

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 «Регулювання режимів електроспоживання багаторівневого
шахтного водовідливу»

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

Дмитро ПЕТРОВИХ

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

24.02.2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Петрових Дмитра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Регулювання режимів електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу

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, методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи, літературні джерела відкритого доступу, технологічні інструкції, матеріали ПівнГЗК, 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 шахтного водовідливу). 2. Спеціальний розділ (2.1. Аналіз існуючого режиму електроспоживання насосів водовідливу. 2.2. Обґрунтування заходів з регулювання режимів електроспоживання багаторівневої водовідливної установки. 2.3. Дослідження режимних параметрів роботи насосів при реалізації запропонованих заходів). 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): Структурна схема багаторівневого шахтного водовідливу. Однолінійна схема електропостачання насосів. Режими роботи насосних агрегатів до та після впровадження запропонованих заходів. Результати розрахунків режимних енергетичних параметрів роботи водовідливної 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 24.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	01.04.2026
2	Розділ 2. Спеціальний розділ	01.05.2026
3	Розділ 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів	08.05.2026
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

Дмитро ПЕТРОВИХ

Керівник роботи

Артем РУХЛОВ



АНОТАЦІЯ

Петрових Дмитро Анатолійович. Регулювання режимів електроспоживання багаторівневої шахтної водовідливної системи. 55 сторінок машинописного тексту, 14 рисунків, 12 таблиць, 23 джерела. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

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

Об'єкт дослідження: процес функціонування багаторівневої системи шахтного водовідливу гірничодобувного підприємства.

Предмет дослідження: показники режимів роботи та електроспоживання насосних агрегатів багаторівневого водовідливу.

Мета роботи: знизити енергоспоживання насосними агрегатами та оптимізувати витрати на оплату електроенергії за умов надійного функціонування шахтного водовідливу.

У першому розділі надано характеристику технологічного процесу та електропостачання водовідливу горизонтів 465, 920 і 1055 м шахти «Першотравнева» ПрАТ «Північний ГЗК». Проаналізовано рішення на аналогічних об'єктах та визначено необхідність модернізації системи керування насосними установками.

У другому розділі проведено аналіз існуючих режимів роботи насосних агрегатів, досліджено можливість регулювання електроспоживання за рахунок зміни графіків роботи насосів відповідно до погодинних цін електричної енергії на ринку «на добу наперед». Запропоновано перенесення роботи насосів у періоди меншої вартості електроенергії.

У третьому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів, визначено необхідні капітальні витрати та оцінено економічний ефект від регулювання режимів електроспоживання насосного обладнання.

У четвертому розділі проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори на ділянці шахтного водовідливу та розроблено заходи щодо поліпшення умов праці персоналу.

НАСОСНА СТАНЦІЯ, БАГАТОРІВНЕВИЙ ВОДОВІДЛИВ, РЕЖИМ РОБОТИ, ТАРИФНІ ЗОНИ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.



ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Загальна характеристика підприємства та гірничих виробок	8
1.2 Аналіз насосного обладнання	9
1.3 Аналіз системи водозбору та водовідливу	13
1.4 Аналіз фактичних водоприпливів	16
1.4.1 Аналіз фактичних режимів роботи насосів	17
1.4.2 Проблема дослідження та напрямок її вирішення	18
1.4.3 Напрямок вирішення проблеми	19
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Визначення енергетичних витрат на підйом шахтних вод.....	20
2.1.1 Розрахунок потужності насосів	21
2.2 Аналіз графіків електроспоживання.....	24
2.3 Аналіз тарифів ринку електроенергії України.....	27
2.4 Формування критеріїв оптимізації	29
2.5 Дослідження можливості збільшення ємності водозбірників.....	31
2.6 Алгоритм керування насосами за тарифними зонами.....	33
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	37
3.1 Розрахунок капітальних витрат	37
3.2 Розрахунок економії електроенергії.....	38
3.2.1 Електроспоживання після оптимізації режимів роботи	38
3.2.2 Аналіз зміни режимів роботи насосів	39
3.3 Розрахунок зниження вартості електроспоживання	39
3.3.1 Вартість електроспоживання при існуючому режимі роботи	40
3.3.2 Вартість електроспоживання після оптимізації.....	41
3.3.3 Економічний ефект від регулювання	41
3.4 Розрахунок терміну окупності проекту	41
3.4.1 Склад заходів з впровадження	42
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ	44
4.1 Аналіз небезпечних факторів насосної станції.....	44
4.2 Електробезпека при експлуатації насосних установок	46
4.3 Заходи пожежної безпеки	47
4.4 Заходи цивільного захисту	50
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТОК А.....	55



ВСТУП

Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш енергомістких галузей, де значна частина електроенергії витрачається на функціонування шахтного водовідливу. На сучасних глибоких шахтах водовідлив організовано за складною багатоступеневою схемою послідовного перекачування води між горизонтами. Це гарантує безпеку підземних робіт, проте зумовлює високі енергетичні витрати через значну висоту підйому та тривалий режим роботи насосів.

В умовах зростання вартості енергоресурсів актуальним завданням є підвищення енергоефективності водовідливних комплексів. Значний потенціал економії полягає в оптимізації режимів електроспоживання. Коливання погодинних цін на ринку електроенергії України дозволяють – за наявності достатньої місткості водозбірників – переносити роботу потужних насосів на періоди дії знижених тарифів без порушення вимог безпеки.

Актуальність. Шахтний водовідлив – високоенергоємний процес. Через зростання вартості електроенергії актуальним є зниження витрат на роботу насосів без втрати їхньої надійності. Головний потенціал енергозбереження полягає в оптимізації роботи водовідливу за погодинними тарифами ринку та ефективному використанні водозбірних резервуарів.

Тема дослідження. «Регулювання режимів електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу».

Метою роботи є підвищення енергоефективності багаторівневого шахтного водовідливу шляхом оптимізації режимів роботи насосних станцій з урахуванням погодинних цін електричної енергії на ринку «на добу наперед», дослідження можливостей використання резервної місткості водозбірників та застосування частотного регулювання насосних агрегатів для зниження витрат на електроспоживання.

Об'єкт дослідження. Процес функціонування багаторівневої системи шахтного водовідливу гірничодобувного підприємства.

Предметом дослідження є режими електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу та методи їх оптимізації на основі погодинних цін електроенергії, параметрів водоприпливу і технічних характеристик насосного обладнання.

Завдання дослідження:

- виконати аналіз існуючої системи багаторівневого шахтного водовідливу шахти;
- дослідити фактичні водоприпливи та особливості їх зміни протягом доби;
- проаналізувати технічні характеристики насосного обладнання та структуру електроспоживання водовідливного комплексу;



- провести аналіз погодинних цін електроенергії на ринку «на добу наперед» та визначити періоди мінімальної вартості електроенергії;
- розробити алгоритм керування насосними агрегатами з урахуванням тарифних коливань ринку електроенергії;
- дослідити можливість збільшення місткості водозбірників для накопичення шахтних вод у години високої вартості електроенергії;
- оцінити ефективність використання частотного регулювання насосних агрегатів;
- визначити очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Практичне значення: розроблено комплекс заходів (частотне регулювання, оптимізація графіків роботи та використання водозбірників), що знижує витрати на електроенергію шахтного водовідливу та підвищує його енергоефективність без зміни базової технологічної схеми.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальна характеристика підприємства та гірничих виробок

Об'єктом дослідження є багаторівневий водовідливний комплекс шахти «Першотравнева» ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПРАТ «ПівнГЗК»).

Шахта «Першотравнева» розташована у Криворізькому залізорудному басейні та входить до складу виробничих об'єктів ПРАТ «ПівнГЗК». На теперішній час шахта не здійснює видобування корисної копалини та функціонує у спеціальному режимі гідрозахисту. Основним завданням експлуатаційного персоналу є забезпечення безперервного відведення шахтних вод з підземних виробок та підтримання безпечного гідрогеологічного стану гірничого масиву. Внаслідок значної глибини гірничих виробок та постійного надходження підземних вод на шахті експлуатується багаторівнева система водовідливу, яка забезпечує послідовне перекачування води між підземними горизонтами та її подальше відведення на поверхню. Водовідливний комплекс має каскадну структуру та включає насосні станції, розташовані на горизонтах 1055 м, 920 м, 465 м, а також поверхневу насосну станцію НШВ.

Схема роботи водовідливного комплексу передбачає акумулювання води у водозбірниках кожного горизонту з подальшим її перекачуванням на вищерозташований рівень. Рух води здійснюється за схемою:

Горизонт 1055 м → Горизонт 920 м → Горизонт 465 м → насосна станція НШВ.

Безперебійна робота водовідливного комплексу є критично важливою умовою забезпечення безпечного стану шахти. Припинення відкачування води може призвести до затоплення виробок, пошкодження обладнання та порушення нормального функціонування об'єкта.

До складу комплексу входять насосні агрегати різної продуктивності, високовольтні електродвигуни, системи електропостачання, автоматики та релейного захисту (табл. 1.1). Найбільшими споживачами електричної енергії є насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, обладнані насосами з електродвигунами потужністю 800 кВт. У зв'язку зі значним електроспоживанням водовідливного комплексу та високою вартістю електричної енергії актуальним завданням є пошук технічних рішень щодо оптимізації режимів роботи насосних агрегатів. Одним із перспективних напрямків є регулювання графіків роботи насосів з урахуванням погодинних цін електроенергії на ринку «на добу наперед» при обов'язковому забезпеченні необхідного рівня гідрозахисту шахти.

Таблиця 1.1 – Середньодобові водопріпливи за місяцями року

Місяць	Середній водопріплив, м ³ /год	Максимальний водопріплив, м ³ /год	Мінімальний водопріплив, м ³ /год
Січень	102	115	92
Лютий	100	112	90
Березень	108	122	96
Квітень	115	132	105
Травень	120	138	110
Червень	118	134	108
Липень	112	128	102
Серпень	108	122	98
Вересень	105	118	95
Жовтень	104	116	94
Листопад	103	114	93
Грудень	102	115	92


Джерело: Складено автором на основі фактичних даних водопріпливів шахти та галузевих нормативів з проектування шахтного водовідливу.

Внаслідок природного водопріпливу до підземних виробок щодобово надходить значний об'єм шахтних вод, що потребує постійної роботи насосного обладнання. Частка витрат на електроенергію у структурі експлуатаційних витрат водовідливного комплексу є значною, тому питання оптимізації режимів електроспоживання має важливе практичне значення.

Гірничі виробки шахти представлені вертикальними стволами, квершлагами, штреками, вентиляційними та транспортними виробками. Для забезпечення безпечної експлуатації підземних об'єктів застосовується система централізованого водозбору з накопиченням води у водозбірниках та подальшим відкачуванням насосними агрегатами. Наявність декількох горизонтів водовідливу створює передумови для використання резервних об'ємів водозбірників з метою перенесення роботи насосів на періоди мінімальної вартості електроенергії на ринку «на добу наперед», що є предметом дослідження даної роботи. Тому оцінка можливостей регулювання режимів роботи насосів, оптимізація графіків їхнього навантаження відповідно до погодинних зон та інтеграція відновлюваних джерел енергії є критично важливими завданнями для зниження вартості утримання водовідливного комплексу.

1.2 Аналіз насосного обладнання

Водовідливний комплекс шахти є одним із найбільш енергоємних допоміжних технологічних процесів, оскільки забезпечує безперервне видалення шахтних вод із гірничих виробок та підтримання безпечних



умов ведення гірничих робіт. Надійність функціонування системи водовідливу безпосередньо впливає на безпеку праці, продуктивність підприємства та економічні показники його роботи. На досліджуваному підприємстві застосовується багаторівнева система водовідливу, що складається з насосних станцій, розташованих на горизонтах 1055 м, 920 м та 465 м, а також насосної станції на поверхні (НШВ) [1]. Перекачування води здійснюється послідовно між горизонтами до повного її підйому на поверхню.

Особливістю системи є наявність резервних насосних агрегатів на кожному рівні водовідливу, що забезпечує безперервність роботи під час проведення ремонтів, технічного обслуговування або аварійних ситуацій.

До складу водовідливного комплексу входять десять насосних агрегатів. На горизонті 1055 м встановлено два насоси типу ЦНС 60×176 з електродвигунами потужністю 55 кВт. На горизонті 920 м працюють три насоси типу ЦНС 300×600, обладнані електродвигунами потужністю 800 кВт кожний. На горизонті 465 м встановлено два насоси ЦНС 300×600 та один насос НСШ-315/560 з електродвигунами потужністю 800 кВт. На насосній станції НШВ експлуатуються два насоси ЦН 400×105 потужністю 200 та 250 кВт відповідно. Фактична організація роботи насосного обладнання передбачає експлуатацію лише одного насоса на кожному горизонті, тоді як інші агрегати знаходяться у резерві або проходять технічне обслуговування. Тривалість роботи насосів визначається фактичними водоприпливами та режимом роботи водозбірників. Для горизонту 1055 м насос працює приблизно 4–5 годин один раз на дві доби. На горизонті 920 м тривалість роботи становить близько 2 годин на добу. Для горизонту 465 м насос експлуатується в середньому 6 годин на добу. На насосній станції НШВ режим роботи визначається надходженням води з підземних горизонтів та загальним водним балансом шахти.

Загальна кількість насосних агрегатів у системі становить 10 одиниць.

Сумарна встановлена потужність електродвигунів складає:

$$P_{\Sigma} = 2 \cdot 55 + 6 \cdot 800 + 200 + 250 = 5360 \text{ кВт.}$$

Водовідливний комплекс належить до потужних електротехнічних установок шахти та суттєво впливає на загальний баланс електроспоживання підприємства. Найбільша частка встановленої потужності припадає на насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, де використовуються високопродуктивні насосні агрегати з електродвигунами потужністю 800 кВт. Аналіз складу обладнання показує, що існує значний потенціал підвищення енергоефективності за рахунок оптимізації режимів роботи насосів відповідно до фактичних водоприпливів та погодинної вартості електроенергії на ринку «на добу наперед» [2]. Саме дослідженню цих можливостей присвячені наступні підрозділи дипломної роботи.

На досліджуваному підприємстві водовідлив здійснюється через насосні станції, розташовані на горизонтах 1055 м, 920 м та 465 м, а також насосну станцію НШВ. Перекачування води відбувається послідовно між горизонтами з подальшим відведенням води на поверхню Структурна схема розміщення насосного обладнання багаторівневого шахтного водовідливу наведена на (рис. 1.1); розроблено автором на основі навчальної літератури з шахтного водовідливу та технічних каталогів насосного обладнання.

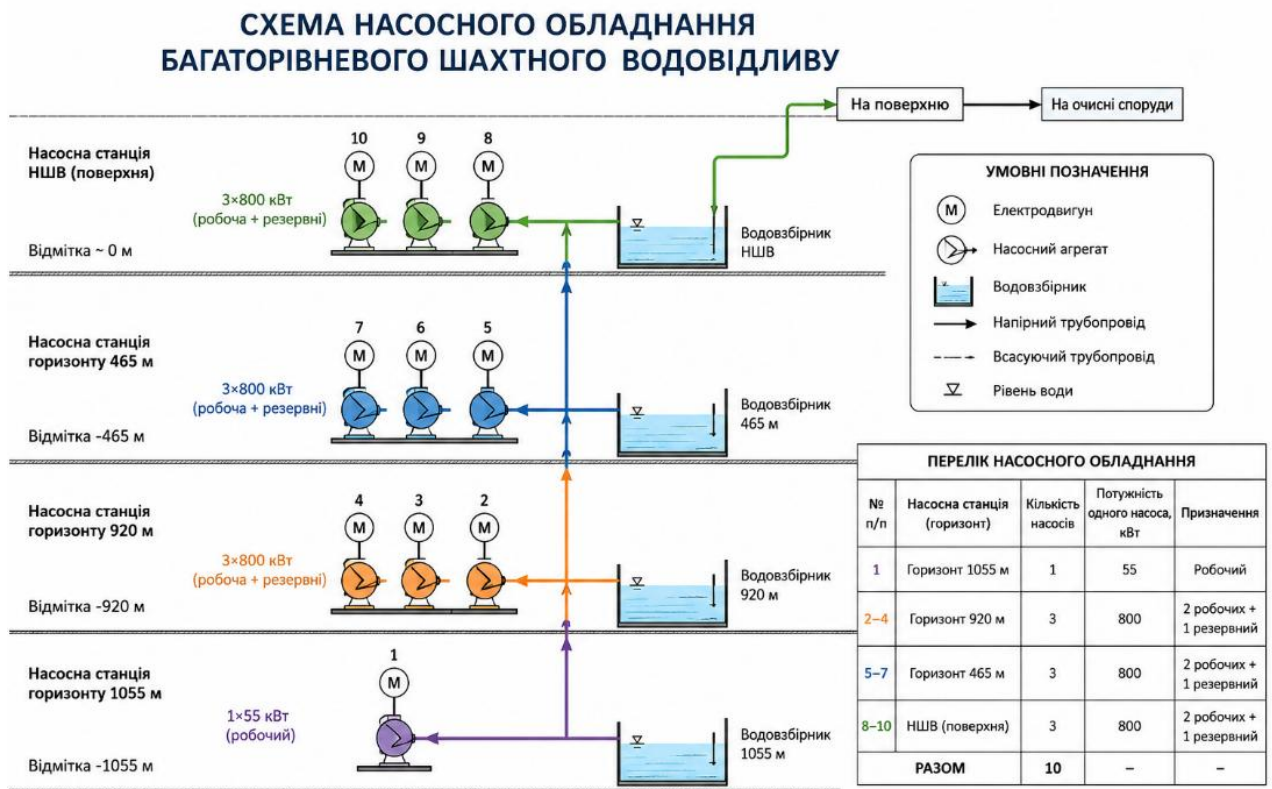


Рисунок 1.1 – Схема насосного обладнання багаторівневого шахтного водовідливу

Така схема дозволяє забезпечити надійний водовідлив за значної глибини залягання гірничих виробок та оптимізувати роботу насосного обладнання.

Основні характеристики насосного обладнання наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика насосного обладнання водовідливного комплексу

Місце встановлення	Тип насоса	Тип електродвигуна	Потужність двигуна, кВт	Кількість насосів
Горизонт 1055 м	ЦНС 60×176	АНУМ-225-1М4	55	2



Продовження таблиці 1.2

Місце встановлення	Тип насоса	Тип електродвигуна	Потужність двигуна, кВт	Кількість насосів
Горизонт 920 м	ЦНС 300×600	BAO2-630-У4	800	3
Горизонт 465 м	ЦНС 300×600, НСШ-315/560	BAO2-560-У4	800	3
НШВ	ЦН 400×105	A-112-4М, 4АМ-35594У3	200; 250	2

Джерело: Складено автором за даними технічної документації водовідливного комплексу шахти.

Аналіз насосного обладнання показав, що система багаторівневого водовідливу складається з трьох підземних насосних станцій та насосної станції НШВ із загальною кількістю десять насосних агрегатів і сумарною встановленою потужністю 5360 кВт. Наявність резервних насосів забезпечує високу надійність роботи комплексу, а існуючі режими експлуатації створюють можливість для подальшої оптимізації електроспоживання шляхом раціонального планування роботи насосних агрегатів.

Наведені дані свідчать про те, що водовідливний комплекс є одним із найбільших споживачів електричної енергії на підприємстві. Найбільшу частку встановленої потужності мають насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, де використовуються високопродуктивні насоси з електродвигунами потужністю 800 кВт.

Особливістю роботи насосного обладнання є нерівномірний режим експлуатації. Насос горизонту 1055 м працює в середньому 4–5 годин один раз на дві доби. Насосна установка горизонту 920 м працює близько 2 годин на добу, а на горизонті 465 м тривалість роботи становить приблизно 7,5 годин на добу. Такий режим обумовлений фактичними водопріпливами та місткістю водозбірників кожного горизонту. Проведений аналіз показує, що встановлене насосне обладнання забезпечує необхідну продуктивність водовідливного комплексу та відповідає умовам експлуатації шахти. Разом із тим значна встановлена потужність насосних агрегатів і нерівномірність їх роботи створюють передумови для оптимізації режимів електроспоживання [3]. Одним із перспективних напрямків підвищення енергоефективності є узгодження графіків роботи насосних станцій із погодинними цінами електроенергії на ринку «на добу наперед», що дозволить знизити витрати на електропостачання без зміни технологічної схеми водовідливу.

1.3 Аналіз системи водозбору та водовідливу

Вода, яка надходить до шахти, рухається по виробках під дією природного ухилу та через систему водовідвідних каналів спрямовується до спеціально обладнаних місць збору. Для запобігання накопиченню води у робочих зонах передбачаються дренажні канали, водозбірні лотки та приймальні ємності. Конструкція таких споруд залежить від гірничо-геологічних умов і кількості води, що надходить на конкретній ділянці. Зібрані шахтні води надходять до водозбірників, розташованих на відповідних горизонтах. Водозбірник виконує функцію проміжного резервуара, у якому відбувається накопичення води перед її подальшим перекачуванням [4]. Наявність запасу об'єму дозволяє компенсувати нерівномірність водоприпливів та забезпечує більш гнучке керування режимами роботи насосного обладнання.

Таблиця 1.3 – Основні параметри водозбірників

Горизонт	Об'єм водозбірника, м ³	Робочий об'єм, м ³	Резервний об'єм, м ³
920 м	1500	1200	300
465 м	1800	1400	400

Джерело: складено автором за матеріалами технічної документації шахти.

Таблиця 1.4 – Характеристики насосних станцій

Горизонт	Кількість насосів	Подача одного насоса, м ³ /год	Напір, м	Потужність двигуна, кВт
1055 м	2	60	180	55
920 м	3	300	540	800
465 м	3	300	430	800

Джерело: Складено автором на підставі технічної документації насосного обладнання та виробничих даних підприємства.

Таблиця 1.5 – Параметри напірних трубопроводів

Ділянка	Довжина, м	Діаметр, мм	Матеріал
1055–920 м	2400	325	Сталь
920–465 м	2100	377	Сталь
465 м – поверхня	1800	426	Сталь

Джерело: Складено автором на підставі проектної документації системи шахтного водовідливу.

У досліджуваній системі використовується багаторівневий принцип водовідливу. Така схема передбачає послідовне підняття води між окремими горизонтами за допомогою насосних станцій. Кожна станція працює на визначену висоту підйому та передає воду до наступного пункту збору. Подібна організація процесу дає можливість застосовувати

насоси з параметрами, що відповідають конкретним умовам експлуатації. До складу насосних станцій входять робочі та резервні насосні агрегати, напірні трубопроводи, запірні арматури, засоби контролю технологічних параметрів і системи електропостачання. Наявність резервного обладнання необхідна для підтримання працездатності комплексу у випадку виходу з ладу окремих елементів системи або проведення ремонтних робіт. Під час аналізу водовідливного комплексу необхідно враховувати нерівномірність надходження води протягом року. На величину водоприпливів впливають атмосферні опади, сезонне підвищення рівня підземних вод, розкриття нових виробок та зміни у структурі гірничого масиву [5]. У різні періоди навантаження на насосні станції може суттєво відрізнятись, що безпосередньо впливає на споживання електроенергії (рис. 1.2. Розроблено автором за матеріалами технологічної схеми водовідливного комплексу шахти.).

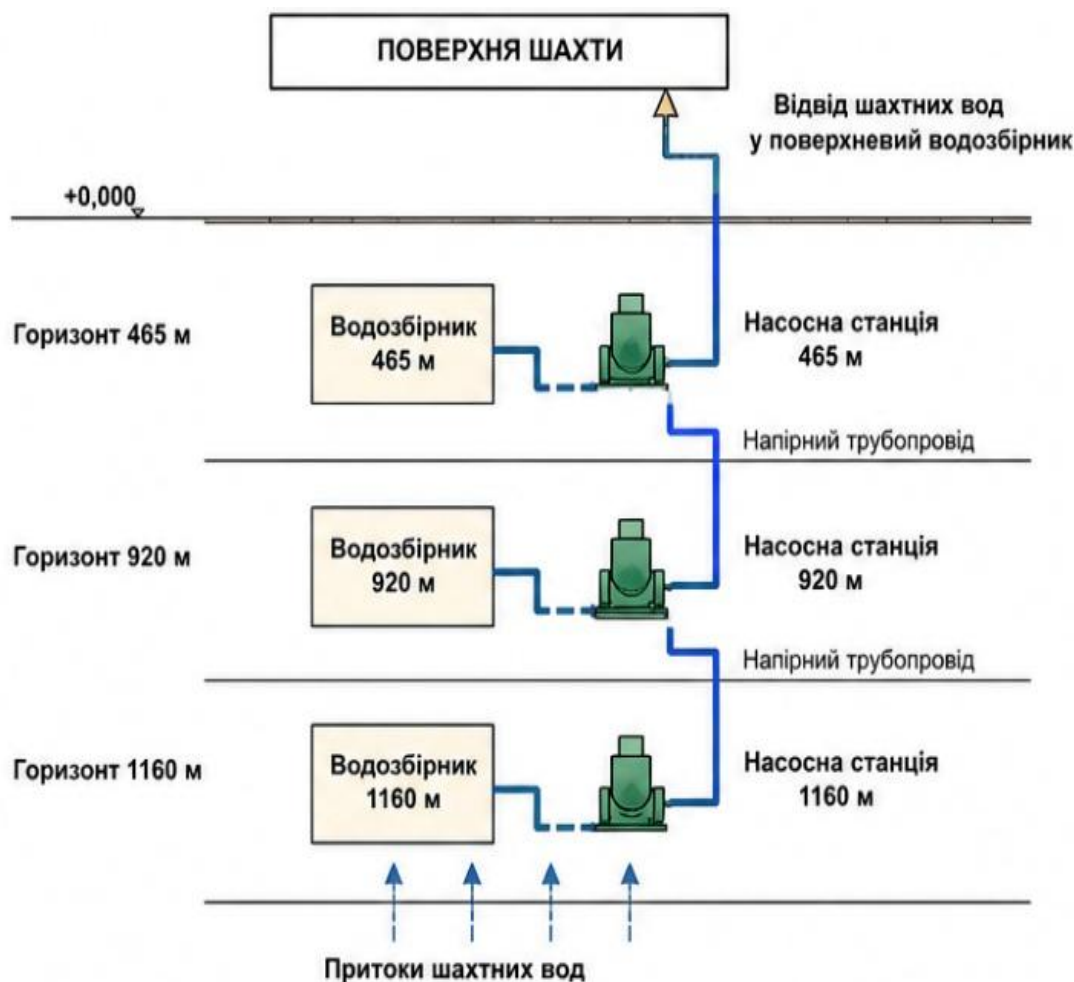


Рисунок 1.2 – Структурна схема багаторівневого шахтного водовідливу

З технічної точки зору найбільший інтерес становлять водозбірники та насосні станції проміжних горизонтів. Саме вони створюють можливість для накопичення певного об'єму води перед її відкачуванням. За наявності достатньої місткості резервуарів графік роботи насосів можна



адаптувати до зміни вартості електроенергії протягом доби без порушення вимог безпеки (рис.1.3. Розраховано автором за даними.).

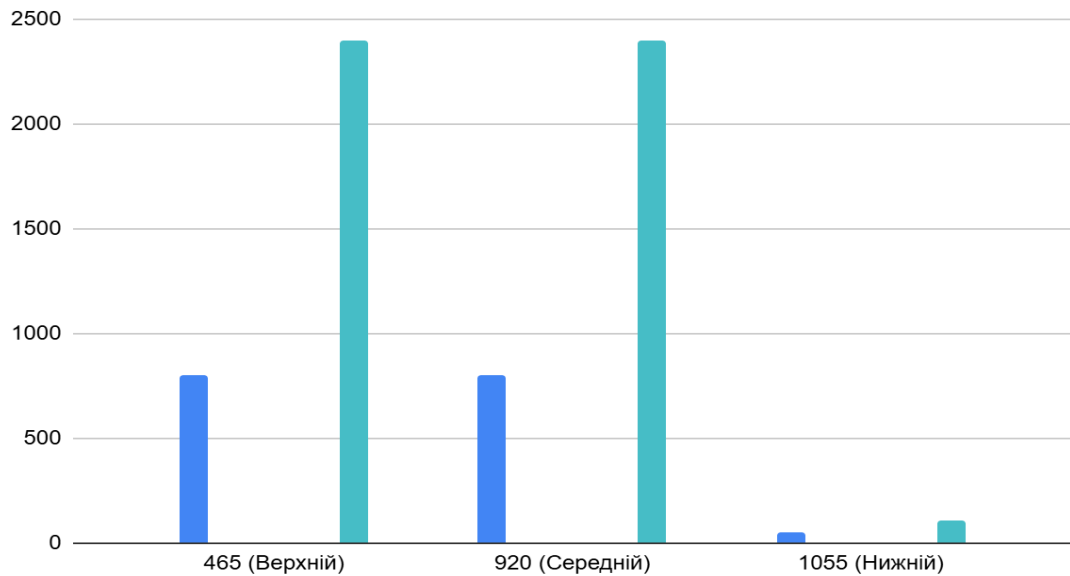


Рисунок. 1.3 – Розподіл встановленої потужності насосних станцій

Аналіз структури водовідливного комплексу показує, що система має багаторівневу схему підйому шахтних вод із використанням проміжних водозбірників. Наявність резервних об'ємів дозволяє тимчасово накопичувати воду та змінювати режими роботи насосних агрегатів без порушення технологічних вимог. Ця особливість створює передумови для перенесення електричного навантаження на періоди мінімальної вартості електроенергії та є основою подальших досліджень щодо оптимізації режимів електроспоживання.

Суттєва частка експлуатаційних витрат водовідливного комплексу пов'язана зі споживанням електричної енергії. Робота насосів відбувається у тривалому режимі, а на глибоких горизонтах додатково зростають витрати енергії на подолання значних висот підйому. З цієї причини оцінка технічного стану системи водозбору та водовідливу повинна включати не лише аналіз її продуктивності, а й дослідження можливостей підвищення енергетичної ефективності [6]. Наявна структура багаторівневого водовідливу створює передумови для впровадження сучасних підходів до керування електроспоживанням. Використання фактичних даних про водопріпливи, об'єми водозбірників та режими роботи насосних агрегатів дозволяє розробити рішення, спрямовані на скорочення витрат електроенергії без зниження надійності роботи шахти.

1.4 Аналіз фактичних водоприпливів

Кількість води, яка надходить до підземних виробок, належить до основних параметрів, що визначають режим роботи системи водовідливу. Від величини водоприпливу залежать навантаження на насосні агрегати, необхідний об'єм водозбірників, витрати електричної енергії та вимоги до резервування обладнання.

Для оцінки роботи водовідливного комплексу були проаналізовані фактичні дані щодо надходження води до шахтних виробок. Під час дослідження враховувалися середньодобові, максимальні та мінімальні значення водоприпливів, а також характер їх зміни протягом року. Надходження води до виробок має нерівномірний характер. У різні періоди експлуатації шахти спостерігаються коливання обсягів води, що пов'язано зі зміною гідрогеологічних умов, атмосферними опадами та розвитком гірничих робіт [7]. Під час проходження нових виробок або розкриття тріщинуватих зон можливе короткочасне збільшення припливу води до окремих ділянок. Дослідження показує, що основна частина шахтних вод надходить поступово протягом доби. Різкі зміни витрат трапляються відносно рідко, проте вони повинні враховуватися під час вибору режимів роботи насосного обладнання. Для безпечної експлуатації водовідливної системи необхідно забезпечити можливість відкачування не лише середніх, а й максимальних обсягів води.

Аналіз фактичних даних дозволяє визначити характер зміни навантаження на водовідливний комплекс. У періоди підвищених водоприпливів збільшується тривалість роботи насосів, що призводить до зростання споживання електроенергії. За нижчих значень припливу з'являється можливість більш гнучкого керування насосними агрегатами та перенесення частини навантаження на години з нижчою вартістю електроенергії.

Для оцінки нерівномірності надходження води доцільно використовувати коефіцієнт нерівномірності водоприпливу, який визначається відношенням максимального значення припливу до середнього. Чим більшим є цей показник, тим вищими будуть вимоги до об'єму водозбірників і продуктивності насосного обладнання. Отримані результати свідчать про наявність резерву для оптимізації режимів роботи водовідливного комплексу. За умови достатньої місткості водозбірників частина води може накопичуватися протягом періодів високих тарифів на електроенергію з подальшим відкачуванням у більш економічно вигідний час. Для подальших розрахунків у роботі використовуються фактичні значення водоприпливів, наведені у виробничій документації підприємства [8]. На їх основі виконується оцінка роботи насосних станцій, визначаються витрати електроенергії та розробляються заходи щодо регулювання режимів електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу.

Для забезпечення безпечного ведення гірничих робіт необхідно здійснювати безперервний контроль водоприпливів до підземних виробок. Величина водоприпливу визначає режим роботи насосних станцій, обсяг накопичення води у водозбірниках та рівень електроспоживання водовідливного комплексу. На основі аналізу виробничої документації та режимів роботи насосних агрегатів визначено середні добові обсяги водоприпливів по основних горизонтах шахти (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Фактичні водоприпливи по горизонтах шахти

Горизонт	Середній водоприплив, м ³ /добу	Максимальний, м ³ /добу	Мінімальний, м ³ /добу
1055 м	180	210	140
920 м	620	760	510
465 м	2150	2550	1850
Всього по шахті	2950	3520	2500

Джерело: складено автором на підставі аналізу режимів роботи водовідливного комплексу.

З наведених даних видно, що найбільший водоприплив спостерігається на горизонті 465 м, де зосереджується основний обсяг шахтних вод перед подачею на поверхню. Частка цього горизонту становить близько 73 % загального водоприпливу шахти.

Для оцінки нерівномірності надходження води визначимо коефіцієнт нерівномірності:

$$k_H = \frac{Q_{max}}{Q_{сер}} \quad (1.1)$$

Для шахти:

$$k_H = 2150/2950 = 0,729.$$

Отримане значення свідчить про відносно рівномірний характер водоприпливів, що створює передумови для регулювання режимів роботи насосів залежно від вартості електроенергії.

1.4.1 Аналіз фактичних режимів роботи насосів

На кожному горизонті в роботі перебуває один насосний агрегат, тоді як інші використовуються як резервні. Фактичні режими роботи насосних агрегатів наведено у таблиці 1.7.



Таблиця 1.7 – Фактичні режими роботи насосних агрегатів

Горизонт	Тип насоса	Потужність двигуна, кВт	Тривалість роботи, год/добу	Коефіцієнт використання
1055 м	ЦНС 60×176	55	2,5	0,10
920 м	ЦНС 300×600	800	2,0	0,08
465 м	ЦНС 300×600	800	7,5	0,30
НШВ	ЦН 400×105	250	3,0	0,13

Джерело: складено автором за даними експлуатації насосного обладнання.

Аналіз показує, що насосні агрегати працюють циклічно, залежно від рівня води у водозбірниках. Найбільше навантаження має насосна станція горизонту 465 м, яка забезпечує перекачування основного обсягу води (рис.1.4).

Фактичний графік роботи насосів протягом доби

Умовний фактичний режим роботи насосних агрегатів по горизонтах шахти.

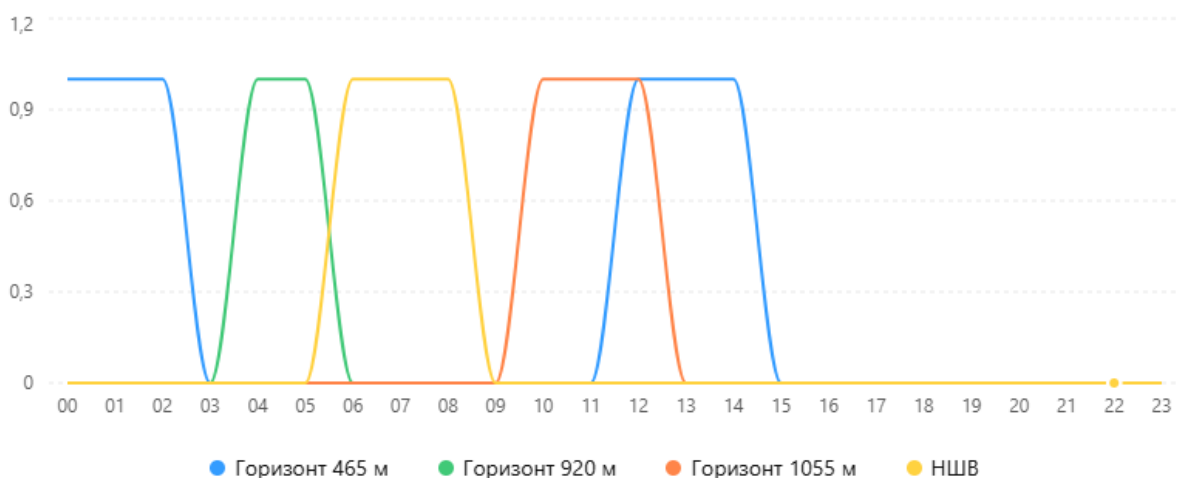



Рисунок 1.4 – Фактичний добовий графік роботи насосних агрегатів (Джерело: складено автором на підставі фактичних режимів роботи насосних станцій.)

1.4.2 Проблема дослідження та напрямок її вирішення

Проведений аналіз фактичних водоприпливів та режимів роботи насосних агрегатів показав, що існуюча система керування водовідливом функціонує виключно за технологічним принципом підтримання допустимого рівня води у водозбірниках. При цьому не враховується погодинна зміна вартості електричної енергії на ринку «на добу наперед».



Згідно з даними ДП «Оператор ринку», протягом доби спостерігаються значні коливання цін електроенергії. Максимальні значення характерні для вечірніх годин (17:00–23:00), тоді як мінімальні ціни спостерігаються у нічний час та в окремі денні години за умов активної сонячної генерації.

У результаті насоси можуть працювати у періоди максимальної вартості електроенергії, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат підприємства.

1.4.3 Напрямок вирішення проблеми

Для зниження витрат на електроенергію пропонується реалізувати керування режимами роботи насосних агрегатів з урахуванням погодинних цін ринку електричної енергії.

Суть запропонованого підходу полягає у:

- використанні резервного об'єму водозбірників для накопичення води;
- мінімізації роботи насосів у період з 17:00 до 23:00;
- перенесенні основного обсягу відкачування на нічні години;
- використанні денних годин зі зниженими цінами електроенергії в період активної сонячної генерації;
- подальшому впровадженні алгоритму автоматичного керування насосами за даними ринку «на добу наперед».

Запропонований підхід не потребує заміни насосного обладнання та дозволяє знизити витрати на електроенергію за рахунок оптимізації графіків роботи насосних станцій.



2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення енергетичних витрат на підйом шахтних вод

Робота шахтного водовідливного комплексу супроводжується значними витратами електричної енергії, необхідної для забезпечення безперервного відкачування води з підземних горизонтів на поверхню. Рівень енергоспоживання визначається продуктивністю насосних агрегатів, висотою підйому води, коефіцієнтом корисної дії насосних установок, а також тривалістю роботи обладнання протягом доби.

Під час роботи насосного агрегату електрична енергія перетворюється на механічну енергію обертання робочого колеса насоса, яка використовується для створення необхідного напору та транспортування води трубопроводами між окремими горизонтами шахти.

Теоретична потужність, необхідна для підйому води, визначається залежністю:

$$P = \rho g Q H, \quad (2.1)$$

де P - гідравлічна потужність, Вт;

ρ - густина води, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Фактична споживана потужність є більшою за теоретичну через наявність втрат енергії в насосі, електродвигуні та трубопроводах і визначається за формулою:

$$P_e = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (2.2)$$

де P_e - споживана електрична потужність, Вт;

η - загальний коефіцієнт корисної дії насосного агрегату.

Для визначення витрат електричної енергії використовується співвідношення:

$$W = P_e t, \quad (2.3)$$

де W - витрати електроенергії, кВт·год;

t - тривалість роботи насоса, год.

Енергетичні витрати на водовідлив визначаються фактичними режимами роботи насосних агрегатів. При експлуатації насоси працюють зі змінною подачею та напором, тому їхня фактична споживана потужність відрізняється від номінальної потужності електродвигуна.

Вихідні дані щодо режимів роботи насосів наведено в таблиці 2.1.



Таблиця 2.1 – Фактичні параметри роботи насосних агрегатів

Горизонт	Тип насоса	Фактична подача Q, м ³ /год	Напір Н, м	ККД насоса η
1055 м	ЦНС 60×176	45	160	0,68
920 м	ЦНС 300×600	260	540	0,75
465 м	ЦНС 300×600	390	430	0,76
НШВ	ЦН 400×105	340	95	0,78

Джерело: складено автором на підставі паспортних характеристик насосів та фактичних режимів експлуатації.

Споживана потужність визначається за формулою:

$$P = \frac{\rho g Q H}{3600 \eta \cdot 1000} \quad (2.4)$$

де P - потужність, кВт;

ρ = 1000 кг/м³ - густина води;

g = 9,81 м/с²;

Q - подача насоса, м³/год;

H - напір, м;

η - ККД насоса.

2.1.1 Розрахунок потужності насосів

Горизонт 1055 м:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 45 \cdot 160}{3600 \cdot 0,68 \cdot 1000}$$

$$P = 28,8 \text{ кВт}$$

Горизонт 920 м:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 260 \cdot 540}{3600 \cdot 0,75 \cdot 1000}$$

$$P = 510,1 \text{ кВт}$$

Горизонт 465 м:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 390 \cdot 430}{3600 \cdot 0,76 \cdot 1000}$$



$$P = 601,3 \text{ кВт}$$

НШВ:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 340 \cdot 95}{3600 \cdot 0,78 \cdot 1000}$$

$$P = 112,8 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.2 – Фактична споживана потужність насосних агрегатів

Горизонт	Номінальна потужність двигуна, кВт	Розрахункова потужність, кВт	Завантаження двигуна, %
1055 м	55	28,8	52
920 м	800	510,1	64
465 м	800	601,3	75
НШВ	250	112,8	45

Джерело: складено автором за фактичними параметрами роботи насосів та їх технічними характеристиками.

Проведені розрахунки показали, що насосні агрегати працюють із реальним навантаженням у діапазоні від 45% до 75% від номінальної потужності електродвигунів. Найбільше енергоспоживання припадає на проміжні горизонти 920 м та 465 м, де фактична потужність складає 510,1 кВт та 601,3 кВт відповідно. Отримані значення фактичних потужностей використано надалі для розрахунку добового електроспоживання та визначення економічного ефекту від оптимізації режимів роботи насосних агрегатів.

У водовідливному комплексі шахти найбільшу встановлену потужність мають насосні агрегати горизонтів 920 м та 465 м. Потужність одного працюючого насоса на зазначених горизонтах становить 800 кВт. На горизонті 1055 м використовується насосний агрегат потужністю 55 кВт. На насосній станції НШВ встановлено насоси потужністю 200 та 250 кВт. Згідно з фактичним режимом експлуатації обладнання, одночасно в роботі перебуває лише один насос на кожному горизонті [9]. Решта агрегатів знаходяться в резерві або проходять технічне обслуговування.

Таблиця 2.3 – Фактичні водоприпливи по горизонтах шахти

Горизонт	Середній водоприплив, м ³ /добу	Частка від загального водоприпливу, %
1055 м	180	6,0
920 м	520	17,1
465 м	2350	76,9
Разом по шахті	3050	100

Джерело: складено автором за виробничими даними та режимами роботи водовідливного комплексу.

На основі цих водоприпливів і подач насосів можна пояснити тривалість роботи.

Таблиця 2.4 – Фактичний режим роботи насосних агрегатів

Горизонт	Подача робочого насоса, м ³ /год	Добовий приплив, м ³ /добу	Тривалість роботи
1055 м	45	180	4–5 год один раз на дві доби
920 м	260	520	близько 2 год/добу
465 м	390	2350	близько 7,5 год/добу
НШВ	залежить від сумарного припливу	3050	за надходженням води

Джерело: Складено автором за результатами аналізу водоприпливів та режимів роботи насосних станцій.

Таблиця 2.5 – Дані для побудови графіка роботи насосів (1- насос працює; 0 - насос зупинений)

Година	1055 м	920 м	465 м
00	1	0	1
01	1	0	1
02	1	0	1
03	1	0	0
04	0	1	0
05	0	1	0
06	0	0	0
07	0	0	0
08	0	0	0
09	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	1
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0

Джерело: Складено автором на основі фактичних режимів роботи насосних агрегатів.

Для орієнтовної оцінки енергетичних витрат розрахуємо середньодобове споживання електроенергії діючими насосними агрегатами.

Таблиця 2.6 – Орієнтовні енергетичні витрати насосних станцій

Горизонт	Потужність працюючого насоса, кВт	Час роботи, год/добу	Добове споживання електроенергії, кВт·год
1055 м	28,8	2,5*	72,0
920 м	510,1	2	1020,2
465 м	601,3	7,5	4509,8
Разом	–	–	5602,0

Джерело: Складено автором на підставі паспортних потужностей насосних агрегатів та фактичних режимів роботи водовідливного комплексу.

Для горизонту 1055 м враховано середній добовий еквівалент роботи (5 годин через добу).

Наведені результати показують, що найбільше електроспоживання припадає на горизонт 465 м, де насосний агрегат працює найдовше протягом доби. Значна частка енергетичних витрат також припадає на горизонт 920 м через високу встановлену потужність електродвигуна.

Аналіз структури електроспоживання свідчить про те, що основний потенціал зниження витрат електроенергії пов'язаний не зі зміною насосного обладнання, а з оптимізацією режимів його роботи. За наявності достатнього об'єму водозбірників можливе перенесення частини роботи насосів на години з меншою вартістю електроенергії, що дозволить знизити витрати підприємства без погіршення умов експлуатації водовідливного комплексу. Проведене дослідження показало, що енергетичні витрати системи водовідливу визначаються насамперед потужністю насосних агрегатів і тривалістю їх роботи [10]. Найбільший вплив на загальний баланс електроспоживання мають насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, які повинні розглядатися як основні об'єкти подальшої оптимізації режимів електроспоживання.

2.2 Аналіз графіків електроспоживання

Ефективність роботи водовідливного комплексу значною мірою залежить від режимів експлуатації насосного обладнання. В умовах сучасного ринку електричної енергії аналіз графіків електроспоживання набуває особливого значення, оскільки дозволяє виявити резерви для зниження витрат на електропостачання без зміни технологічної схеми водовідливу.

Графік електроспоживання водовідливного комплексу формується під впливом декількох факторів, серед яких основними є інтенсивність водоприпливу, місткість водозбірників, потужність насосних агрегатів та тривалість їх роботи. На відміну від багатьох виробничих процесів,

шахтний водовідлив характеризується нерівномірним навантаженням протягом доби, оскільки насоси працюють не постійно, а періодично, залежно від рівня води у водозбірниках [11]. У досліджуваному водовідливному комплексі на кожному горизонті в роботі перебуває лише один насосний агрегат, тоді як інші насоси знаходяться в резерві або проходять технічне обслуговування. Такий режим експлуатації забезпечує високу надійність системи та дозволяє оперативно реагувати на зміну умов роботи. Найбільше навантаження на систему електропостачання створюють насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, обладнані електродвигунами потужністю 800 кВт [12]. Насос горизонту 465 м працює в середньому близько 6 годин на добу, а насос горизонту 920 м - близько 2 годин на добу. На горизонті 1055 м насосний агрегат потужністю 55 кВт працює приблизно 4–5 годин один раз на дві доби. Унаслідок цього графік електроспоживання має нерівномірний характер і залежить від фактичного часу включення насосних агрегатів.

Для оцінки режимів навантаження доцільно використовувати коефіцієнт нерівномірності графіка електроспоживання:

$$k_n = \frac{P_{max}}{P_{сеп}}, \quad (2.5)$$

де k_n – коефіцієнт нерівномірності навантаження;

P_{max} – максимальна потужність навантаження, кВт;

$P_{сеп}$ – середня потужність навантаження, кВт.

Чим більше значення коефіцієнта нерівномірності, тим більшими є коливання навантаження протягом доби. Для водовідливних установок характерні значні зміни потужності через періодичне включення та відключення насосних агрегатів. З метою аналізу режимів роботи водовідливного комплексу виконано умовний розподіл добового навантаження відповідно до фактичної тривалості роботи насосів [13].

Таблиця 2.7 – Орієнтовний розподіл електричного навантаження водовідливного комплексу протягом доби

Період доби	Працююче обладнання	Потужність, кВт
00:00–06:00	Насос горизонту 465 м	800
06:00–08:00	Насос горизонту 920 м	800
08:00–18:00	Черговий режим, робота насосів за необхідністю	0–800
18:00–24:00	Насос горизонту 465 м та допоміжне обладнання	800

Джерело: Складено автором за результатами аналізу режимів роботи насосних агрегатів.

Представлені дані мають орієнтовний характер і відображають загальний принцип формування навантаження. Реальний графік роботи насосів визначається фактичними водоприпливами та рівнем заповнення водозбірників.

Для наочного представлення структури навантаження добове споживання електроенергії можна подати у вигляді діаграми (рис.2.2).

Розподіл тривалості роботи насосів

Фактична середня тривалість роботи насосів водовідливного комплексу

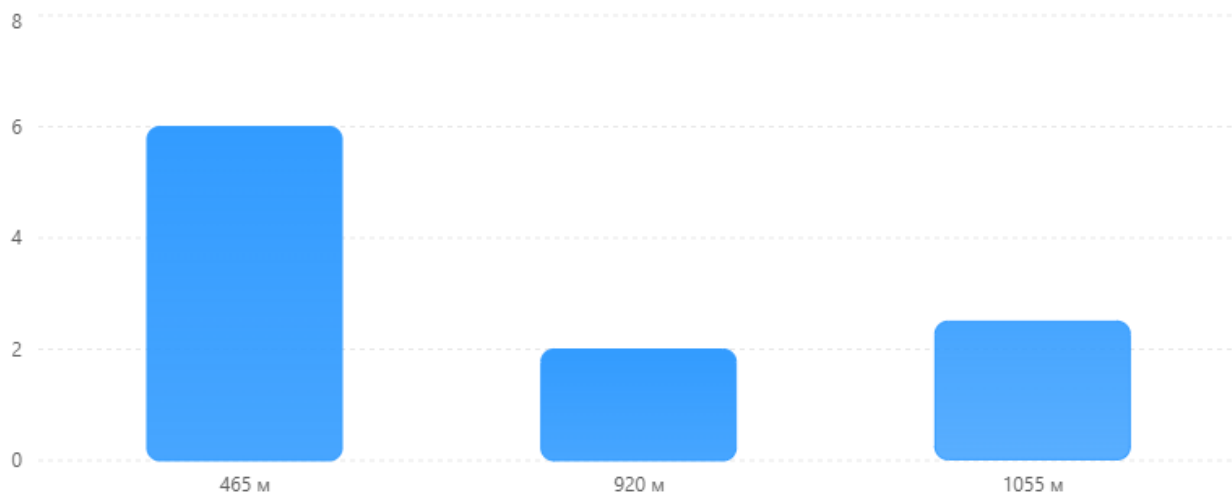



Рисунок 2.2 – Розподіл тривалості роботи насосів
(Джерело: Складено автором за результатами розрахунків та аналізу режимів роботи насосних станцій)

Аналіз структури навантаження показує, що найбільший внесок у загальне електроспоживання здійснює насосна станція горизонту 465 м, оскільки її насосний агрегат працює найдовше протягом доби. Значну частку навантаження також формує горизонт 920 м через високу встановлену потужність електродвигуна. Вплив горизонту 1055 м на загальний баланс електроспоживання є значно меншим через порівняно невелику потужність електродвигуна та меншу тривалість роботи. Проведений аналіз свідчить про наявність можливостей для оптимізації графіків електроспоживання [14]. Оскільки процес відкачування води не потребує безперервної роботи всіх насосних агрегатів, частину навантаження можна переносити на години мінімальної вартості електроенергії. Для реалізації такого підходу необхідно враховувати погодинну зміну цін на ринку «на добу наперед», а також наявний запас місткості водозбірників.

Аналіз графіків електроспоживання показав, що водовідливний комплекс характеризується нерівномірним режимом навантаження, обумовленим періодичною роботою насосних агрегатів. Найбільше навантаження формують насосні станції горизонтів 465 м та 920 м.



Наявність резерву часу між циклами роботи насосів створює передумови для подальшої оптимізації режимів електроспоживання та зниження витрат на електроенергію за рахунок використання цінових переваг ринку електричної енергії.

2.3 Аналіз тарифів ринку електроенергії України

Одним із важливих факторів, що впливають на економічну ефективність роботи водовідливного комплексу, є вартість споживаної електричної енергії. Оскільки водовідлив належить до найбільш енергоємних технологічних процесів шахтного підприємства, навіть незначне зниження вартості електроенергії може забезпечити суттєвий економічний ефект.

Протягом останніх років в Україні відбулося реформування електроенергетичного сектору та впровадження конкурентної моделі ринку електричної енергії. Відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії», купівля-продаж електроенергії здійснюється на декількох сегментах ринку, основними з яких є ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед» (РДН), внутрішньодобовий ринок та балансуючий ринок. Для промислових підприємств найбільший практичний інтерес становить ринок «на добу наперед», оскільки саме на цьому сегменті формується погодинна ціна електроенергії для наступної доби [15]. Ціна визначається на основі співвідношення попиту та пропозиції і змінюється щогодини залежно від режимів роботи енергосистеми. Особливістю ринку електричної енергії України є значна нерівномірність погодинних цін протягом доби. У нічний період споживання електроенергії є мінімальним, що призводить до зниження ринкової вартості електроенергії. У ранкові та вечірні години навантаження енергосистеми зростає, внаслідок чого ціна електроенергії досягає максимальних значень [16]. Для енергоємних підприємств така структура ринку створює можливість керування графіками електроспоживання з метою зниження витрат на електроенергію. Водовідливні установки належать до категорії технологічного обладнання, режим роботи якого може частково регулюватися завдяки використанню водозбірників для накопичення шахтних вод.

Для аналізу тарифної структури ринку доцільно виділити характерні часові інтервали протягом доби (табл. 2.8, рис. 2.3).

Таблиця 2.8 – Характеристика цінових зон ринку електроенергії

Період доби	Стан енергосистеми	Відносний рівень ціни	Доцільність роботи насосів
00:00–06:00	Мінімальне навантаження	Низький	Максимальна відкачка води
06:00–10:00	Зростання навантаження	Середній	Часткова робота насосів

Продовження таблиці 2.8

Період доби	Стан енергосистеми	Відносний рівень ціни	Доцільність роботи насосів
10:00–17:00	Денне навантаження	Мінімальний за активної сонячної генерації	Робота за необхідністю
17:00–22:00	Вечірній максимум	Найвищий	Мінімально допустима робота
22:00–24:00	Зниження навантаження	Середній	Поступове збільшення навантаження

Джерело: Складено автором за даними ДП «Оператор ринку» та НКРЕКП


З наведених даних видно, що найбільш сприятливим періодом для роботи насосних агрегатів є нічні години. У цей час електроенергія має найнижчу ринкову вартість, що дозволяє зменшити витрати на водовідлив без зміни обсягів відкачування води. Також це стосується денних годин за умови сонячної активності.

Для наочного представлення відносної зміни вартості електроенергії протягом доби використано умовний графік (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Погодинні ціни на РДН (ОЕС Україна)
(Джерело: Складено автором за даними ДП «Оператор ринку»)

Аналіз показує, що різниця між мінімальними та максимальними значеннями цін протягом доби може бути досить суттєвою. Саме тому перенесення роботи насосних агрегатів із дорогих вечірніх годин у нічний період є одним із найбільш ефективних способів зниження витрат на електроенергію. Для багаторівневого шахтного водовідливу така можливість реалізується завдяки наявності водозбірників, які дозволяють накопичувати воду протягом певного часу без загрози затоплення виробок. У результаті частина насосних агрегатів може працювати переважно в години мінімальної вартості електроенергії [17]. Важливою



перевагою цього підходу є відсутність необхідності модернізації насосного обладнання або значних капітальних вкладень. Економічний ефект досягається виключно за рахунок раціонального планування режимів роботи насосних станцій відповідно до погодинної структури ринку електроенергії. Аналіз тарифів ринку електроенергії України показав, що погодинна зміна цін на ринку «на добу наперед» створює сприятливі умови для керування режимами роботи водовідливного комплексу. Найнижча вартість електроенергії спостерігається у нічний період, тоді як максимальні значення характерні для вечірніх годин [18]. Використання цієї особливості дозволяє перенести частину електроспоживання на періоди мінімальних тарифів та забезпечити зниження експлуатаційних витрат підприємства без зміни технологічної схеми водовідливу.

2.4 Формування критеріїв оптимізації

Проведений аналіз насосного обладнання, режимів роботи водовідливного комплексу та особливостей функціонування ринку електричної енергії України показав наявність значного потенціалу для зниження експлуатаційних витрат підприємства за рахунок оптимізації режимів електроспоживання.

Водовідливний комплекс є одним із найбільших споживачів електричної енергії на шахті. Загальна встановлена потужність насосного обладнання становить 5360 кВт, при цьому найбільш енергоємними є насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, оснащені електродвигунами потужністю 800 кВт. Незважаючи на значну встановлену потужність, фактична робота насосів має циклічний характер і визначається водоприпливом та рівнем води у водозбірниках. Особливістю досліджуваної системи є те, що на кожному горизонті постійно працює лише один насосний агрегат, тоді як інші перебувають у резерві або проходять технічне обслуговування. Така схема забезпечує високий рівень надійності та створює передумови для гнучкого керування графіками роботи насосних станцій [19]. Метою оптимізації є зменшення витрат на електроенергію без погіршення безпеки та надійності роботи водовідливного комплексу.

Основним критерієм оптимізації приймається мінімізація добових витрат на електроенергію:

$$C = \sum_{i=1}^{24} P_i \cdot T_i \cdot c_i \quad (2.6)$$

де C – добові витрати на електроенергію, грн;

P_i – електрична потужність насосного обладнання у відповідний часовий інтервал, кВт;

T_i – тривалість роботи насосів у відповідний часовий інтервал, год;

c_i – погодинна ціна електроенергії на ринку «на добу наперед», грн/кВт·год.

При цьому система повинна забезпечувати виконання основної технологічної умови – своєчасне видалення шахтних вод та недопущення переповнення водозбірників.

До критеріїв оптимізації належать:

- забезпечення безпечного рівня води у водозбірниках;
- безперервне функціонування системи водовідливу;
- мінімізація споживання електроенергії у години максимальних тарифів;
- максимальне використання періодів мінімальної вартості електроенергії;
- збереження нормативного резерву насосного обладнання;
- недопущення перевантаження електротехнічного обладнання.

Враховуючи режим роботи насосних станцій, найбільший економічний ефект може бути досягнутий шляхом перенесення роботи насосів горизонтів 465 м та 920 м у нічні години, коли ціна електроенергії є найнижчою.

Завдання оптимізації полягає не у зменшенні обсягів відкачування води, а у виборі найбільш економічно вигідного часу роботи насосних агрегатів за умови дотримання всіх вимог безпеки та надійності водовідливу (рис. 2.4-2.5).

Добовий графік роботи насосів до оптимізації

Фактичний режим роботи насосних агрегатів.

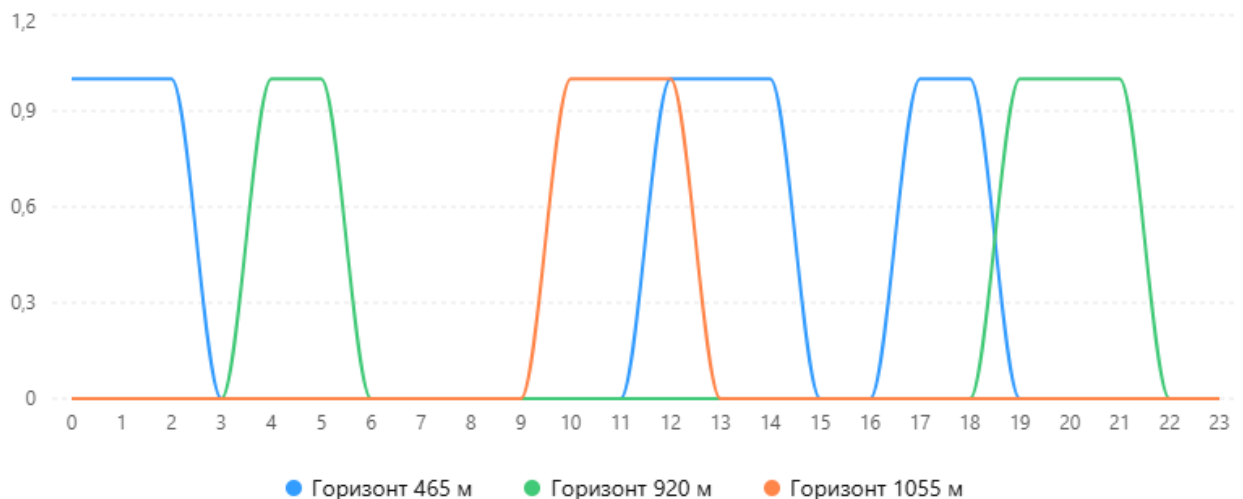


Рисунок 2.4 – Добовий графік роботи насосних агрегатів до оптимізації (Джерело: Складено автором на основі фактичних режимів роботи насосних агрегатів та виробничих даних підприємства)



Добовий графік роботи насосів після оптимізації

Перенесення роботи насосів у години мінімальної вартості електроенергії.

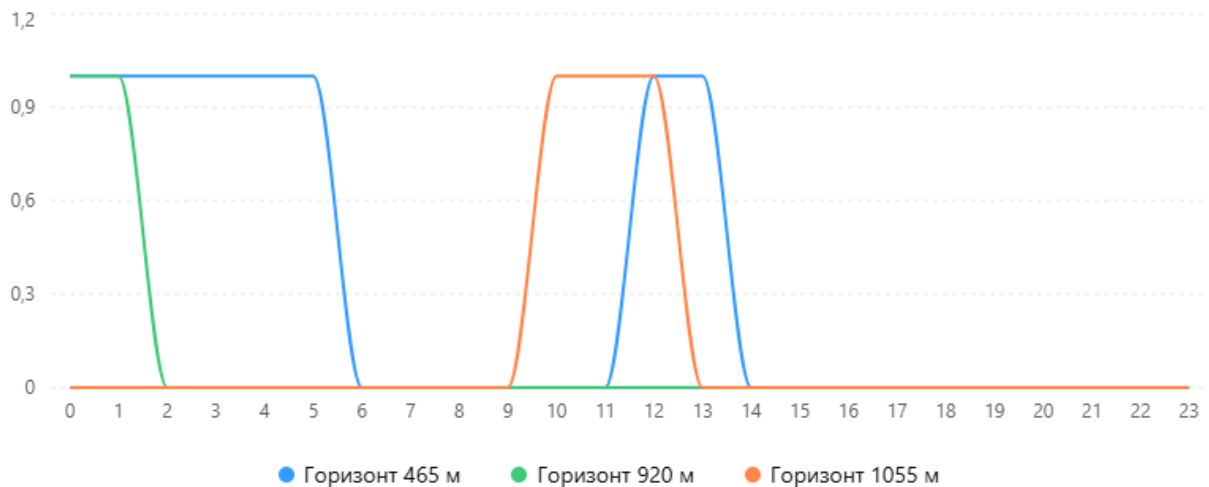



Рисунок 2.5 – Добовий графік роботи насосних агрегатів після оптимізації (Джерело: Складено автором на основі даних ДП «Оператор ринку» щодо погодинних цін ринку «на добу наперед» та результатів оптимізації режимів роботи насосного обладнання)

Порівняння графіків показує, що після оптимізації робота насосних агрегатів горизонтів 465 м та 920 м переноситься переважно на нічні години та періоди знижених цін електроенергії. При цьому у вечірній піковий період з 17:00 до 23:00 робота зазначених насосів повністю виключається. Необхідний обсяг відкачування забезпечується за рахунок використання резервної ємності водозбірників, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію без зміни технологічної схеми водовідливу та без зниження рівня безпеки експлуатації шахти.

2.5 Дослідження можливості збільшення ємності водозбірників

Одним із найбільш ефективних способів оптимізації режимів роботи шахтного водовідливу є використання накопичувальної здатності водозбірників. Наявність достатнього резервного об'єму дозволяє тимчасово накопичувати шахтні води та переносити роботу насосних агрегатів на години з нижчою вартістю електричної енергії без порушення вимог безпеки.

У традиційних схемах водовідливу насоси включаються відповідно до рівня води у водозбірнику. При цьому режим роботи обладнання визначається виключно технологічною необхідністю і не враховує зміну вартості електроенергії протягом доби. В умовах функціонування ринку електричної енергії України та наявності погодинних цін на ринку «на добу наперед» виникає можливість зміщення частини навантаження на більш економічно вигідні часові інтервали. Реалізація такого підходу потребує



оцінки можливостей існуючих водозбірників щодо накопичення шахтних вод [20]. Основною характеристикою є корисний об'єм водозбірника, який може бути використаний для регулювання режимів роботи насосних агрегатів.

Час допустимого накопичення води визначається співвідношенням:

$$t = \frac{V}{Q}, \quad (2.7)$$

де t - допустимий час накопичення води, год;

V - корисний об'єм водозбірника, м³;

Q - середній водоприплив, м³/год.

Зі збільшенням корисного об'єму водозбірника пропорційно збільшується час, протягом якого насосне обладнання може залишатися вимкненим без ризику переповнення резервуара.

Для багаторівневого водовідливного комплексу найбільший практичний інтерес становлять насосні станції горизонтів 465 м та 920 м, оскільки саме вони обладнані найбільш потужними насосними агрегатами (800 кВт) та формують основну частину електроспоживання системи. Навіть незначне збільшення часу накопичення води на цих горизонтах дозволяє перенести роботу насосів із дорогих вечірніх годин у нічний період.

У разі збільшення корисного об'єму водозбірника досягаються такі переваги:

- збільшується час допустимого накопичення води;
- зменшується кількість пусків насосних агрегатів;
- знижується навантаження на електричну мережу підприємства;
- з'являється можливість роботи насосів переважно в години мінімальних тарифів;
- підвищується гнучкість системи керування водовідливом.

Для оцінки ефективності використовується коефіцієнт резерву місткості водозбірника:

$$k_r = \frac{V_f}{V_m}, \quad (2.8)$$


де k_r - коефіцієнт резерву місткості;

V_f - фактичний об'єм водозбірника, м³;

V_m - мінімально необхідний об'єм водозбірника, м³.

Чим більшим є значення коефіцієнта резерву, тим ширшими є можливості щодо зміни графіків роботи насосного обладнання.

Необхідно враховувати, що збільшення ємності водозбірників потребує проведення гірничих робіт та додаткових капітальних вкладень. Тому економічна доцільність такого заходу повинна визначатися шляхом порівняння витрат на реконструкцію з очікуваним зниженням витрат на електроенергію. Для досліджуваного водовідливного комплексу найбільш



доцільним є використання існуючого резерву місткості водозбірників без значної реконструкції виробок [21]. За умови впровадження системи автоматизованого контролю рівня води та використання прогнозних даних щодо погодинних цін електроенергії можна досягти помітного економічного ефекту навіть без суттєвого збільшення геометричних розмірів водозбірників.

Важливою перевагою такого підходу є можливість його реалізації на базі існуючого обладнання. Для впровадження системи оптимізації достатньо забезпечити контроль рівня води у водозбірниках, збір інформації про погодинні ціни електроенергії та автоматичне формування графіків роботи насосних агрегатів.

Проведене дослідження показало, що збільшення ефективної ємності водозбірників є одним із перспективних напрямків підвищення енергоефективності шахтного водовідливу. Наявність додаткового резерву накопичення води створює можливість перенесення роботи насосного обладнання на періоди мінімальної вартості електроенергії, що забезпечує зниження експлуатаційних витрат без погіршення умов експлуатації водовідливного комплексу. Аналіз можливості збільшення ємності водозбірників показав, що використання накопичувальної здатності системи є важливим інструментом керування електроспоживанням [22]. Додатковий резерв місткості дозволяє підвищити гнучкість роботи насосних станцій та створює умови для впровадження економічно ефективних алгоритмів керування навантаженням відповідно до погодинних тарифів ринку електроенергії.

2.6 Алгоритм керування насосами за тарифними зонами

Основною метою оптимізації режимів роботи водовідливного комплексу є зниження витрат на електричну енергію за рахунок використання погодинних коливань цін на ринку електроенергії України. Для реалізації цього підходу розроблено алгоритм керування насосними агрегатами, який враховує як технологічний стан системи водовідливу, так і тарифні зони ринку «на добу наперед».

На відміну від традиційної схеми керування, за якої насоси включаються виключно за сигналами датчиків рівня води, запропонований алгоритм використовує додаткову інформацію про прогноз погодинних цін електроенергії. Це дозволяє переносити частину навантаження на години з нижчими тарифами та зменшувати споживання електроенергії в періоди максимальних цін.

Основною умовою функціонування алгоритму є забезпечення безпечного рівня води у водозбірниках. Економічна оптимізація виконується лише за умови дотримання всіх вимог технологічної безпеки.

Для роботи системи використовуються такі вхідні дані:

- поточний рівень води у водозбірниках;
- допустимий максимальний рівень заповнення;
- фактичний водоприплив;

- прогноз погодинних цін електроенергії;
- технічний стан насосних агрегатів;
- інформація про резервні насоси.

Критерієм вибору часу роботи насосів є мінімізація вартості електроенергії:

$$C = \sum_{i=1}^n W_i \cdot c_i, \quad (2.9)$$

де C – загальна вартість електроенергії за розрахунковий період, грн;

W_i – обсяг спожитої електроенергії у відповідний часовий інтервал, кВт·год;

c_i – тариф або ринкова ціна електроенергії в цей інтервал, грн/кВт·год.

В основу алгоритму покладено розподіл доби на три тарифні зони (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Тарифні зони для керування водовідливом

Тарифна зона	Часовий інтервал	Характеристика
Пільгова	00:00–06:00	Найнижча вартість електроенергії
Проміжна	06:00–17:00 та 22:00–24:00	Середній рівень цін
Пікова	17:00–22:00	Максимальна вартість електроенергії

Джерело : Складно автором на основі аналізу погодинних цін ринку електроенергії України.

Залежно від тарифної зони система формує відповідні команди керування насосними агрегатами (рис. 2.6).

Важливою перевагою алгоритму є його адаптивність до зміни гідрогеологічних умов. У разі збільшення водоприпливу система автоматично коригує режим роботи насосних агрегатів, зменшуючи час очікування та забезпечуючи необхідну інтенсивність водовідливу, підтримується безпечний рівень води незалежно від тарифної ситуації на ринку електроенергії.

У пільговий період забезпечується максимальне використання насосного обладнання. За наявності достатнього об'єму води у водозбірниках насоси працюють у пріоритетному режимі для виконання основного обсягу відкачування.

У проміжній тарифній зоні робота насосів визначається поточним рівнем води та необхідністю підтримання нормативного режиму водовідливу.

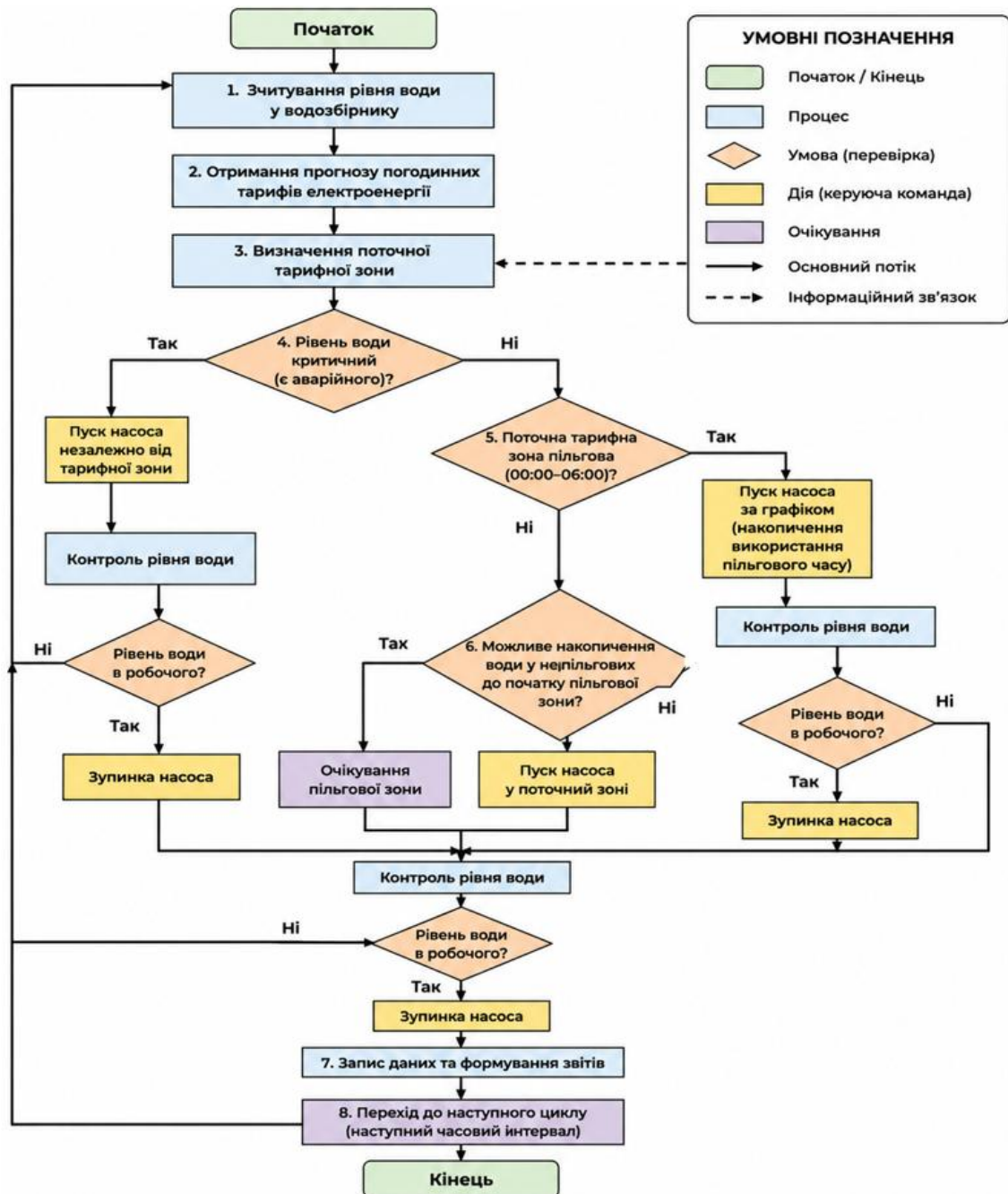



Рисунок 2.6 – Структурна схема алгоритму керування насосами
(Джерело : Складно автором)

У години пікового тарифу система намагається мінімізувати роботу насосних агрегатів. Відкачування здійснюється лише у випадках, коли рівень води наближається до гранично допустимого значення.

Послідовність роботи алгоритму наведена нижче:

1. Зчитування даних датчиків рівня води.
2. Отримання прогнозу погодинних цін електроенергії.
3. Визначення поточної тарифної зони.
4. Аналіз залишкового об'єму водозбірника.
5. Розрахунок допустимого часу накопичення води.

- 
6. Вибір оптимального режиму роботи насосів.
 7. Формування команди на пуск або зупинку насосного агрегату.
 8. Контроль виконання команди.
 9. Повторення циклу моніторингу.

Для підвищення надійності роботи системи передбачено аварійний режим. Якщо рівень води перевищує встановлену межу, насос запускається незалежно від тарифної зони та поточної вартості електроенергії. Такий підхід забезпечує пріоритет технологічної безпеки над економічними показниками.

Логіку роботи алгоритму можна подати у вигляді таких умов:

- якщо рівень води нижчий за контрольний рівень та діє піковий тариф - насос залишається вимкненим;
- якщо рівень води досяг робочого рівня та діє проміжний тариф - насос працює за стандартним режимом;
- якщо діє пільговий тариф і у водозбірнику накопичено достатній об'єм води - насос працює з максимальним використанням дозволеного часу;
- якщо досягнуто аварійний рівень води - насос запускається незалежно від тарифної зони.

Запропонований алгоритм особливо ефективний для насосних станцій горизонтів 465 м та 920 м, які мають найбільшу встановлену потужність (800 кВт) і формують основну частину витрат на електроенергію. Перенесення навіть частини їх роботи з вечірнього пікового періоду на нічні години дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати підприємства. Впровадження алгоритму не потребує заміни насосного обладнання або зміни технологічної схеми водовідливу [23]. Реалізація може бути виконана шляхом модернізації існуючої системи автоматизації та інтеграції програмного модуля прогнозування тарифів. Розроблений алгоритм керування насосами за тарифними зонами забезпечує поєднання вимог безпечної експлуатації водовідливного комплексу та мінімізації витрат на електроенергію. Основний принцип роботи полягає у перенесенні максимально можливого обсягу відкачування води на періоди мінімальної вартості електроенергії при обов'язковому контролі рівня води у водозбірниках. Використання такого підходу створює умови для підвищення енергоефективності роботи шахтного підприємства та зниження собівартості водовідливу.

3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

3.1 Розрахунок капітальних витрат

В умовах постійного зростання вартості електричної енергії питання підвищення енергоефективності роботи шахтних підприємств набуває особливої актуальності. Одним із найбільш енергоємних допоміжних процесів є водовідлив, на який припадає значна частина загального електроспоживання підприємства. Проведений аналіз показав, що насосні станції горизонтів 465 м та 920 м оснащені електродвигунами потужністю 800 кВт і формують основну частину витрат на електроенергію.

Запропонована система оптимізації передбачає перенесення роботи насосних агрегатів із періодів максимальних тарифів (вечірнього піку) на години мінімальної вартості електроенергії (нічне тарифне вікно),

Основними технічними заходами є:

- прогнозування погодинних цін електроенергії;
- перенесення частини роботи насосів з вечірнього періоду максимального навантаження енергосистеми;
- диспетчерський контроль режимів водовідливу.

Основним завданням модернізації є забезпечення оперативного контролю рівня води у водозбірниках, отримання інформації про режим роботи насосних агрегатів та формування команд керування відповідно до розробленого алгоритму. Для цього необхідно встановити датчики контролю рівня води, програмований логічний контролер, засоби зв'язку та диспетчерського контролю. Реалізація зазначених заходів дозволяє знизити витрати на електроенергію без зміни технологічної схеми водовідливу та без зменшення обсягів відкачування шахтних вод. Для впровадження системи оптимізації необхідно модернізувати існуючу систему автоматизації та встановити додаткові засоби контролю і керування див табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Орієнтовні капітальні витрати

Найменування обладнання	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Датчики рівня води	4	12 000	48 000
Контролер збору та передачі даних	1	80 000	80 000
Комунікаційне обладнання	1 комплект	25 000	25 000
Розробка алгоритму керування	1	60 000	60 000
Монтажні роботи	1 комплекс	35 000	35 000
Пусконаладжувальні роботи	1 комплекс	20 000	20 000

Джерело : Складено автором на основі комерційних пропозицій постачальників засобів автоматизації та диспетчеризації.

Разом:

$$K = 268000 \text{ грн}$$

Орієнтовний обсяг інвестицій для впровадження системи становить 268 тис. грн.

3.2 Розрахунок економії електроенергії

Електроспоживання насосного агрегату визначається за формулою (табл. 3.2):

$$W = P \cdot t \quad (3.1)$$

де W - споживання електроенергії, кВт·год;

P - потужність електродвигуна, кВт;

t - тривалість роботи, год.

Таблиця 3.2 – Електроспоживання насосів при існуючому режимі

Насосна станція	Потужність, кВт	Час роботи, год/добу	Електроспоживання, кВт·год
Горизонт 465 м	601,3	7,5	4509,8
Горизонт 920 м	510,1	2,0	1020,2
Горизонт 1055 м	28	2,5	72,0
Разом	—	—	5602

Джерело: Розраховано автором за фактичними режимами роботи насосних агрегатів.

3.2.1 Електроспоживання після оптимізації режимів роботи


У результаті оптимізації загальний обсяг відкачування води не змінюється. Тому добове споживання електроенергії насосами залишається практично незмінним.

Основний ефект досягається не за рахунок зменшення кількості спожитої електроенергії, а шляхом перенесення роботи насосних агрегатів на години мінімальної вартості електричної енергії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Розподіл електроспоживання після впровадження двопікового регламенту

Насосна станція	Потужність, кВт	Час роботи, год/добу	Години роботи у піковий період	Електроспоживання, кВт·год
Горизонт 465 м	601,3	7,5	0	4509,8
Горизонт 920 м	510,1	2,0	0	1020,2
Горизонт 1055 м	28	2,5	0	72,0
Разом	—	—	—	5602

Джерело: Розраховано автором за результатами оптимізації графіків роботи насосних агрегатів.



Після впровадження запропонованого режиму загальна кількість спожитої електроенергії залишається незмінною. Змінюється лише час використання електричної енергії: робота насосних агрегатів переноситься у періоди мінімальної вартості відповідно до погодинних цін ринку «на добу наперед».

3.2.2 Аналіз зміни режимів роботи насосів

Після регулювання режими роботи насосних агрегатів змінюються таким чином (табл. 3.4):

- робота насосів горизонту 465 м переноситься переважно на нічні години;
- робота насосів горизонту 920 м виключається у вечірній піковий період;
- робота насосних агрегатів у період 17:00–23:00 мінімізується або переноситься за рахунок використання регульовального об'єму водозбірників;
- використовується резервний об'єм водозбірників для накопичення води.

Таблиця 3.4 – Порівняння режимів роботи насосів

Показник	До регулювання	Після регулювання
Робота в піковій зоні (17–23 год)	Присутня	Мінімізована
Робота в нічний період	Частково	Переважно
Використання періодів низької вартості електроенергії	Низьке	Високе
Середньозважена ціна електроенергії	Вища	Нижча

Джерело: складено автором за результатами розрахунків режимів роботи насосних агрегатів.

Економічний ефект досягається за рахунок зміни часу роботи насосних агрегатів та перенесення частини електроспоживання з періодів високої вартості електроенергії на періоди мінімальної ціни.

Це забезпечує зниження витрат на електроенергію без зміни технологічної схеми водовідливу, без заміни насосного обладнання та без зменшення надійності роботи системи.

3.3 Розрахунок зниження вартості електроспоживання

Згідно з даними Оператора ринку погодинні ціни електроенергії на РДН суттєво змінюються протягом доби. Найвищі ціни спостерігаються у вечірній період 17:00–23:00, а найнижчі – у нічні години та окремі денні години.

Для економічних розрахунків прийнято усереднений погодинний профіль вартості електричної енергії на ринку «на добу наперед» з урахуванням періодів мінімальної та максимальної ціни (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Прийнятий погодинний профіль вартості електроенергії на РДН

Часова зона	Ціна, грн/кВт·год
00:00–07:00	5,6
07:00–11:00	6,9
11:00–17:00	5,6
17:00–23:00	15,0
23:00–24:00	6,9

Джерело: Складено автором на основі даних ДП «Оператор ринку»

Прийнятий профіль цін використано для оцінки можливого економічного ефекту від перенесення роботи насосних агрегатів у періоди мінімальної вартості електроенергії.

3.3.1 Вартість електроспоживання при існуючому режимі роботи

Відповідно до фактичного графіка роботи насосів частина навантаження припадає на пікові вечірні години (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Розподіл споживання електроенергії до оптимізації

Період	Споживання, кВт·год
Нічна зона	2801
Денна зона	1120
Пікова зона (17–23)	1681
Разом	5602

Джерело: Складено автором за фактичними графіками роботи насосних агрегатів та даними ДП «Оператор ринку».

Вартість електроенергії визначається як:

$$C = \sum W_i \cdot T_i \quad (3.2)$$

де W_i - обсяг споживання в окремій часовій зоні;

T_i - ціна електроенергії в даній зоні.

Розрахунок:

$$C_1 = 2801 \cdot 5,6 + 1120 \cdot 5,6 + 1681 \cdot 15 = 34640,7 \text{ грн/добу.}$$

3.3.2 Вартість електроспоживання після оптимізації

Після впровадження двопікового регламенту частина роботи насосних агрегатів переноситься з періоду максимальної вартості електроенергії на періоди мінімальної вартості відповідно до погодинного графіка цін РДН (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Розподіл споживання електроенергії після впровадження двопікового регламенту

Період	Споживання, кВт·год
Нічна зона	2521
Денна зона	3081
Пікова зона (17–23)	0
Разом	5602

Джерело: Складено автором за прийнятим графіком регулювання роботи насосних агрегатів та погодинним профілем цін електроенергії ДП «Оператор ринку».

Розрахунок:

$$C_2 = 2521 \cdot 5,6 + 3081 \cdot 5,6 = 32571,2 \text{ грн/добу.}$$

3.3.3 Економічний ефект від регулювання

Добова економія становить:

$$E_{\text{доб}} = C_1 - C_2 = 36640,6 - 31371,2 = 1876,6 \text{ грн/добу.}$$

Річна економія:

$$E_{\text{річ}} = 1876,6 \cdot 365 = 684959 \text{ грн/рік.}$$

Запропонована оптимізація не змінює обсягу відкачування шахтних вод і не впливає на технологічну надійність системи водовідливу. Економічний ефект досягається виключно за рахунок виключення роботи насосів у піковий період 17:00–23:00 та перенесення навантаження на години з нижчою вартістю електроенергії. За результатами розрахунків очікуване зниження витрат на електроенергію становить близько 685 тис. грн на рік.

Очікувана річна економія коштів складає близько 0,685 млн грн/рік.

3.4 Розрахунок терміну окупності проєкту

Термін окупності визначається за формулою:



$$T = \frac{K}{E_{\text{річ}}} \quad (3.4)$$

де K - капітальні витрати, грн;

$E_{\text{річ}}$ - річна економія коштів, грн.

Підставляючи отримані значення:

$$T = \frac{268000}{684959} = 0,39 \text{ року}$$

або приблизно

$$T \approx 5 \text{ місяців.}$$

Отриманий результат підтверджує економічну доцільність впровадження двопікового регламенту електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу.

Запропоноване рішення забезпечує такі переваги:

- зниження витрат на оплату електроенергії за рахунок вибору оптимального часу роботи насосних агрегатів;
- зменшення частки споживання у періоди максимальної вартості електроенергії;
- використання денного періоду низької ціни електроенергії;
- підвищення керованості режимів роботи водовідливного комплексу;
- зменшення навантаження на електричні мережі підприємства у години максимального попиту;
- покращення планування роботи насосного обладнання.

У результаті проведеного техніко-економічного обґрунтування встановлено, що впровадження системи регулювання режимів електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу є технічно можливим та економічно доцільним.

Запропонований підхід базується на аналізі погодинної вартості електричної енергії ринку «на добу наперед» та формуванні оптимального графіка роботи насосних агрегатів з урахуванням рівнів водозбірників.

При капітальних витратах 268 тис. грн очікуваний річний економічний ефект становить близько 685 тис. грн, а термін окупності проекту складає близько 5 місяців.

3.4.1 Склад заходів з впровадження

Запропонований захід не передбачає заміни насосного обладнання та електродвигунів. Реалізація проекту полягає у впровадженні системи регулювання режимів електроспоживання насосних агрегатів з урахуванням погодинної зміни вартості електричної енергії на ринку «на добу наперед» (табл. 3.8).

Для реалізації проекту необхідно:

- адаптувати існуючу систему керування насосами до роботи за двопіковим регламентом;
- встановити додаткові датчики рівня води;
- забезпечити збір даних щодо погодинних цін електроенергії;
- виконати налаштування алгоритму формування добового графіка роботи насосних агрегатів;
- провести пусконаладжувальні роботи.

Таблиця 3.8 – Основні техніко-економічні показники проєкту

Показник	Значення
Добове електроспоживання насосного комплексу, кВт·год	5602
Річне споживання, кВт·год	2044730
Економія витрат на електроенергію, кВт·год	684959
Капітальні витрати на впровадження, грн	268000

Джерело: Складено автором на основі режимів роботи насосних агрегатів, погодинної вартості електроенергії ринку «на добу наперед» та виконаних техніко-економічних розрахунків.




4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Аналіз небезпечних факторів насосної станції

Система багаторівневого шахтного водовідливу належить до об'єктів підвищеної виробничої безпеки, оскільки забезпечує захист гірничих виробок від затоплення та підтримання безпечних умов праці в шахті. Надійність роботи насосних станцій безпосередньо залежить від безперервного електропостачання, справності насосного обладнання та ефективності дій обслуговуючого персоналу в аварійних ситуаціях. Під час експлуатації водовідливного комплексу найбільшу небезпеку становить припинення подачі електроенергії до насосних агрегатів. У разі повного знеструмлення насосних станцій відбувається припинення відкачування шахтних вод, що може призвести до переповнення водозбірників, підтоплення насосних камер, порушення роботи виробничих ділянок та створення загрози для працівників, які перебувають у підземних виробках.

Підвищення рівня безпеки роботи водовідливного комплексу може бути забезпечене шляхом впровадження автоматизованих систем контролю рівня води, дистанційного моніторингу роботи насосів, резервування електроживлення та використання власних джерел генерації електроенергії. Запропоноване в дипломній роботі застосування сонячної електростанції та системи керування насосами за тарифними зонами дозволяє не лише знизити витрати на електроенергію, але й підвищити енергетичну стійкість водовідливного комплексу. Використання резервних схем електропостачання, автоматичного запуску резервних насосів та збільшення місткості водозбірників забезпечує додатковий запас часу для реагування персоналу в аварійних ситуаціях. Це сприяє зменшенню ризику затоплення гірничих виробок та підвищує рівень безпеки праці на підприємстві. Реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію системи багаторівневого шахтного водовідливу, знизити ймовірність аварійних ситуацій та мінімізувати їх можливі наслідки для персоналу і виробничих об'єктів шахти.

Насосні станції шахтного водовідливу належать до виробничих об'єктів підвищеної безпеки, оскільки їхня робота пов'язана з використанням високовольтного електрообладнання, насосних агрегатів великої потужності, обертових механізмів та експлуатацією обладнання в умовах підвищеної вологості. Під час обслуговування насосних станцій персонал може зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які здатні призвести до травмування працівників, професійних захворювань або виникнення аварійних ситуацій. Робота насосної станції здійснюється в підземних виробках, де умови праці характеризуються обмеженим простором, недостатнім природним освітленням, наявністю вологи та складними умовами евакуації у випадку аварії. За таких умов



особливого значення набуває забезпечення безпечної експлуатації обладнання та дотримання вимог охорони праці.

Серед основних небезпечних факторів насосної станції слід виділити небезпеку ураження електричним струмом. Насосні агрегати, електродвигуни, розподільчі пристрої та системи автоматизації працюють під напругою, що створює ризик виникнення електротравм під час проведення ремонтних або експлуатаційних робіт. Імовірність ураження зростає через підвищену вологість повітря та можливе потрапляння води на струмопровідні частини обладнання.

Певну небезпеку становлять обертові елементи насосних агрегатів. Муфти, вали, вентилятори систем охолодження та інші рухомі частини можуть спричинити механічні травми при відсутності захисних огорожень або порушенні правил безпечної експлуатації обладнання.

Під час роботи насосів виникає підвищений рівень шуму. Джерелами шумового навантаження є електродвигуни, насосні агрегати, трубопроводи та запірні арматури. Тривале перебування працівників у зоні підвищеного шуму може негативно впливати на слуховий апарат, знижувати працездатність та концентрацію уваги.

У процесі експлуатації насосного обладнання спостерігається також вплив вібрації. Причинами її виникнення можуть бути дисбаланс робочих коліс насосів, зношення підшипників, порушення центрування валів або гідравлічні удари в трубопроводах. Надмірна вібрація прискорює зношення обладнання та негативно впливає на стан здоров'я обслуговуючого персоналу.

Підземні насосні станції характеризуються підвищеною вологістю повітря. Вологе середовище сприяє корозії металоконструкцій, погіршує стан електроізоляції та збільшує ризик виникнення коротких замикань. Підлога насосної камери може ставати слизькою через накопичення води, що підвищує ймовірність падіння працівників. У випадку відмови насосного обладнання або перебоїв в електропостачанні може відбуватися швидке заповнення водозбірників та підтоплення виробок. Такі ситуації становлять загрозу як для обладнання, так і для персоналу шахти. У разі використання частотних перетворювачів та систем автоматизованого керування виникає необхідність контролю електромагнітних впливів і забезпечення надійної роботи засобів автоматизації.

Для оцінки умов праці проведено узагальнення основних небезпечних факторів насосної станції.

Проведений аналіз показує, що найбільшу небезпеку для персоналу насосної станції становлять електричний струм, підвищена вологість, рухомі частини обладнання та можливість аварійного підтоплення. Під час експлуатації водовідливного комплексу необхідно застосовувати комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на зниження рівня виробничого ризику та забезпечення безпечних умов праці.

Таблиця 4.1 – Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори насосної станції

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Електричний струм	Електродвигуни, розподільчі пристрої	Електротравми, опіки
Рухомі частини обладнання	Насоси, муфти, вентилятори	Механічні травми
Підвищений шум	Робота насосів та двигунів	Погіршення слуху
Вібрація	Робота насосних агрегатів	Професійні захворювання
Підвищена вологість	Водовідливні виробки	Ураження струмом, корозія
Слизька підлога	Накопичення води	Падіння та травмування
Раптовий водоприплив	Аварійні ситуації	Підтоплення обладнання
Пожежонебезпечні ситуації	Короткі замикання	Пожежа, пошкодження обладнання

Джерело: Складено автором на основі вимог Закону України «Про охорону праці», ДСТУ та нормативних документів з безпеки праці.

4.2 Електробезпека при експлуатації насосних установок

Насосні установки шахтного водовідливу належать до електротехнічних установок підвищеної небезпеки, оскільки їх експлуатація здійснюється в умовах підвищеної вологості, обмеженого простору та наявності струмопровідних металевих конструкцій. Для забезпечення безпечної роботи персоналу необхідно передбачити комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на попередження ураження електричним струмом та виникнення аварійних ситуацій. Основними елементами електрообладнання насосної станції є електродвигуни насосних агрегатів, трансформаторні підстанції, розподільчі пристрої, кабельні мережі, частотні перетворювачі, засоби автоматизації та системи керування. У процесі їх експлуатації виникає ризик дотику до струмоведучих частин, пошкодження ізоляції, виникнення коротких замикань або пробоя напруги на корпус обладнання.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом усі металеві неструмоведучі частини електрообладнання повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. До таких елементів належать корпуси електродвигунів, шафи керування, металеві конструкції насосних агрегатів, кабельні лотки та інше обладнання. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечного рівня та сприяє швидкому спрацюванню захисної автоматики при виникненні замикання на корпус. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок та регулярно контролюватися під час проведення профілактичних випробувань. Для додаткового захисту персоналу використовуються автоматичні вимикачі,

реле максимального струму, пристрої захисного відключення та системи контролю ізоляції. У разі виникнення аварійного режиму вони забезпечують автоматичне відключення пошкодженої ділянки електромережі.

Таблиця 4.2 – Основні заходи електробезпеки при експлуатації насосних установок

Небезпечна ситуація	Захисний захід
Пошкодження ізоляції	Захисне заземлення
Замикання на корпус	Автоматичне відключення живлення
Дотик до струмоведучих частин	Захисні огороження та блокування
Робота у вологому середовищі	Використання обладнання відповідного ступеня захисту
Ремонтні роботи	Наряд-допуск та відключення напруги
Аварійний режим роботи	Релейний захист та автоматика
Електромонтажні роботи	Використання засобів індивідуального захисту

Джерело: Складено автором на основі вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Значну увагу необхідно приділяти стану кабельних ліній. Кабелі повинні мати механічний захист, відповідати умовам експлуатації в шахтах та регулярно перевірятися на наявність пошкоджень ізоляції. Забороняється використання кабелів із пошкодженою оболонкою або порушенням герметичності з'єднань. Працівники, які обслуговують насосні установки, повинні проходити спеціальне навчання та перевірку знань з електробезпеки. До самостійної роботи допускаються особи, які мають відповідну групу з електробезпеки та пройшли інструктаж з охорони праці.

Для роботи в електроустановках персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, діелектричне взуття, ізолювальні килимки, інструмент з ізольованими ручками та захисні каски.

У насосних станціях із частотними перетворювачами необхідно також враховувати наявність залишкової напруги на конденсаторах після відключення живлення. Перед проведенням робіт слід дотримуватися встановленого часу розряду електронних компонентів, зазначеного виробником обладнання.

4.3 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека насосних станцій шахтного водовідливу є важливою складовою системи охорони праці, оскільки виникнення пожежі в підземних виробках може призвести до значних матеріальних збитків,

виходу з ладу обладнання, порушення роботи водовідливного комплексу та створення безпосередньої загрози життю працівників.

Основними причинами виникнення пожеж на насосних станціях можуть бути короткі замикання в електричних мережах, перевантаження електродвигунів, пошкодження ізоляції кабелів, несправність електрообладнання, перегрів підшипників насосних агрегатів, порушення правил виконання зварювальних робіт та недотримання вимог пожежної безпеки під час експлуатації обладнання. У насосних камерах розміщується значна кількість електротехнічного обладнання, кабельних ліній, мастильних матеріалів та допоміжних механізмів. За наявності джерела займання ці матеріали можуть підтримувати розвиток пожежі та сприяти поширенню диму підземними виробками. Для попередження пожеж необхідно забезпечити постійний контроль технічного стану електрообладнання. У процесі експлуатації слід регулярно перевіряти стан ізоляції кабелів, надійність електричних з'єднань, справність автоматичних вимикачів та засобів релейного захисту. Усі електродвигуни насосних агрегатів повинні бути захищені від перевантаження та коротких замикань.

Особлива увага приділяється контролю температурного режиму роботи насосного обладнання. Перегрів підшипників, електродвигунів або силових кабелів може стати причиною займання ізоляційних матеріалів. Для своєчасного виявлення несправностей необхідно проводити планові огляди та профілактичні вимірювання температури найбільш відповідальних вузлів.

Таблиця 4.3 – Основні заходи пожежної безпеки насосної станції

Потенційна причина пожежі	Профілактичний захід
Коротке замикання	Використання автоматичних вимикачів і релейного захисту
Пошкодження ізоляції кабелів	Регулярний контроль стану кабельних ліній
Перегрів електродвигунів	Контроль температури та технічне обслуговування
Перевантаження обладнання	Використання систем захисту від перевантаження
Виконання зварювальних робіт	Оформлення наряду-допуску та пожежний нагляд
Накопичення горючих матеріалів	Регулярне прибирання виробничих приміщень
Несправність електрообладнання	Проведення планово-попереджувальних ремонтів
Людський фактор	Навчання персоналу та проведення інструктажів

Джерело: Складено автором на основі Правил пожежної безпеки в Україні.

Для оцінки пожежної безпеки насосна станція повинна бути забезпечена необхідною кількістю первинних засобів пожежогасіння.

Таблиця 4.4 – Засоби пожежогасіння насосної станції

Найменування засобу	Призначення
Вуглекислотний вогнегасник	Гасіння електрообладнання під напругою
Найменування засобу	Призначення
Порошковий вогнегасник	Гасіння твердих та рідких горючих речовин
Пожежний щит	Розміщення допоміжного пожежного інвентарю
Пожежний рукав	Подавання води до осередку займання
Ящик із піском	Локалізація невеликих осередків пожежі

Джерело: Складено автором на основі Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників.

Реалізація зазначених заходів дозволяє підтримувати належний рівень пожежної безпеки насосної станції, забезпечує захист персоналу та обладнання від наслідків пожеж, а також сприяє безперервній роботі системи шахтного водовідливу.

У насосній станції повинні підтримуватися належні санітарно-технічні умови. Забороняється накопичення горючих матеріалів, промасленого ганчір'я, відходів мастил та інших речовин, здатних до займання. Мастильні матеріали повинні зберігатися у спеціально відведених місцях у герметичній тарі.

Для локалізації можливих осередків займання насосні станції обладнуються первинними засобами пожежогасіння. Найбільш поширеними є порошкові та вуглекислотні вогнегасники, які придатні для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою. Розташування вогнегасників повинно забезпечувати швидкий доступ до них у разі виникнення пожежі. У підземних виробках передбачаються системи пожежного водопостачання, пожежні крани та резерв аварійної води. У місцях розташування електрообладнання встановлюються інформаційні таблички з інструкціями щодо дій персоналу у разі пожежі. Працівники насосної станції повинні проходити первинний та повторний протипожежний інструктаж, знати порядок евакуації, правила користування засобами пожежогасіння та способи повідомлення про пожежу відповідним службам.

У разі виявлення ознак займання працівник зобов'язаний негайно повідомити диспетчера шахти, відключити електроживлення аварійної ділянки, розпочати гасіння пожежі первинними засобами та діяти відповідно до плану ліквідації аварій.



4.4 Заходи цивільного захисту

Система шахтного водовідливу належить до критично важливих об'єктів виробничої інфраструктури, оскільки її безперервна робота забезпечує безпечне ведення гірничих робіт та запобігає затопленню підземних виробок. Порушення роботи водовідливного комплексу внаслідок аварій, надзвичайних ситуацій природного або техногенного характеру може спричинити значні матеріальні збитки, пошкодження обладнання та створити загрозу життю працівників. Основною метою цивільного захисту на об'єкті є попередження виникнення надзвичайних ситуацій, мінімізація їх наслідків, забезпечення безпеки персоналу та збереження працездатності технологічного обладнання.

Для насосних станцій шахтного водовідливу найбільш характерними є такі надзвичайні ситуації:

- аварійне припинення електропостачання;
- раптове збільшення водоприпливу;
- підтоплення насосних камер;
- пожежі в електротехнічних приміщеннях;
- вихід з ладу насосного обладнання;
- руйнування трубопроводів водовідливної системи;
- аварії на трансформаторних підстанціях;
- воєнні дії та пошкодження енергетичної інфраструктури.

Особливу небезпеку для шахти становить повне знеструмлення насосних станцій. У такому випадку припиняється відкачування шахтних вод, що може призвести до швидкого заповнення водозбірників і затоплення гірничих виробок. Для запобігання таким ситуаціям на підприємстві повинні передбачатися резервні джерела електроживлення та аварійні схеми підключення електрообладнання. Під час розроблення заходів цивільного захисту необхідно враховувати можливість тривалих перебоїв в електропостачанні. Використання сонячної електростанції, яка розглядається в даній роботі, підвищує енергетичну стійкість водовідливного комплексу та забезпечує часткове покриття власних потреб об'єкта. У разі виникнення аварійної ситуації персонал повинен діяти відповідно до затвердженого плану реагування. Усі працівники мають бути ознайомлені з маршрутами евакуації, місцями збору та порядком взаємодії з аварійно-рятувальними службами.

Для забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій на підприємстві організовуються:

- навчання та тренування персоналу;
- перевірка справності систем зв'язку та оповіщення;
- контроль технічного стану насосного обладнання;
- перевірка резервних джерел електроживлення;
- створення аварійного запасу матеріалів та обладнання;
- проведення протиаварійних тренувань.

Під час аварійного збільшення водоприпливу першочерговими заходами є введення в роботу резервних насосних агрегатів, організація безперервного контролю рівня води у водозбірниках та координація дій персоналу відповідно до плану ліквідації аварій. Для оперативного реагування на надзвичайні ситуації насосна станція повинна бути обладнана засобами аварійного освітлення, системою звукового та диспетчерського зв'язку, автоматичними засобами контролю рівня води та резервними джерелами живлення.

Таблиця 4.5 – Основні надзвичайні ситуації та заходи реагування

Надзвичайна ситуація	Можливі наслідки	Заходи реагування
Відключення електроенергії	Зупинка насосів	Підключення резервного живлення
Вихід з ладу насосного агрегату	Зниження продуктивності водовідливу	Введення резервного насоса
Раптовий водоприплив	Переповнення водозбірників	Активація аварійного режиму роботи
Пожежа	Пошкодження обладнання	Евакуація персоналу та пожежогасіння
Підтоплення насосної камери	Втрата працездатності обладнання	Аварійне відкачування води
Руйнування трубопроводу	Порушення роботи системи	Перекриття пошкодженої ділянки
Воєнні дії або пошкодження мереж	Порушення електропостачання	Використання резервних джерел енергії

Джерело: Складено автором на основі Кодексу цивільного захисту України та нормативних документів щодо реагування на надзвичайні ситуації.

Одним із важливих напрямів підвищення рівня цивільного захисту є автоматизація контролю технологічних процесів. Використання систем дистанційного моніторингу рівнів води, стану насосного обладнання та параметрів електропостачання дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Застосування комплексу організаційних і технічних заходів цивільного захисту забезпечує безпечну експлуатацію насосних станцій, підвищує стійкість роботи водовідливного комплексу та сприяє зниженню ризику виникнення надзвичайних ситуацій на підприємстві.



ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання регулювання режимів електроспоживання багаторівневого шахтного водовідливу з метою підвищення енергоефективності роботи насосних агрегатів та зниження витрат на електроенергію без порушення надійності технологічного процесу.

У результаті аналізу технологічної схеми водовідливного комплексу шахти «Першотравнева» ПрАТ «Північний ГЗК» встановлено, що система складається з насосних станцій горизонтів 1055 м, 920 м, 465 м та поверхневої насосної станції НШВ. Основними споживачами електричної енергії є насосні агрегати горизонтів 920 м та 465 м з електродвигунами потужністю 800 кВт, які формують основну частину навантаження водовідливного комплексу.

Проведений аналіз фактичних водоприпливів показав, що найбільше навантаження припадає на горизонт 465 м, де зосереджена основна частина шахтних вод. Встановлено, що існуючий режим роботи насосних агрегатів залежить від рівня води у водозбірниках та фактичного надходження води.

Визначено фактичні енергетичні параметри насосного обладнання. Розрахунками встановлено, що добове споживання електроенергії водовідливним комплексом становить близько 5602 кВт·год. Найбільша частка електроспоживання припадає на насосну станцію горизонту 465 м через найбільшу тривалість роботи обладнання.


У роботі запропоновано метод регулювання режимів електроспоживання шляхом перенесення роботи насосних агрегатів із періодів високої вартості електроенергії на години з нижчою ціною на ринку «на добу наперед». Реалізація такого підходу передбачає зміни графіків роботи насосів без зміни технологічної схеми водовідливу.

Проведено оцінювання запропонованих режимів роботи насосного обладнання. Встановлено, що після оптимізації добовий обсяг відкачування води та загальне електроспоживання залишаються незмінними, однак зменшується робота насосів у періоди максимальної вартості електроенергії. Економічний ефект забезпечується за рахунок зміни часу використання електричної енергії.

В економічній частині виконано оцінювання витрат на впровадження системи регулювання режимів електроспоживання. Запропоновані заходи передбачають використання сучасних засобів контролю, керування насосними агрегатами. У результаті проведених досліджень підтверджено економічну доцільність оптимізації режимів роботи багаторівневого шахтного водовідливу. Запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність використання електроенергії, знизити витрати на експлуатацію насосного обладнання та забезпечити надійну роботу водовідливного комплексу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Денисюк, С., Таргонський, В. "Енергоефективність України: проблеми та шляхи її зростання." Енергетика: економіка, технології, екологія. Загальні проблеми енергоефективності, № 4, 2017, с. 7-28.
2. Денисюк, С. та ін. "Європейські тенденції інноваційного розвитку в енергетичному секторі та сферах кінцевого енергоспоживання." Енергетика: економіка, технології, екологія, №2(52), 2018, с. 7-19.
3. Сінчук, І. О. та ін. Енергозбереження на підприємствах гірничовидобувної промисловості. Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2016.
4. Ступнік, М. та ін. "Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу." Вісник Криворізького національного університету вип. 47. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2018, сс. 3-8, DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8.
5. Сінчук, О. та ін. "Засадничі імперактиви моніторингу енергоорієнтованих режимів споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах." Електромеханічні і енергозберігаючі системи, № 2, 2022, с. 24–30
6. Берідзе, Т. М. та ін. Фондовий ринок: функціонування та розвиток. Кременчук: NoovaBook, 2018.
7. Давиденко, Л. В. та ін. Формування енергоефективних режимів насосних станцій комунального водопостачання: монографія. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018.
8. Розен, В. П., Великий, С. С. "Загальна модель погоризонтного шахтного водовідливу." Вісник Криворізького національного університету: Збірник наукових праць, вип. 46, Кривий Ріг, 2018, с. 56-60.
9. Толмачов, С. Т. "Оптимізація режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії." Вісник Криворізького національного університету: Збірник наукових праць, вип. 44, Кривий Ріг, 2017, с. 137-142.
10. Коваль В.П., Тарасенко М.Г., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан—Тернопіль: ТНТУ, 2024. 51 с.
11. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей/Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017року. Т.:ТНТУ, 2017. С. 202.
12. Чухрай Н.І., Бохонко. І.В. Формування системи альтернативних рішень щодо зменшення втрат електроенергії з впливом на операційну діяльність енергопостачальних підприємств. Приазовський економічний вісник. 2017. № 2. 76-79 с.



13. К. Будніков, І. Козакевич. “Базові принципи формування предиктивних систем керування електроприводами змінного струму”, Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства», Криворізький національний університет, с. 62, 2021.

14. Будніков, К. В. Варіативність систем енергоефективного функціонування комплексів водовідведення в структурах електричних мереж залізрудних шахт. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії, 2022. Кривий Ріг: КНУ.

15. І. Сінчук. “Формалізація показників балансу споживання електричної енергії підземними залізрудними підприємствами”, Гірничий вісник, Кривий Ріг, Вип. 105, с. 132–138, 2019.

16. Ткач, В.І. Система ідентифікації місць однофазних замикань на землю у повітряних електричних мережах з ізольованою нейтраллю : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Ткач Володимир Іванович ; Нац. ун-т "Чернігів. політехніка". Чернігів, 2021. 20 с.

17. Григоренко О. М. Теорія автоматичного керування. Ч. 1 : навч. посіб. Суми: СумДУ, 2019. 210 с

18. Юрченко, О.М. Дослідження роботи насосних агрегатів у режимі стабілізації рівня рідини в резервуарі на основі імітаційної моделі / О. М. Юрченко, О. В. Чермалих, О. В. Данілін. 2019. № 2. С. 72-77

19. Кондусь В. Ю., Котенко О. І. Лопатеві насоси: навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2021. 294 с.

20. Махно О. П. Системи автоматизації технологічних процесів: навч. посіб. Одеса : ОНАХТ, 2019. 224 с.

21. Бабаєв М. А., Рибак В. І. Мікропроцесорні системи автоматизації : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2021. 276 с.

22. Тараненко О. П., Сокіл А. П. Промислові контролери та системикерування: навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 268с.

23. Грицай І. М. Інформаційні технології в системах керування: монографія. Полтава : ПНТУ, 2020. 198 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Основні параметри насосних агрегатів

Параметр	Насос №1	Насос №2	Насос №3	Насос №4
Продуктивність, м ³ /год (паспортна)	350	350	350	350
Напір, м	420	420	420	420
Встановлена Потужність двигуна, кВт	630	630	630	630
Розрахункова робоча потужність, кВт	601,3	601,3	601,3	601,3
ККД насоса, %	82	82	82	82
ККД двигуна, %	95	95	95	95

Джерело : Складено автором на основі технічних каталогів промислового насосного обладнання та довідкової літератури з шахтного водовідливу.

Таблиця А.2 – Порівняння режимів електроспоживання до та після впровадження двопікового регламенту

Часовий інтервал	До оптимізації	Після оптимізації
00:00–06:00	2801 кВт·год	2521 кВт·год
06:00–17:00	1120 кВт·год	3081 кВт·год
17:00–23:00	1681 кВт·год	0 кВт·год
Разом	5602 кВт·год	5602 кВт·год

Джерело: Складено автором на основі прийнятих режимів роботи насосних агрегатів, необхідного обсягу водовідливу та погодинного профілю вартості електричної енергії на ринку «на добу наперед».

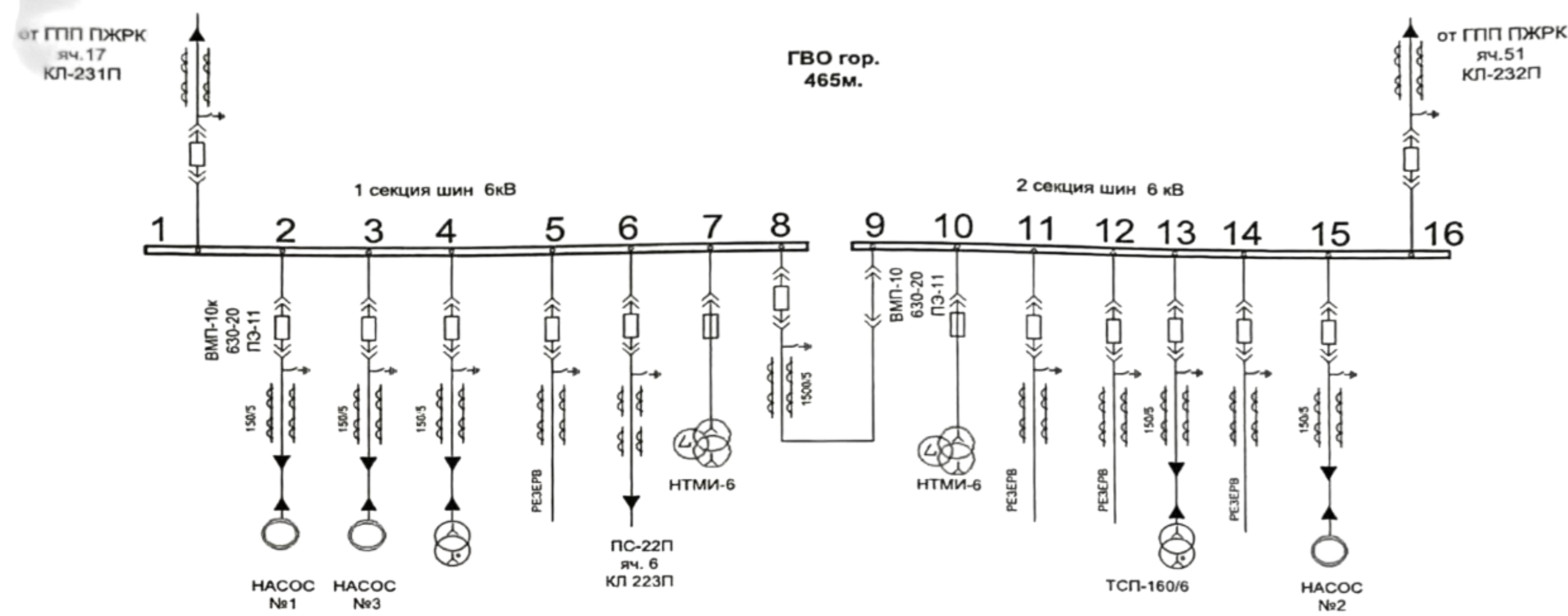
Таблиця А.3 – Річний економічний ефект від оптимізації

Показник	Значення
Добове споживання електроенергії	5602 кВт·год
Вартість до оптимізації	36640,6 грн/добу
Вартість після оптимізації	31371,2 грн/добу
Добова економія	1876,6 грн
Річна економія	684959грн

Джерело: Складено автором на підставі результатів регулювання графіків роботи насосних агрегатів та даних ДП «Оператор ринку» щодо погодинних цін електроенергії на ринку «на добу наперед».

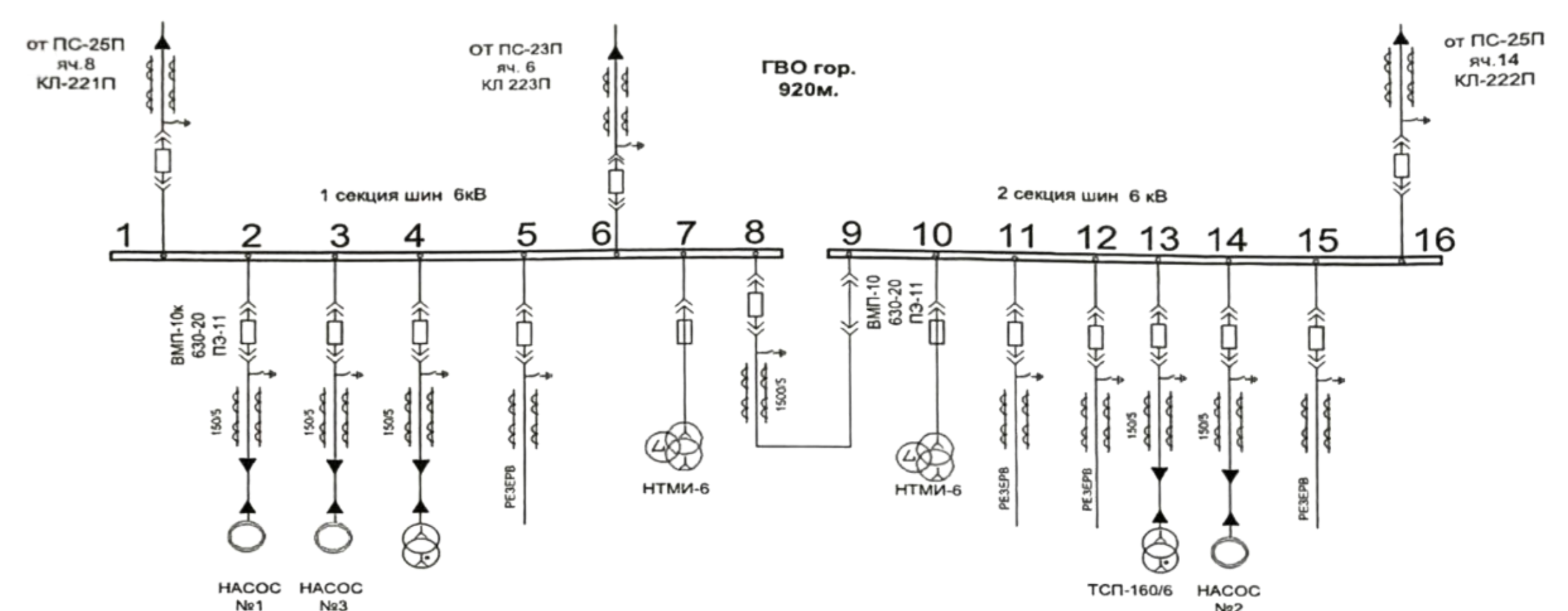
Однолінійна схема електропостачання шахти
«Першотрабнеба»

Схема 6кВ ПС-23П гор.465м



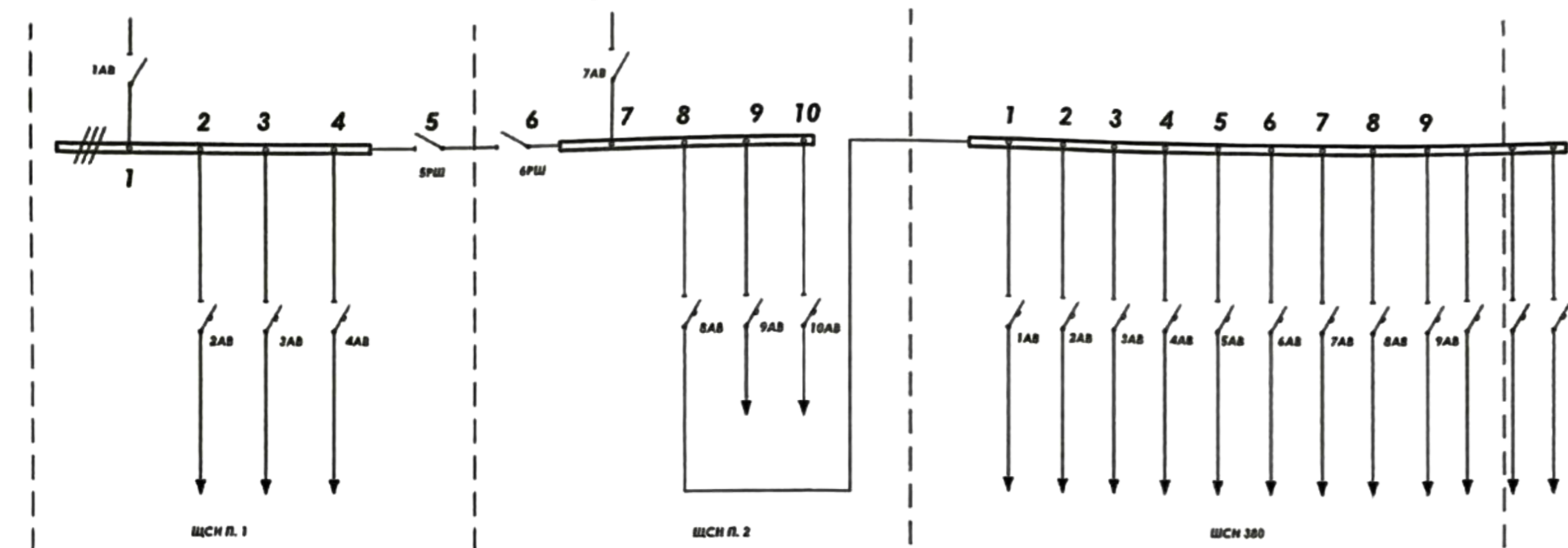
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Назв. Приєдн	Ввод №1	НАСОС №1	НАСОС №3	ТСН-1	РЕЗЕРВ	КЛ 223П ПС 23П	ТН-1	СМВ	СР	ТН-2	РЕЗЕРВ	РЕЗЕРВ	ТСН-2	РЕЗЕРВ	НАСОС №2	Ввод №2
Марка та тип кабелю	ЦСКН-6 3х95 230м	ВАО-560 800 кВт	ВАО-560 800 кВт	ТСП-160/6		ЦСКН-6 3х95	НТМИ-6			НТМИ-6			ТСП-160/6		ВАО-560 800 кВт	ЦСКН-6 3х95 230м
Дані спож-ча																

Схема 6кВ ПС-22П гор.920м



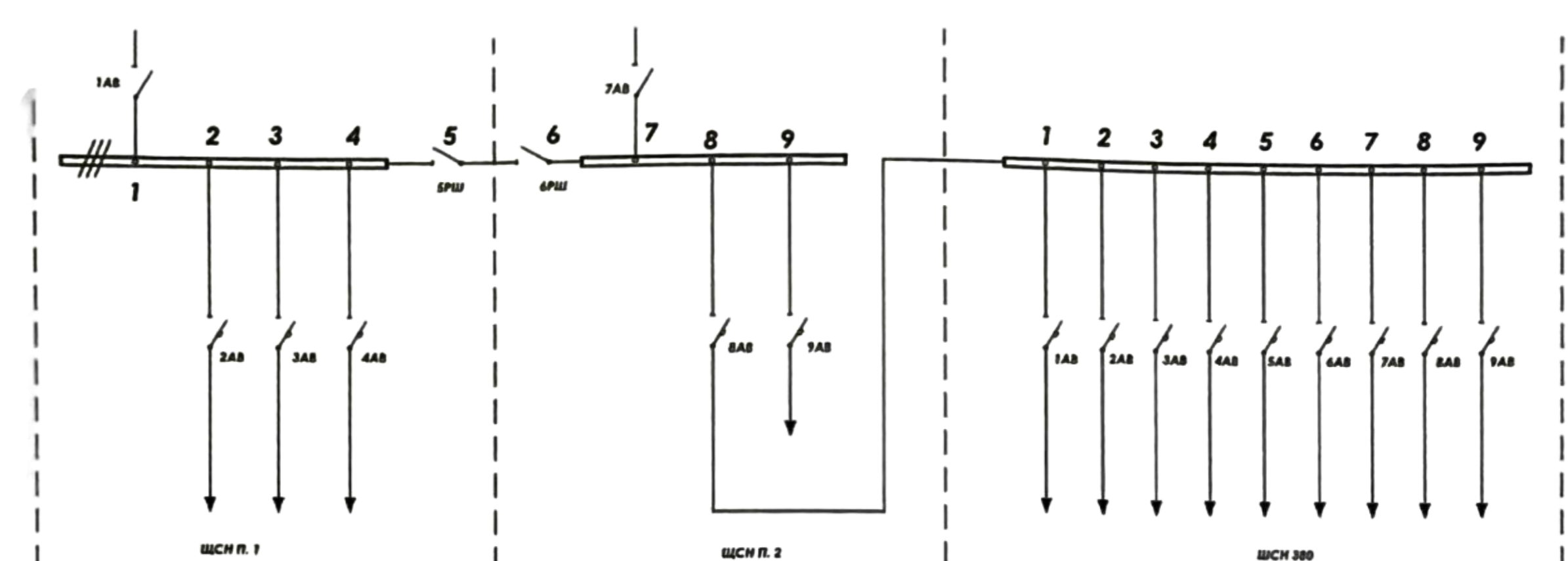
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Назв. Приєдн	Ввод №1	НАСОС №1	НАСОС №3	ТСН-1	РЕЗЕРВ	Ввод №3	ТН-1	СМВ	СР	ТН-2	РЕЗЕРВ	РЕЗЕРВ	ТСН-2	НАСОС №2	РЕЗЕРВ	Ввод №2
Марка та тип кабелю	ЦСКН-6 3х95 230м	ВАО-630 800 кВт	ВАО-630 800 кВт	ТСП-160/6		ЦСКН-6 3х95	НТМИ-6			НТМИ-6			ТСП-160/6	ВАО-630 800 кВт		ЦСКН-6 3х95 230м
Дані спож-ча																

РУ-0,4кВ ПС-23П ГВО гор.465м



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Назв. Приєднання	Ввод №1	ЩСН-1	Руддвір «В-1»	Руддвір «П-1»	Роз'єднувач	Роз'єднувач	Ввод №2	ЩСН 380 В	Резерв	ЩСН-2		
Тип вимикача	A3144У4	A3716	A3126У4	A3144У4	РШДУ3	РШДУ3	A3144У4	A3724	A3724	A3724		
Потужність, кВт	600	125	250	400	400	400	600	400	100	100		
Назв. Приєднання							Насос №2	Зварювальний пост	Резерв	Залівний насос	Насос №3	Резерв
Тип вимикача							A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4
Потужність, кВт							63	63	25	25	25	25
Назв. Приєднання							Насос №1	Резерв	Кран-балка	Резерв	Транс-гор 380/220	Резерв
Тип вимикача							A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4	A3716У4
Потужність, кВт							25	25	25	25	25	25

РУ-0,4кВ ПС-22П ГВО гор.920м



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Назв. Приєднання	Ввод №1	Освітлення	ЩСН-1	Резерв	Роз'єднувач	Роз'єднувач	Ввод №2	ЩСН 380 В	ЩСН-2			
Тип вимикача	A3144У4	ЛП 50	A3124У4	A3144У4	РШДУ3	РШДУ3	A3144У4	ЛП 50	ЛП 50			
Потужність, кВт	400	50	50	400	400	400	600	400	50			
Назв. Приєднання							Зварювальний пост	Насос №1	Насос №2	Кран-балка	Резерв	Насос №3
Тип вимикача							A3124У4	A3124У4	A3124У4	A3124У4	A3124У4	A3124У4
Потужність, кВт							100	100	100	100	50	50
Назв. Приєднання							Залівний насос	Заточний станок	Резерв			
Тип вимикача							A3124У4	A3124У4	A3124У4			
Потужність, кВт							50	50	50			

Графіки та таблиці розрахунків режимів роботи насосного обладнання шахти «Першотравнева»

Фактичні водоприпливи по горизонтах

Горизонт	Середній водоприплив, м³/добу	Частка від загального водоприпливу, %
1055 м	180	6,0
920 м	520	17,1
465 м	2350	76,9
Разом по шахті	3050	100

Електроспоживання насосів при існуючому режимі

Насосна станція	Потужність, кВт	Час роботи, год/добу	Електроспоживання, кВт·год
Горизонт 465 м	601,3	7,5	4509,8
Горизонт 920 м	510,1	2,0	1020,2
Горизонт 1055 м	28	2,5	72,0
Разом	—	—	5602

Розподіл електроспоживання після впровадження двопікового регламенту

Насосна станція	Потужність, кВт	Час роботи, год/добу	Години роботи у піковий період	Електроспоживання, кВт·год
Горизонт 465 м	601,3	7,5	0	4509,8
Горизонт 920 м	510,1	2,0	0	1020,2
Горизонт 1055 м	28	2,5	0	72,0
Разом	—	—	—	5602

Орієнтовані капітальні витрати

Найменування обладнання	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Датчики рівня води	4	12 000	48 000
Контролер збору та передачі даних	1	80 000	80 000
Комунікаційне обладнання	1 комплект	25 000	25 000
Розробка алгоритму керування	1	60 000	60 000
Монтажні роботи	1 комплекс	35 000	35 000
Пусконаладжувальні роботи	1 комплекс	20 000	20 000

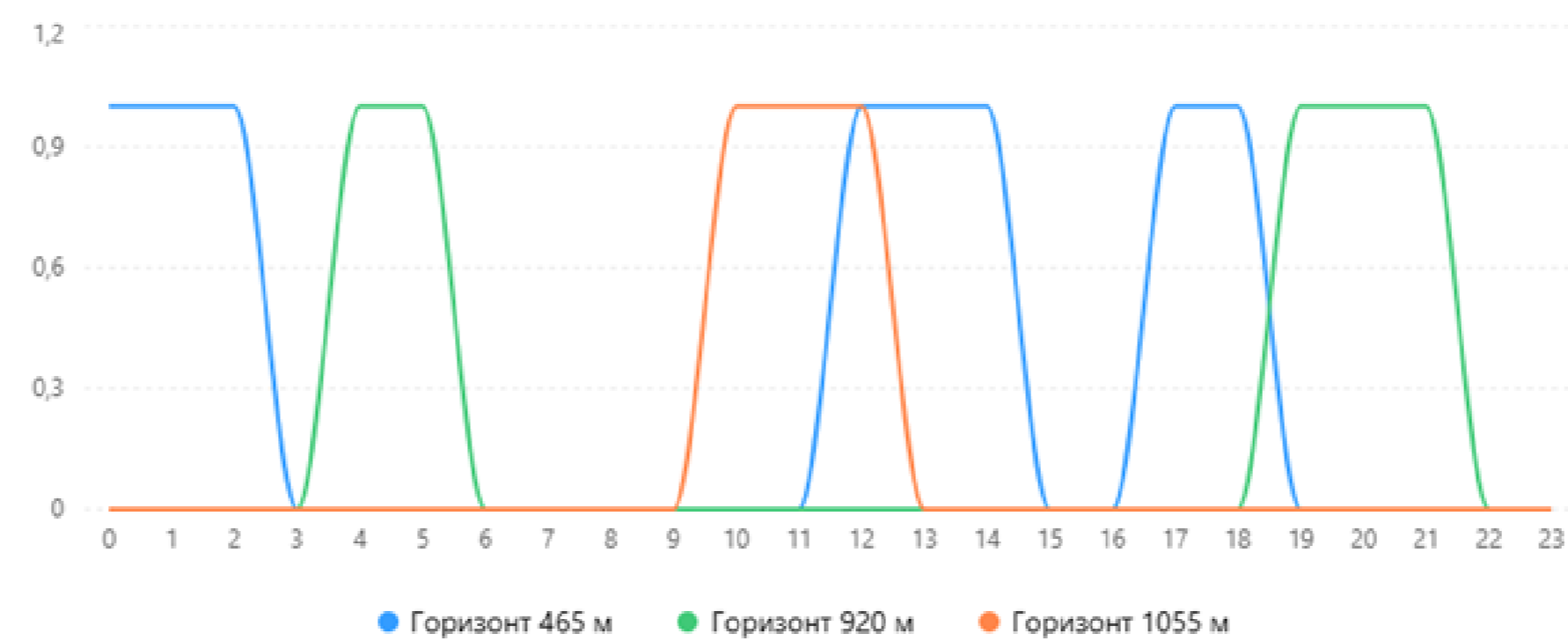
Фактичний режим роботи насосних агрегатів

Горизонт	Подача робочого насоса, м³/год	Добовий приплив, м³/добу	Тривалість роботи
1055 м	45	180	4–5 год один раз на дві доби
920 м	260	520	близько 2 год/добу
465 м	390	2350	близько 7,5 год/добу
НШВ	залежить від сумарного припливу	3050	за надходженням води

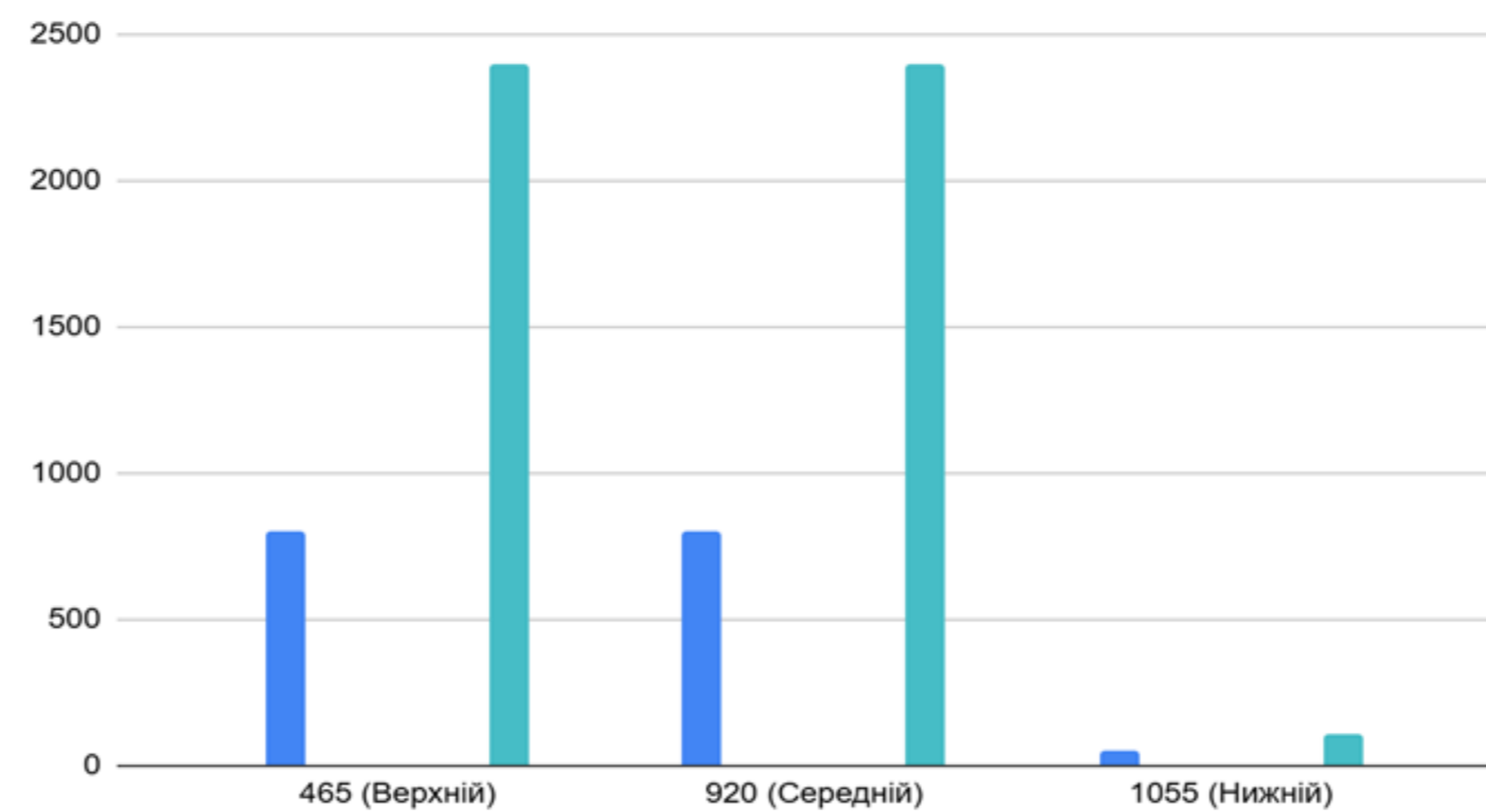
Добовий графік роботи насосних агрегатів після оптимізації



Добовий графік роботи насосних агрегатів до оптимізації



Розподіл встановленої потужності насосних станцій



Структурна схема алгоритму керування насосами

