



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва, інформаційних
та управлінських технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Артем РУХЛОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у
металургії та гірництві»
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка (G3 Електрична інженерія)
**на тему «Підвищення енергоефективності роботи насосної станції
технологічного водопостачання»**

Керівник роботи

Артем РУХЛОВ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними.*

Здобувач

Василь КІНШАКОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Денис КОНОНЮК

Запоріжжя 2026



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія)
ОПП	Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Артем РУХЛОВ

02.03.2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Кіншакова Василя Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності роботи насосної станції технологічного водопостачання

керівник роботи Рухлов Артем Володимирович, доцент, кандидат технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 23.02.2026 р. №41/23.02.2026

2. Термін подання роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з енергоефективності, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ЦГЗК, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, технологічний процес, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції, постановка задач з підвищення енергоефективності роботи насосної станції технологічного водопостачання). 2. Спеціальний розділ (2.1. Розрахунок характеристики зовнішньої трубопровідної мережі. 2.2. Визначення робочих параметрів насосів за існуючого режиму. 2.3. Дослідження режимних параметрів роботи насосів при застосуванні систем регульованого електроприводу). 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів. 4. Безпека праці у предметній області. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Функціональна схема насосної станції технологічного водопостачання. Принципова схема ЗРУ-6 кВ п/ст № 4 35/6 кВ. Структурна схема системи регульованого електроприводу. Результати розрахунків режимних енергетичних параметрів роботи насосної станції.



6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Аналіз предметної області	доц. Рухлов А.В.
Спеціальний розділ	доц. Рухлов А.В.
Економічне обґрунтування запропонованих заходів	доц. Рухлов А.В.
Безпека праці у предметній області	доц. Рухлов А.В.

7. Дата видачі завдання 05.12.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	01.03.2026
2	Розділ 2. Спеціальний розділ	25.03.2026
3	Розділ 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів	28.04.2026
4	Розділ 4. Безпека праці у предметній області	18.05.2026
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	01.06.2026
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	12.06.2026
7	Остаточне оформлення роботи та графічного (презентаційного) матеріалу	17.06.2026
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	22.06.2026

Здобувач

Василь КІНШАКОВ

Керівник роботи

Артем РУХЛОВ



АНОТАЦІЯ

Кіншаков Василь Юрійович. Підвищення енергоефективності роботи насосної станції технологічного водопостачання. 51 сторінку машинописного тексту, 36 рисунків, 6 таблиць, 21 джерел. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія). ОПП «Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єкт дослідження: процес технологічного водопостачання дробарної та збагачувальної фабрик.

Предмет дослідження: показники режимів роботи та електроспоживання насосних агрегатів.

Мета роботи: знизити енергоспоживання насосними агрегатами при повноцінному забезпеченні процесу технологічного водопостачання.

У першому розділі проаналізована предметна область насосної станції технологічного водопостачання. Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи електропостачання. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи електроприводу та сформульована проблема, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі визначені робочі параметри насосних агрегатів за існуючого режиму та при впровадженні системи регульованого електроприводу на базі частотного перетворювача. Розроблена структурна схема системи регульованого електроприводу. Обґрунтовані енергетичні показники роботи насосних агрегатів за умов реалізації запропонованих заходів.

У третьому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження системи регульованого електроприводу.

У четвертому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва та рекомендації щодо поліпшення умов праці інженерів-електриків дільниці технологічного водопостачання.

НАСОСНА СТАНЦІЯ, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, РЕЖИМ РОБОТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	7
1.1 Основні відомості про насосну станцію зворотного водопостачання	7
1.2 Основні відомості про технологічний процес та режим роботи	9
1.3 Аналіз методів та обґрунтування необхідності регулювання режимів роботи лопатевих насосів.....	12
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Розрахунок характеристики зовнішньої трубопровідної мережі. Побудова робочої характеристики системи	17
2.2 Визначення робочих параметрів насосів за існуючого режиму. Побудова робочої характеристики насосних агрегатів	22
2.3 Аналіз режимів роботи насосних агрегатів.....	27
2.4 Вибір частотного перетворювача	36
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	38
3.1 Розрахунок економічного ефекту.....	38
3.2 Висновки до розділу	40
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ	41
4.1 Інструкція з охорони праці	41
4.1.1 Загальні вимоги охорони праці.....	41
4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи	42
4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи.....	43
4.1.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи	44
4.1.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	45
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	46
4.2 Висновки до розділу	47
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49
ДОДАТОК А СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	51



ВСТУП

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та модернізація роботи насосної станції зворотного водопостачання та розробка методів економічно обґрунтованого режиму роботи. Огляд існуючих методів регулювання параметрів насосної станції в умовах технологічного водопостачання ПрАТ «ЦГЗК».

Насосна станція першого підйому є основним засобом постачання технічної води до споживачів. Робота насосної станції в процесі замкнутого циклу збагачення залізної руди характеризується постійним характером навантаження, зміни в режимі роботи виникають при зміні параметрів залізної руди та при технічному обслуговуванні чи ремонті частини обладнання збагачувальної фабрики або систем розподілу. Під час таких змін в технологічних процесах необхідно регулювати параметри та режими роботи насосної станції.

Збагачення залізної руди є одним з основних виробничих процесів підприємства, яке дозволяє виробляти кінцевий продукт – залізні окатиші. Під час збагачення залізної руди використовується велика кількість води, а саме для роботи млинів, класифікаторів, гідроциклонів, дишламаторів. Вода дозволяє транспортувати збагачену залізним концентратом суміш до вакуум фільтрів. Від стабільності технічного водопостачання та економічності режимів роботи залежить кінцева собівартість продукції.

Основним обладнанням яке забезпечує стабільну подачу технічної води є відцентрові насоси двостороннього входу, від режимів роботи насосних агрегатів залежить економічність використання електричної енергії.

Основним завданням випускної роботи є аналіз роботи насосної станції, покращення режимів роботи насосних агрегатів та скорочення витрат електричної енергії.

Доступні методи регулювання продуктивності насосної станції першого підйому технічної води такі як дроселювання та режим байпасу (перепуск води із збірного колектору насосної станції на колектор всасу насосних агрегатів), не дозволяє економити електричну енергію при компенсації надмірного тиску, який створюють насосні агрегати.

Вибір кількості працюючих агрегатів дозволяють регулювати лише подачу в малому діапазоні. Впровадження частотно-регульованого електроприводу дозволить регулювати параметри в більш ширшому діапазоні, із забезпеченням необхідних параметрів по тиску та продуктивності.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Основні відомості про насосну станцію зворотного водопостачання

Насосна станція - це комплекс гідротехнічних споруд та обладнання, що забезпечує забір води з джерел і транспортування її за допомогою насосних агрегатів до напірного басейну або місця використання [1].

Насосна станція зворотного водопостачання першого підйому, зображена на рисунку 1.1 (далі – НСЗВ), введена в експлуатацію у 1981 році та розташована на підприємстві Центрального гірничо-збагачувального комбінату (далі – ЦГЗК). Основне призначення – транспортування технічної води з водосховища до споживача. Водосховище призначене для кінцевого зберігання технічної води після використання у замкненому циклі збагачення залізної руди.



Рисунок 1.1 – Насосна станція зворотного водопостачання ЦГЗК

Основне обладнання НСЗВ – це відцентрові насоси двостороннього входу типу Д 6300-80-2-С та Д 2500-62-2-С. Насоси типу Д 6300-80-2-С працюють в парі з електродвигуном СДН2 17-44-8УЗ або з СДН2 17-56-8УЗ.

Тип двигунів, насосів та обточок робочого колеса по диспетчерським назвам НА наведено в табл. 1.1.

Насос – гідромашина яка перетворює механічну енергію валу електродвигуна на гідравлічну енергію гідромашини. Основні параметри насосів це – витрата (Q), напір (H), споживана потужність насосом (N),



коефіцієнт корисної дії насоса (η), кавітаційний запас (Δh). Загалом встановлено 11 насосних агрегатів які працюють в різних режимах. Залежно від об'єму необхідної води, паралельно включаються певні насосні агрегати.

Таблиця 1.1 – Типи та параметри насосних агрегатів згідно диспетчерським назвам

Дисп. Назва	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11
Тип насоса	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д2500-62-2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С	Д6300-80--2С
Обточка робочого колеса, мм.	Ремонт	870	С, 915	С, 915	С, 915	870	Станд	С, 915	С, 915	Ремонт	870
Тип двигуна		СДН2 17-56-8У3	СДН2 17-44-8У3	СДН2 17-44-8У3	СДН2 17-44-8У3	СДН2 17-44-8У3	ДАЗО4-450	СДН2 17-44-8У3	СДН2 17-44-8У3		СДН2 17-56-8У3
Потужність, кВт.		2000	1600	1600	1600	1600	630	1600	1600		2000
ККД, %		96,2	95,9	95,9	95,9	95,9	95	95,9	95,9		96,2

Важливими елементами стабільної роботи НСЗВ є засувки та зворотні клапани. Зворотні клапани запобігають проходженню технічної води через лопаті насоса, що може спричинити неконтрольоване обертання ротору. Такий режим роботи може спричинити аварійну ситуацію та вихід з ладу насосного агрегату. Зворотній клапан закривається під дією тиску води з напірного колектора, коли тиск на виході насосу переважає тиск в колекторі – зворотній клапан відкривається. Засувки призначені для від'єднання певних частин системи розподілу води для проведення ремонтних робіт та унеможлиблює протікання води в зворотному напрямку до насосного агрегату. Загальний вид НСЗВ наведено на рисунку 1.2.

Для забезпечення безпечних умов ремонту трубопроводів та елементів систем розподілу встановлені скидні засувки, через які вода з трубопроводів надходить в ставок гідрозахисту.

Для моніторингу стану обладнання встановлені кінцеві вимикачі, давачі тиску, реле стану обладнання (включене або виключене), на шафах керування насосними агрегатами відображаються: температура підшипників, струм статора, напруга та струм збудження.

Живлення НСЗВ відбувається від закритого розподільчого пункту ЗРУ-6/0,4 кВ. яке в свою чергу заживлено від відкритого розподільчого

пункту ВРУ-35/6 кВ., ВРУ-35/6 кВ. в свою чергу живиться від головної понижувальної підстанції ГПП-3 154/35/6 кВ.



Рисунок 1.2 – Загальний вид обладнання НСЗВ

1.2 Основні відомості про технологічний процес та режим роботи

Кількість працюючих насосних агрегатів та їх режим роботи залежить від необхідної кількості технічної води для забезпечення технологічного процесу по збагаченню залізної руди. Об'єм технічної води, яка прокачується через НСЗВ, за період з 02.25 по 03.26 наведено на рисунку 1.4. Коловий графік залежності споживання технічної води РЗФ від загальної наведено на рисунку 1.5. Графік річного споживання наведено на рисунку 1.6. Також наведено розподіл технічної води по споживачам у %. Аналіз даних за рік дозволяє нам зробити висновок, що основний споживач РЗФ із часткою споживання 0,9255 – 0,965. Інші споживачі практично не впливають на загальне споживання, також наявність розосередженої системи розподілу унеможливорює точні розрахунки параметрів мережі до цих споживачів. Схему технічного водопостачання наведено на рис. 1.3.

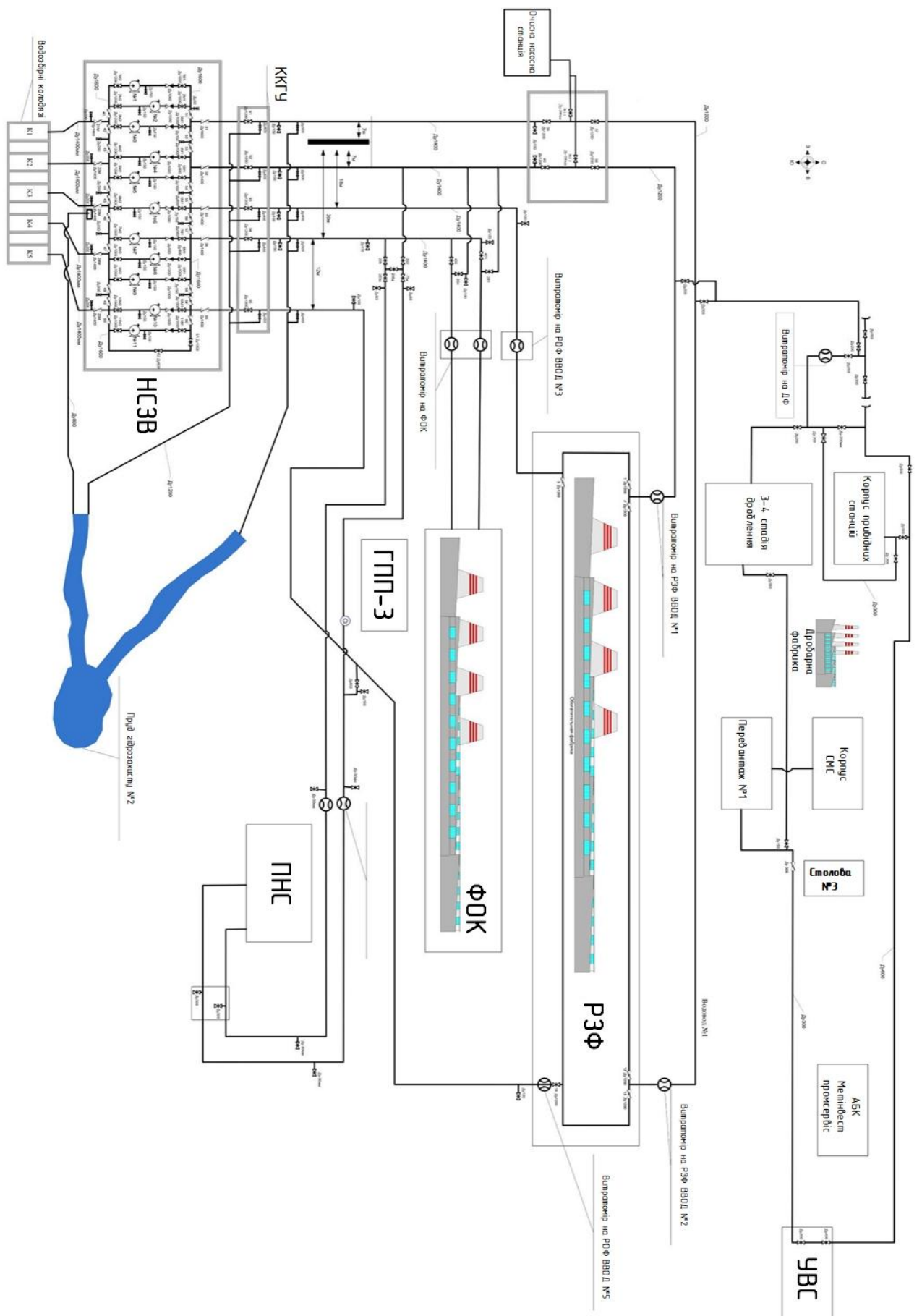


Рисунок 1.3 – Схема технічного водопостачання ЦГЗК

	03.25	04.25	05.25	06.25	07.25	08.25	09.25	10.25	11.25	12.25	01.26	02.26
РЗФ												
Ввод 1	3030709	3118075,7	3190525,3	2687563,8	3578363,5	3537489,4	2746396,1	2060510,7	2948833,8	3547026,2	3143835,1	1779540,3
Ввод 2	3639925,6	4474858,8	4653932,9	4752593,7	4668484,4	4791504,3	4161919,1	4068872,8	5183663,2	3547026,2	4825794,7	4848999,8
Ввод 3	3547702,6	3586255	3675808,1	3822439,4	3800625,6	3677485,3	3862810,1	3032466,5	4049160,7	4461115,6	4406403,5	4065192,6
Ввод 5	3812097,5	3830381,2	3908477,8	3912340	4263695,2	3631648,7	3878760,6	3414225,2	2991375,7	3768546,2	4111894,1	3941431,2
	14030434,7	15009570,7	15428744,1	15174936,9	16311168,7	15638127,7	14649885,9	12576075,2	15173033,4	15323714,2	16487927,4	14635163,9
%	93,72%	93,79%	94,97%	93,53%	93,80%	93,77%	92,55%	95,31%	95,62%	93,81%	93,67%	94,00%
ФОГ												
Ввод 1	164056,4	169222,7	85458,8	170373,3	177072,4	194511,2	192530,5	74343,4	71182,4	170120,7	202218,8	176915,3
Ввод 2	188677,6	197486,7	107913,9	201363,8	209305,1	228095,2	337049,5	99575,3	6,9	177147,7	218999	181218,4
	352734	366709,4	193372,7	371737,1	386377,5	422606,4	529580	173918,7	71189,3	347268,4	421217,8	358133,7
%	2,36%	2,29%	1,19%	2,29%	2,22%	2,53%	3,35%	1,32%	0,45%	2,13%	2,39%	2,30%
ДФ												
Ввод1	193097,6	199936,7	206954	245433,5	248956,3	255888,1	226310,3	202825,9	232272,2	260947,4	257745,5	191319,6
Ввод2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	193097,6	199936,7	206954	245433,5	248956,3	255888,1	226310,3	202825,9	232272,2	260947,4	257745,5	191319,6
%	1,29%	1,25%	1,27%	1,51%	1,43%	1,53%	1,43%	1,54%	1,46%	1,60%	1,46%	1,23%
ЦШГ												
Ввод1	51753,6	66495,6	57884,2	40597,2	34842,4	50080,7	35846	4207	0	0	0	0
Ввод2	342169	361504,1	358720,9	391286,4	408240	311108,8	387869,8	237551,5	0	0	0	0
	393922,6	427999,7	416605,1	431883,6	443082,4	361189,5	423715,8	241758,5	391981,3843	403516,4304	434794,9342	384588,8432
%	2,63%	2,67%	2,56%	2,66%	2,55%	2,17%	2,68%	1,83%	2,47%	2,47%	2,47%	2,47%
Загалом м³	14970188,9	16004216,5	16245675,9	16223991,1	17389584,9	16677811,7	15829492	13194578,3	15868476,28	16335446,43	17601685,63	15569206,04
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Рисунок 1.4 – Споживання технічної води за період з лютого 2025 р. по березень 2026 р

Починаючи з 11.25 р. дані про споживання технічної води з цеху шламового господарства (далі – ЦШГ) не надходили до системи через руйнування систем електропостачання внаслідок російської агресії, прийнято рішення усереднити споживання за цей період, зважаючи на малий вплив частки споживання ЦШГ.

Також в цей період на рисунку 1.6 видно загальне зменшення споживання тех. води в наслідок повної зупинки роботи підприємства в цей період, а також зменшення об'ємів виробництва. Починаючи з цього періоду постає гостра необхідність в оптимізації енергопостачання та зменшенні впливу пускових струмів потужних агрегатів через руйнування приблизно половини силових трансформаторів на ГЗП ЦГЗК.



Рисунок 1.5 – Частка споживання технічної води залежно від споживача

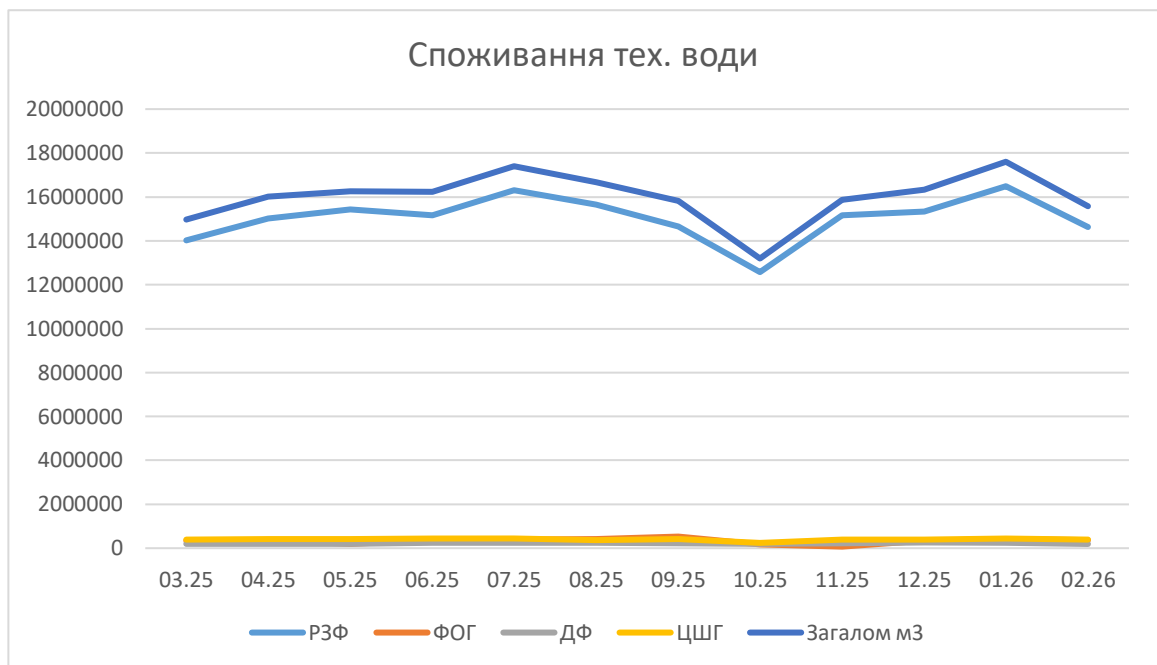


Рисунок 1.6 – Об'єм споживання тех. води за рік м³

1.3 Аналіз методів та обґрунтування необхідності регулювання режимів роботи лопатевих насосів

Зміна витрати рідини у трубопровідній мережі викликає певну зміну напору і подачі насоса. Тому під час підбору насосів необхідно знати залежності між основними їхніми технічними показниками. Крім зміни напору, відхилення витрати у трубопровідній мережі від розрахункової подачі насоса призводить до зниження ККД насосної установки [2].

Таким чином при виборі методів регулювання необхідно враховувати поточні показники витрати для підтримки значень ККД в оптимальному діапазоні.

Під регулюванням режимів роботи насосної установки розуміють навмисну зміну подачі та напору насосів відповідно до нового режиму роботи системи споживача. Регулювання продуктивності насосу може здійснюватися дією на турбомеханізм (поворот лопаток робочого колеса), дією на мережу (дроселювання засувкою), дією на привод турбомеханізму (зміною швидкості обертання робочого колеса одного з насосів), а також зміною числа працюючих одночасно агрегатів [3].

Розглянемо основні методи регулювання насосними установками які можливо використовувати на НСЗВ при поточному стані обладнання.

Дроселювання – найпростіший і випробуваний, досі застосовуваний спосіб. Його суть зводиться до зміни геометрії напірного трубопроводу, частковим перекриванням засувки чи іншої арматури. Однак витрата енергії на роботу насоса залишається незмінною, а тиск усередині корпусу зростає. Відповідно, ККД насоса зменшується [4]. Такий спосіб регулювання не є прийнятним з причин втрат енергії.



Ступінчасте регулювання полягає в зміні кількості одночасно працюючих насосних агрегатів. Такий метод є прийнятним, якщо діапазон робочої характеристики не виходить за оптимальні межі.

Режим частотного регулювання. Сутність функціонування ЧРП полягає в зміні частоти живлення асинхронного (або іншого) електродвигуна для регулювання його швидкості обертання. Зміна частоти живлення двигуна пропорційно змінює його швидкість обертання, що дозволяє точно керувати робочими параметрами механізму [5].

Максимальну ефективність енергоефективного використання насосних агрегатів дозволяє забезпечити комбінований режим, в якому пуск та вихід на номінальні параметри відбувається за допомогою ЧРП, а регулювання відбувається при виході насосного агрегату із зони оптимального ККД.

Таким чином потрібно визначити в яких режимах працюють насосні агрегати та чи необхідно регулювати їх параметри, або використовувати лише прилади плавного пуску. Визначити режим в якому працює насосний агрегат можна скориставшись характеристикою насоса, знаючи тиск який він створює в певний момент часу.

Так як в нашому випадку всмоктувальний колектор знаходиться під заливом (рівень водоймища вище рівня всмоктувального колектора), то нам потрібно враховувати цей напір. Напір який створює насосний агрегат можна вирахувати як:

$$H_{\text{нас.}} = H_{\text{ман.}} - H_{\text{г}} \quad (1.1)$$

де: $H_{\text{нас.}}$ – напір створюваний насосом в даний момент часу;

$H_{\text{ман.}}$ – значення напору яке відображається на манометрі насоса зі сторони виходу;

$H_{\text{г}}$ – різниця геодезична між рівнем водосховища та точкою входу в насос.

Наприклад 08.12.2025 тиск на виході насосного агрегату №5 Д6300-806-2-С складав приблизно 0,52 МПа рисунок 1.7. Згідно формули 1.1 отримуємо фактичний тиск та відкладаємо на рисунку 1.8 значення напору. МПа переводимо в метри водяного стовба.

Різницю між точкою всмоктування та рівнем водоймища можна визначити знаючи ці показники. Рівень водоймища 122 метри від рівня моря, рівень всмоктування приблизно 113 метрів від рівня моря. Тобто позитивний напір на вході становить 9 метрів.

$$H_{\text{нас}} = 0,52 \cdot 102 - 9 = 44,04 \text{ м}$$



Рисунок 1.7 – Показники тиску на насосному агрегаті №5

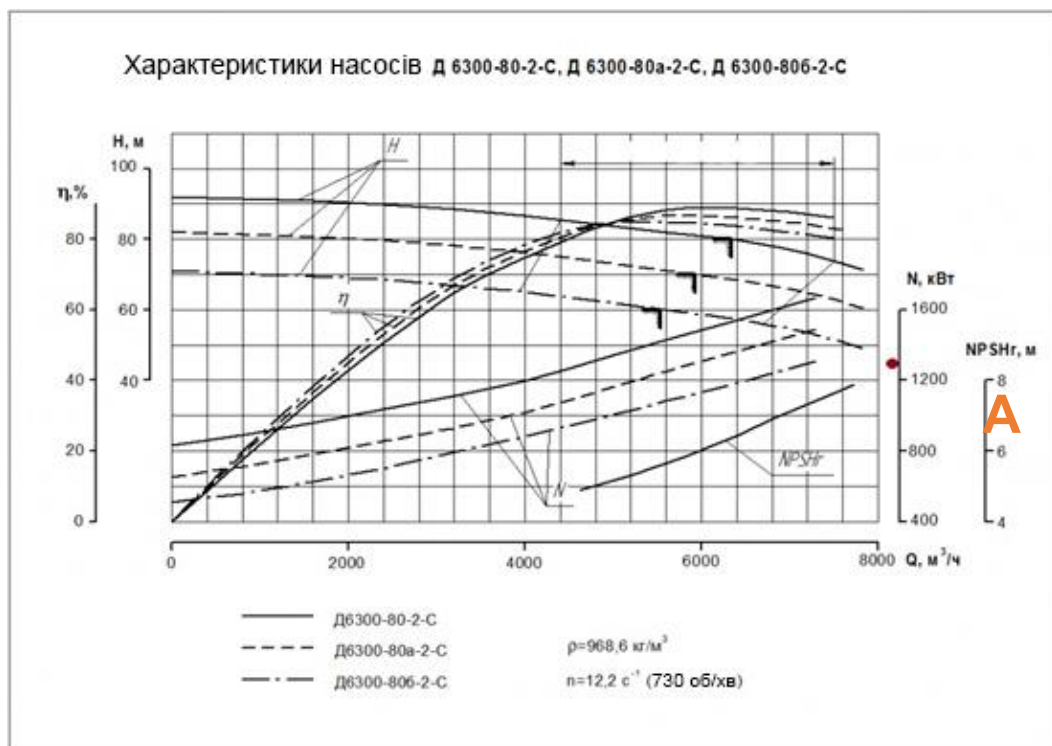


Рисунок 1.8 – Характеристика насосу Д-6300-80

Відклавши точку (А) на QH характеристиці насосу при напорі приблизно 44 метри водяного стовпа можна зробити висновок, що режими роботи насосного агрегату не відповідає оптимальному. Експлуатація в таких режимах зменшує ККД всієї установки та підвищує вимоги до позитивного напору на вході у всмоктувальний колектор та збільшує витрати електричної енергії. Також такі режими взагалі не відображаються на QH характеристиці, що не дозволяє аналізувати режими роботи насосів за межами робочої характеристики.

Через відсутність регулювання виникають режими роботи при яких створюється надлишковий тиск в системі. При використанні ЧРП з'являється можливість регулювання згідно до потреб споживача. Приклад режиму роботи без створення надлишкового тиску наведено на рисунку 1.9, роботи з надлишковим тиском на рисунку 1.10. Тиск відстежується на точці АЗ-Б збірного колектора РЗФ. Номінальні параметри при яких робота системи вважається допустимою це тиск 2 кг/см².



Рисунок 1.9 – Приклад роботи системи без надлишкового тиску



Рисунок 1.10 – Приклад роботи системи з надлишковим тиском



Оптимальний результат можна отримати, коли подача та напір насоса дорівнюють подачі та напору, який потребує видопровідна система. Такі параметри можна забезпечити встановивши насосні агрегати з відповідними параметрами, але при зміні режимів роботи споживача регулювання можливе в дуже вузькому діапазоні. Встановлення частотно – регульованого електроприводу (ЧРП) дозволяє забезпечити регулювання в біль ширшому діапазоні на вже існуючому обладнанні.

Для визначення режимів роботи насосної станції та режимів роботи насосних агрегатів необхідно побудувати діючу характеристику мережі та накласти на неї характеристику паралельної роботи насосів.



2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок характеристики зовнішньої трубопровідної мережі. Побудова робочої характеристики системи

При транспортуванні технічної води через водопровідну систему виникають втрати напору, геодезична різниця між точками входу та виходу води є статичні втрати $H_{\text{ст.}}$, втрати на тертя є динамічними втратами $H_{\text{дин.}}$.

Робоча характеристика системи відображає залежність втрат напору від кількості води, яка переміщується через систему, де початкова точка на графіку відкладається від статичного протитиску. Загалом втрати напору описуються формулою (2.1).

$$H_c = H_{\text{ст}} + SQ^2 \quad (2.1)$$

Тобто:

$$H_{\text{дин.}} = SQ^2 \quad (2.2)$$

де: H_c – напір в початку трубопроводу;

$H_{\text{ст}}$ – геодезична різниця, статична складова, м;

S – коефіцієнт опору системи;

Q – подача в систему, м.

Як видно з формули (2.2) динамічні втрати залежать від квадрату подачі, це означає, що при збільшенні подачі втрати на опорі зростають дуже швидко. Для розрахування опору всієї системи необхідно знати низку параметрів, а саме: довжину трубопроводів, коефіцієнт шорховатості, діаметри, кількість та стан запірної арматури. Більшість параметрів визначити неможливо, тому прийнято рішення, на основі статистично зібраних даних визначити емпіричну формулу, яка опише діючу гідравлічну систему. Для цього зроблено та опрацьовано 50 фотографій із системи SCADA протягом 12 місяців з фактичними подачами та напором. Дані внесено до таблиці в ехел та показано на рисунку 2.7.

Для початку відокремлюємо статичну складову системи включно з динамічними втратами від напору на колекторі насосної станції:

$$H_c = H_{\text{кол.Н.С.}} - H_{\text{кол.РЗФ}} \quad (2.3)$$

де: H_c – напір системи, сумарна складова втрат напору мережі;

$H_{\text{кол.Н.С.}}$ – напір на колекторі насосної станції;

$H_{\text{кол.РЗФ}}$ – напір колектора РЗФ (приймаємо точку А3-Б).

Наприклад станом на 15.03.2025 року – рисунок 2.1:

$$H_c = 57,9 - 27,4 = 30,5 \text{ м.}$$

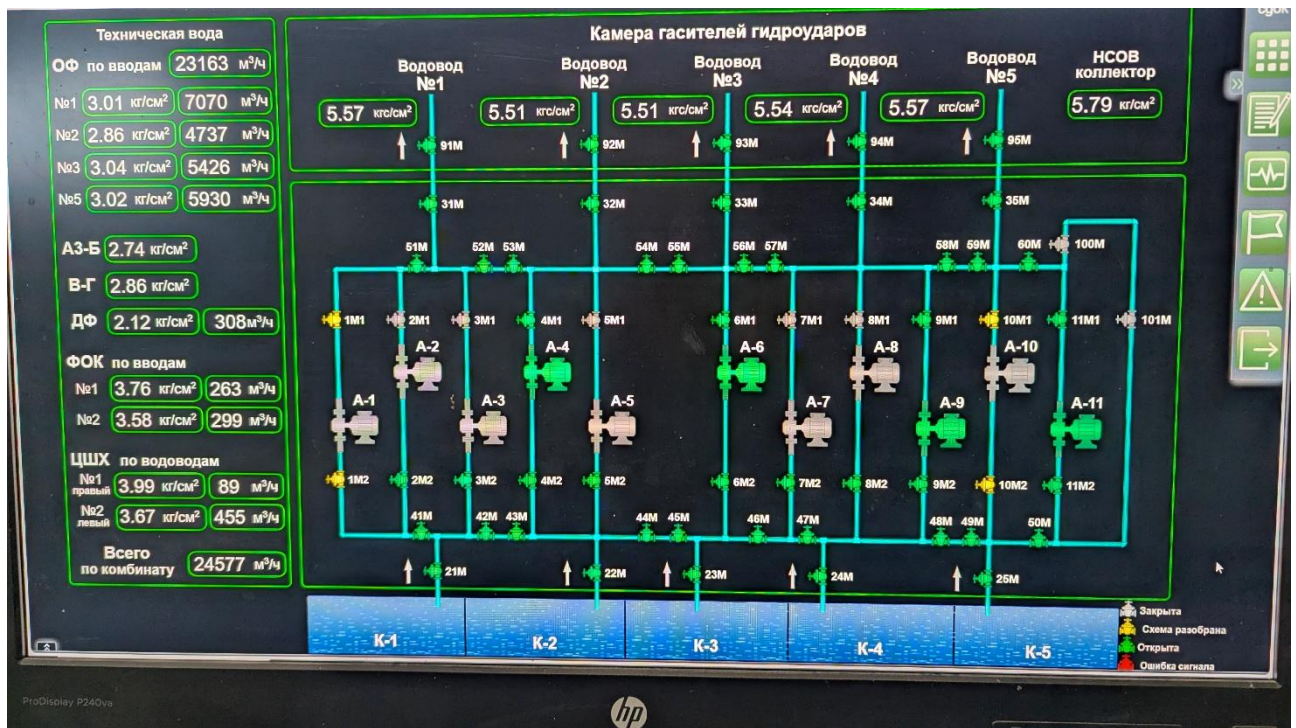


Рисунок 2.1 – Технічні параметри насосної станції станом на 15.03.2025 року

Для інших даних робимо аналогічні розрахунки та відображаємо на рисунку 2.7. Будуємо графік залежності загальних втрат від загальної подачі та виводимо на графік – рисунок 2.2 лінії тренду з поліноміальним рівнянням другого ряду. Рівняння має вигляд:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (2.4)$$

$$y = 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 + 3,14 \cdot 10^{-6} \cdot x + 17,429$$

де: a – опір системи, еквівалентний гідравлічний опір;

b – коригувальний лінійний коефіцієнт;

c – еквівалентний статичний напір системи, м.;

y – необхідний напір насосної станції;

x – загальна витрата води, м³/год;

R^2 – коефіцієнт детермінації, відображає наскільки точно рівняння описує систему, чим ближче до 1 тим точніше.

Коефіцієнт детермінації 0,96 означає досить велику залежність, отриманих аналітичним шляхом, втрат системи від загальної подачі. Еквівалентний статичний напір системи склав 17,429 м., це мінімальний напір який необхідно створити в системі для нульової подачі.

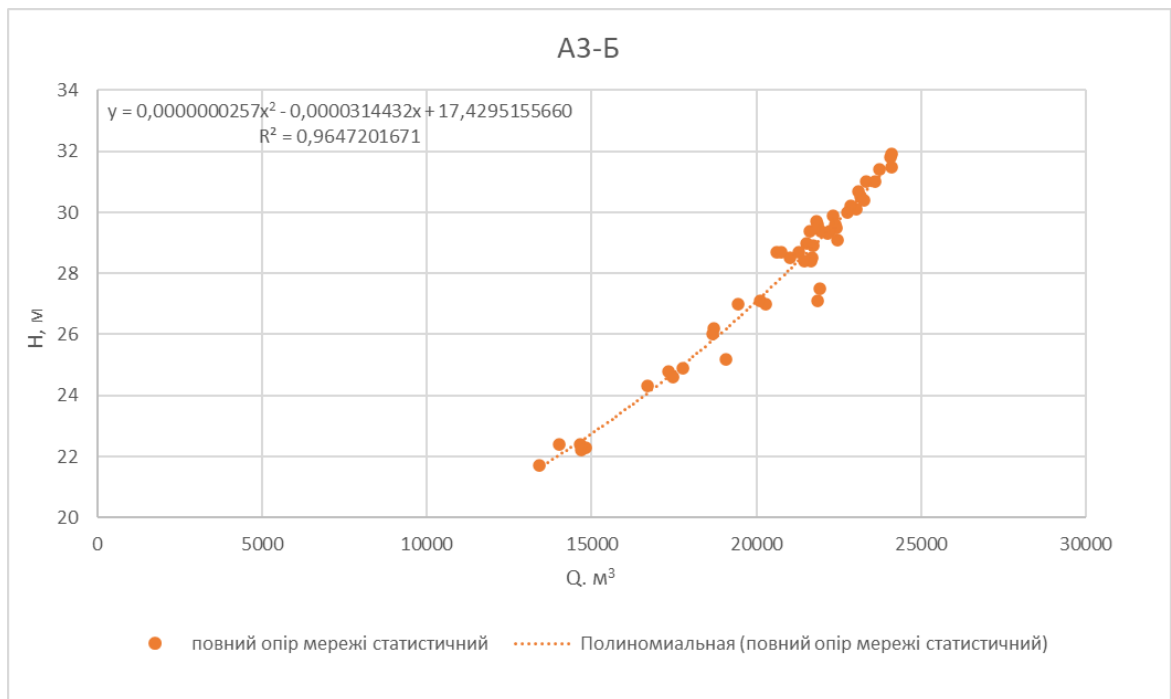


Рисунок 2.2 – Залежність повного опору системи від загальної подачі

Будуємо графік залежності динамічного опору від загальної подачі рисунок 2.3, додаємо лінію тренду з рівнянням, яке описує залежність гідравлічних втрат в системі.

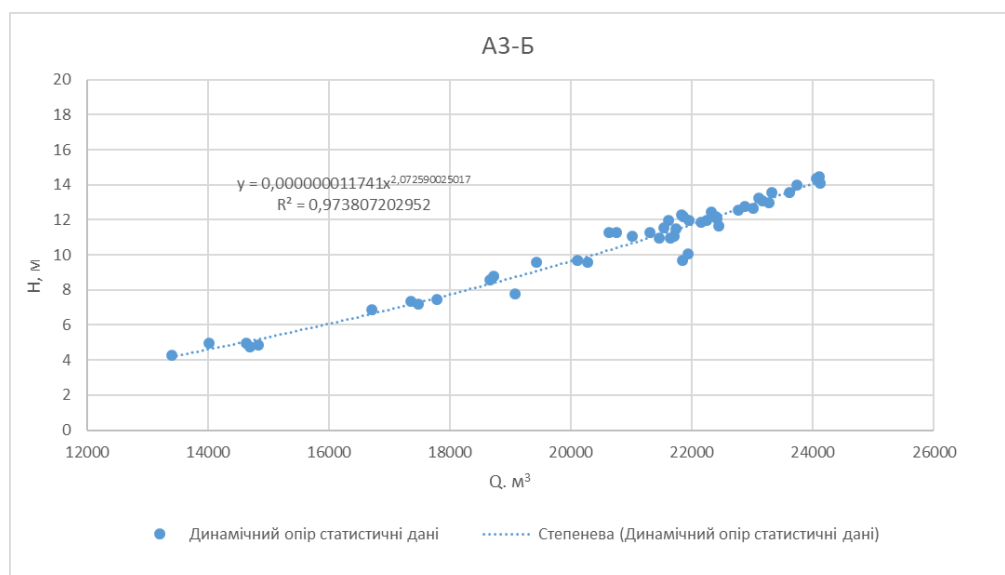


Рисунок 2.3 – Залежність динамічного опору від загальної подачі.

Згідно рівняння (2.1) отримуємо математичний опис гідравлічної системи насосної станції першого підйому, підставляємо коефіцієнти та будуємо графік порівняння реального динамічного опору з розрахунковою

формулою з (рис. 2.4) та порівняння математичної моделі з статистичним графіком мережі (рис.2.5).

Згідно (рис. 2.3) та формули (2.1):

$$H_c = 17,429 + 1,174 \cdot 10^{-8} \cdot Q^{2,07259}$$

Коефіцієнти детермінації вище 0,9 свідчать про високу достовірність математичної моделі насосної станції та дозволяють в майбутньому створити цифровий двійник, для моделювання мережі.

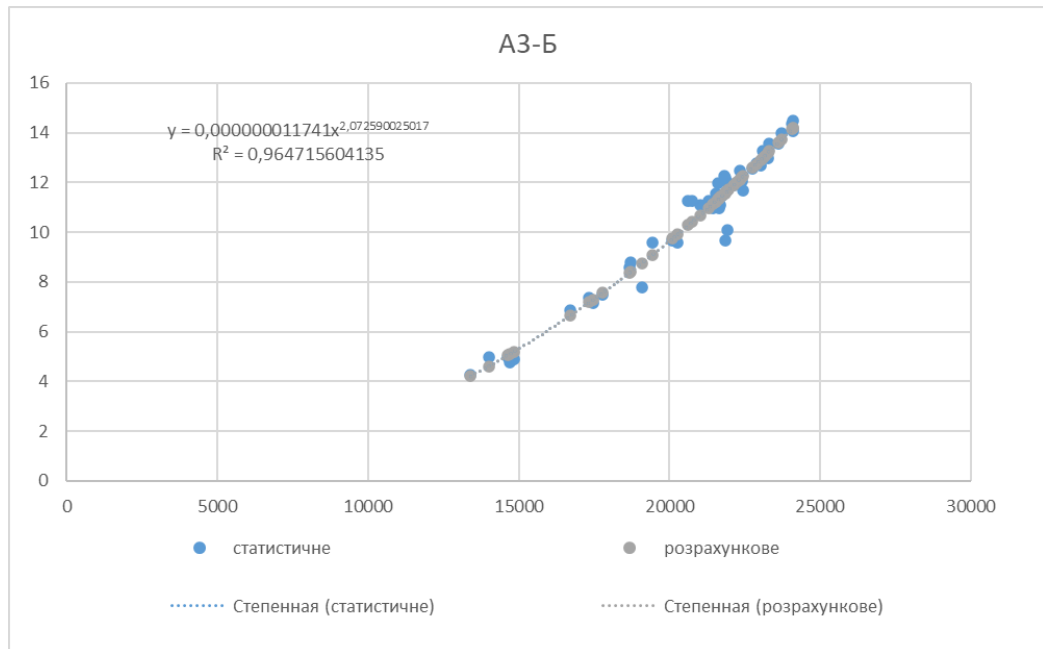


Рисунок 2.4 – Порівняння реальної та математичної моделі динамічного опору від загальної подачі РЗФ

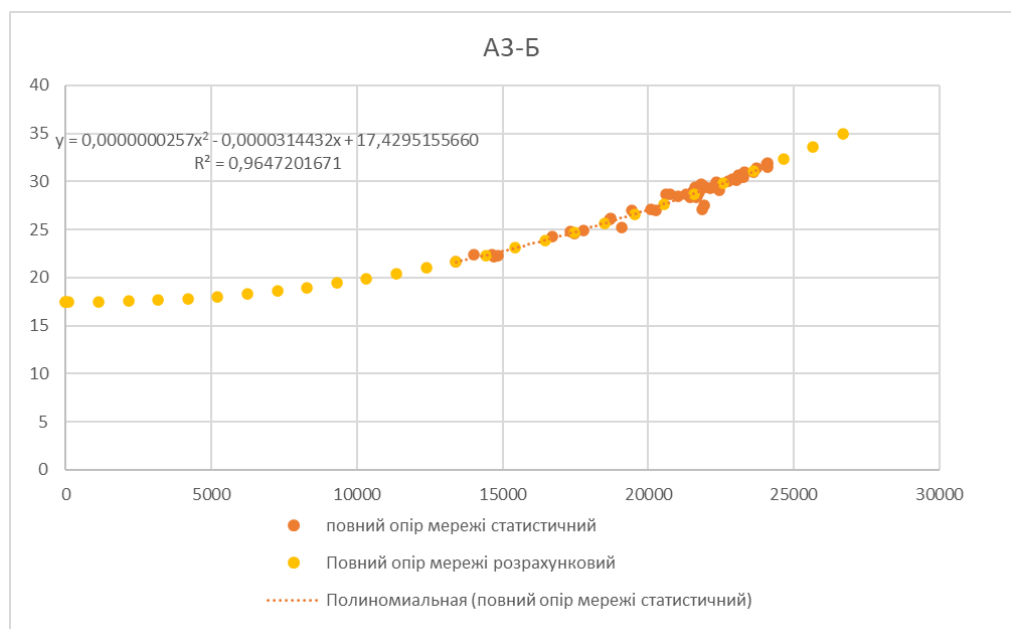


Рисунок 2.5 – Порівняння реальної та математичної моделі повного опору мережі від загальної подачі РЗФ

Математично описана модель насосної станції при подачі в діапазоні від 14000 до 25000 м³/год співпадає з реальними даними. Загальна подача приблизно на 1400-1800 м³/год. більше від споживання РЗФ, на рис. 2.6 побудовано залежність витрати РЗФ від повної витрати води яку забезпечує НСЗВ. Таким чином можна спрогнозувати загальну подачу та напір які необхідно створити для оптимальної роботи насосної станції.

Остаточне рівняння системи набуває вигляду:

$$H_c = 2,6661 \cdot 10^{-8} \cdot Q^2 - 1,27938791 \cdot 10^{-4} \cdot Q + 17,56828 \quad (2.5)$$

Графік порівняння математичної моделі НСЗВ із статистично зібраними даними наведено на рисунку. 2.8.

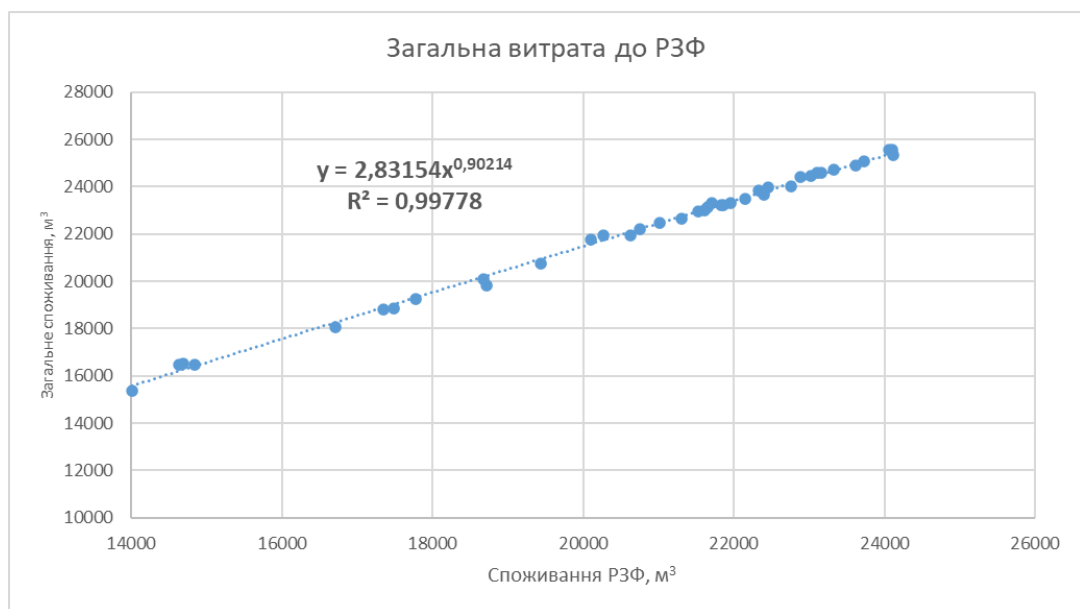


Рисунок 2.6 – Залежність повної подачі від подачі РЗФ

									НСЗВ				Фабрика			
				Водогони				Насосна	Водогони				Водогони			
доля	НСЗВ заг.	Q фабр		1	2	3	5	Н колл.	1	2	3	5	1	2	3	5
1	0,942467	24577	23163	4737	7070	5426	5930	57,9	55,7	55,1	55,1	55,7	28,6	30,1	30,4	30,2
2	0,941586	24446	23018	4864	6601	5593	5960	57,2	55,4	54,8	54,8	55,1	28,3	30	30,3	30,1
3	0,939335	24594	23102	4844	6766	5570	5921	57,9	55,7	55,4	55,4	55,7	28,4	29,9	30,1	30
4	0,936025	23853	22327	4715	6465	5430	5715	58,8	56,6	56,3	56	56,6	30,1	31,6	32	31,8
5	0,94291	24733	23321	4912	6876	5555	5976	57,2	55,1	54,8	54,4	55,1	27,4	29	29,5	29
6	0,939826	23000	21616	4459	6333	5220	5604	52,6	50,7	50,1	50,1	50,4	24,2	25,8	26,1	25,8

Рисунок 2.7 – Порівняння статистичних та розрахункових втрат в мережі

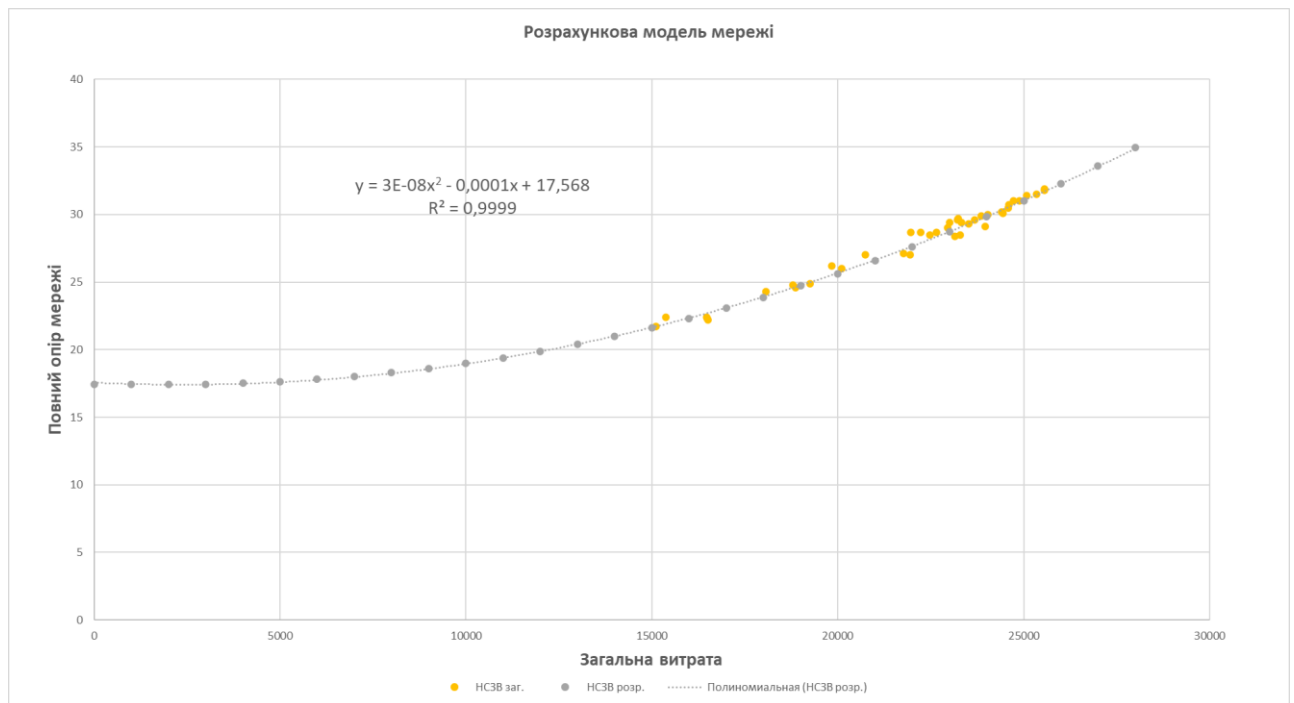


Рисунок 2.8 – Розрахункова модель мережі НСЗВ порівняно з реальною

Цифровий двійник мережі дозволяє моделювати поведінку системи при роботі насосних агрегатів з різною конфігурацією.

2.2 Визначення робочих параметрів насосів за існуючого режиму. Побудова робочої характеристики насосних агрегатів

Реальну напірну характеристику насосів, що працюють на мережу з протитиском, з достатнім ступенем точності можна подати у вигляді апроксимованих аналітичних залежностей, отриманих в роботах Онищенко Г.Б, Юнькова М.Г, Шевчука С.П., Коренькови Т.В. [6] та описуються рівнянням:

$$H = A_2 v^2 + B_2 v \cdot Q + C_2 Q^2 \quad (2.6)$$

$$v = \frac{\omega_i}{\omega_H} \quad (2.7)$$

де: H – напір який створює НА (насосний агрегат);

$A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, C_3$ – коефіцієнти апроксимації, які залежать від конструктивних особливостей НА;

v – відносна швидкість обертання робочого колеса насоса, при назмінній швидкості обертання $v = 1$;

ω_H, ω_i – номінальна та i -та швидкості обертання робочого колеса НА,

N – механічна потужність на валу НА;

$H_0, H_1, H_2, Q_1, Q_2, N_0, N_1, N_2$ – напір при нульовій, номінальній та максимальній відповідних подачах, та відповідні подачам потужності на валу.

Механічну потужність на валу відцентрової машини можна визначити як:

$$N = A_3 v^2 Q + B_3 v Q^2 + D_3 v^3 \quad (2.8)$$

Система рівнянь, що описує H - Q характеристику насоса:

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= A_2 v^2; \\ H_1 &= A_2 v^2 + B_2 v \cdot Q_1 + C_2 Q_1^2 \\ H_2 &= A_2 v^2 + B_2 v \cdot Q_2 + C_2 Q_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Коефіцієнти апроксимації напірно-витратної характеристики насоса:

$$H_{01020} = 92 \text{ м}, H_{11020} = 87,5 \text{ м}, H_{21020} = 73 \text{ м};$$

$$Q_{11020} = 3600 \text{ м}^3, Q_{21020} = 7600 \text{ м}^3.$$

$$A_2 = H_0 ;$$

$$B_2 = \frac{H_1 Q_2}{Q_1(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_2 Q_1}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_0(Q_2 + Q_1)}{Q_1 Q_2}; \quad (2.10)$$

$$C_2 = \frac{H_2}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_1}{Q_1(Q_2 - Q_1)} + \frac{H_0}{Q_1 Q_2}.$$

Система рівнянь, що описує N - Q хар-ку насоса:

$$\left. \begin{aligned} N_0 &= D_3 v^3; \\ N_1 &= A_3 v^2 Q_1 + B_3 v Q_1^2 + D_3 v^3 \\ N_2 &= A_3 v^2 Q_2 + B_3 v Q_2^2 + D_3 v^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Коефіцієнти апроксимації визначаються як:

$$N_{01020} = 830 \text{ кВт}, N_{11020} = 1200 \text{ кВт}, N_{21020} = 1660 \text{ кВт};$$

$$Q_{11020} = 4000 \text{ м}^3, Q_{21020} = 7200 \text{ м}^3$$

$$D_3 = N_0 ;$$

$$A_3 = \frac{N_2 Q_1}{Q_2(Q_1 - Q_2)} - \frac{N_1 Q_2}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{N_0(Q_1 + Q_2)}{Q_1 Q_2}; \quad (2.12)$$

$$B_3 = \frac{N_1}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{N_2}{Q_2(Q_1 - Q_2)} + \frac{N_0}{Q_1 Q_2}.$$

$$D_3 = 830 ;$$

$$A_3 = \frac{1660 \cdot 4000}{7200 \cdot (4000 - 7200)} - \frac{1200 \cdot 7200}{4000 \cdot (4000 - 7200)} - \frac{830 \cdot (4000 + 7200)}{4000 \cdot 7200} = 0,064027;$$

$$B_3 = \frac{1200}{4000 \cdot (4000 - 7200)} - \frac{1660}{7200 \cdot (4000 - 7200)} + \frac{830}{4000 \cdot 7200} = 7,118 \cdot 10^{-6}.$$

$$N = 0,064027 \cdot v^2 Q + 7,118 \cdot 10^{-6} \cdot v Q^2 + 830 \cdot v^3$$

Для побудови математичної моделі насосу необхідно знати параметри, які в нашому випадку невідомі, тому прийнято рішення накласти на паспортні характеристики графік ексель, та наближено визначити точки по яким проводити розрахунок коефіцієнтів апроксимації. Графік з паспортними характеристиками і накладений графік з апроксимованими даними наведено на рисунку 2.10.

Згідно формули (2.6) для діаметру 1020 мм :

$$A_{2\ 1020} = 92 ;$$

$$B_{2\ 1020} = \frac{87,5 \cdot 7600}{3600 \cdot (7600 - 3600)} - \frac{73 \cdot 3600}{7600(7600 - 3600)} - \frac{92 \cdot (7600 + 3600)}{3600 \cdot 7600} = 0,000125;$$

$$C_{2\ 1020} = \frac{73}{7600 \cdot (7600 - 3600)} - \frac{87,5}{3600 \cdot (7600 - 3600)} + \frac{92}{3600 \cdot 7600} = -3,125 \cdot 10^{-7}.$$

$$H = 92 \cdot v^2 + 0,000125 \cdot v \cdot Q + (-3,125 \cdot 10^{-7}) \cdot Q^2$$

Для інших обточок робочого колеса розрахунок H-Q характеристики аналогічні, та занесені в таблицю в ехел та відображено на рисунку 2.9.

Для визначення N-Q характеристики алгоритм виконаних дій аналогічний визначенню коефіцієнтів для H-Q характеристики та відображено на рисунку 2.11. Апроксимовані криві Q-H характеристики наведені на рис. 2.9.

Розрахунок корисної потужності турбомеханізму:

$$N_K = \frac{\rho \cdot g}{1000 \cdot 3600} \cdot (A_2 v^2 \cdot Q + B_2 v \cdot Q^2 + C_2 Q^3) \quad (2.13)$$

де: ρ – щільність води при температурі 20° С (1000 кг/м³);
 g – прискорення сили тяжіння, (9,81 м/с²).

Н-Q коефіцієнти апроксимації			
	a	b	c
Д 6300 1020	92	-0,000125	-3,125E-07
Д 6300 970	82	-6,57895E-06	-3,45395E-07
Д 6300 915	71	-0,000270468	-3,10673E-07
Д 6300 870	62	-0,000275823	-3,20141E-07
N-Q коефіцієнти апроксимації			
	A	B	D
Д 6300 1020	0,064027778	7,11806E-06	830
Д 6300 970	0,064027778	7,11806E-06	650
Д 6300 915	0,070972222	5,38194E-06	510
Д 6300 870	0,072944361	4,88891E-06	364

Рисунок 2.9 – Розраховані коефіцієнти апроксимації

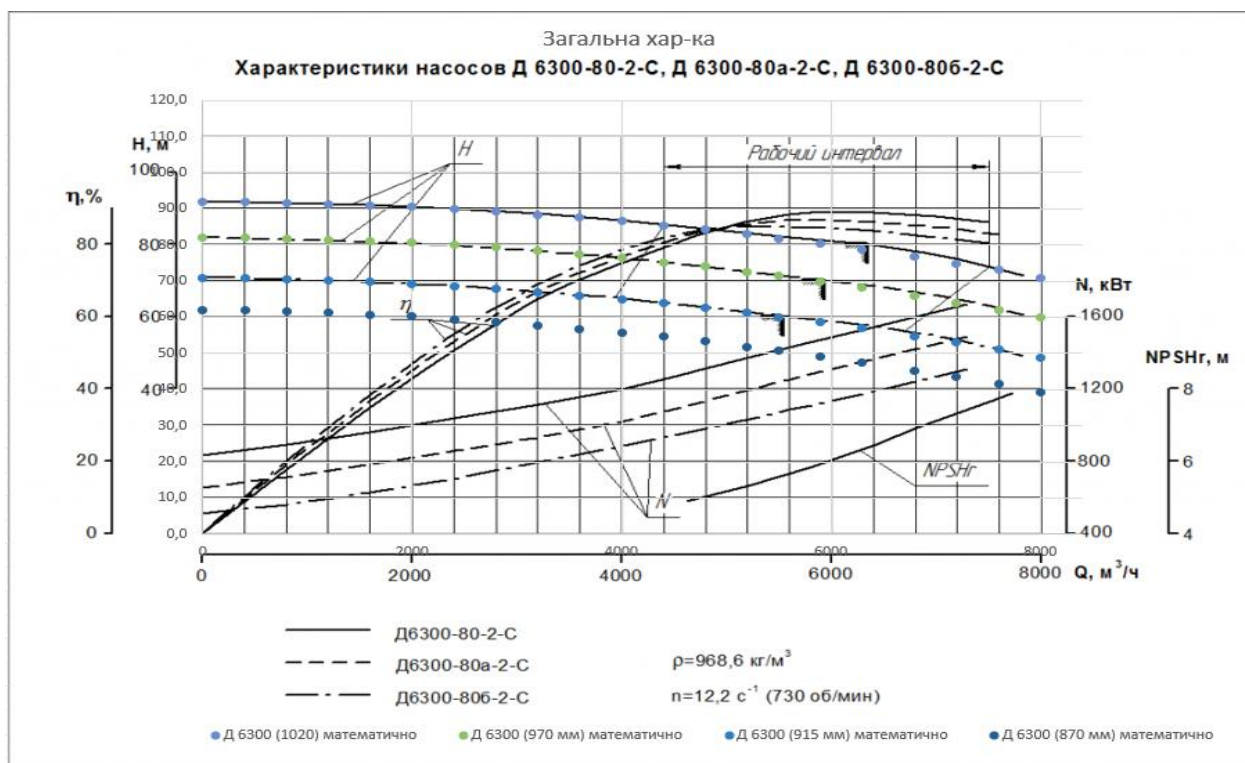


Рисунок 2.10 – Апроксимовані криві Н-Q характеристики

На рисунку 2.12 зображено значення коефіцієнтів апроксимації для чотирьох обточок робочого колеса насосу Д6300.

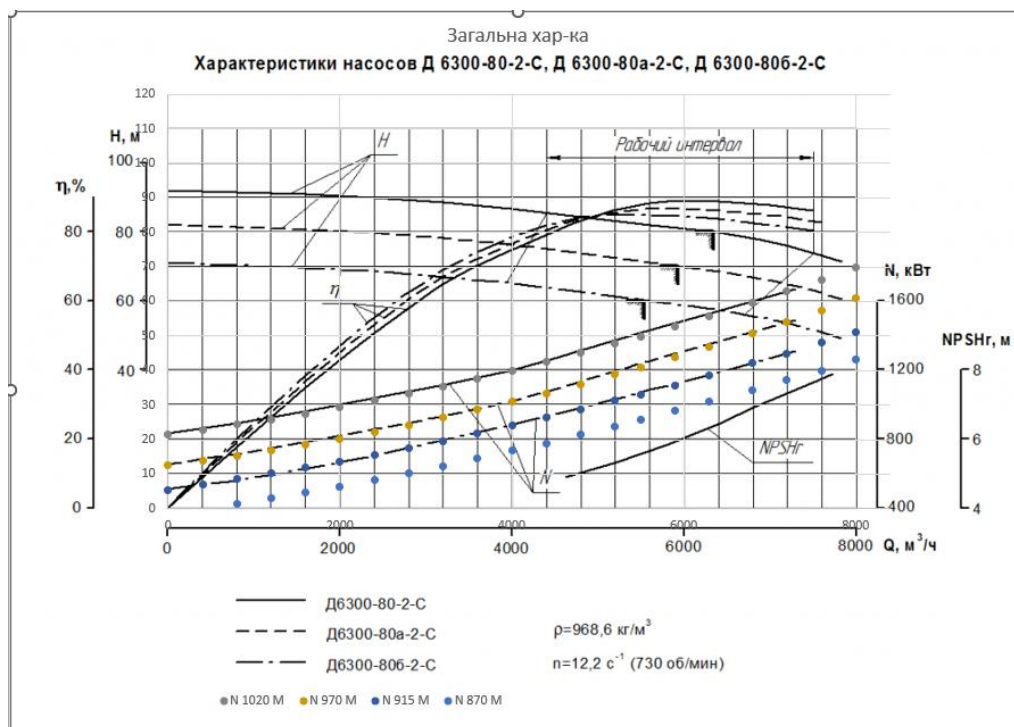


Рисунок 2.11 – Математично побудована N-Q характеристика

Подача Q, м³/ч	Д 6300 (1020) математично	Д 6300 (970) математично	Д 6300 (915) математично	Д 6300 (870) математично	1020	970	915	870	N 1020	N 970	N 915	N 870	ККД 1020	ККД 970	ККД 915	ККД 870
0	92,0	82,0	71,0	62,0	0,0	0,0	0,0	0,0	830,0	650,0	510,0	364,5	0,0	0,0	0,0	0,0
400	91,9	81,9	70,8	61,8	100,2	89,3	77,2	67,4	856,8	676,8	539,3	394,4	11,7	13,2	14,3	17,1
800	91,7	81,8	70,6	61,6	199,9	178,3	153,9	134,2	885,8	705,8	570,2	426,0	22,6	25,3	27,0	31,5
1200	91,4	81,5	70,2	61,2	298,9	266,5	229,6	200,2	917,1	737,1	602,9	459,0	32,6	36,2	38,1	43,6
1600	91,0	81,1	69,8	60,7	396,8	353,6	304,2	264,8	950,7	770,7	637,3	493,7	41,7	45,9	47,7	53,6
2000	90,5	80,6	69,2	60,2	493,2	439,3	377,2	327,9	986,5	806,5	673,5	529,9	50,0	54,5	56,0	61,9
2400	89,9	80,0	68,6	59,5	587,9	523,2	448,4	389,1	1024,7	844,7	711,3	567,7	57,4	61,9	63,0	68,5
2800	89,2	79,3	67,8	58,7	680,6	604,9	517,4	448,0	1065,1	885,1	750,9	607,0	63,9	68,3	68,9	73,8
3200	88,4	78,4	67,0	57,8	770,8	684,0	583,8	504,4	1107,8	927,8	792,2	648,0	69,6	73,7	73,7	77,8
3600	87,5	77,5	66,0	56,9	858,4	760,3	647,5	557,8	1152,8	972,8	835,3	690,4	74,5	78,2	77,5	80,8
4000	86,5	76,4	64,9	55,8	942,9	833,3	707,9	607,9	1200,0	1020,0	880,0	734,5	78,6	81,7	80,4	82,8
4400	85,4	75,3	63,8	54,6	1023,9	902,7	764,9	654,5	1249,5	1069,5	926,5	780,1	81,9	84,4	82,6	83,9
4800	84,2	74,0	62,5	53,3	1101,3	968,1	818,1	697,2	1301,3	1121,3	974,7	827,2	84,6	86,3	83,9	84,3
5200	82,9	72,6	61,2	51,9	1174,7	1029,1	867,1	735,6	1355,4	1175,4	1024,6	876,0	86,7	87,6	84,6	84,0
5500	81,9	71,5	60,1	50,8	1226,9	1071,8	901,0	761,3	1397,5	1217,5	1063,2	913,6	87,8	88,0	84,7	83,3
5900	80,4	69,9	58,6	49,2	1292,4	1124,4	942,0	791,5	1455,5	1275,5	1116,1	965,0	88,8	88,2	84,4	82,0
6300	78,8	68,2	57,0	47,6	1353,0	1171,7	978,0	816,4	1515,9	1335,9	1170,7	1018,1	89,3	87,7	83,5	80,2
6800	76,7	66,0	54,8	45,3	1421,3	1222,7	1015,4	839,8	1594,5	1414,5	1241,5	1086,6	89,1	86,4	81,8	77,3
7200	74,9	64,0	52,9	43,4	1469,5	1256,6	1038,8	851,9	1660,0	1480,0	1300,0	1143,1	88,5	84,9	79,9	74,5
7600	73,0	62,0	51,0	41,4	1511,8	1284,0	1056,2	857,7	1727,8	1547,8	1360,3	1201,2	87,5	83,0	77,6	71,4
8000	71,0	59,8	49,0	39,3	1547,8	1304,6	1067,2	856,8	1797,8	1617,8	1422,2	1260,9	86,1	80,6	75,0	68,0

Рисунок 2.12 – Розраховані дані H, N, η від Q для чотирьох обточок робочого колеса

З насосом Д2500-62 проводимо аналогічні дії та вносимо дані до таблиці в ехел рисунок 2.13

Тип насоса	Паспортні дані					H-Q хар-ка			N-Q хар-ка		
	Q	H	n	N	η	A2	B2	C2	A3	B3	D3
	м.куб/год	м	об/хв	кВт	%						
Д2500-62	2500	62	980	500	87	72	0,0084603	-4,71E-06	0,0915873	-5,29E-07	210
Д 6300 1020	6300	80	730	1503	88,5	92	-0,000125	-3,13E-07	0,0640278	7,12E-06	830
Д 6300 970	5900	70	730	1301	86,5	82	-6,58E-06	-3,45E-07	0,0640278	7,12E-06	650
Д 6300 915	5500	60	730	1030	84,5	71	-0,00027	-3,11E-07	0,0709722	5,38E-06	510
Д 6300 870	5000	50	730			62	-0,000276	-3,2E-07	0,0729444	4,89E-06	364,5

Рисунок 2.13 – Коефіцієнти апроксимації для насосних агрегатів



Отримані із розрахунків дані дають змогу проаналізувати споживання електричної енергії при поточному режимі роботи насосної станції та при використанні частотно – регульованого приводу.

2.3 Аналіз режимів роботи насосних агрегатів

Насосні агрегати працюють з більш високим ККД в зоні робочого інтервалу, експлуатація в межах якого дозволяє більш економічно експлуатувати обладнання.

Для аналізу режиму роботи необхідно на графік насосної станції накласти характеристику насосних агрегатів та проаналізувати в якому діапазоні робочої характеристики працюють НА. Наприклад станом на 13.05.2026 в роботі були насосні агрегати №2,3,6,7. Згідно (табл. 1.1) обираємо параметри працюючих НА та наносимо спільну характеристику НА на характеристику водопровідної мережі.

Слід зауважити, що позитивний напір на всмоктуванні є додатковим, та допомагає подолати статичний опір мережі. Алгоритм розрахунку напору з яким працює НА описаний в формулі (1.1)

Формула визначення втрат в мережі згідно рівняння (2.6):

$$H_c = 2,6661 \cdot 10^{-8} \cdot Q^2 - 1,27938791 \cdot 10^{-4} \cdot Q + (17,56828 - H_{\Gamma} + H_{\text{вільне}} + \Delta H_{\text{зб.к.нс}})$$

$$H_c = 2,6661 \cdot 10^{-8} \cdot Q^2 - 1,27938791 \cdot 10^{-4} \cdot Q + (17,56828 - 9,5 + 20 + 8)$$

$$H_c = 2,6661 \cdot 10^{-8} \cdot Q^2 - 1,27938791 \cdot 10^{-4} \cdot Q + 36,068 \quad (2.14)$$

де: H_{Γ} – геодезична різниця між рівнем водосховища та рівнем всмоктувального колектора;

$H_{\text{вільне}}$ – вільний напір (мінімально необхідний напір на збірному колекторі РЗФ – 2 кг/см²);

$\Delta H_{\text{зб.к.нс}}$ – втрати напору від насосного агрегату до збірного колектора насосної станції (втрати на зворотніх клапанах, арматурі, звуженнях та поворотів. Приймаємо 8 м).

Параметри роботи водопровідної мережі наведено в рисунку 2.14.

Параметри роботи насосних агрегатів наведено в рисунку 2.15. Під час моделювання режимів роботи швидкість обертання насосних агрегатів із синхронними двигунами дорівнює 750 об/хв. Для зручності додано можливість перерахунку швидкості за допомогою натискання кнопок.

Мережа			
Вільна складова	20	м	
Втрати до ЗБ колект	8	м	
Постійна складова статичного опору	17,568	м	
Коефіцієнти мережі після врахування всіх видів втрат			
a	b	c	
2,67E-08	-0,00013	36,0682854	

Рисунок 2.14 – Параметри мережі під час аналізу режимів роботи

ω i	690	674	750	750	980		
ω ном	730	730	730	730	980		
v	0,945	0,923	1,027	1,027	1		
	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼		
працюючих агрегатів	0	0	1	2	1		
Тип НА	Д6300 1020	Д6300 970	Д6300 915	Д6300 870	Д 2500	Q	
Q	9658,63	7210,58	8176,79	6076,74	3151,18		23481,45
H	51,90					P, кВт	
N	1881,06	1246,85	1535,33	1048,62	493,35		4304,9
P	1959,44	1298,80	1599,30	1092,31	520,97		
ККД дв	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95		
ККД чрп	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00		
	ККД НА						
	72,62	81,79	75,32	81,96	90,33		

Рисунок 2.15 – Параметри насосних агрегатів при моделюванні

Згідно (рис. 2.6) відношення загальної продуктивності насосної станції до продуктивності РЗФ описується рівнянням:

$$Q_{\text{повне}} = 2,83154 \cdot Q_{\text{РЗФ}}^{0,90214} \quad (2.15)$$

де $Q_{\text{повне}}$ – повна подача насосної станції;

$Q_{\text{РЗФ}}$ – частина спожитої води РЗФ.

Потужність, яка споживається насосним агрегатом з ЧРП визначається як:

$$P = \frac{N_{\text{еф}}}{\eta_{\text{ел,дв}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{чрп}}}. \quad (2.16)$$



Якщо без ЧРП то:

$$P = \frac{N}{\eta_{\text{ел.дв}} \cdot \eta_{\text{н}}}. \quad (2.17)$$

де: P – потужність споживана всією насосною установкою;

$N_{\text{еф}}$ – гідравлічна потужність;

N – механічна потужність яку споживає насос згідно формули (2.1);

$\eta_{\text{ел.дв}}$ – ККД електродвигуна;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насоса;

$\eta_{\text{чрп}}$ – ККД частотно-регульованого приводу (98%).

Для аналізу беремо період з 09.05.2026 по 15.05.2026, дані споживання технічної води РЗФ внесено до таблиці ехел та наведено на рисунку 2.16.

Згідно формули (2.15) для споживання 22076,1 м³ води РЗФ повне споживання води ЦГЗК складає:

$$Q_{\text{повне}} = 2,83154 \cdot 22076,1^{0,90214} = 23488, \text{ м}^3.$$

З формули (2.14) необхідний напір в системі для забезпечення оптимальних параметрів складає:

$$H_c = 2,6661 \cdot 10^{-8} \cdot 23488^2 - 1,27938791 \cdot 10^{-4} \cdot 23488 + 36,068 = 48,8 \text{ м}.$$

Накладену характеристику насосних агрегатів на характеристику мережі наведено на рисунку 2.17. З урахуванням того, що насосні агрегати прокачують ту кількість води, яку споживає підприємство, то при відсутності регулювання обертів НА з'являються втрати на надмірно створюваному напорі, На рисунку 2.17 видно, що напір створюваний НА більше ніж необхідний системі на 4 метри.

Моделювання переметрів насосної станції при використанні ЧРП на насосному агрегаті з діаметром робочого колеса 915 мм. наведено на рисунку 2.18 та рисунку 2.19



09.05.2026					10.05.2026					11.05.2026					12.05.2026					13.05.2026					14.05.2026					15.05.2026									
ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ					ВОДОВОДИ									
1	2	3	5		1	2	3	5		1	2	3	5		1	2	3	5		1	2	3	5		1	2	3	5		1	2	3	5						
4762,4	6800,9	5466,9	5045,9	22076,1	4738,4	6774,7	5442	5019,2	21974,3	4712,4	6736,4	5406,2	4994,2	21849,2	4749,1	6773,4	5445	5078,3	22045,8	4834,1	6883,8	5526,4	5164,7	22409	4749,4	6754,7	5429,3	5082,7	22016,1	4737,4	6737,6	5433,1	5077,8	21985,9					
4763,4	6804,7	5470	5043,5	22081,6	4730,5	6775,9	5439	5014,7	21960,1	4721,4	6752	5420,2	5002,6	21896,2	4788,1	6835,4	5483,3	5125,3	22332,1	4841,8	6885,2	5521,2	5170,9	22419,1	4761,7	6767,8	5431,7	5088,3	22049,5	4752,7	6766,6	5459,5	5103,6	22082,4					
4756,2	6793,7	5458,3	5032,3	22040,5	4719,7	6749,6	5424,1	4999,9	21893,3	4774,8	6818,8	5470,2	5061,5	22125,3	4782,7	6838,4	5478,2	5130,1	22229,4	4833,2	6885,3	5526	5167,4	22411,9	4744,1	6739,2	5402,5	5063,9	21949,7	4772,7	6774,9	5447,6	5101,5	22096,7					
4757,4	6790,4	5442,9	5027,5	22018,2	4723,5	6756,4	5423,7	5008,1	21911,7	4772,9	6827,1	5474,4	5067,2	22141,6	4787,2	6849,4	5492,4	5130,1	22259,1	4857,4	6919,5	5559,2	5190,4	22526,5	4743,3	6738,2	5418,9	5064,5	21964,9	4780,4	6792,5	5453,7	5104,7	22131,3					
4754,1	6794,4	5439,7	5016,5	22004,7	4722,3	6764,9	5430,4	5010,3	21927,9	4771,3	6816,1	5471	5063,8	22122,2	4789,2	6836,9	5477,9	5134,1	22238,1	4863	6933,1	5565	5200,2	22561,3	4738,2	6744,3	5406,1	5064,8	21953,4	4767,8	6770,4	5450,5	5101,9	22090,6					
4736,7	6771,6	5432,9	5016,3	21957,5	4735,1	6772,6	5436,2	5022,3	21966,2	4774,5	6832,7	5479,3	5068,6	22155,1	4776,6	6843,1	5481,2	5130,7	22231,6	4882,2	6955,3	5591,6	5217,4	22646,5	4740,4	6738,1	5411,9	5066,7	21957,1	4733	6736,4	5431,2	5077,5	21978,1					
4732,7	6771,3	5435	5009,9	21948,9	4742	6785,6	5448,1	5030,1	22005,8	4815,1	6907,3	5516,3	5147,8	22386,5	4787,6	6847,9	5485,2	5137,3	22258	4877,7	6958,2	5578,9	5212,2	22627	4738,4	6727,9	5416,1	5064,2	21946,6	4714,7	6702,1	5406,9	5048,9	21872,6					
4744,2	6777	5422,1	5010,4	21953,7	4741,3	6775,9	5425,9	5019,1	21962,2	4835,7	6963,1	5533,3	5188,5	22520,6	4787,4	6851,8	5493,3	5138,6	22271,1	4858,2	6931,2	5568,4	5208,1	22565,9	4725,1	6723,6	5401,6	5052,7	21903	4777	6789,2	5450,2	5100,6	22117					
4733,5	6769,1	5432,4	4996,6	21931,6	4728,9	6755,9	5428,4	5010	21923,2	4827	6958,7	5515,7	5176	22477,4	4808,2	6869,5	5507,2	5143,8	22328,7	4892,1	6978,4	5592,5	5223,1	22686,1	4724	6706,6	5385,5	5043,6	21859,7	4781,3	6798,3	5457,3	5107,4	22144,3					
4719,4	6759,8	5423	4998,9	21901,1	4709,7	6752,7	5420,8	4979,8	21863	4812,4	6942,9	5526,5	5169,6	22451,4	4821,7	6875,4	5515,1	5150,4	22362,6	4907,9	6944,1	5518,9	5163,9	22534,8	4705,3	6682,1	5375,9	5028,6	21791,9	4762	6776	5458,9	5099	22095,9					
4723,1	6765,9	5433,9	5000,4	21923,3	4696,4	6725,5	5400	4962	21783,9	4884,8	7034,6	5586,4	5236,3	22742,1	4812,8	6877,8	5523,7	5145,8	22360,1	4842,5	6904,4	5533,9	5174,8	22455,6	4685,6	6653,6	5357,8	5009	21706	4756,6	6764,6	5436,6	5082,9	22040,7					
4706,9	6747,6	5425,5	4985,7	21865,7	4702,4	6721,2	5397,5	4973,3	21794,4	4878,6	7015,2	5563,9	5217,3	22675	4805	6874,2	5520	5155,5	22354,7	4836,4	6894,3	5530,7	5176,2	22437,6	4709,1	6691,2	5382,5	5034,8	21817,6	4773,9	6724,8	5467,7	5062,5	22028,9					
4695,5	6722,9	5405,4	4974,4	21798,2	4721,2	6742,4	5421,4	4996,1	21881,1	4867,8	6999,8	5558	5219,4	22645	4824,5	6887,9	5524,1	5172,8	22409,3	4837,2	6888,6	5524,5	5167,4	22417,7	4735,7	6727,1	5411,8	5059,4	21934	4738,6	6706,5	5439,1	5052	21936,2					
4685,3	6699,5	5390,3	4953,8	21728,9	4715,9	6732,7	5409,9	4987,9	21846,4	4865,2	6997,9	5550,1	5207,6	22620,8	4817	6891,5	5533,6	5161,2	22403,3	4839,7	6900,8	5538	5175,2	22453,7	4733	6718,3	5413,6	5032	21896,9	4714	6714,9	5427,5	5046,1	21902,5					
4696,9	6727,6	5419,2	4968,8	21812,5	4702,3	6721,7	5404,2	4977	21805,2	4854,4	6980,7	5556	5209,7	22600,8	4819,4	6892,5	5535,2	5166	22413,1	4854,7	6920,3	5553,1	5179,8	22507,9	4730,5	6714,3	5404,7	5028,6	21878,1	4712,3	6692,2	5405,2	5029,9	21839,6					
4704,2	6742,6	5437,4	4997,8	21882	4699,6	6718,6	5409,1	4982,4	21809,7	4851,1	6956,6	5561,7	5199,7	22569,1	4812,7	6864,5	5517,2	5161,8	22356,2	4867,3	6954,4	5593,5	5219,8	22635	4734,4	6715,8	5394,7	5054,8	21899,7	4696,2	6679	5422,6	5019,9	21817,7					
4710,9	6733,7	5427,7	4996,8	21869,1	4707,4	6724,6	5415,5	4991	21838,5	4850,8	6935,1	5565,5	5200,8	22552,2	4814,9	6880,9	5532,3	5147,1	22375,2	4882,1	6959,6	5603,6	5227	22672,3	4734,1	6706,5	5401,2	5056,3	21898,1	4721,5	6717,1	5446	5032,5	21917,1					
4710,1	6736,7	5421,9	4999,6	21868,3	4688,8	6735,6	5422,7	4986,8	21833,9	4864,8	6951,7	5569,9	5199,3	22585,7	4816	6881,2	5533,1	5158,3	22388,6	4882,2	6965,4	5591,2	5216	22654,8	4749,2	6736	5420,1	5066,9	21972,2	4731,4	6728,1	5449,1	5033,9	21942,5					
4700,1	6739,7	5442,2	4996,3	21878,3	4714	6752,3	5415,3	5005,5	21887,1	4849,7	6948,7	5563,9	5201,2	22563,5	4797,7	6853,3	5510,3	5145,2	22306,5	4897,6	6989,8	5597,7	5236,1	22721,2	4736,9	6714,1	5408,3	5063	21922,3	4747	6748,2	5472,1	5049	22016,3					
4701,8	6738,7	5424,4	4987,9	21852,8	4718	6743,9	5419,6	4991,5	21873	4863,2	6943,8	5564,3	5205	22576,3	4820	6872,1	5509,9	5146,5	22348,5	4861,3	6939,3	5565,6	5201,1	22567,3	4760,3	6771	5461,4	5096,4	22089,1	4761,1	6767	5472,4	5065	22065,5					
4710,2	6735,1	5399,9	4989,5	21834,7	4713,9	6752,9	5407,9	4974,3	21849	4868,4	6963,2	5578,4	5196,6	22606,6	4825,6	6884,2	5512,5	5159,8	22382,1	4775,4	6796	5441,6	5104,1	22117,1	4761,2	6783,6	5474,8	5111,7	22131,3	4776	6778,6	5486,8	5080,4	22121,8					
4713,8	6755,8	5409,6	4986,7	21865,9	4715,3	6755,1	5389,9	5003,1	21863,4	4842,3	6903,9	5535,5	5166,5	22448,2	4826,6	6882,5	5502,8	5165,1	22377	4738,2	6741,9	5393,2	5074	21947,3	4747,8	6776,6	5461,3	5111,8	22097,5	4765	6762,8	5478,5	5072,5	22078,8					
4733,2	6782,9	5407,5	5016,1	21939,7	4717,6	6742	5393,4	5006,8	21859,8	4781,1	6822,1	5456,9	5119,6	22179,7	4829,5	6884,1	5509,1	5168,1	22390,8	4726,8	6740,1	5402,4	5065,7	21935	4754	6775,2	5458,8	5108,5	22096,5	4759,4	6766	5453,8	5075,4	22054,6					
4739,1	6778,9	5449,2	5016,1	21983,3	4722,5	6746,5	5403,5	4998,7	21871,2	4736,4	6770,9	5423,3	5077,9	22008,5	4822,6	6887,3	5502,7	5165,2	22377,8	4740,1	6744,2	5411,1	5073	21968,4	4741,3	6734,4	5438,6	5080,4	21994,7	4759,1	6766,1	5458,1	5050,5	22033,8					
526016,6										525184,3					537499					535699,7					538879					526725,9					528390,8				

Рисунок 2.16 – Дані споживання технічної води РЗФ за обраний період

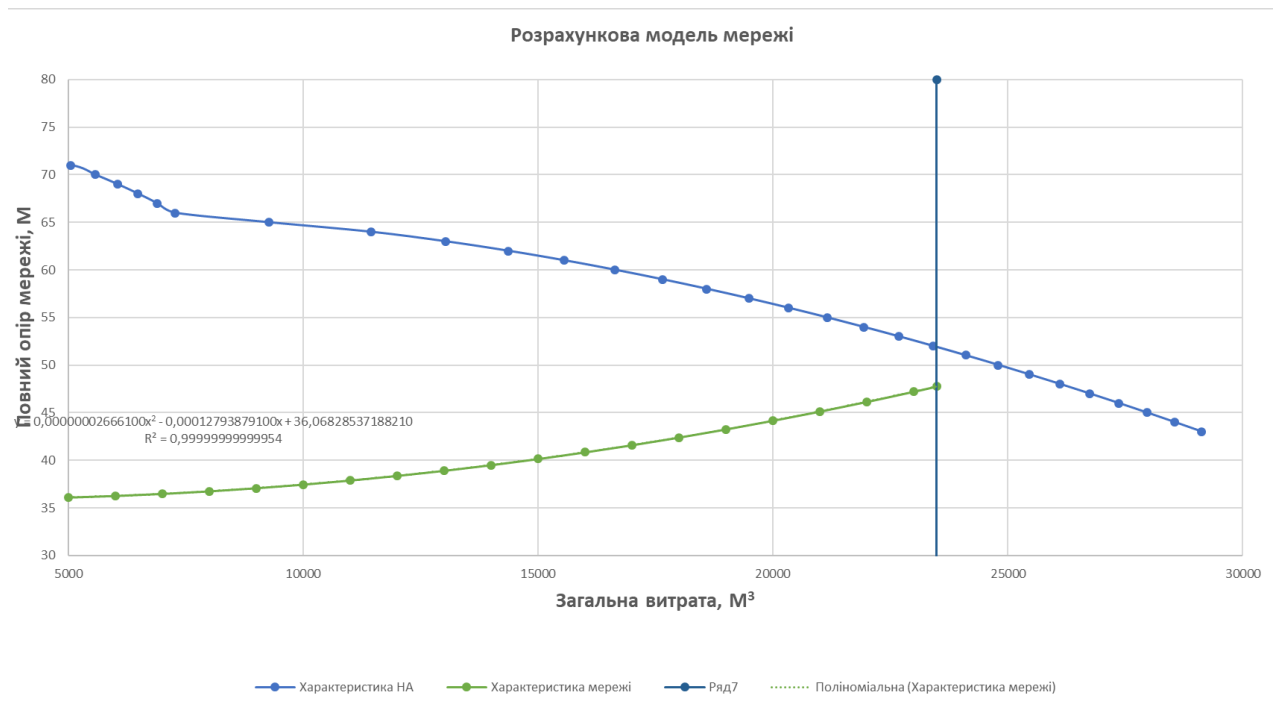


Рисунок 2.17 – Моделювання роботи водопровідної мережі

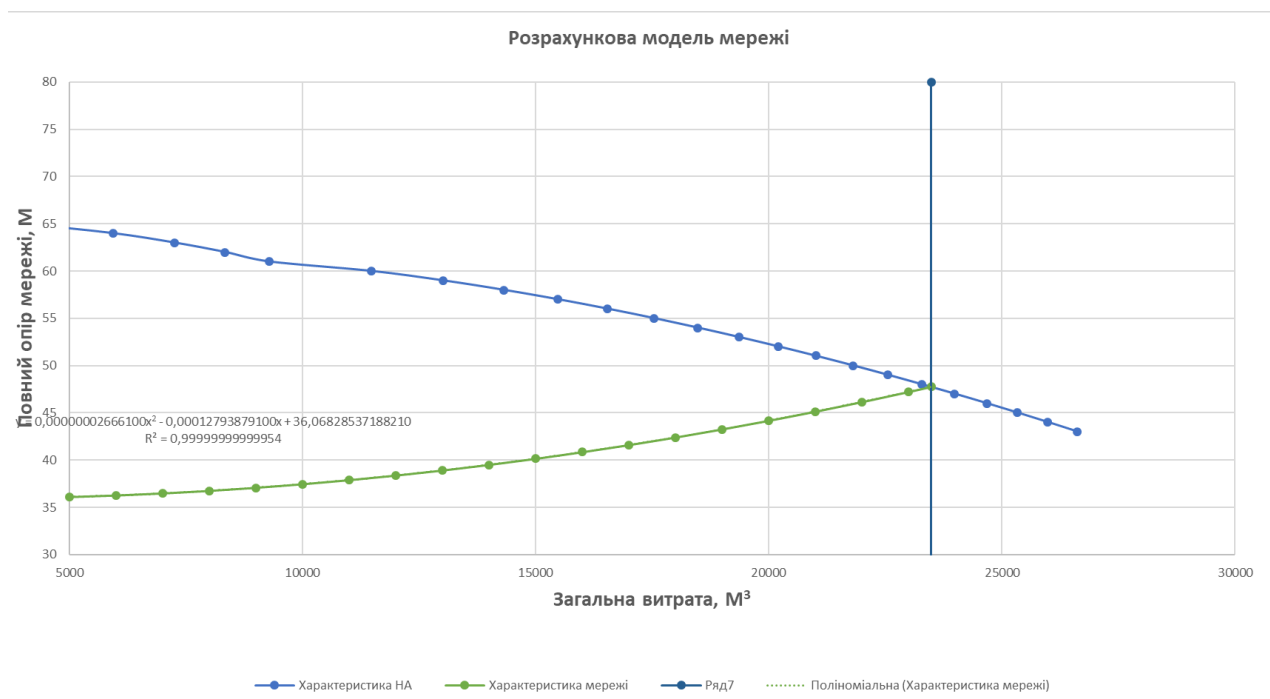


Рисунок 2.18 – Режим роботи насосної станції з ЧРП на одному агрегаті

ω_i	690	674	676	750	980		
$\omega_{ном}$	730	730	730	730	980		
v	0,945	0,923	0,926	1,027	1		
							
							
Кількість працюючих агрегатів	0	0	1	2	1		
Тип НА	Д6300 1020	Д6300 970	Д6300 915	Д6300 870	Д 2500		
Q	10318,89	8008,65	6123,83	7015,35	3341,12	Q	
H	47,70						
N	2007,57	1370,23	964,59	1182,61	510,10	P, кВт	
P	2091,22	1427,33	1004,78	1231,89	538,65	4027,7	
ККД дв	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95		
ККД чрп	0,98	0,98	0,98	1,00	1,00		
	ККД НА						
	66,81	75,97	82,52	77,11	85,14		

Рисунок 2.19 – Параметри насосних агрегатів при використанні ЧРП на обточці 915 мм

При забезпеченні необхідних параметрів роботи насосної станції за допомогою ЧРП витрати електричної енергії згідно споживаної електроенергії без регулювання (рис. 2.15) та з ЧРП на агрегаті №3 і зменшенні напору до рекомендованих параметрів (рис. 2.19) розраховуємо як:

$$\Delta W = W_{ном.} - W_{рег.} \quad (2.18)$$

$$\Delta W = 4304,9 - 4027,7 = 277,2 \text{ кВт/год}$$

Або у відсотках:

$$\Delta W\% = \frac{\Delta W}{W_{ном.}} \cdot 100 = 6,43\% \quad (2.19)$$

де: W – різниця між спожитою електроенергією в номінальному режимі та режимі з ЧРП, кВт/год;

$W_{ном.}$ – електроенергія, яка споживається в номінальному режимі роботи всіма насосними агрегатами, кВт/год (рис. 2.6);

$W_{рег.}$ – електроенергія, яка споживається всіма насосними агрегатами в режимі з використанням ЧРП, кВт/год (рис. 2.8).

Зниження споживання ел. енергії складає 277 кВт/год або 6,43%. При цьому частота обертів на насосному агрегаті з ЧРП складає 0,926 від номінальної.

Моделювання використання ЧРП при різних конфігураціях рисунок 2.20 свідчить про більш вигідне використання робочих коліс збільшеного діаметру з ЧРП, зменшення споживання ел. енергії залежить не тільки від

компенсації надмірного напору але й від ККД насосного агрегату. При використанні робочого колеса номінального розміру, а не обточеного підвищує ККД через зменшення втрат в середині корпусу насоса.

Фактичний режим							Використання чрп на оному агр з колесом 915 мм						
ω і	690	674	750	750	980	Q	ω і	690	674	676	750	980	Q
ω ном	730	730	730	730	980	23481,4	ω ном	730	730	730	730	980	23495,6
v	0,945205	0,92328767	1,0274	1,027397	1		v	0,94521	0,9233	0,92603	1,0274	1	
Кількість г	0	0	1	2	1	P, кВт	Кількість	0	0	1	2	1	P, кВт
						4304,89							4027,7
Тип НА	Д6300 102	Д6300 970	Д6300 915	Д6300 875	Д 2500		Тип НА	Д6300 102	Д6300 970	Д6300 915	Д6300 875	Д 2500	
Q	9658,631	7210,58157	8176,79	6076,738	3151,18		Q	10318,9	8008,6	6123,83	7015,35	3341,12	
H	51,9						H	47,7					
N	1881,058	1246,84981	1535,33	1048,619	493,354		N	2007,57	1370,2	964,587	1182,61	510,098	
P	1959,436	1298,80189	1599,3	1092,311	520,965		P	2091,22	1427,3	1004,78	1231,89	538,646	
ККД дв	0,96	0,96	0,96	0,96	0,947		ККД дв	0,96	0,96	0,96	0,96	0,947	
ККД чрп	0,98	0,98	1	1	1		ККД чрп	0,98	0,98	0,98	1	1	
ККД НА	72,61849	81,78808	75,3208	81,95715	90,3334		ККД НА	66,8108	75,971	82,5214	77,1067	85,138	

Рисунок 2.20 – Режими роботи насосних агрегатів при використанні робочик колес збільшеного діаметру.

Проведемо розрахунки економії електроенергії при мінімальних капіталовкладеннях тобто тільки встановлення одного ЧРП на насосний агрегат №3.

Тижневий графік споживання з витратою ел. енергії при фактичних параметрах та з використанням ЧРП наведено на рисунку 2.21.

Графік залежності сумарного споживання електроенергії працюючими агрегатами (№2,3,6,7) кВт/год. залежно від продуктивності насосної станції в номінальному режимі та з ЧРП на агр. №3 наведено на рисунку 2.22.

09.05.2026				10.05.2026				11.05.2026				12.05.2026				13.05.2026				14.05.2026				15.05.2026			
Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП	Q рзф	Q ЦГЗК	Р ном	Р ЧРП
22076,1	23488,2	4304,9	4026,9	21974,3	23390,4	4291,4	4001,8	21849,2	23270,3	4273,7	3972,2	22045,8	23459,1	4301,6	4019,3	22409,0	23807,4	4353,3	4115,6	22016,1	23430,6	4297,4	4012,0	21985,9	23401,6	4293,1	4004,6
22081,6	23493,4	4294,3	4028,3	21960,1	23376,8	4289,4	3998,4	21896,2	23315,4	4280,4	3983,2	22232,1	23637,8	4328,1	4067,2	22419,1	23817,1	4354,7	4118,4	22049,5	23462,6	4302,1	4020,3	22082,4	23494,2	4306,8	4028,5
22040,5	23454,0	4304,9	4018,0	21893,3	23312,6	4280,0	3982,5	22125,3	23535,4	4312,9	4039,4	22229,4	23635,2	4327,7	4066,5	22411,9	23810,2	4353,7	4116,4	21949,7	23366,8	4288,0	3995,9	22096,7	23507,9	4308,8	4032,1
22018,2	23432,6	4294,3	4012,5	21911,7	23330,3	4282,6	3986,8	22141,6	23551,0	4315,2	4043,6	22259,1	23663,7	4331,9	4074,4	22526,5	23920,0	4370,1	4149,4	21964,9	23381,4	4290,1	3999,5	22131,3	23541,1	4313,7	4040,9
22004,7	23419,6	4294,3	4009,2	21927,9	23345,9	4284,9	3990,7	22122,2	23532,4	4312,4	4038,6	22238,1	23643,6	4328,9	4068,8	22561,3	23953,4	4375,0	4159,6	21953,4	23370,3	4288,5	3996,8	22090,6	23502,1	4307,9	4030,6
21957,5	23374,3	4294,3	3997,7	21966,2	23382,6	4290,3	3999,8	22155,1	23564,0	4317,1	4047,0	22231,6	23637,4	4328,0	4067,0	22646,5	24035,0	4387,2	4185,3	21957,1	23373,9	4289,0	3997,7	21978,1	23394,1	4292,0	4002,7
21948,9	23366,0	4294,3	3995,7	22005,8	23420,7	4295,9	4009,5	22386,5	23785,9	4350,1	4109,2	22258,0	23662,7	4331,7	4074,1	22627,0	24016,3	4384,4	4179,3	21946,6	23363,8	4287,5	3995,1	21872,6	23292,7	4277,0	3977,6
21953,7	23370,6	4294,3	3996,8	21962,2	23378,8	4289,7	3998,9	22520,6	23914,4	4369,2	4147,6	22271,1	23675,2	4333,6	4077,6	22565,9	23957,8	4375,7	4161,0	21903,0	23321,9	4281,3	3984,8	22117,0	23527,4	4311,7	4037,3
21931,6	23349,4	4294,3	3991,5	21923,2	23341,3	4284,2	3989,5	22477,4	23873,0	4363,0	4135,1	22328,7	23730,5	4341,8	4093,2	22686,1	24072,9	4392,9	4197,4	21859,7	23280,3	4275,2	3974,6	22144,3	23553,6	4315,6	4044,2
21901,1	23320,1	4294,3	3984,3	21863,0	23283,5	4275,7	3975,4	22451,4	23848,1	4359,3	4127,6	22362,6	23763,0	4346,7	4102,6	22534,8	23928,0	4371,2	4151,8	21791,9	23215,2	4265,6	3959,1	22095,9	23507,2	4308,7	4031,9
21923,3	23341,4	4294,3	3989,6	21783,9	23207,5	4264,5	3957,2	22742,1	24126,5	4401,0	4214,9	22360,1	23760,6	4346,3	4101,9	22455,6	23852,1	4359,9	4128,8	21706,0	23132,6	4253,5	3939,9	22040,7	23454,2	4300,9	4018,1
21865,7	23286,1	4273,2	3976,0	21794,4	23217,6	4266,0	3959,6	22675,0	24062,2	4391,3	4194,0	22354,7	23755,4	4345,5	4100,4	22437,6	23834,9	4357,4	4123,7	21817,6	23239,9	4269,3	3964,9	22028,9	23442,8	4299,2	4015,2
21798,2	23221,2	4273,2	3960,5	21881,1	23300,9	4278,2	3979,6	22645,0	24033,5	4387,0	4184,8	22409,3	23807,7	4353,3	4115,6	22417,7	23815,8	4354,5	4118,0	21934,0	23351,7	4285,7	3992,1	21936,2	23353,8	4286,0	3992,6
21728,9	23154,6	4262,6	3944,9	21846,4	23267,6	4273,3	3971,5	22620,8	24010,4	4383,6	4177,5	22403,3	23802,0	4352,5	4114,0	22453,7	23850,3	4359,7	4128,3	21896,9	23316,1	4280,5	3983,3	21902,5	23321,5	4281,3	3984,6
21812,5	23235,0	4273,2	3963,7	21805,2	23228,0	4267,5	3962,1	22600,8	23991,2	4380,7	4171,4	22413,1	23811,4	4353,9	4116,7	22507,9	23902,2	4367,4	4143,9	21878,1	23298,0	4277,8	3978,9	21839,6	23261,0	4272,4	3970,0
21882,0	23301,8	4273,2	3979,8	21809,7	23232,3	4268,1	3963,1	22569,1	23960,8	4376,2	4161,9	22356,2	23756,8	4345,7	4100,8	22635,0	24023,9	4385,6	4181,8	21899,7	23318,8	4280,9	3984,0	21817,7	23240,0	4269,3	3964,9
21869,1	23289,4	4273,2	3976,8	21838,5	23260,0	4272,2	3969,7	22552,2	23944,7	4373,7	4156,9	22375,2	23775,0	4348,4	4106,1	22672,3	24059,7	4390,9	4193,2	21898,1	23317,2	4280,6	3983,6	21917,1	23335,5	4283,3	3988,1
21868,3	23288,6	4273,2	3976,6	21833,9	23255,6	4271,6	3968,6	22585,7	23976,7	4378,5	4166,9	22388,6	23787,9	4350,4	4109,8	22654,8	24042,9	4388,4	4187,8	21972,2	23388,4	4291,1	4001,3	21942,5	23359,9	4286,9	3994,1
21878,3	23298,2	4273,2	3979,0	21887,1	23306,7	4279,1	3981,0	22563,5	23955,5	4375,4	4160,3	22306,5	23709,2	4338,7	4087,2	22721,2	24106,5	4398,0	4208,4	21922,3	23340,5	4284,1	3989,3	22016,3	23430,7	4297,4	4012,1
21852,8	23273,7	4273,2	3973,0	21873,0	23293,1	4277,1	3977,7	22576,3	23967,7	4377,2	4164,1	22348,5	23749,5	4344,6	4098,7	22567,3	23959,1	4375,9	4161,4	22089,1	23500,6	4307,7	4030,2	22065,5	23478,0	4304,4	4024,3
21834,7	23256,3	4273,2	3968,8	21849,0	23270,1	4273,7	3972,1	22606,6	23996,8	4381,5	4173,2	22382,1	23781,7	4349,4	4108,0	22117,1	23527,5	4311,7	4037,3	22131,3	23541,1	4313,7	4040,9	22121,8	23532,0	4312,4	4038,5
21865,9	23286,3	4273,2	3976,1	21863,4	23283,9	4275,7	3975,5	22448,2	23845,0	4358,9	4126,7	22377,0	23776,8	4348,7	4106,6	21947,3	23364,5	4287,6	3995,3	22097,5	23508,7	4308,9	4032,3	22078,8	23490,7	4306,3	4027,6
21939,7	23357,2	4283,8	3993,5	21859,8	23280,4	4275,2	3974,6	22179,7	23587,6	4320,6	4053,4	22390,8	23790,0	4350,7	4110,5	21935,0	23352,7	4285,9	3992,4	22096,5	23507,7	4308,8	4032,1	22054,6	23467,5	4302,8	4021,5
21983,3	23399,1	4283,8	4004,0	21871,2	23291,4	4276,8	3977,3	22008,5	23423,3	4296,3	4010,1	22377,8	23777,5	4348,8	4106,8	21968,4	23384,8	4290,6	4000,4	21994,7	23410,0	4294,3	4006,8	22033,8	23447,5	4299,9	4016,4

Рисунок 2.21 – Споживання електроенергії та продуктивність агрегатів

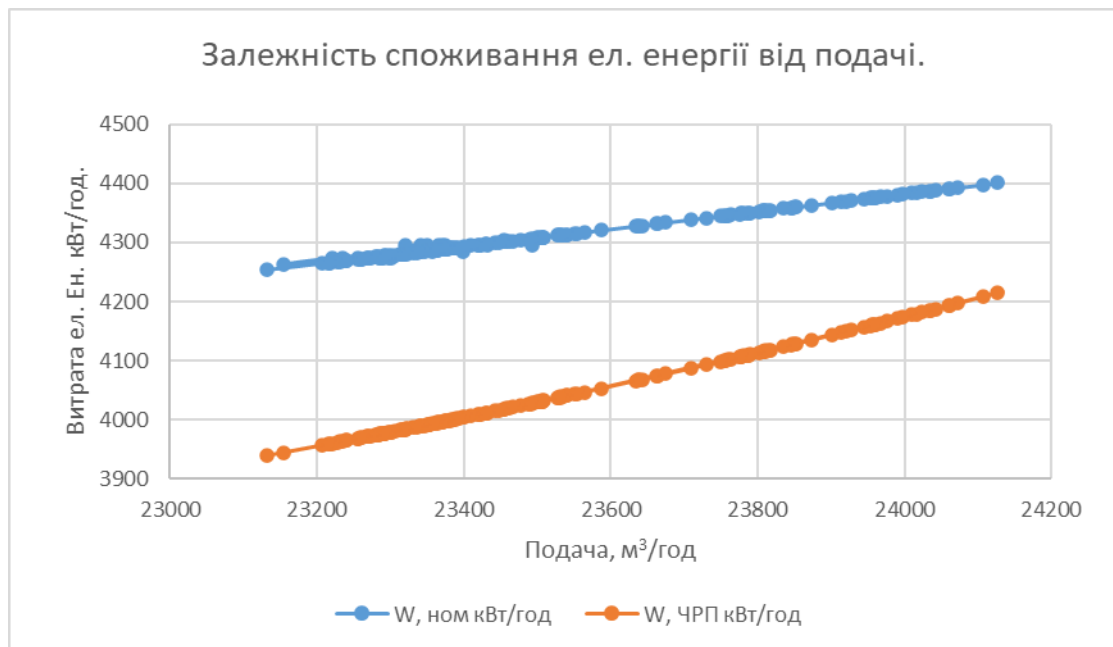


Рисунок 2.22 – Графік залежності сумарного споживання електроенергії працюючими агрегатами (№2,3,6,7) кВт/год. залежно від продуктивності насосної станції в номінальному режимі та з ЧРП на агр. №3

Згідно рисунка 2.21 розраховуємо різницю споживання електроенергії між номінальним режимом та режимом з використанням ЧРП за 7 днів:

$$\Delta W_{\text{тиж.}} = \sum_{i=1}^{168} W_{\text{ном}i} - \sum_{i=1}^{168} W_{\text{ЧРП}i}. \quad (2.20)$$

$$\Delta W_{\text{тиж.}} = 724787 - 679528 = 45259, \text{кВт/год.}$$

$$\Delta W_{\text{тиж.}} \% = \frac{\Delta W_{\text{тиж.}}}{\sum_{i=1}^{168} W_{\text{ном}i}} \cdot 100 = \frac{45259}{724787} \cdot 100 = 6,25, \%. \quad (2.21)$$

$$\Delta W_{\text{ср.доб.}} = \frac{\Delta W_{\text{тиж.}}}{7} = \frac{45259}{7} = 6,465 \text{ МВт/год} \quad (2.22)$$

де $W_{\text{тиж.}}$ – загальна тижнева економія електроенергії від впровадження ЧРП;

$\Delta W_{\text{ср.доб.}}$ – середньодобова економія електроенергії;

i – індекс розрахункової години (за 7 днів по 24 години, 1...168 годин);

$W_{\text{ном}}$ – розрахункова споживана ел. енергія працюючих агрегатів у i -ту годину в номінальному режимі, кВт/год;

$W_{\text{ЧРП}}$ – розрахункова споживана електроенергія працюючих агрегатів у i -ту годину в режимі з використанням ЧРП на агрегаті №3, кВт/год;

В середньому за тиждень з використанням ЧРП на агрегаті №3, при зниженні подачі до оптимальних показників, економія електроенергії

складає 45,259 МВт/год., або 6,25 %, середньодобова економія електроенергії складає 6,465 МВт/год.

2.4 Вибір частотного перетворювача

При виборі частотно-регульованого приводу слід визначити основні параметри: сумісність з наявним обладнанням або мінімальну модернізацію, потужність ел. двигуна, напруга мережі. Основні критерії для вибору наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Критерій вибору ЧРП

Критерій вибору	Номінальна потужність, кВт	Номінальна напруга, кВ	Тип ел. двигуна,
Параметр	1600	6	СДН-2

Проаналізувавши відкриті джерела [7], обрано частотно-регульований привод фірми ABB ACS580MV-07-0190A-060 параметри якого наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики ЧРП ABB

Серія	Діапазон регулювання, Гц	Напруга, кВ	Потужність, кВт	Тип двигунів
ACS580MV	0-120	6	1600	Асинхронні, синхронні

Вартість базової комплектації починається від 5 мільйонів гривень. Приклад аналізу ціни наведено на рисунку 2.23. Загальний вид ЧРП наведено на рисунку 2.24. Структурна схема підключення частотно-регульованого приводу наведено на рисунку 2.25.

У кошику 1 товар



Високовольтний перетворювач частоти 6 кВ ABB

ACS580MV

Вибір потужності, кВт (ACS580 6 кВ): 1600

-

1

+

4 989 600 грн

🗑️

Разом без ПДВ: 4 158 000 грн

ПДВ (20%): 831 600 грн

Всього з ПДВ: 4 989 600 грн

Продовжити покупки

Замовлення в 1 клік

Оформити замовлення

Рисунок 2.23 – Приклад ціноутворення ЧРП серії ACS580MV



Рисунок 2.24 – Загальний вид ЧРП ACS580MV

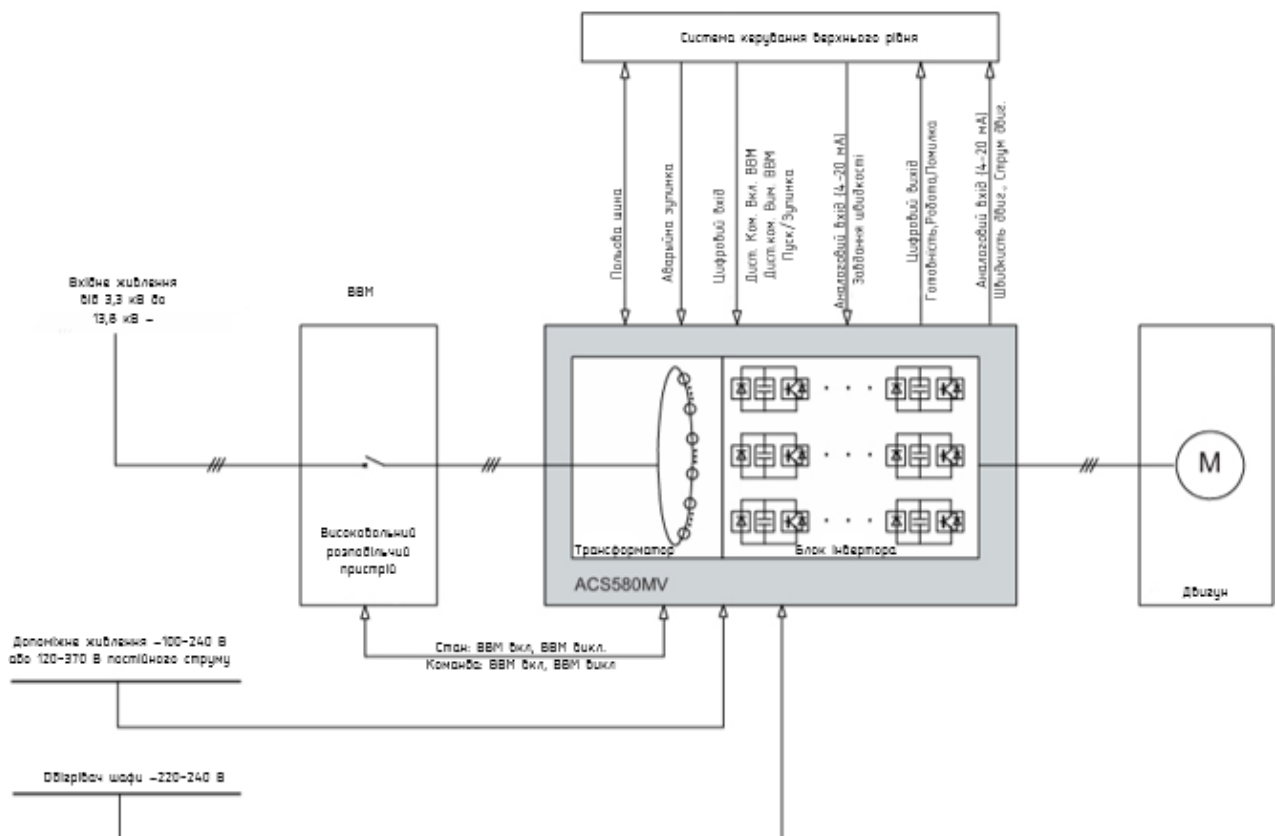


Рисунок 2.25 – Структурна схема включення ЧРП

Отже, провели моделювання роботи насосної станції без використання ЧРП та з ним, розглянули режими роботи які відрізняються від номінальних. Розглянуто економію електроенергії при використанні ЧРП з мінімальними змінами в механізмах. Отримані результати дозволяють розрахувати економічну частину кваліфікаційної роботи.

3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

3.1 Розрахунок економічного ефекту

Насосна станція першого підйому технічного водопостачання ЦГЗК є основним засобом доставки технічної води для потреб підприємства. Відносна простота механізмів забезпечує стабільну роботу основних споживачів таких як збагачувальна фабрика та супутні споживачі.

Функціонування насосної станції напряду впливає на кінцеву собівартість продукції. Основним засобом регулювання на даний момент є зміна кількості та потужності працюючих насосних агрегатів і дроселювання у споживача.

Завданням випускної роботи є дослідження режимів роботи насосної станції першого підйому ЦГЗК з обґрунтуванням економічно доцільних заходів, направлених на економію електричної енергії.

В табл. 3.1 наведено приблизну вартість обладнання для втілення запропонованих заходів.

Таблиця 3.1 – Формування суми капітальних інвестицій

ЧРП ACS580MV	~5000000 грн
Шафа збудження	~500000 грн
Пуско налагоджувальні роботи	~10 % від загальної вартості обладнання
Транспортні витрати	~100000 грн
Загалом	~6010000 грн

Економія за рік визначається згідно формули (2.20) як:

$$W_{\text{річне}} = \frac{\Delta W_{\text{тиж.}}}{168} \cdot 8760 = \frac{45.259}{168} \cdot 8760 = 2359,933, \frac{\text{МВт}}{\text{год}}. \quad (3.1)$$

де: $W_{\text{річне}}$ – річна економія електроенергії, МВт/год;

168 – кількість годин в тижні;

8760 – кількість годин у році.

Вартість 1 кВт електроенергії згідно [8,9] складає приблизно 6,24 грн/кВт за квітень місяць 2026 року (рис. 3.1, табл. 3.2).

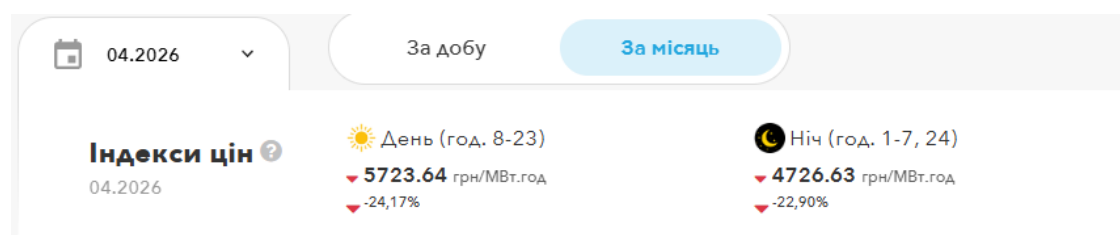


Рисунок 3.1 – Ринок електроенергії на добу наперед за квітень 2026 року



Таблиця 3.2 – Розрахунок середньогодинної вартості електроенергії

Ціна електроенергії			
При 1 МВт/год			
Послуга передачі, грн/МВт	110,03	24	2640,72
Послуга транспортування, грн/МВт	742,91	24	17829,84
ел.енергія День, грн/МВт	5723,64	16	91578,24
ел.енергія Ніч, грн/МВт	4726,63	8	37813,04
Середнє грн. за кВт/год	6,24		
З ПДВ, 20%, грн	7,49		

Річна економія з урахуванням ПДВ 20%:

$$2359,933 \cdot 10^3 \cdot 7,49 = 17\,671\,178,304 \text{ грн.}$$

Використовуємо метод оцінки проекту за чистою приведеною вартістю, яка математично виражається формулою [10]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - I. \quad (3.2)$$

де: NPV – чиста приведена вартість;

B_t – заощадження за проектом у t -му році;

C_t – витрати за проектом у t -му році;

I – капітальні витрати (інвестиції);

i – ставка дисконтування.

Коефіцієнт дисконтування згідно [11]:

$$k_i = \frac{1}{(1+i)^n}. \quad (3.3)$$

де: $n = 0,15$ – ставка дисконтування;

i – поточний рік проекту;

k – коефіцієнт дисконтування.

Наприклад для першого року:

$$k_1 = \frac{1}{(1+0,15)^0} = 0,9.$$

Розраховуємо в ехел та вносимо до таблиці 3.3. Згідно [12] податковий мінімум життя проекту складає 5 років.

Таблиця 3.3 – Розрахунок чистої приведеної вартості

Рік	Витрати, грн	Заощадження, грн	Грошовий потік, грн	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтований грошовий потік, грн
0	-6010000	0	-6010000	1,00	-6010000
1	0	17671178,3	17671178,3	0,90	15926157,62
2	0	17671178,3	17671178,3	0,85	14986400,02
3	0	17671178,3	17671178,3	0,81	14353456,92
4	0	17671178,3	17671178,3	0,79	13880976,16
5	0	17671178,3	17671178,3	0,76	13506499,95
	-6010000	88355891,5	82345891,5		66643490,66

Простий термін окупності (PP) складає:

$$PP = \frac{\text{Капітальні вкладення}}{\text{Річна економія}} = \frac{6010000}{17671178,3} = 0,34 \text{ року.} \quad (3.4)$$

При додатньому дисконтованому грошовому потоці в кінці життєвого циклу проекту, такий проект вважається прийнятним. Короткий термін окупності проекту свідчить про його привабливість для інвестора.

3.2 Висновки до розділу

Завданням випускної роботи є зниження енергоспоживання насосними агрегатами при повноцінному забезпеченні технологічного процесу.

Запропоновані заходи ґрунтуються на розрахованих техніко – економічних показниках реального режиму роботи насосної станції.

Таким чином річний економічний ефект при впровадженні частотно – регульованого приводу на насосному агрегаті №3 складає 17671,982 тис. грн. Термін окупності проекту складає 0,34 року.



4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ

Метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм людини і, як наслідок, зниження рівня виробничого травматизму та профільних захворювань.

Охорона праці – це система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, технічних, гігієнічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Загальними законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України “Про охорону праці”. Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці та багато інших нормативних документів.

Закон України “Про охорону праці” є одним із найважливіших актів законодавства і визначає основи і положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону праці їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності. Дія цього Закону поширюється на всі підприємства, установи й організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до трудового процесу на цих підприємствах.

Електрослюсар черговий та з ремонту устаткування працюючи на насосній станції першого підйому «ЦГЗК» цеху шламового господарства та технічного водопостачання повинен дотримуватись інструкцій з охорони праці, а саме інструкція з охорони праці № ІОП 011-018-2025 для електрослюсаря чергового та з ремонту устаткування цеху технічного водопостачання та шламового господарства.

4.1 Інструкція з охорони праці

4.1.1 Загальні вимоги охорони праці

Вимоги поширюються на електрослюсаря чергового та з ремонту устаткування цеху технічного водопостачання та шламового господарства (ЦТВШГ). Працівник належить до оперативно-ремонтного персоналу для роботи в електроустановках до і вище 1000 В.

Працівник адміністративно та технічно підпорядковується майстру з ремонту обладнання ЦТВШГ.

Робоче місце охоплює електрообладнання дільниць водопостачання, каналізації, теплових мереж та насосних станцій (електродвигуни до 2000 кВт, РУ, РП, кабельні лінії та ЛЕП до 6000 В, електрифіковані вантажопідіймальні механізми, освітлювальні мережі).



Вимоги до працівників. До самостійної роботи допускаються особи від 18 років, які пройшли медогляд, мають відповідну кваліфікацію та щорічно підтверджують групу з електробезпеки (II-V).

Навчання та допуск. Працівник проходить вступний і первинний інструктаж (надалі - кожні 3 місяці) та стажування під наглядом досвідченого працівника (від 2 до 15 змін). Допуск до роботи або суміщення професій оформлюється розпорядженням по цеху після успішної перевірки знань.

Основні обов'язки: знати та неухильно виконувати вимоги законодавства з охорони праці, ПБЕЕС, ПУЕ, ПТЕЕС, правила пожежної безпеки, а також внутрішні стандарти підприємства (системи БМП, нарядів-допусків, бірочної системи тощо).

Безпека та реагування: обов'язково користуватися засобами індивідуального (ЗІЗ) та колективного захисту. Негайно повідомляти керівника про будь-які порушення, небезпеки на робочому місці, мікротравми чи погіршення стану здоров'я. Вміти надавати першу допомогу.

Характеристика робіт: виконання оперативних перемикачів, підготовка робочих місць, допуск ремонтних бригад, а також монтаж, ремонт, технічне обслуговування та випробування електрообладнання і мереж.

Пересування територією: здійснюється виключно встановленими пішохідними маршрутами (у зимовий період - доріжками, обробленими протиковзкими матеріалами).

Спецодяг (ЗІЗ): дозволяється працювати лише у виданому та справному спецодязі (захисний костюм, шкіряні або кирзові черевики, каска, захисні окуляри, респіратор, рукавиці, зокрема діелектричні). Узимку додатково застосовується утеплений комплект.

Заборони. Категорично заборонено приступати до роботи у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, а також пробувати чи пити невідомі рідини.

Шкідливі та небезпечні фактори: робота поблизу струмоведучих частин або рухомих механізмів (високий ризик травматизму та ураження струмом), робота на висоті, підвищена напруженість праці.

Особиста гігієна. Працювати у чистому одязі, утримувати інструмент у чистоті, обов'язково мити руки з милом перед їжею та приймати душ після завершення зміни.

4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Прийом зміни та отримання завдання.

Прибути на змінно-зустрічні збори у справному спецодязі, отримати завдання, ознайомитися із заходами безпеки та розписатися у журналі.

Змінному персоналу: оглянути обладнання, дізнатися про його стан від попередньої зміни, перевірити інструмент, ключі, документацію та ЗІЗ.



Оформити прийом-передачу в оперативному журналі підписами обох сторін та доповісти начальнику зміни.

Заборонено приймати зміну під час ліквідації аварій, оперативних перемикачів або на неприбраному робочому місці. При несправностях обладнання прийом дозволяється лише з дозволу керівництва (з відміткою в журналі).

Аналіз безпечного виконання робіт (АБВР). Перед початком роботи працівник зобов'язаний виконати 5 обов'язкових кроків:

- визначити джерела небезпеки для життя, здоров'я та довкілля на всіх етапах.
- оцінити можливі наслідки цих небезпек.
- вжити заходів захисту (перевірити наявність навичок, ЗІЗ, пристосувань).
- продумати план дій на випадок нештатних ситуацій.
- прийняти рішення: розпочинати роботу можна лише за 100% впевненості у безпеці. Якщо є сумніви - не починати роботу і звернутися до керівника.

Перевірка робочого місця та ЗІЗ: перевірити справність інструменту, освітленість, наявність огорожень, заземлення та пожежного інвентарю.

Упевнитися в комплектності та справності засобів індивідуального захисту (зокрема, перевірити терміни випробувань по клеймах).

Допуск до роботи та відмова від неї. Приступати до роботи (за нарядом або розпорядженням) виключно після виконання всіх організаційно-технічних заходів.

Допускається передача наряду по телефону (оформлюється у 3-х примірниках: один у того, хто видає, два - у того, хто приймає).

Заборонено приступати до роботи без інструктажу або якщо умови суперечать технологічним картам, ПОР чи створюють небезпеку. Про всі неусунені порушення негайно доповідати керівництву.

4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи

Загальні обов'язки та організація робіт. Працівник несе відповідальність за безаварійну роботу електрообладнання на своїй ділянці. Виконувати дозволяється виключно доручену роботу за наявності допусків. Роботи в електроустановках починати тільки після офіційного допуску (крім робіт у порядку поточної експлуатації).

Контроль обладнання. Регулярно проводити обходи. Усі планові зупинки узгоджувати з начальником зміни, а в разі явної загрози безпеці - вимагати негайної зупинки механізмів. Своєчасно вести оперативну документацію.

Вимоги до ЗІЗ та робочого місця. Працювати виключно у справному спецодязі. На території комбінату обов'язкове носіння захисних окулярів (або лицьового щитка при ризику травмування обличчя).



При переведенні на іншу роботу вимагати відповідний інструктаж та ЗІЗ.

Утримувати робоче місце в чистоті, не захаращувати проходи. Заборонено обдувати спецодяг стисненим повітрям.

Безпека при роботі з ручним інструментом:

- переносити інструмент у спеціальній сумці; категорично заборонено класти його на струмоведучі частини;
- використовувати лише справний інструмент (без тріщин на бойках). Заборонено подовжувати гайкові ключі трубами;
- при рубці металу та роботі на заточувальному верстаті обов'язково застосовувати захисні окуляри. Зазор підручника наждачного верстата має бути 1,5–2,0 мм. Напилки чистити металевою щіткою.

Робота на висоті. З приставних сходів працювати мінімум удвох. Як підставки використовувати лише типові конструкції (заборонено застосовувати ящики, бочки тощо).

Електробезпека. Заземлення накладати на всі відключені фази, звідки можлива подача напруги (заборонено використовувати випадкові провідники чи скрутки).

Невідключені струмоведучі частини надійно огорожувати діелектричними накладками (дерево, гума тощо).

Захищати кабелі від механічних пошкоджень, мастил, кислот та гарячих поверхонь.

Переносні світильники мають бути заводськими із захисною сіткою: напруга не вище 42 В, а в особливо небезпечних місцях (траншеї, металеві резервуари) – не вище 12 В.

Пожежна безпека. Курити дозволено лише у відведених місцях. Заборонено зберігати на робочому місці легкозаймисті речовини та використовувати саморобні електроприлади. При пожежі негайно дзвонити 101 та застосувати вогнегасники.

Припинення роботи. Негайно зупинити роботу при: поломках обладнання, замиканнях, загоряннях, появі непередбачених небезпечних факторів, погіршенні погодних умов або власного самопочуття. Необхідно попередити оточуючих, обмежити доступ до небезпечної зони, за можливості безпечно усунути загрозу та доповісти керівнику.

4.1.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Відновлення робочого місця та закриття наряду: вивести бригаду, зняти тимчасові заземлення й плакати, встановити постійні огороження, закрити на замки двері, збірки та щити.

Закрити наряд (з відповідними записами у документації) дозволяється лише після перевірки робочого місця на відсутність людей, інструменту та сторонніх предметів.

Негайно доповісти особі, яка видала наряд/розпорядження, про виконання завдання.



Прибирання. Скласти інструмент, матеріали та пристосування на штатні місця. Прибрати виробничі відходи та промаслене ганчір'я у відповідні контейнери. Ртутні лампи упакувати та здати на зберігання для демеркуризації. Передача зміни (для чергового персоналу). Прибрати чергове приміщення, впорядкувати документацію, ЗІЗ та бірочні дошки. Спільно обійти обладнання: поінформувати приймаючого зміну про стан устаткування (особливо резервного, в ремонті, на «сушці» та стан ізоляції). Доповісти керівництву (майстру, енергетика, начальнику зміни) про всі виявлені протягом роботи неполадки. Оформити здачу зміни в оперативному журналі та/або журналі обліку робіт із зазначенням часу. Категорично заборонено залишати робоче місце без здачі зміни (виняток - дозвіл вищестоящого оперативного керівництва).

Особиста гігієна. Упорядкувати спецодяг і спецвзуття, прибрати їх у шафу. Вимити руки та обличчя з милом, за можливості прийняти душ. Заборонено використовувати хімічні речовини для миття шкіри.

4.1.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Загальні дії та ознаки аварії. Працівник зобов'язаний знати План ліквідації аварій (ПЛА), розташування засобів захисту, зв'язку та сигналізації. Ознаки аварії: поява диму/вогню, надмірна вібрація, поломка механізмів, перегрів підшипників. При виявленні загрози: негайно зупинити обладнання, оцінити небезпеку, доповісти керівництву (начальнику зміни) та приступити до ліквідації згідно з ПЛА (не чекаючи додаткового наряду). Далі діяти під контролем керівника рятувальних робіт.

Дії при конкретних загрозах. Пожежа: обов'язково знеструмити електрообладнання, викликати пожежну команду (тел. 50-01) та почати гасіння первинними засобами (вогнегасники, пісок). Обвалення: звільнити постраждалих, вийти з небезпечної зони або, якщо вихід заблоковано, чекати рятувальників. Загазованість / Затоплення: негайно покинути аварійну ділянку (при загазованості - за можливості забезпечити провітрювання). Ураження струмом: знеструмити ділянку, надати потерпілому домедичну допомогу.

Заборонено працювати на несправному обладнанні, знімати огороження чи допускати сторонніх. Проходи мають бути вільними та добре освітленими. Негайно зупиняти машини при наближенні людей до обертових частин.

Надання домедичної допомоги. Оцінити обстановку, усунути загрози для себе та потерпілого, припинити дію травмуючого фактора. Перевірити наявність свідомості, дихання, кровотеч чи переломів. Якщо немає підозри на травму хребта чи тазу - перевести потерпілого у стабільне бокове положення. Негайно повідомити керівника та начальника зміни (тел. 410-57-91). Виконати необхідні невідкладні дії (реанімація, зупинка кровотечі, іммобілізація), підтримувати життєві функції та психологічний стан потерпілого до передачі його медикам екстреної допомоги.



4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

У процесі виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту електроустаткування на робочому місці електрослюсаря присутня низка шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Відповідно до вимог охорони праці, їх ідентифікація є обов'язковою умовою для безпечного виконання робіт та збереження здоров'я працівників.

Шкідливі виробничі фактори (фактори, тривалий вплив яких може призвести до погіршення самопочуття, зниження працездатності або розвитку професійних захворювань).

Шум. Робота насосних агрегатів (Д6300-80, Д2500-62), електродвигунів великої потужності (СДН-2, ДАЗО-450), трансформаторів та систем вентиляції. Наслідки: зниження концентрації уваги, швидка втомлюваність, при тривалому впливі — поступове зниження гостроти слуху. Захист: використання протишумових вкладишів (берушів) або захисних навушників, контроль за справністю обладнання.

Вібрація (загальна та локальна). Передача коливань від працюючих електродвигунів, привідних механізмів насосів та компресорів. Наслідки: негативний вплив на нервову та серцево-судинну системи, захворювання опорно-рухового апарату (вібраційна хвороба). Захист: віброізоляція обладнання, застосування антивібраційних килимків та рукавиць, дотримання режиму праці та відпочинку.

Підвищена температура від обладнання. Нагріті корпуси електродвигунів, робота поблизу теплових мереж або в закритих приміщеннях (камерах) з недостатньою вентиляцією. Наслідки: теплове виснаження, порушення терморегуляції організму, ризик отримання термічних опіків при дотику. Захист: використання спецодягу з відповідних тканин, забезпечення належної вентиляції робочої зони, застосування захисних екранів.

Електромагнітне поле. Розподільчі пристрої (РУ), повітряні та кабельні лінії електропередачі (ЛЕП), працюючі силові трансформатори та електродвигуни великої потужності. Наслідки: функціональні розлади нервової системи, головний біль, підвищена втомлюваність. Захист: екранування джерел випромінювання, дотримання безпечних відстаней, обмеження часу перебування в зонах з високим рівнем електромагнітного поля.

Небезпечні виробничі фактори (Фактори, вплив яких за певних умов може призвести до раптового гострого порушення здоров'я, травми або летального наслідку).

Ураження електричним струмом. Струмоведачі частини електроустановок (кабелі живлення агрегатів 6кВ, кабелі живлення допоміжного обладнання 0,4 кВ), що знаходяться під напругою (до і вище 1000 В), пошкоджена ізоляція кабелів, відсутність або обрив захисного заземлення. Наслідки: електричні опіки, електрошок, зупинка дихання та серцебиття, летальний випадок. Захист: суворе дотримання



організаційно-технічних заходів (знеструмлення, вивішування плакатів, перевірка відсутності напруги, накладання заземлення), система БМП (блокування-маркування-перевірка), застосування діелектричних засобів захисту.

Падіння з висоти. Обслуговування кранових тролей, освітлювальних приладів, робота на естакадах або з приставних драбин. Наслідки: важкі механічні травми, переломи, інвалідність або летальний випадок. Захист: застосування запобіжних поясів та страхувальних систем, використання інвентарних риштувань та випробуваних драбин, робота у складі не менше двох осіб.

Обертові та рухомі частини механізмів. Вали електродвигунів, з'єднувальні муфти насосів, вентилятори, елементи вантажопідіймальних механізмів. Наслідки: захоплення частин одягу, затягування кінцівок у механізми, що призводить до важких травм або ампутацій. Захист: встановлення надійних захисних огорожень (кожухів), повна зупинка та блокування механізмів перед початком ремонтних робіт, робота в застібнутому спецодязі без звисаючих елементів.

4.2 Висновки до розділу

Охорона праці на виробництві, де був спроектований даний об'єкт, займає найпитомішу вагу в організації виробничого процесу. Дотримання Закону „Про охорону праці”, певних стандартів та правил, в першу чергу пов'язано з збереженням здоров'я працівників та поліпшенню умов праці і, як наслідок, веде до зростання працездатності працівників та економічного стану підприємства.



ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто та розроблено заходи для покращення енергоефективності режимів роботи насосної станції першого підйому ПрАТ «ЦГЗК».

Прораховано математичну модель насосної станції та насосних агрегатів, побудовано графіки робочих характеристик, що дозволило моделювати різні режими роботи насосної станції.

Проаналізовані номінальні режими роботи насосної станції свідчать про здатність системи до економії електроенергії при зміні методу регулювання дроселюванням на встановлення частотно-регульованого приводу на насосному агрегаті №3. Встановлення частотно-регульованого приводу на насосний агрегат №3 обумовлено вищим ККД насосного агрегату серед встановлених на даний час на насосній станції.

Встановлення частотно-регульованого електроприводу дозволяє економити за добу приблизно 6,46 МВт/год. електроенергії. Простий термін окупності проекту складає 0,34 роки. Не фінансові позитивні фактори встановлення ЧРП – це пуск двигуна із зменшенням пускових струмів.

Оцінка чистої приведеної вартості свідчить про економічну доцільність впровадження проекту.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій : навч. посіб. / В. О. Панченко, В. Ф. Герман, О. В. Івченко та ін. ; за заг. ред. В. О. Панченка. Суми : Сумський державний університет, 2020. 270 с.
2. Кондусь В. Ю., Котенко О. І. Лопатеві насоси : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2021. 293 с.
3. Коренькова Т. В., Сердюк О. О., Ковальчук В. Г. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом : навч. посібник. Кременчук : Видавництво ПП Щербатих О. В., 2013. 200 с.
4. Способи регулювання насосів. СВ АЛЬТЕРА : сайт. URL: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/water_supply/6153.php (дата звернення: 22.03.2026).
5. Семенов А. О., Скрипник В. О., Сахно Т. В., Бут А. Г. Оптимізація електроприводів насосних агрегатів систем водопостачання на основі частотного регулювання. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2025. № 2 (11). С. 91–92.
6. Коренькова Т. В. Насоси. Особливості включення. Характеристики насосів і режимів енергоспоживання при перемінній швидкості обертання : навч. посіб. Кременчук : КГПУ, 2002. 56 с.
7. Високовольтний перетворювач частоти 6 кВ ABB ACS580MV. privod.kiev.ua : веб-сайт. URL: https://privod.kiev.ua/vysokovoltnyj_preobrazovatel_chastoty_6_kv_abb_acs580mv (дата звернення: 10.06.2026).
8. Оператор ринку : веб-сайт. URL: <https://www.oree.com.ua/> (дата звернення: 11.06.2026).
9. НКРЕКП затвердила тарифи НЕК «Укренерго» на 2026 рік. НЕК «УКРЕНЕРГО» : офіційний сайт. URL: <https://ua.energy/zagalni-povyny/natsionalnyj-regulyator-nkrekp-zatverdyyv-taryfy-nek-ukrenergo-na-2026-rik/> (дата звернення: 11.06.2026).
10. Про затвердження Методики аналізу ефективності здійснення державно-приватного партнерства. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0109-22#Text> (дата звернення: 10.06.2026).
11. Облікова ставка Національного банку. Національний банк України : офіційний сайт. URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish> (дата звернення: 11.06.2026).
12. Мінімально допустимі строки амортизації основних засобів та необоротних активів. Територіальні органи ДПС у Тернопільській області : офіційний сайт. URL: <https://tr.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/print-439312.html> (дата звернення: 11.06.2026).
13. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля, 2017. 617 с.



14. Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії і гірництві» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, галузь знань 14 Електрична інженерія 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / G3 Електрична інженерія. Запоріжжя : ТОВ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025.

15. Панченко В. О., Гусак О. Г., Папченко А. А., Хованський С. О. Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2015. 151 с.

16. Гідравлічні і аеродинамічні машини / О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, М. І. Колотило, В. Д. Колотило, Ф. М. Клепіков. Кіровоград, 1997. 176 с.

17. Холоменюк М. В. Насосні та вентиляторні установки : навч. посібник. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2004. 330 с.

18. Методичні вказівки до практичних занять із дисципліни «Гідродинамічні машини» / уклад. В. Ю. Кондусь. Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 4–8.

19. Євтушенко А. О. Гідродинамічні машини і передачі : навч. посібник. Суми : Сумський державний університет, 2005. С. 8–15.

20. Шевчук С. П., Попович О. М., Світлицький В. М. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 308 с.

21. Інструкція з охорони праці для електрослюсаря чергового та з ремонту устаткування. Кривий Ріг : ПРАТ «ЦГЗК», 2025. 15 с. (Внутрішній нормативний документ підприємства).



ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Кіншаков В. Ю., Рухлов А. В. Упровадження технологій Smart Grid при модернізації електроенергетичних систем в Україні. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2024. № 2. С. 71–[XX]. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-11>.
2. Кіншаков В. Ю., Павлишин С. В., Хілов В. С. Комп'ютерна модель багатозв'язаної електрогідромеханічної системи першої ступені насосної станції ЦГЗК. Автоматизація та біомедичні і комп'ютерні технології : тези доповідей Всеукр. наук.-техн. інтернет-конференції, м. Дніпро, 26 березня 2025 р. (ДВНЗ «ПДТУ»). Дніпро : ПДТУ, 2025. С. [94–97].

Однолінійна схема електропостачання НСЗВ

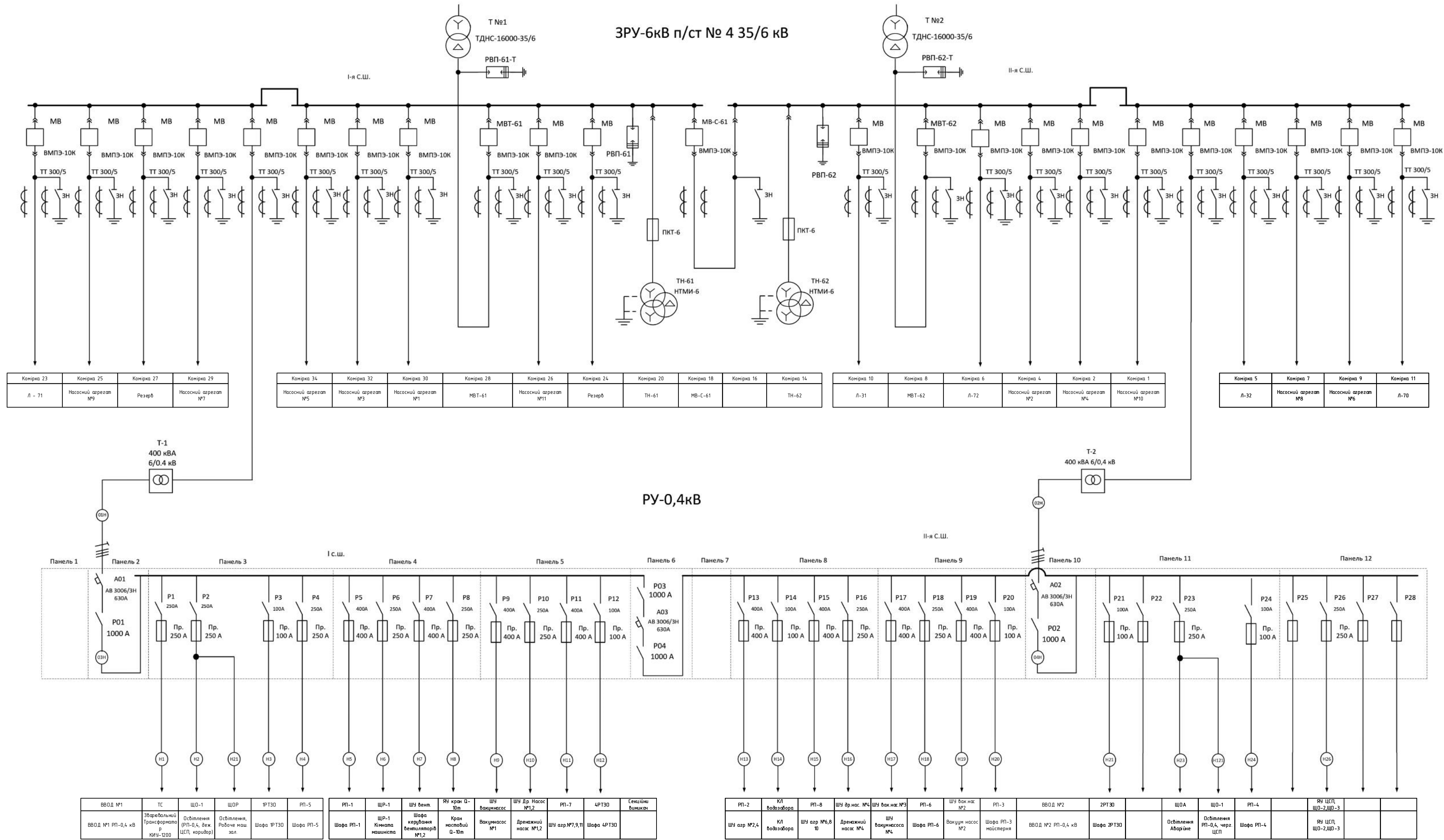
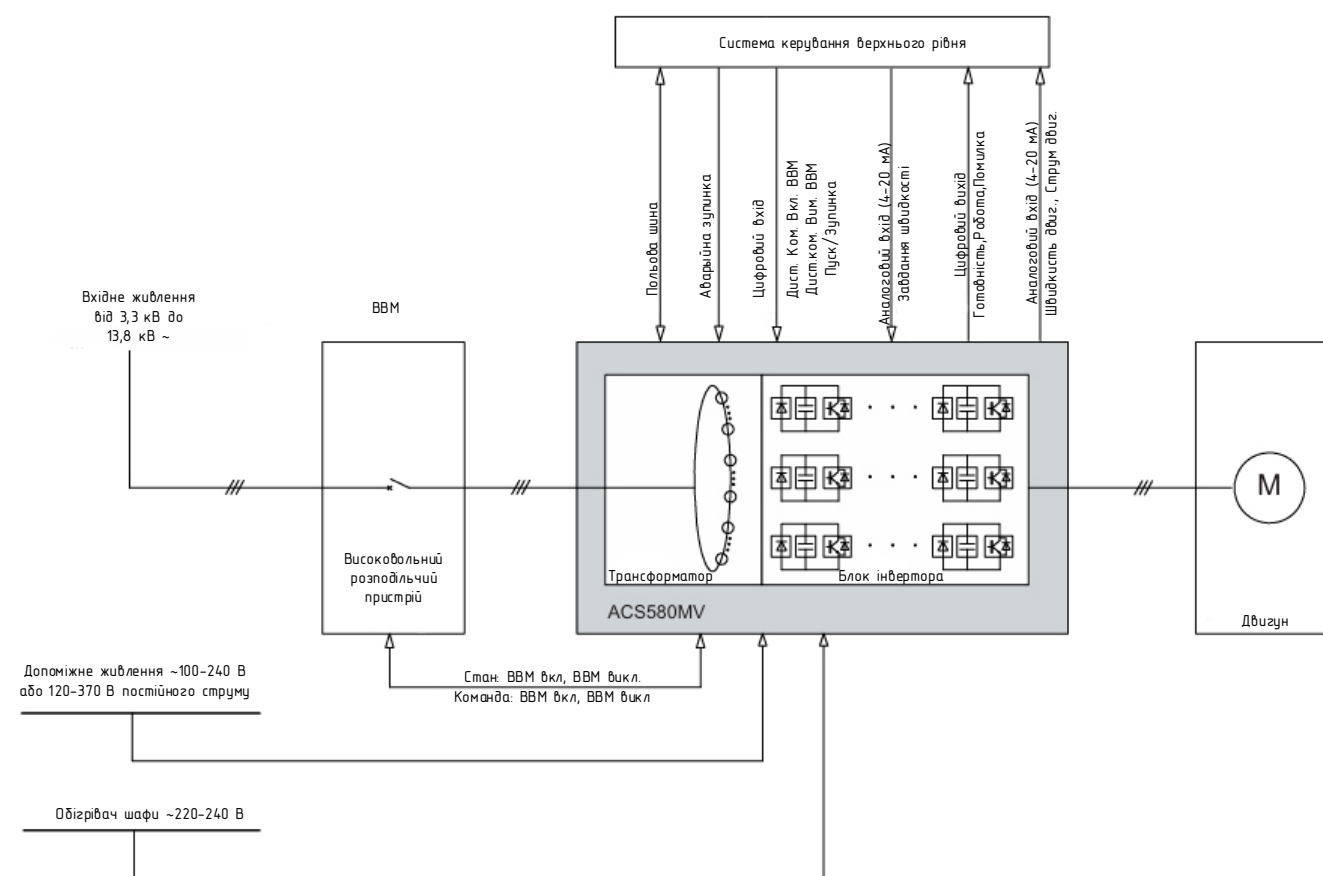
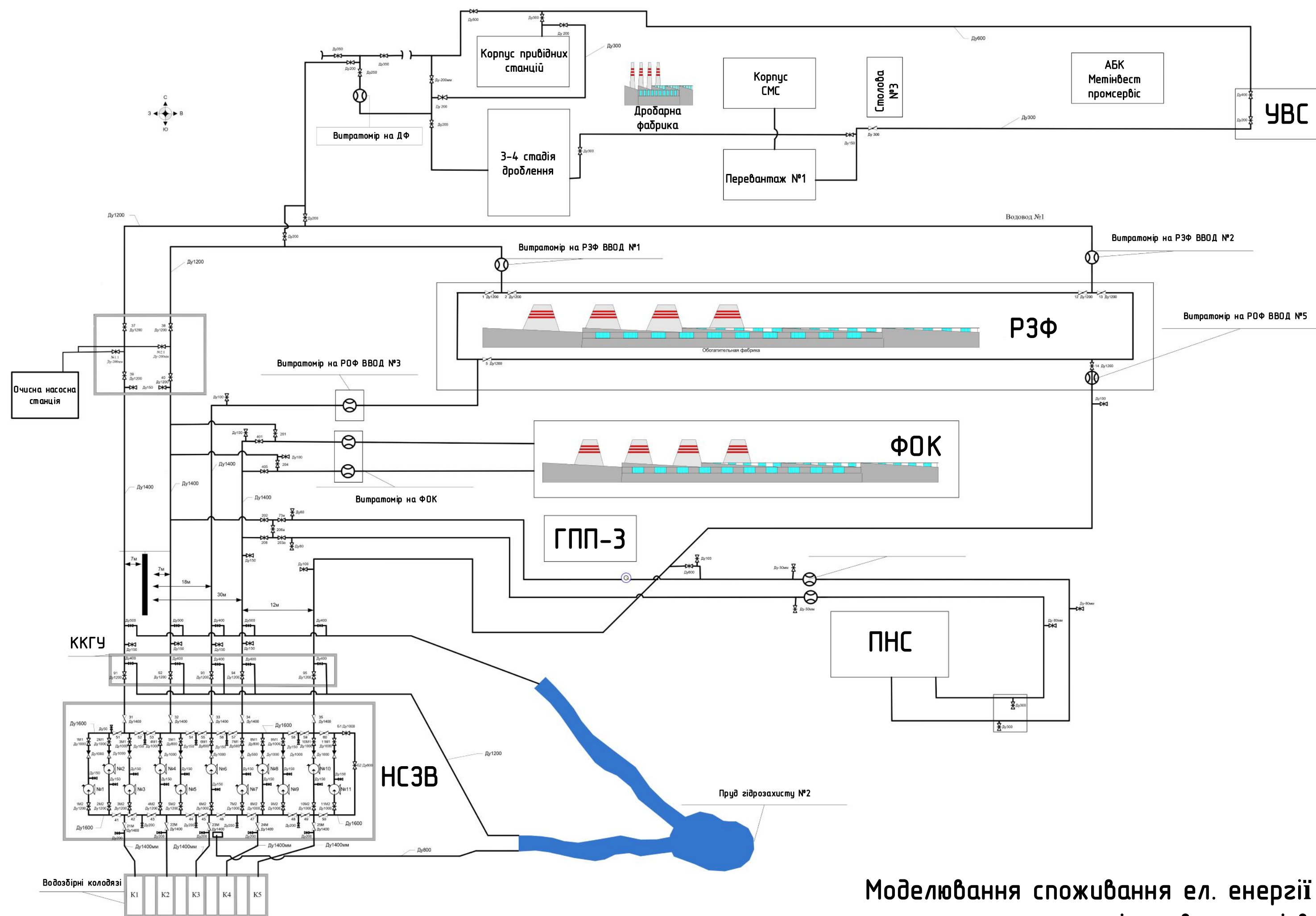


Схема структурна частотно-регульованого приводу ABB ACS580MV

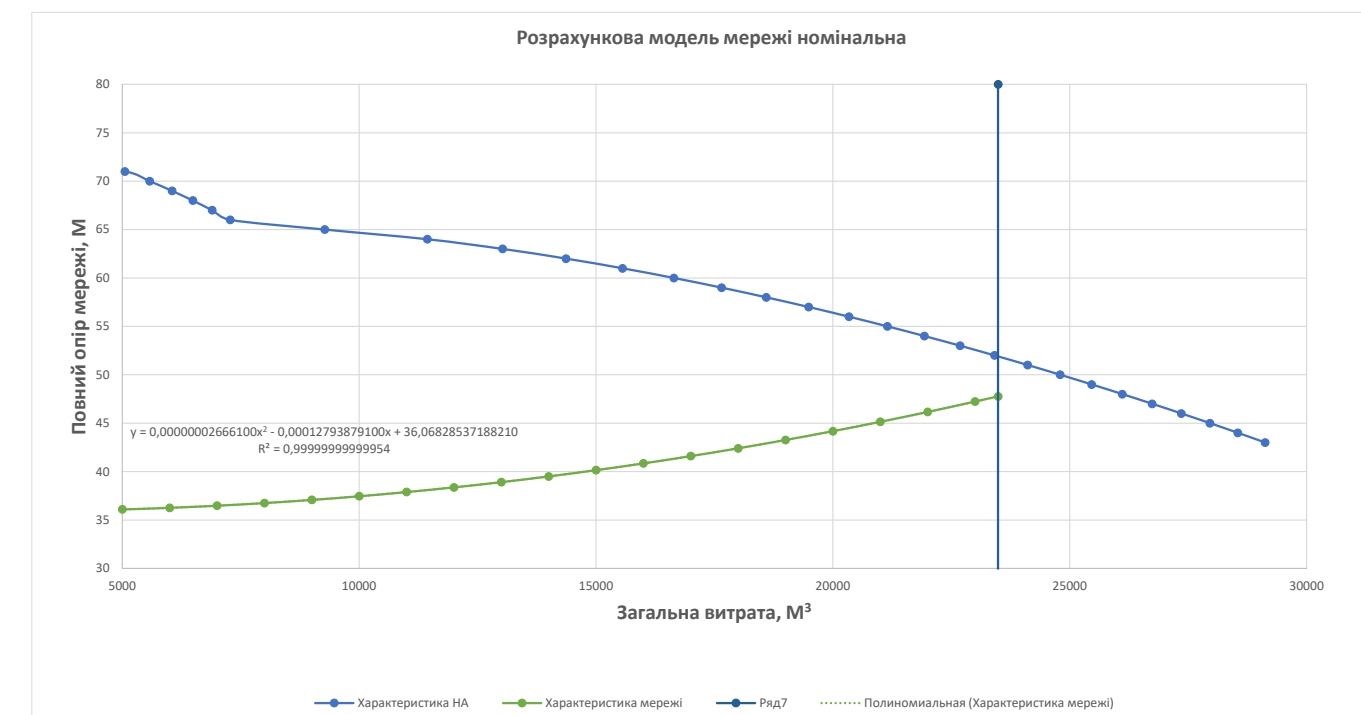


						АВЕРС. КРБ2166705. ЕТР-4Д				
						Схема принципова ЗРУ-6кВ п/ст №4 35/6 кВ. Схема структурна ЧРП ABB ACS580MV	Літера	Маса	Мірило	
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Книшаков В.Ю.									
Перевір.	Рухлов А.В.									
Т.контрп.										
Н.контр.	Рухлов А.В.						Аркуш 2	Аркушів 2		
Затверд.						ТОВ "ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАВІТ, АВЕРС ЕІ-23-Ін, 2026				

Схема функціональна технічного водопостачання «ЦГЗК»



Моделювання роботи насосної станції в фактичному режимі з надлишково створюваним тиском в системі



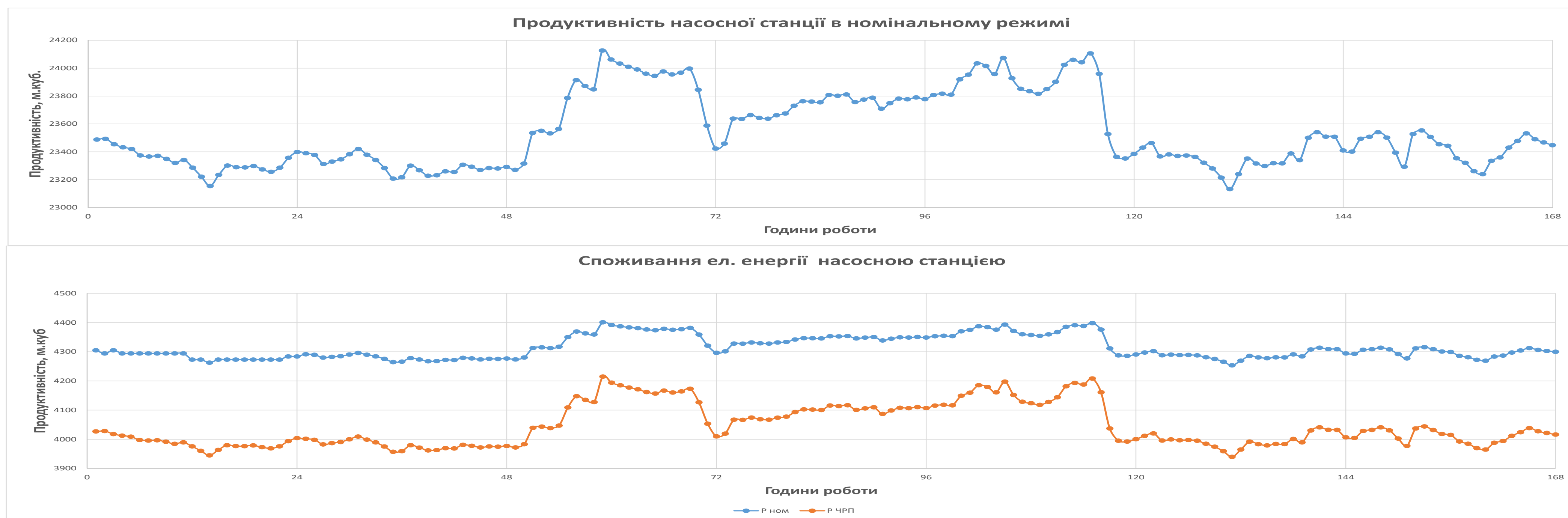
Моделювання роботи насосної станції в режимі з використанням ЧРП без надлишково створюваного тиску в системі



Економічний розрахунок впроваджуваного проекту за методом NPV

Рік	Витрати, грн	Заощадження , грн	Грошовий потік, грн	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтований грошовий потік, грн
0	-6000000	0	-6000000	1,00	-6000000
1	0	16519531	16519531	0,90	14888234,96
2	0	16519531	16519531	0,85	14009722,24
3	0	16519531	16519531	0,81	13418028,64
4	0	16519531	16519531	0,79	12976339,89
5	0	16519531	16519531	0,76	12626268,65
	-6000000	82597655	76597655		61918594,39

Моделювання споживання ел. енергії НСЗВ залежно від продуктивності в фактичному режимі та в режимі використання ЧРП протягом тижня.



						АВЕРС. КРБ12166705. ЕТР-4А			
						Схема функціональна технічного водопостачання «ЦГЗК», Результати моделювання режимів роботи НСЗВ			
						Літера	Маса	Мірило	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кіншаков В.Ю.							
Перевір.		Рухлов А.В.							
Т. контрп.						Аркуш 1	Аркуш 2		
Н.контр.		Рухлов А.В.				ТОВ "ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАБІТ, АВЕРС ЕІ-23-1n, 2026			
Застверд.									