВ 8-65-Х	
8	80...125	90	50	25	2400	ЕЦВ 8-65-Х	
9	125...150	100	60	25	2400	ЕЦВ 10-120-Х	
10	150...200	120	80	15	3600	ЕЦВ 10-160-Х	
11	3...5	100	25	35	50	ЕЦВ 4-2,5-Х	
12	5...8	90	35	20	100	ЕЦВ 4-6,5-Х	
13	8...12	80	45	25	250	ЕЦВ 4-10-Х	
14	12...20	70	55	15	300	ЕЦВ 6-16-Х	
15	20...30	60	65	15	600	ЕЦВ 6-25-Х	
16	30...50	150	75	15	1200	ЕЦВ 8-40-Х	
17	50...80	140	65	15	1500	ЕЦВ 8-65-Х	
18	80...125	145	55	15	2400	ЕЦВ 8-65-Х	
19	125...150	150	45	15	2400	ЕЦВ 10-120-Х	
20	150...200	160	60	15	3600	ЕЦВ 10-160-Х	
21	3...5	150	54	15	50	ЕЦВ 4-2,5-Х	
22	5...8	160	25	35	100	ЕЦВ 4-6,5-Х	
23	8...12	170	15	25	250	ЕЦВ 4-10-Х	
24	12...20	175	25	25	300	ЕЦВ 6-16-Х	
25	20...30	180	35	20	600	ЕЦВ 6-25-Х	
26	30...50	85	45	25	1200	ЕЦВ 8-40-Х	
27	50...80	90	55	35	1500	ЕЦВ 8-65-Х	
28	80...125	95	65	15	2400	ЕЦВ 8-65-Х	
29	125...150	100	20	40	2400	ЕЦВ 10-120-Х	
30	150...200	120	30	40	3600	ЕЦВ 10-160-Х	

Варіант №	Свердловина			Башта-резервуар		Насос	
	Дебіт, $m^3/год$	Трубо-провід l_{Tr}, m	Глибина $h_{св}, m$	Висота $H_{ГЕО}, m$	Об'єм бака, m^3	Типорозмір-подача-напір	Потужність, kW
31	3...5	120	45	20	100	ЕЦВ 4-2,5-Х	
32	5...8	90	40	25	200	ЕЦВ 4-6,5-Х	
33	8...12	110	30	15	300	ЕЦВ 4-10-Х	
34	12...20	80	50	20	400	ЕЦВ 6-16-Х	
35	20...30	180	40	25	500	ЕЦВ 6-25-Х	
36	30...50	100	35	15	600	ЕЦВ 8-40-Х	
37	50...80	160	60	30	800	ЕЦВ 8-65-Х	
38	80...125	130	50	35	1200	ЕЦВ 8-65-Х	
39	125...150	145	80	25	2500	ЕЦВ 10-120-Х	
40	150...200	170	70	35	2400	ЕЦВ 10-160-Х	
41	3...5	140	25	20	250	ЕЦВ 4-2,5-Х	
42	5...8	100	35	25	300	ЕЦВ 4-6,5-Х	
43	8...12	130	45	15	350	ЕЦВ 4-10-Х	
44	12...20	160	55	20	400	ЕЦВ 6-16-Х	
45	20...30	170	60	25	650	ЕЦВ 6-25-Х	
46	30...50	120	40	15	800	ЕЦВ 8-40-Х	
47	50...80	150	45	30	1400	ЕЦВ 8-65-Х	
48	80...125	105	65	35	1600	ЕЦВ 8-65-Х	
49	125...150	130	75	25	2000	ЕЦВ 10-120-Х	
50	150...200	140	70	35	2500	ЕЦВ 10-160-Х	

Схема електрична принципова пристрою керування і захисту

КП .00.00.000



Позначення	Найменування
M	Електродвигун ПЕДВ 4-4
KM1	Контактор електромагнітний КМИЗ4062
QF1	Автоматичний вимикач АЕ2040
Wh	Лічильник енергії трифазний НК2303
pA	Амперметр
pV	Вольтметр
TA1	Трансформатор струму Т-0,66
TA2	Трансформатор струму Т-0,66
A1	Пристрій керування L3 мікропроцесорний

				КП .00.00.000					
Зм.	Арх.	№	Формат	Підпис	Дата	Схема електрична принципова пристрою керування і захисту L3	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.							у		
Перевір.							Лист 1		Лист 6 1
Т. констр.									
Рисунки									
Н. констр.									
Замб.									

Додаток Д

Розмір втрат за довжиною трубопроводів.

Втрати напору у сталевих трубопроводах. Верхні значення - швидкість течії м/сек
Нижні значення – втрати напору в метрах на 100 м прямої труби.

Витрата			Умовний прохідний діаметр / Зовнішній діаметр × товщина стінки / внутрішній діаметр, мм									
м³/год	л/хв	л/с	Ду25 33,5×3,2 27,1	Ду32 42,3×3,2 35,9	Ду40 48×3,5 41	Ду50 60×3,5 53	Ду65 76×3,5 69	Ду80 89×3,5 82	Ду100 108×3,5 101	Ду125 133×4,5 124	Ду150 159×4,5 150	Ду200 219×5 209
1	16,67	0,28	0,48 1,91	0,27 0,48	0,21 0,25							
1,6	26,67	0,44	0,77 4,63	0,44 1,14	0,34 0,59	0,20 0,17						
2	33,33	0,56	0,96 7,08	0,55 1,73	0,42 0,90	0,25 0,25						
2,5	41,67	0,69	1,20 10,85	0,69 2,63	0,53 1,36	0,31 0,38	0,19 0,11					
3	50,00	0,83	1,44 15,40	0,82 3,72	0,63 1,91	0,38 0,54	0,22 0,15					
3,5	58,33	0,97	1,69 20,74	0,96 4,99	0,74 2,56	0,44 0,71	0,26 0,19	0,18 0,08				
4	66,67	1,11	1,93 26,86	1,10 6,44	0,84 3,30	0,50 0,91	0,30 0,25	0,21 0,11				
6,5	108	1,81	3,13 69,25	1,78 16,39	1,37 8,34	0,82 2,28	0,48 0,61	0,34 0,26	0,23 0,09			
8	133	2,22	3,85 104,10	2,20 24,54	1,68 12,45	1,01 3,39	0,59 0,90	0,42 0,38	0,28 0,14	0,18 0,05		
10	167	2,78		2,74 37,92	2,10 19,19	1,26 5,19	0,74 1,37	0,53 0,58	0,35 0,21	0,23 0,08		
12	200	3,33		3,29 54,18	2,52 27,38	1,51 7,38	0,89 1,94	0,63 0,82	0,42 0,29	0,28 0,11	0,19 0,04	
16	267	4,44		4,39 95,38	3,37 48,07	2,01 12,88	1,19 3,36	0,84 1,41	0,55 0,50	0,37 0,18	0,25 0,07	
20	333	5,56			4,21 74,53	2,52 19,88	1,49 5,17	1,05 2,16	0,69 0,76	0,46 0,27	0,31 0,11	
25	417	6,94			5,26 115,71	3,15 30,76	1,86 7,96	1,31 3,31	0,87 1,15	0,58 0,41	0,39 0,16	0,20 0,03
30	500	8,33				3,78 44,00	2,23 11,34	1,58 4,70	1,04 1,63	0,69 0,58	0,47 0,23	0,24 0,04
35	583	9,72				4,41 59,59	2,60 15,32	1,84 6,33	1,21 2,19	0,81 0,78	0,55 0,30	0,28 0,06
40	667	11,11				5,04 77,53	2,97 19,89	2,10 8,20	1,39 2,84	0,92 1,01	0,63 0,39	0,32 0,07
50	833	13,89				6,30 120,48	3,71 30,80	2,63 12,68	1,73 4,36	1,15 1,54	0,79 0,59	0,40 0,11
65	1083	18,06					4,83 51,63	3,42 21,19	2,25 7,26	1,50 2,55	1,02 0,97	0,53 0,18
80	1333	22,22					5,94 77,80	4,21 31,86	2,77 10,89	1,84 3,81	1,26 1,45	0,65 0,27
100	1667	27,78					7,43 120,99	5,26 49,47	3,47 16,87	2,30 5,88	1,57 2,22	0,81 0,42
120	2000	33,33						6,31 70,92	4,16 24,13	2,76 8,39	1,89 3,17	0,97 0,59
140	2333	38,89						7,36 96,23	4,85 32,70	3,22 11,35	2,20 4,27	1,13 0,79
160	2667	44,44						8,42 125,38	5,55 42,56	3,68 14,75	2,52 5,54	1,30 1,02
180	3000	50,00							6,24 53,71	4,14 18,59	2,83 6,97	1,46 1,28
200	3333	55,56							6,93 66,16	4,60 22,87	3,14 8,57	1,62 1,57
220	3667	61,11							7,63 79,91	5,06 27,60	3,46 10,33	1,78 1,89
240	4000	66,67							8,32 94,95	5,52 32,78	3,77 12,26	1,94 2,23
260	4333	72,22							9,01 111,29	5,98 38,39	4,09 14,35	2,11 2,61
280	4667	77,78								6,44 40,45	4,40 16,60	2,27 3,01
300	5000	83,33								6,90 50,96	4,72 19,02	2,43 3,45

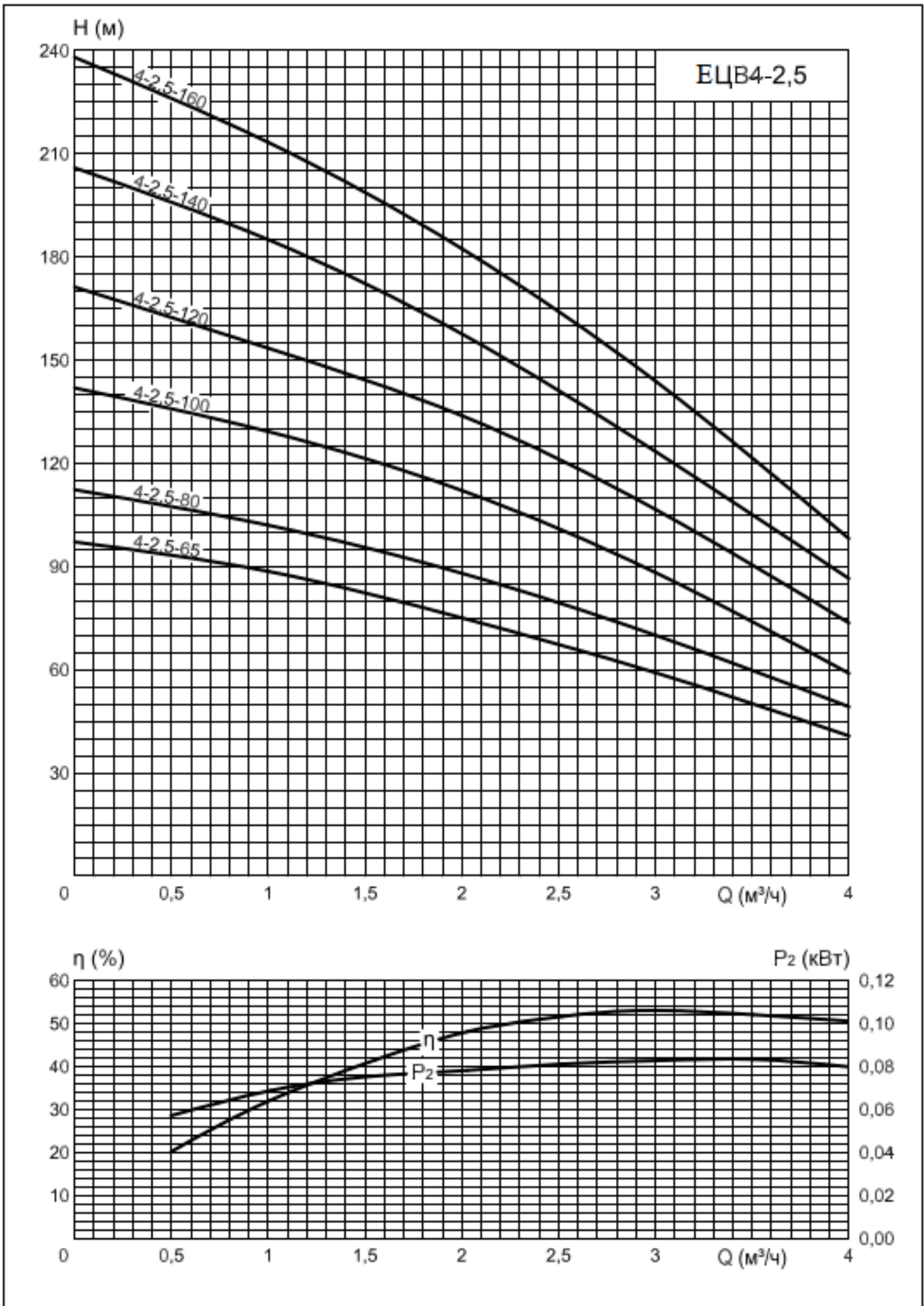
Додаток Е

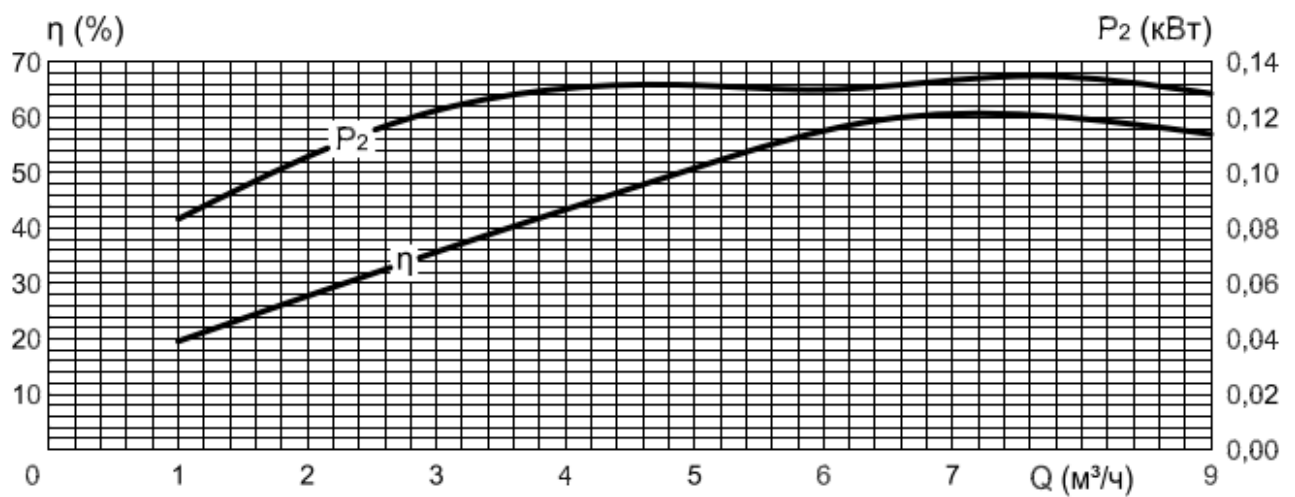
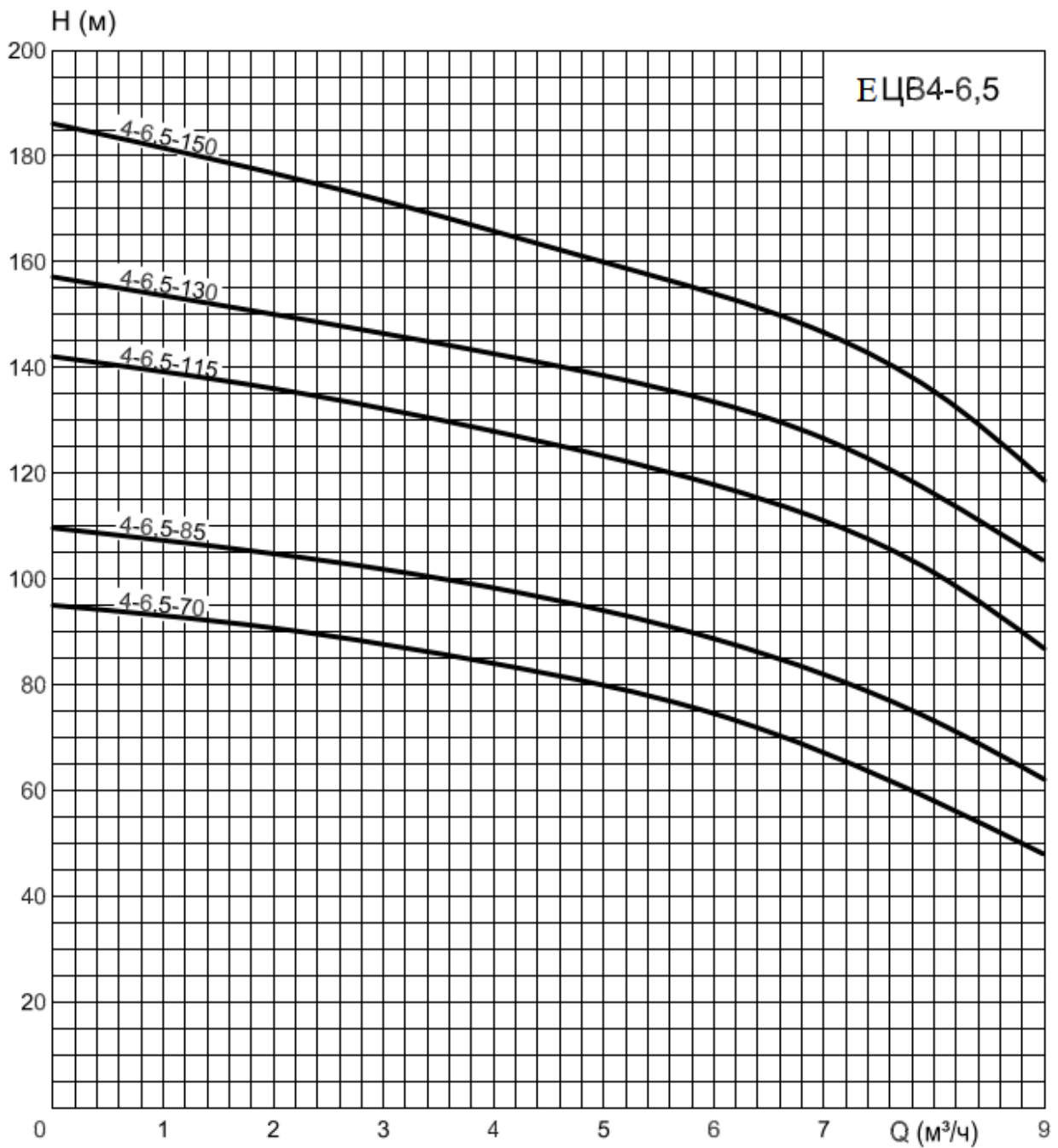
Характеристики свердловинних насосів ЕЦВ.

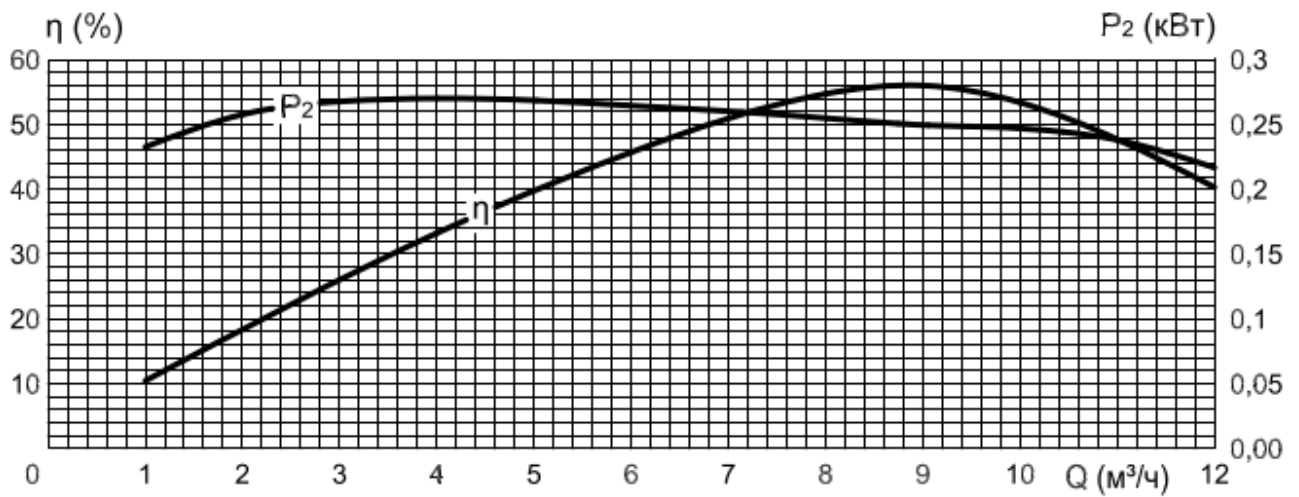
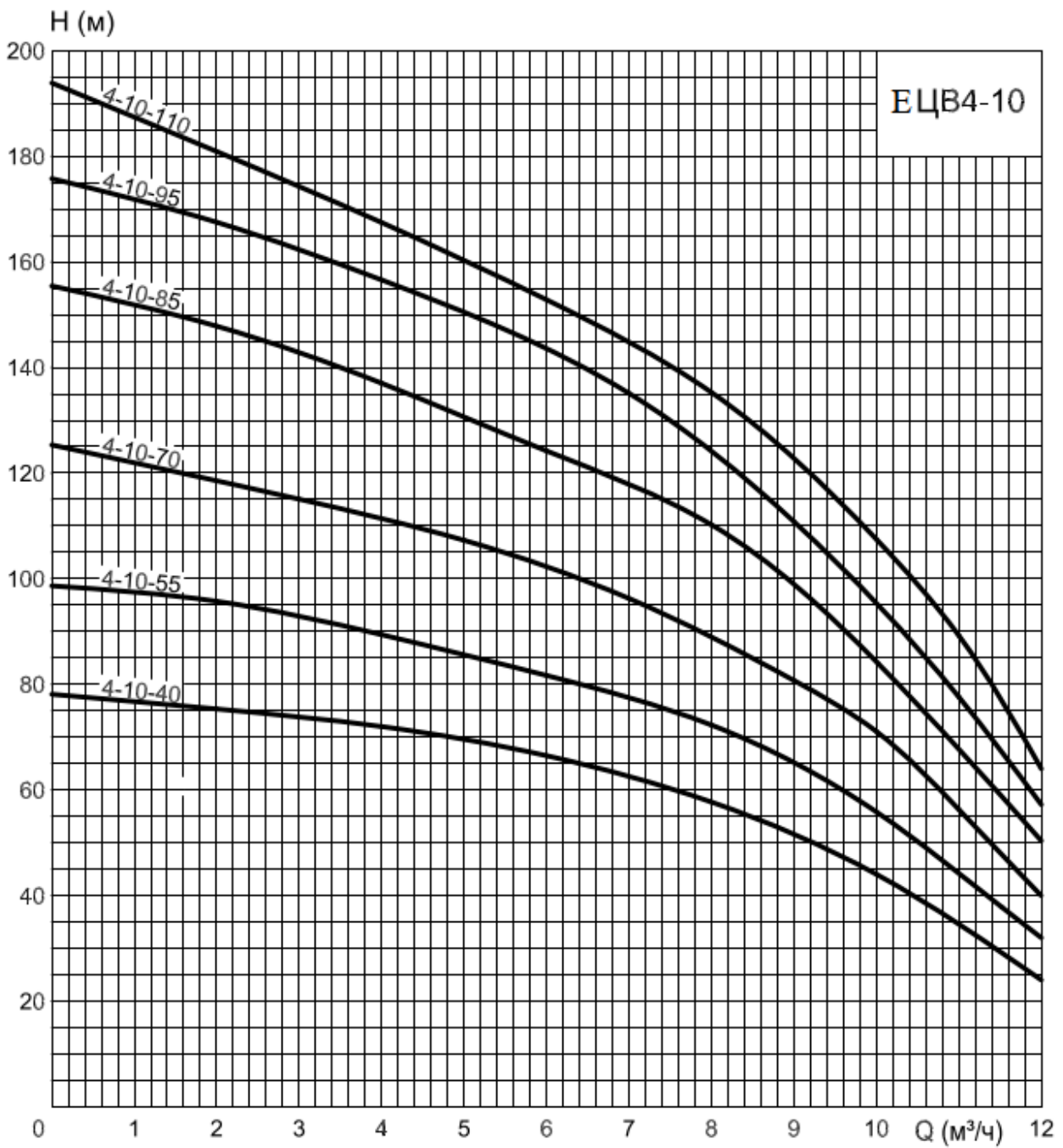
На наведених характеристиках крива потужності на валу P_2 для ЕЦВ4 насосів вказана для одного ступеня. Для визначення потужності насоса необхідно потужність одного ступеня помножити на їхню кількість.

ЕЦВ 4-Х

Тип	Електродвигун		Кількість ступенів
	Модель	P_2 кВт	
ЕЦВ 4-2,5-65	ПЕДВ 4-1,1	1,1	11
ЕЦВ 4-2,5-80	ПЕДВ 4-1,1	1,1	14
ЕЦВ 4-2,5-100	ПЕДВ 4-2,2	2,2	16
ЕЦВ 4-2,5-120	ПЕДВ 4-2,2	2,2	19
ЕЦВ 4-2,5-140	ПЕДВ 4-2,2	2,2	24
ЕЦВ 4-2,5-160	ПЕДВ 4-3	3	27
ЕЦВ 4-6,5-70	ПЕДВ 4-2,2	2,2	16
ЕЦВ 4-6,5-85	ПЕДВ 4-3	3	20
ЕЦВ 4-6,5-115	ПЕДВ 4-4	4	25
ЕЦВ 4-6,5-130	ПЕДВ 4-5,5	5,5	29
ЕЦВ 4-6,5-150	ПЕДВ 4-5,5	5,5	33
ЕЦВ 4-10-40	ПЕДВ 4-3	3	12
ЕЦВ 4-10-55	ПЕДВ 4-3	3	16
ЕЦВ 4-10-70	ПЕДВ 4-4	4	20
ЕЦВ 4-10-85	ПЕДВ 4-5,5	5,5	25
ЕЦВ 4-10-95	ПЕДВ 4-5,5	5,5	29
ЕЦВ 4-10-110	ПЕДВ 4-5,5	5,5	33

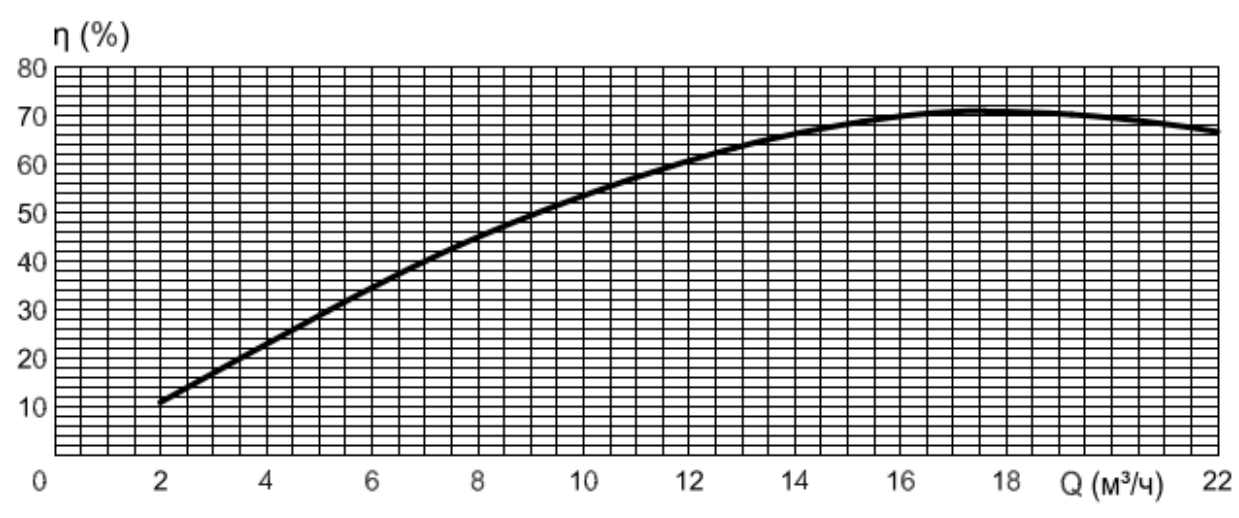
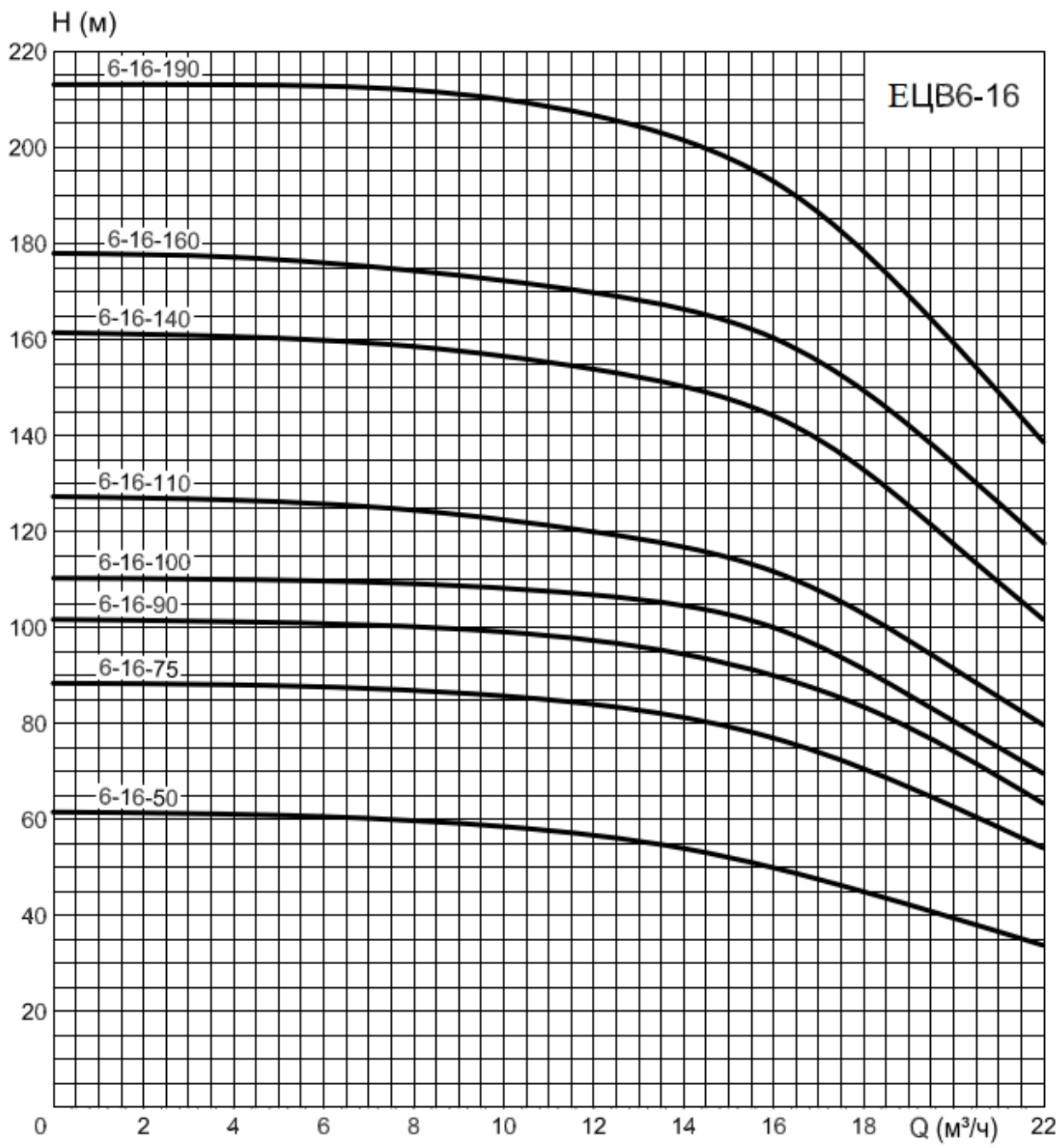






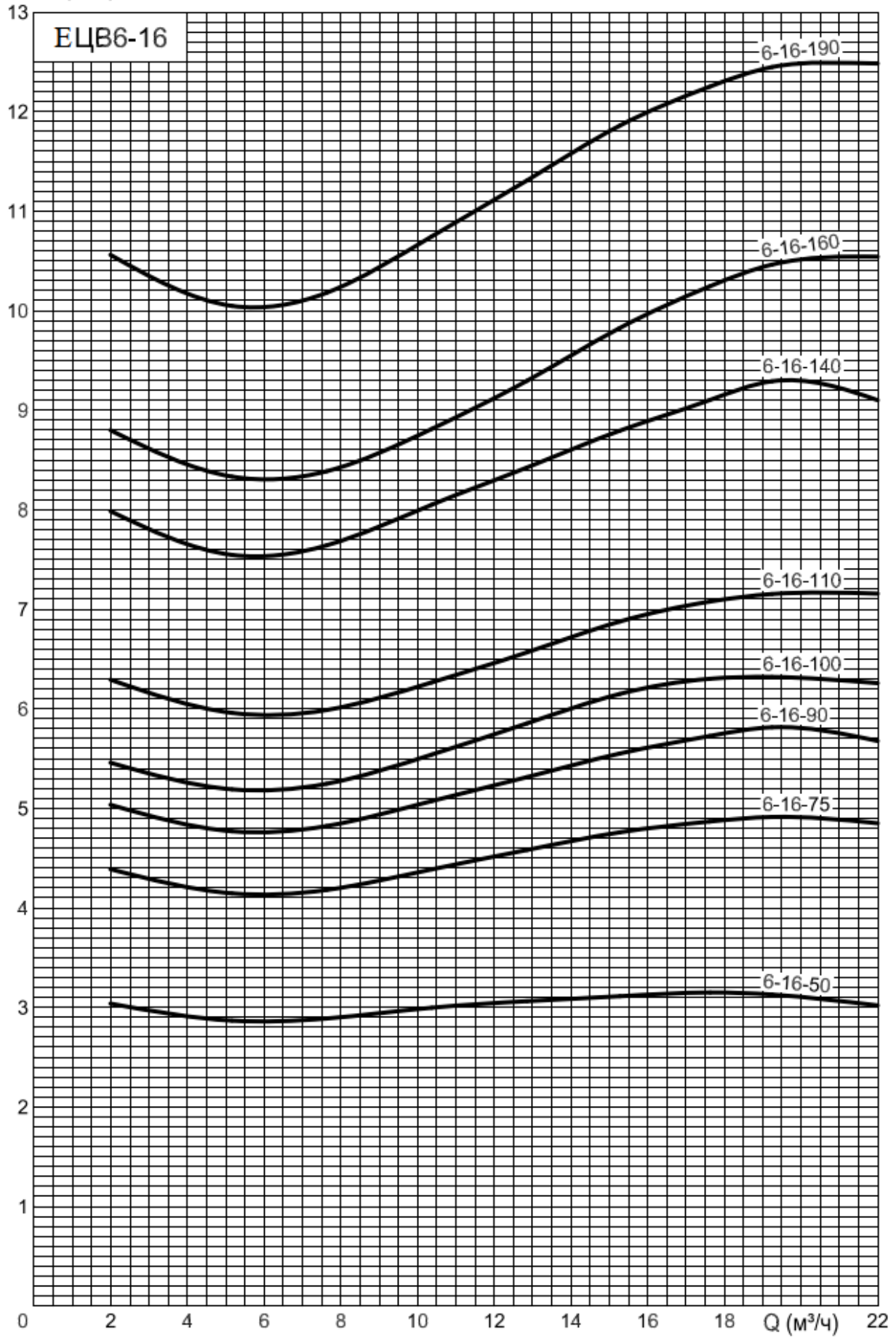
ЕЦВ 6-Х

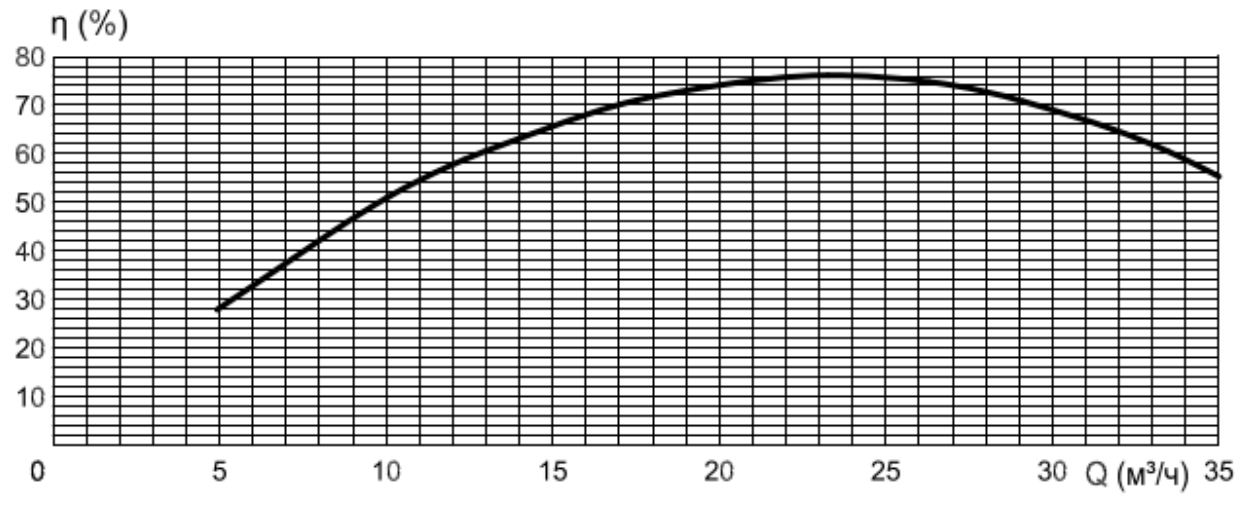
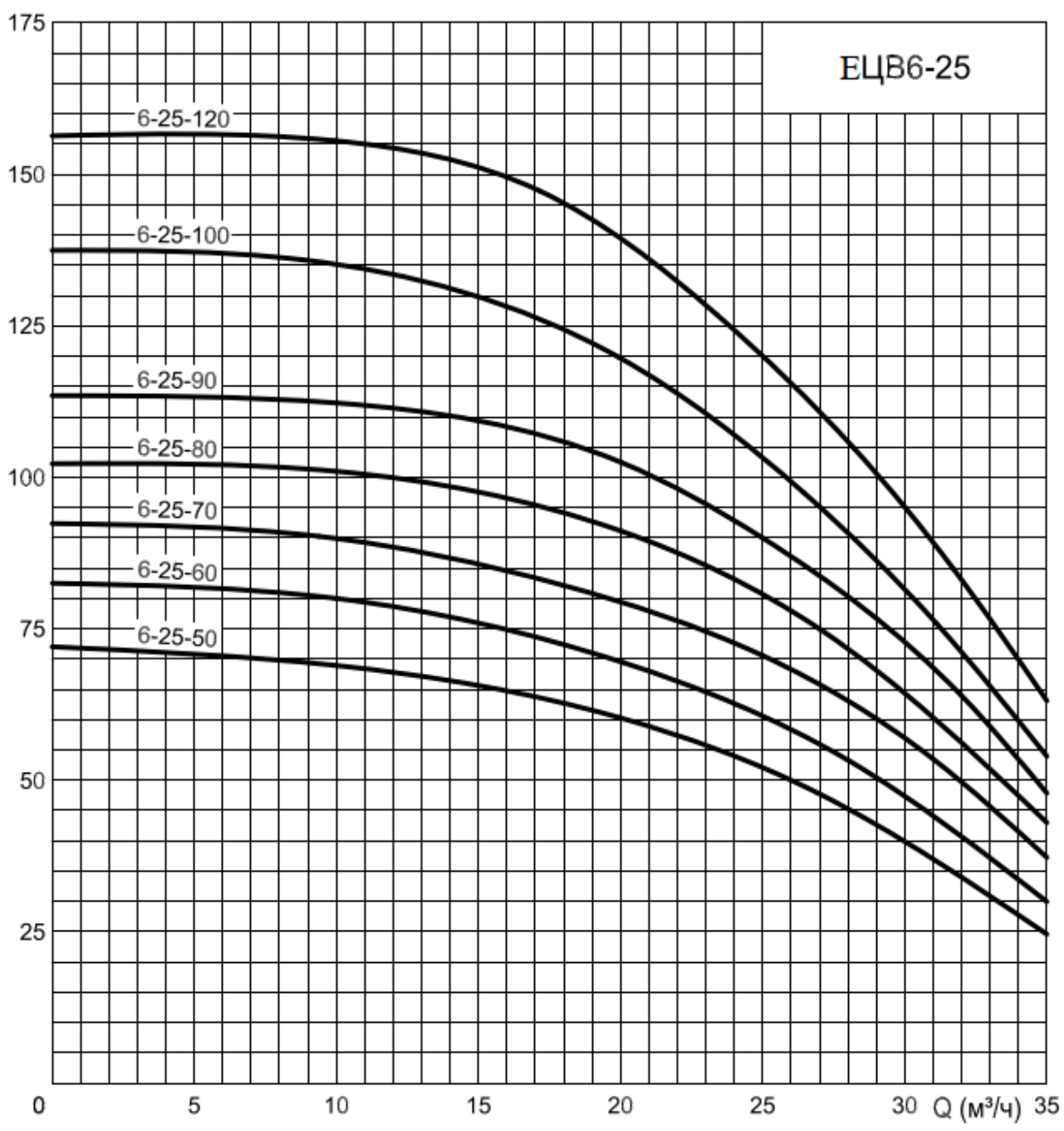
Тип	Электродвигун	
	Модель	P ₂ кВт
ЕЦВ 6-16-50	ПЕДВ 6-3	3
ЕЦВ 6-16-75	ПЕДВ 6-5,5	5,5
ЕЦВ 6-16-90	ПЕДВ 6-6,3	6,3
ЕЦВ 6-16-100	ПЕДВ 6-7,5	7,5
ЕЦВ 6-16-110	ПЕДВ 6-7,5	7,5
ЕЦВ 6-16-140	ПЕДВ 6-11	11
ЕЦВ 6-16-160	ПЕДВ 6-13	13
ЕЦВ 6-16-190	ПЕДВ 6-13	13
ЕЦВ 6-25-50	ПЕДВ 6-6,5	6,5
ЕЦВ 6-25-60	ПЕДВ 6-6,3	6,3
ЕЦВ 6-25-70	ПЕДВ 6-7,5	7,5
ЕЦВ 6-25-80	ПЕДВ 6-7,5	7,5
ЕЦВ 6-25-90	ПЕДВ 6-9	9
ЕЦВ 6-25-100	ПЕДВ 6-11	11
ЕЦВ 6-25-120	ПЕДВ 6-11	11

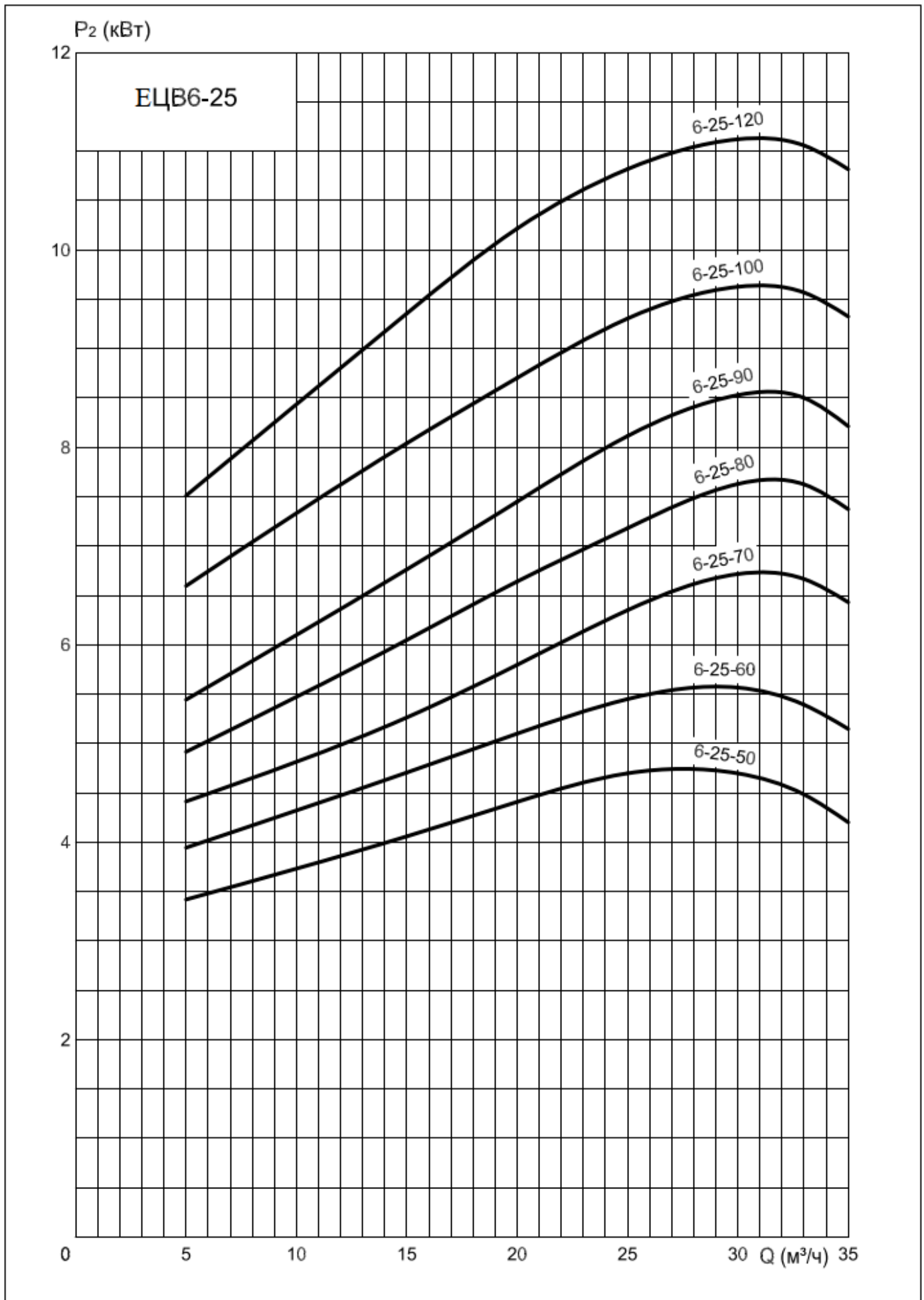


P_2 (кВт)

ЕЦВ6-16

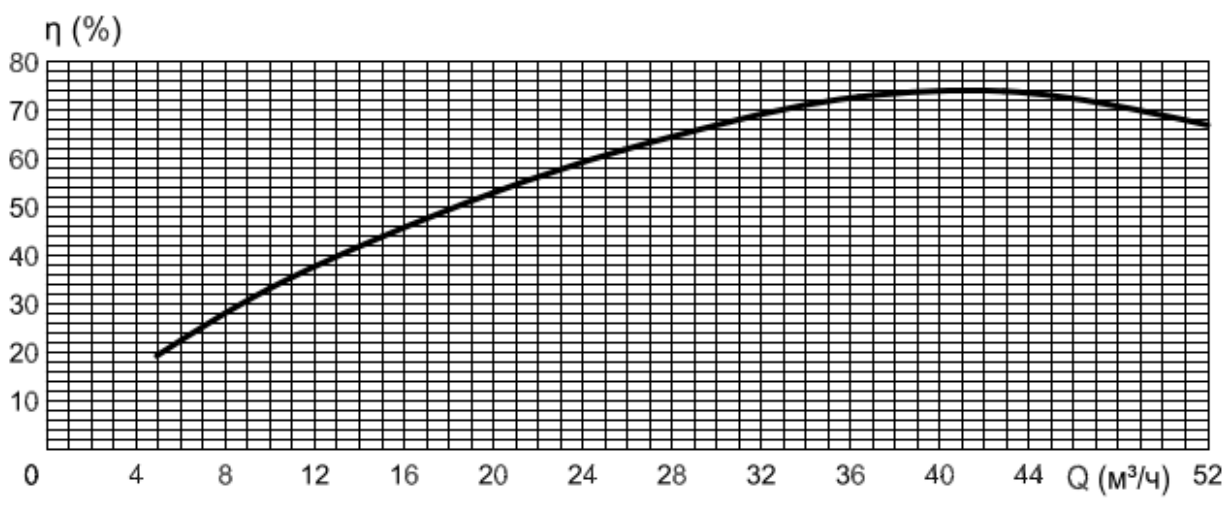
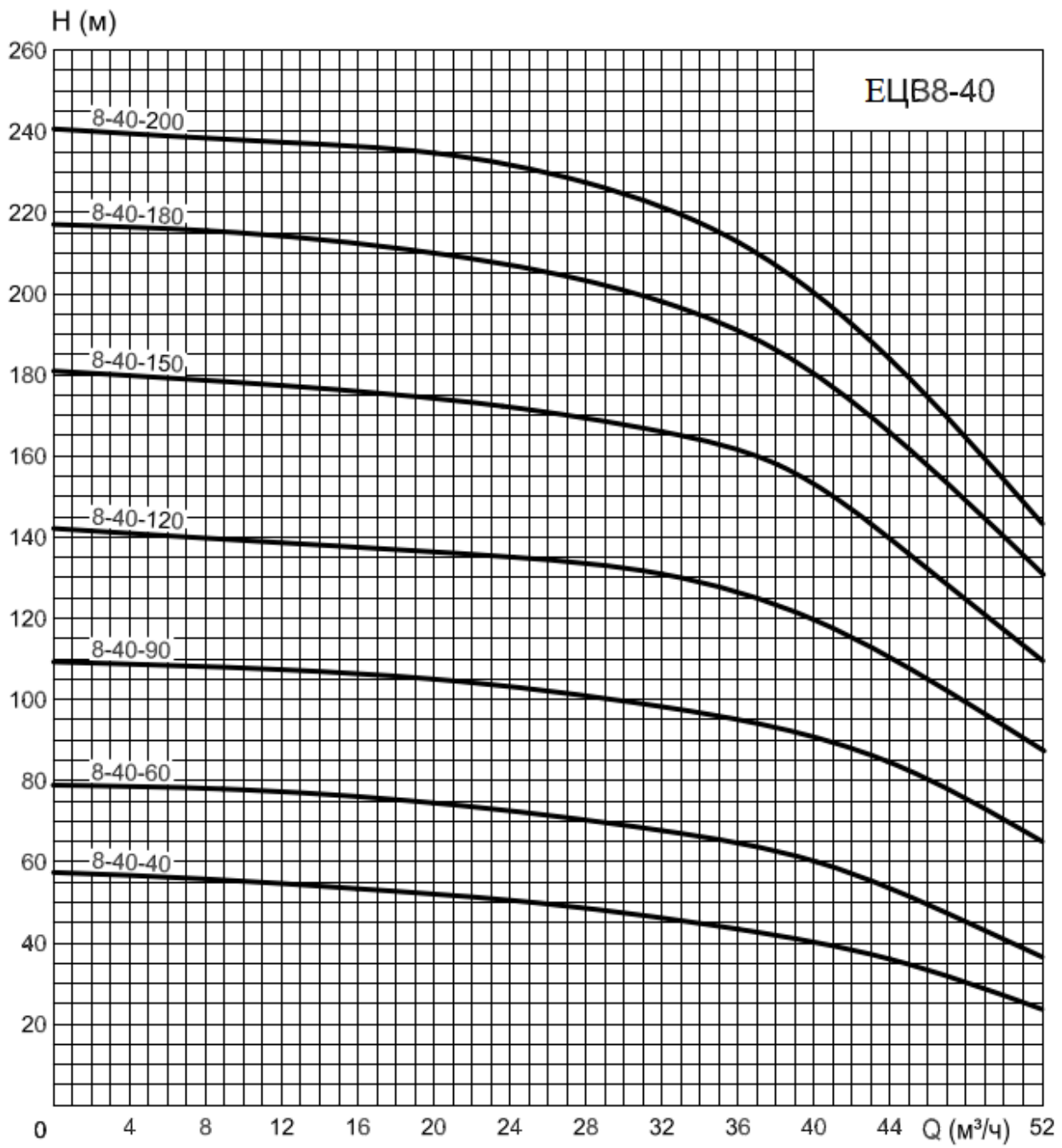


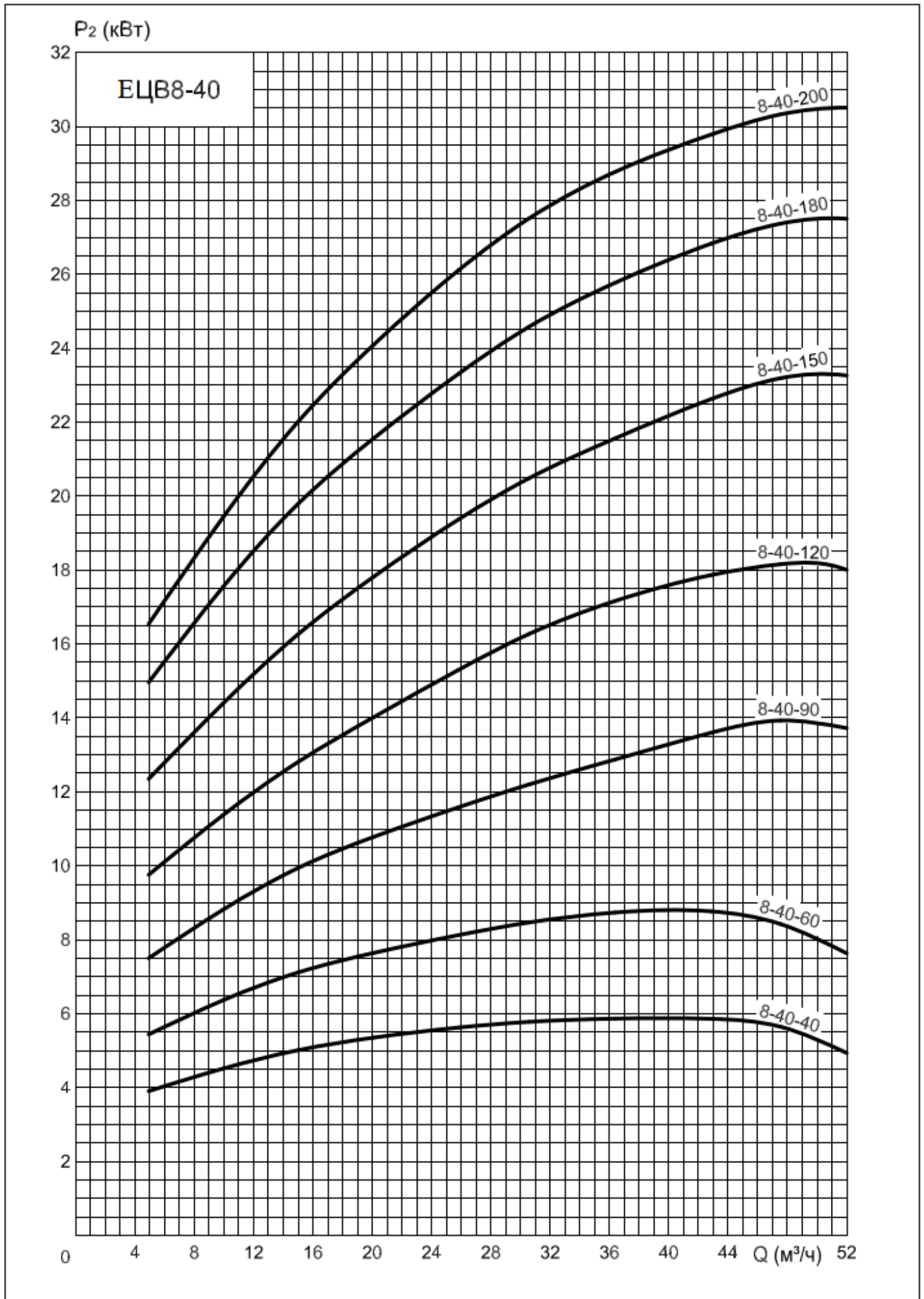


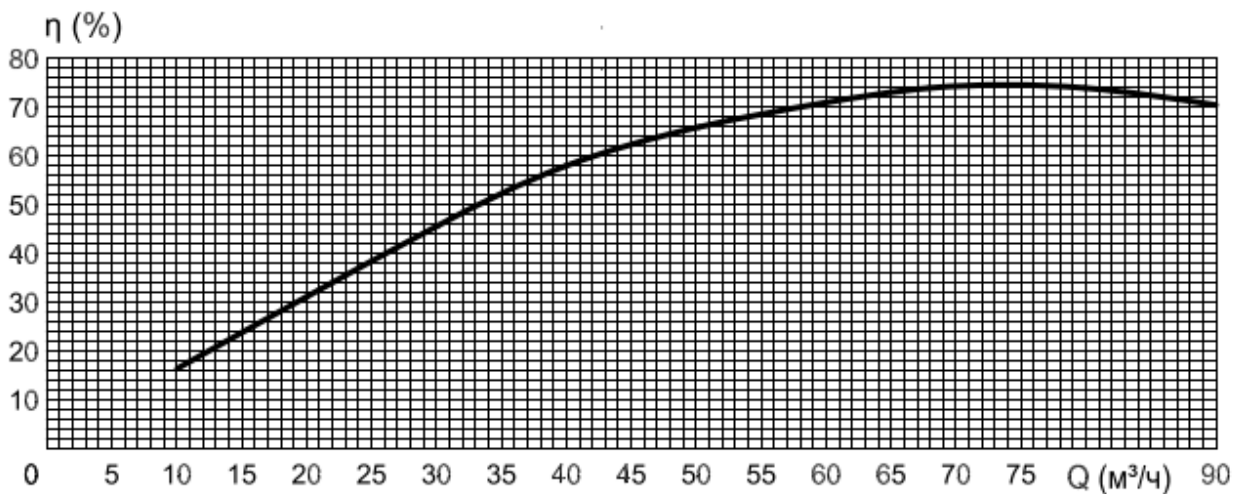
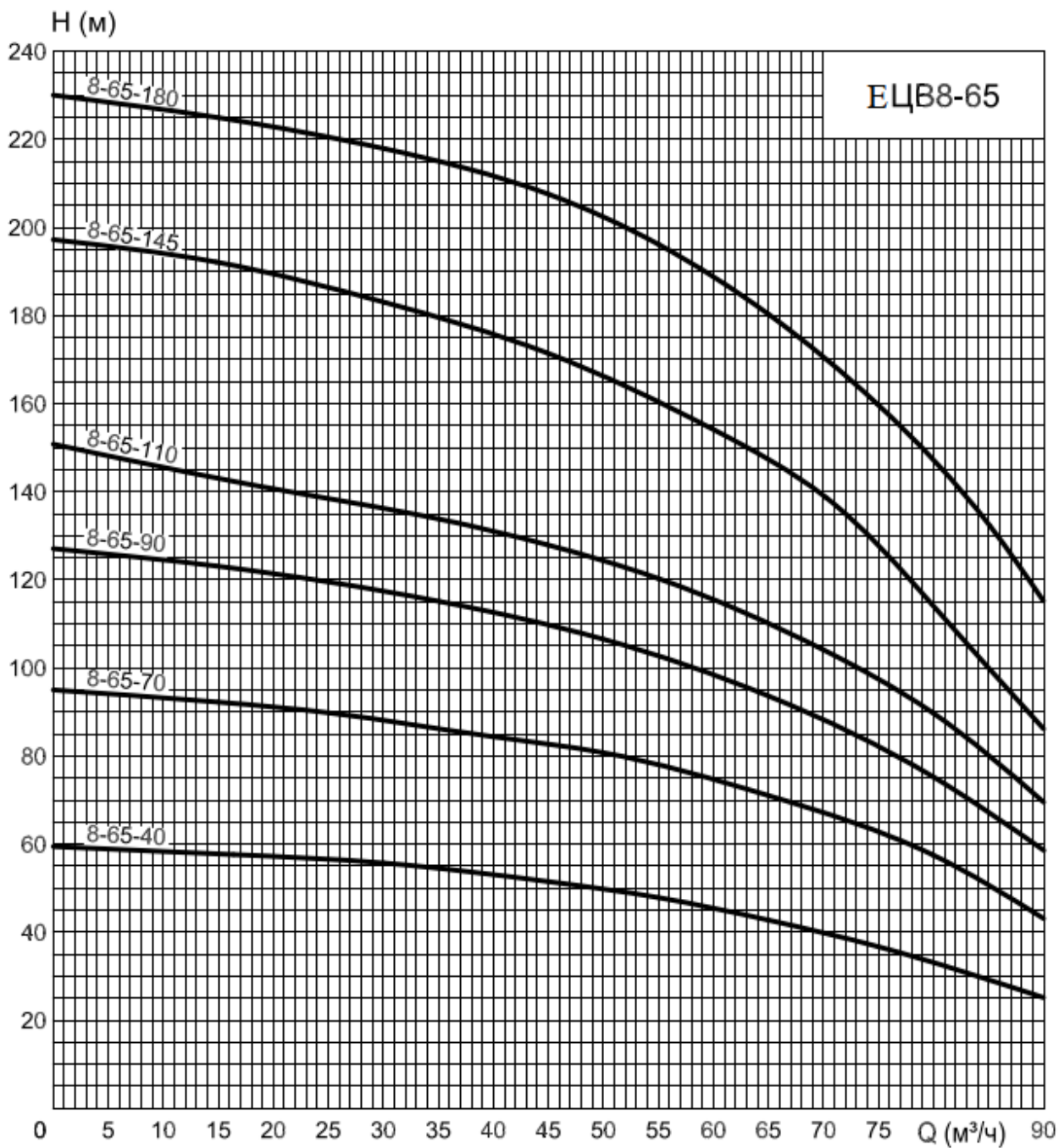


ЕЦВ 8-Х

Тип	Электродвигун	
	Модель	P ₂ кВт
ЕЦВ 8-40-40	ПЕДВ 6-3	3
ЕЦВ 8-40-60	ПЕДВ 6-11	11
ЕЦВ 8-40-90	ПЕДВ 8-17	17
ЕЦВ 8-40-120	ПЕДВ 8-22	22
ЕЦВ 8-40-150	ПЕДВ 8-32	32
ЕЦВ 8-40-180	ПЕДВ 8-32	32
ЕЦВ 8-40-200	ПЕДВ 8-45	45
ЕЦВ 8-65-40	ПЕДВ 8-17	17
ЕЦВ 8-65-70	ПЕДВ 8-22	22
ЕЦВ 8-65-90	ПЕДВ 8-32	32
ЕЦВ 8-65-110	ПЕДВ 8-32	32
ЕЦВ 8-65-145	ПЕДВ 8-45	45
ЕЦВ 8-65-180	ПЕДВ 8-45	45

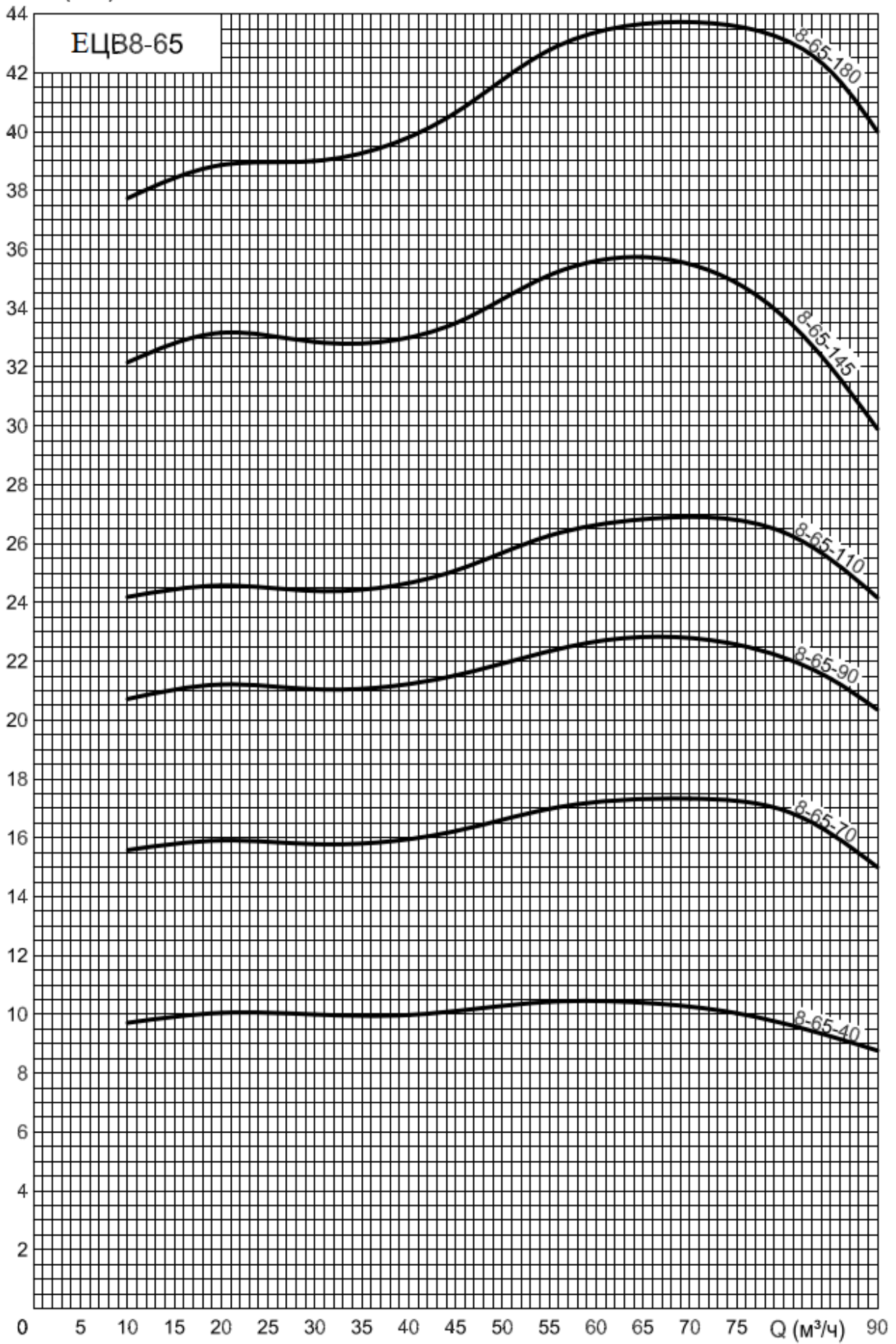






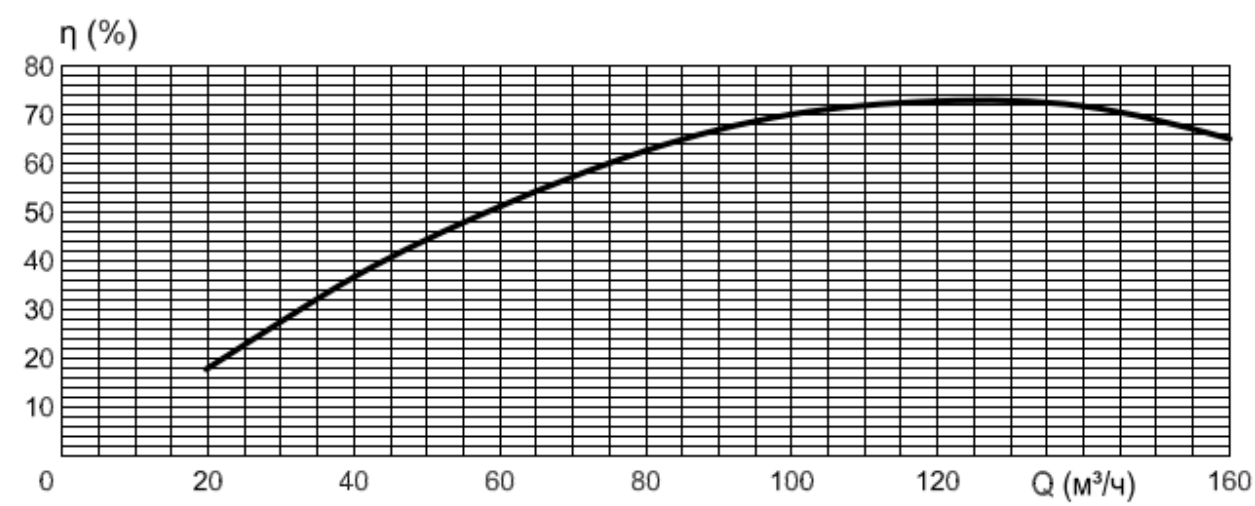
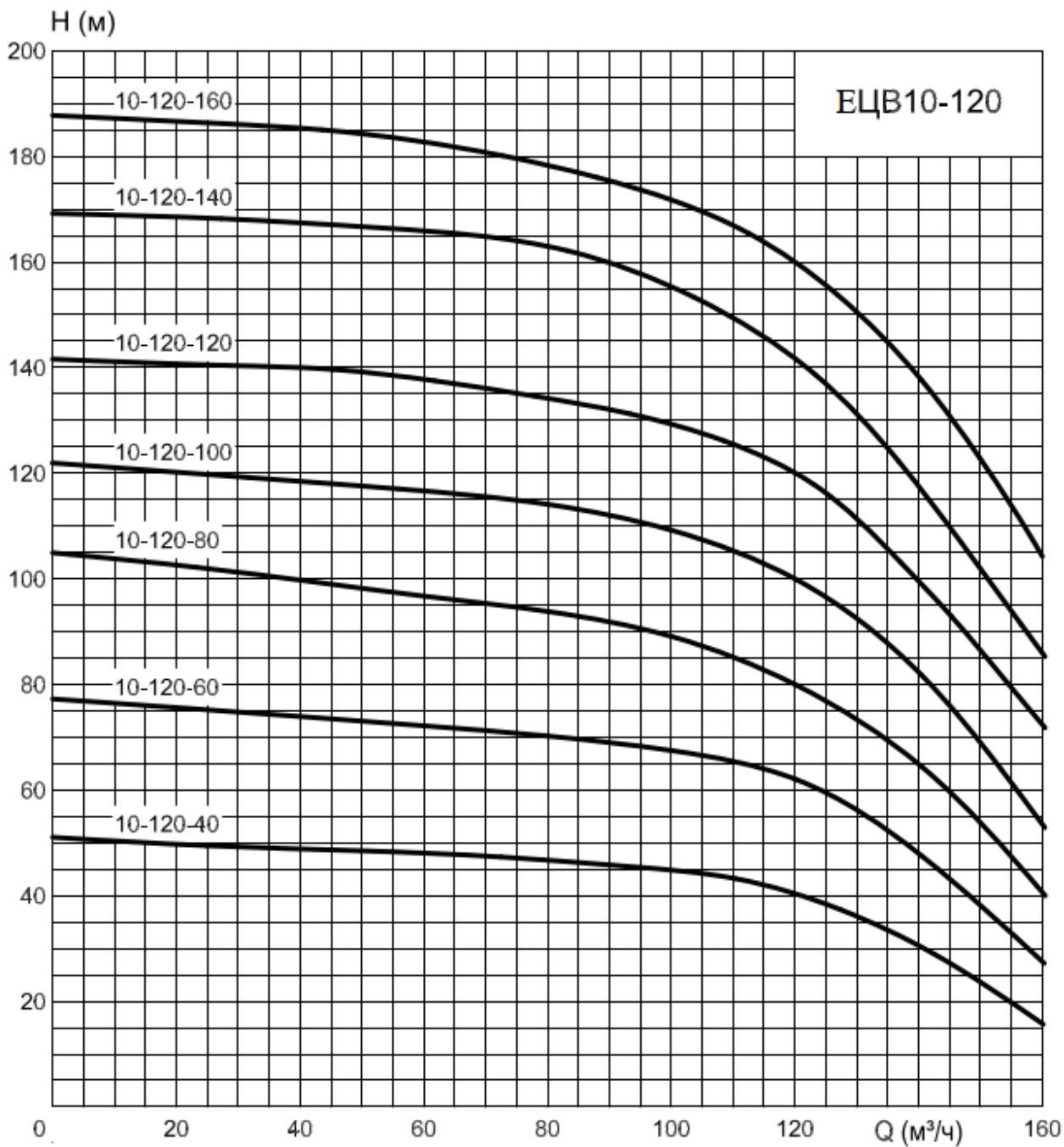
P_2 (кВт)

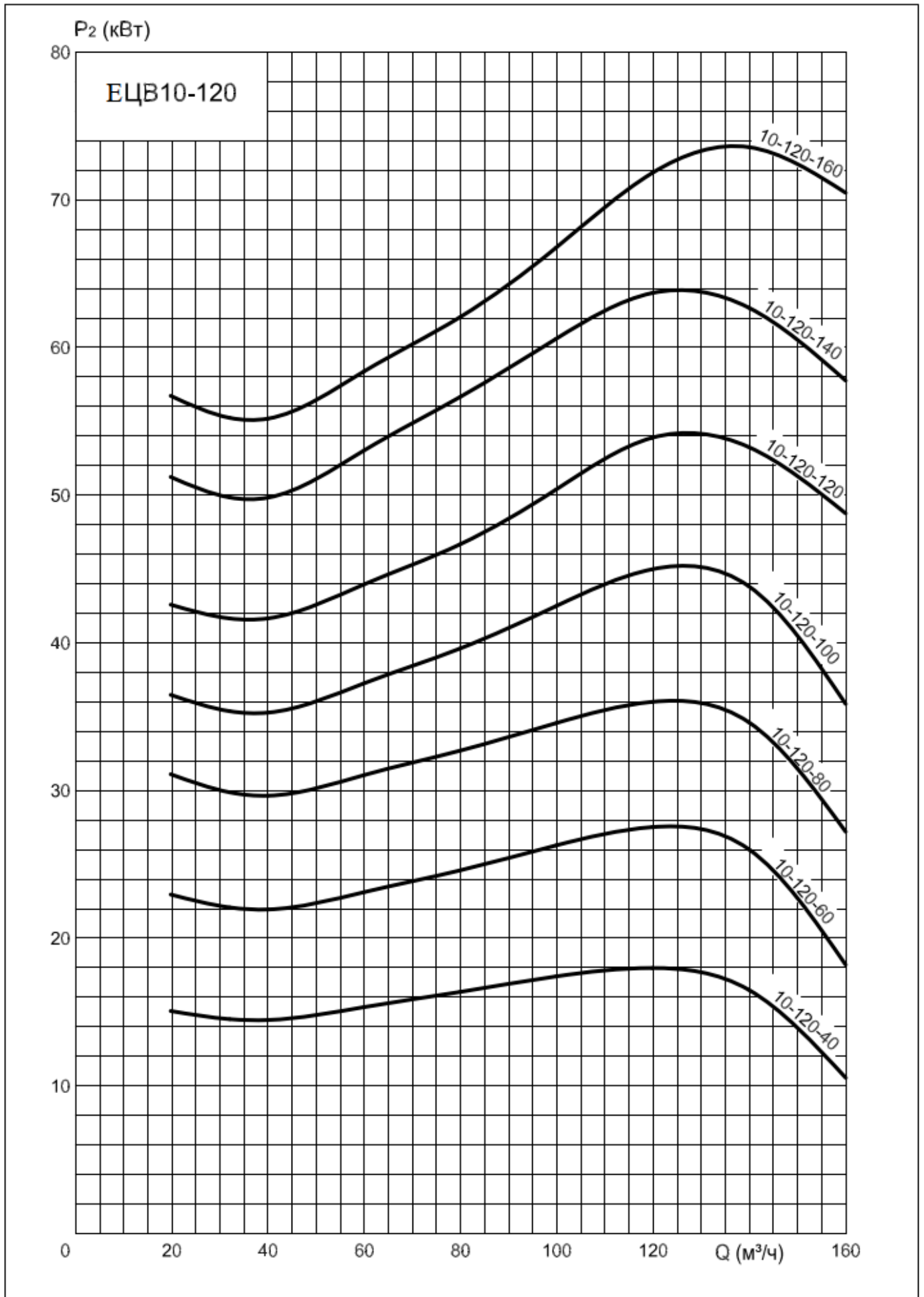
ЕЦВ8-65

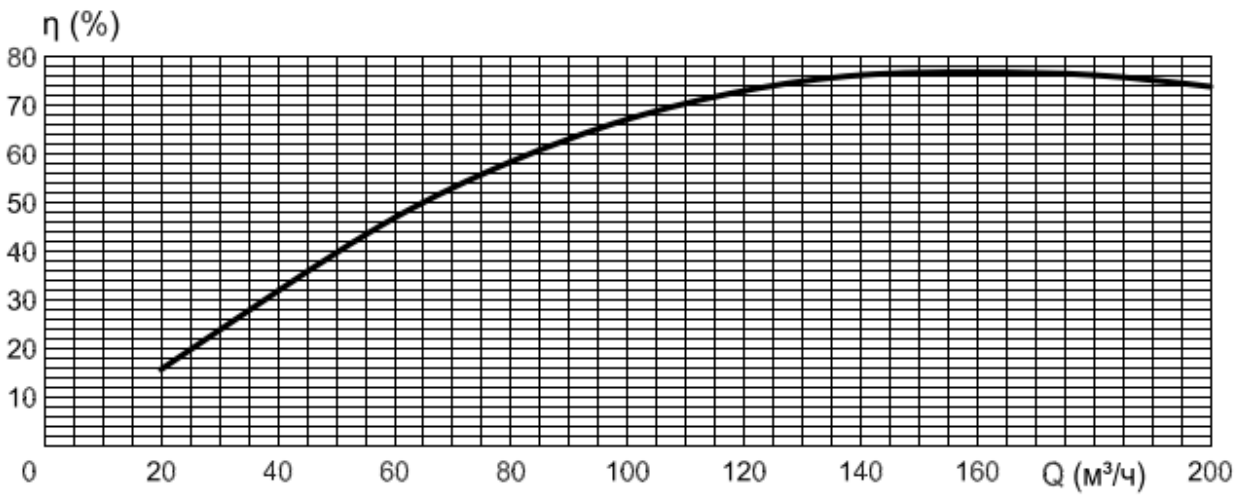
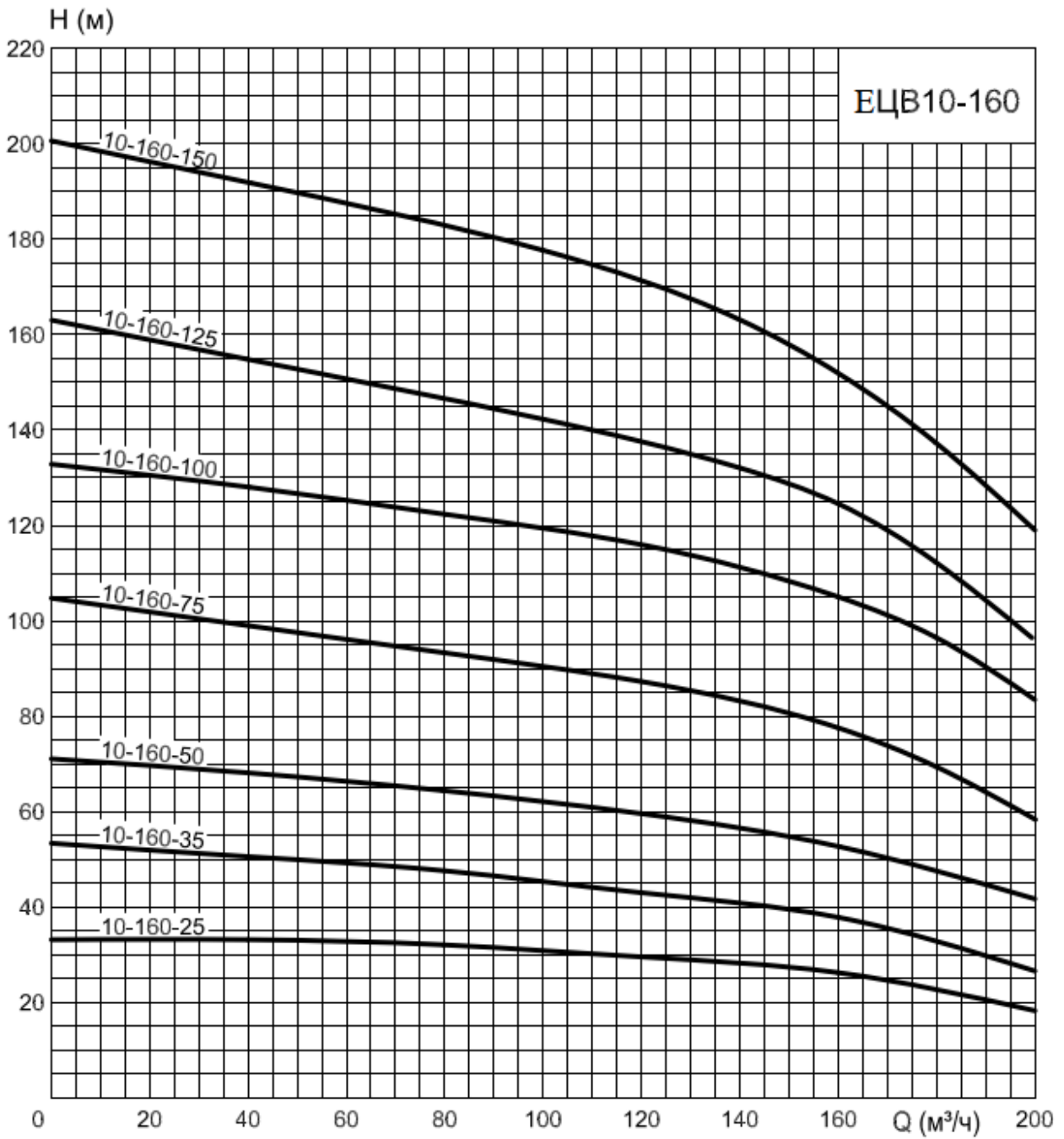


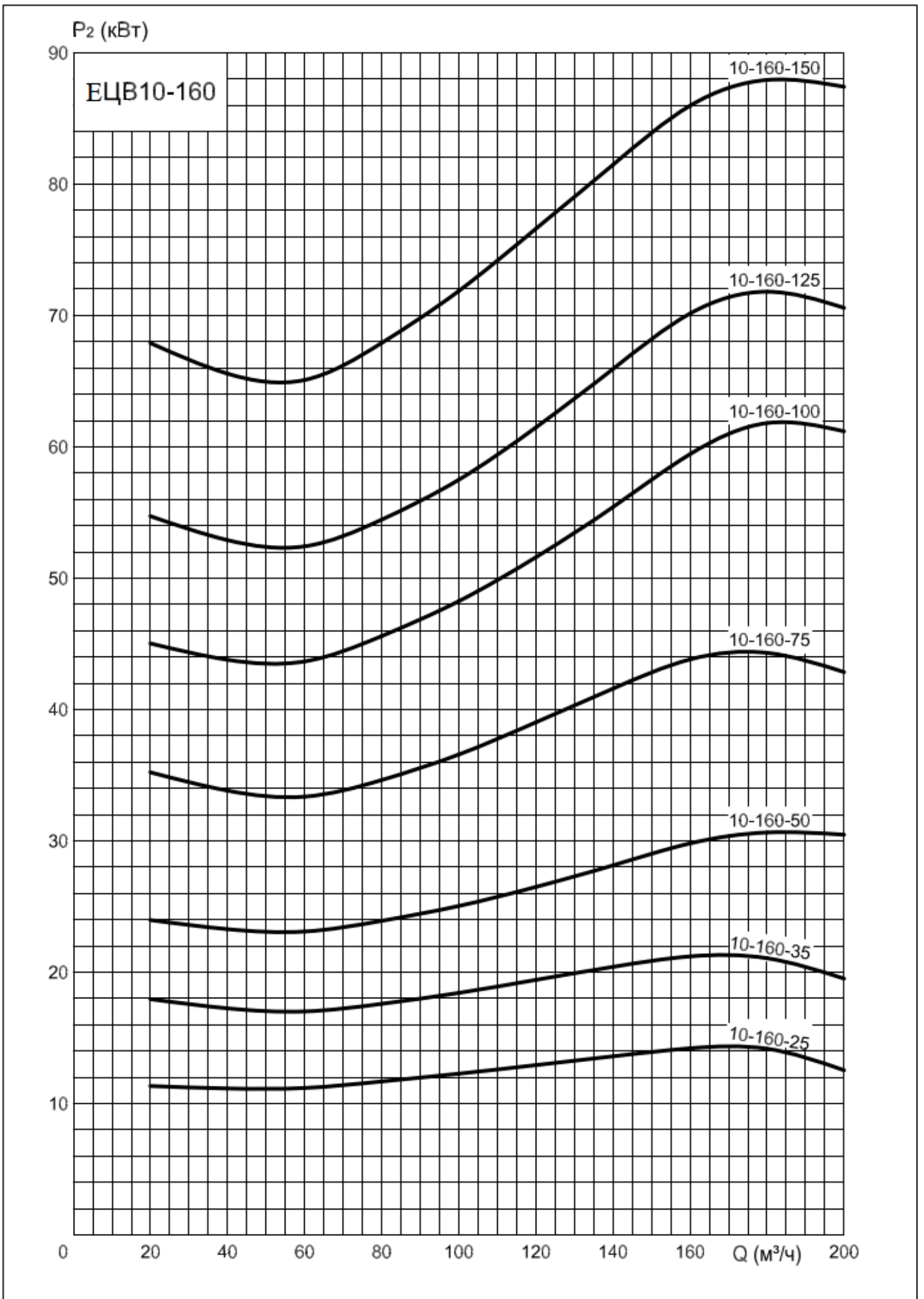
ЕЦВ 10-Х

Тип	Электродвигун	
	Модель	P ₂ кВт
ЕЦВ 10-120-40	ПЕДВ 10-22	22
ЕЦВ 10-120-60	ПЕДВ 10-33	33
ЕЦВ 10-120-80	ПЕДВ 10-33	33
ЕЦВ 10-120-100	ПЕДВ 10-45	45
ЕЦВ 10-120-120	ПЕДВ 10-65	65
ЕЦВ 10-120-140	ПЕДВ 10-90	90
ЕЦВ 10-120-160	ПЕДВ 10-90	90
ЕЦВ 10-160-25	ПЕДВ 8-17	17
ЕЦВ 10-160-35	ПЕДВ 10-22	22
ЕЦВ 10-160-50	ПЕДВ 10-33	33
ЕЦВ 10-160-75	ПЕДВ 10-45	45
ЕЦВ 10-160-100	ПЕДВ 10-65	65
ЕЦВ 10-160-125	ПЕДВ 10-75	75
ЕЦВ 10-160-150	ПЕДВ 10-90	90









Додаток Ж

Занурювальний асинхронний електродвигун ПЕДВ

Тип	Потужність $P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	$\frac{I_{ном}}{I_{пуск}}$	$\cos \varphi_{ном}$	ККД $\eta_{ном}$	$n_{ном}$, об./хв	Площа перерізу кабелю, мм ²
ПЕДВ 4-1,1	1,1	3,8	5	0,65	67	2820	1,5
ПЕДВ 4-2,2	2,2	8	5	0,62	68	2820	1,5
ПЕДВ 4-3	3	9	5	0,69	70	2820	6
ПЕДВ 4-4	4	11	5	0,73	72	2820	6
ПЕДВ 4-5,5	5,5	15	5	0,75	72	2820	6
ПЕДВ 5-2,2	2,2	8	5	0,65	65	2820	4
ПЕДВ 5-3	3	11	5	0,65	68	2820	4
ПЕДВ 5-4	4	12	5	0,7	72	2820	4
ПЕДВ 6-2,2	2,2	5,5	5	0,8	74	2850	4
ПЕДВ 6-3	3	8	5	0,8	74	2850	4
ПЕДВ 6-4	4	10	5	0,81	76	2850	4
ПЕДВ 6-5,5	5,5	13	5	0,82	80	2850	4
ПЕДВ 6-6,3	6,3	15	5	0,82	81	2850	4
ПЕДВ 6-7,5	7,5	17	5	0,82	81	2850	4
ПЕДВ 6-9	9	20	5	0,83	82	2850	4
ПЕДВ 6-11	11	24	5	0,83	82	2850	4
ПЕДВ 6-13	13	33	5	0,83	82	2850	4
ПЕДВ 8-17	17	38	5	0,82	82	2850	10
ПЕДВ 8-22	22	48	5	0,83	84	2850	10
ПЕДВ 8-32	32	70	5	0,85	84	2850	10
ПЕДВ 8-45	45	95	5	0,85	85	2850	10
ПЕДВ 10-22	22	48	5	0,84	83	2880	10
ПЕДВ 10-33	33	68	5	0,85	84	2880	16
ПЕДВ 10-45	45	93	5	0,86	85	2880	16
ПЕДВ 10-55	55	114	5	0,85	86	2880	35
ПЕДВ 10-65	65	135	5	0,85	86	2880	35
ПЕДВ 10-75	75	154	5	0,86	86	2880	35
ПЕДВ 10-90	90	185	5	0,86	86	2880	35
ПЕДВ 12-110	110	235	5	0,82	86	2890	50
ПЕДВ 12-130	130	285	5	0,82	86	2890	50

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Решетник В. Конспект лекцій з дисципліни «Основи електроприводу» для студентів денної і заочної форм навчання напряму 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Віктор Решетник, Тетяна Концограда // ТНТУ ім. І. Пулюя. - Тернопіль : 2017. - 151 с
2. Савченко П.І., Лавріненко О.Ю. Основи електроприводу: підручник / Савченко П.І., Лавріненко О.Ю., Синявський О.Ю., Войтюк В.В., Савченко І.М., Голодний І.М. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017 – 524 с.
3. Василега, П.О. Електропривод робочих машин: навчальний посібник / П.О. Василега, Д.В. Муріков. - Суми: Університетська книга, 2019. - 228 с.
4. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018.
5. Лисиченко М.Л., Савченко П.І., Тищенко О.К., Гузенко В.В. Електропривод. Посібник до виконання лабораторних та практичних занять – Харків: Факт, 2015.–270с.
6. Решетник В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи електроприводу» для студентів денної і заочної форм навчання напряму 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Віктор Решетник, Тетяна Концограда // ТНТУ ім. І. Пулюя. - Тернопіль: 2017. – 54 с.
7. Microprocessor Control of the Electric Drive of Variable Radiation Installation and Ensuring of Operation Reliability // Andriychuk V., Kostyk, L., Filiuk Ya., Nakonechnyi M., Babiuk S. (2024). Science and Innovation, 2024. 20(5). Pp.62–70.
8. Електропривід рухомої опромінювальної установки / Андрійчук Володимир, Наконечний, Мирослав, Філюк, Ярослав, Костик Любов, Козак Іван //Вісник Хмельницького національного університету: 2023. — №6. —С. 44-48.
9. Андрійчук В.А., Філюк Я.О. Основи електроприводу [електронний ресурс]: // Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 823): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/users/index.php>.