

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота

другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему: «Дослідження шляхів підвищення енергоефективності
технологічного обладнання підприємства водопостачання»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1451
спеціальності 145 гідроенергетика
освітньої програми гідроенергетика
Лобов Руслан Володимирович

Керівник доц., к.т.н., Осаул О. І.

Рецензент доц., к.т.н. Карпенко Г.В.

Запоріжжя

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 145 Гідроенергетика
Освітня програма Гідроенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

« 1 » 12 20 22 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Лобову Руслану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Дослідження шляхів підвищення енергоефективності технологічного обладнання підприємства водопостачання»

керівник роботи Осаул Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» жовтня 2022 року №1454-с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2022 року.

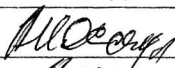



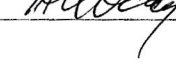

3 Вихідні дані до роботи: Потужність електродвигунів – 370 кВт, продуктивність водопроводу – 649 тис.м³/ год, продуктивність ДВС-1 – 519 тис.м³/ год .

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз підприємства та його технологічного обладнання. 2. Аналіз енергоспоживання підприємством водопостачання, споживання електричної енергії та обладнання водоочисних споруд ДВС-1 та ДВС-2, споживання електричної енергії та характеристика обладнання центральних очисних споруд №1 та №2. 3. Заходи щодо зниження споживання електричної енергії насосними агрегатами, модернізація системи каналізаційної насосної станції ,розробка заходів щодо зниження електричної енергії на ДВС №1, модернізація водопровідної насосної станції «Хортицька».

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): загальне споживання енергоресурсів КП «Водоканал», аналіз споживання електричної енергії обладнанням на підприємстві водопостачання, добовий графік відкачки стоків з КНС-1, моделювання режимів роботи насосних агрегатів КНС з частотним перетворювачем.

модернізація каналізаційної насосної станції, схема ДВС №1 модернізація ДВС №1, модернізація ВНС «Хортицька».

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Осаул О.І., доц. каф. ТГЕ		
Розділ 2	Осаул О.І., доц. каф. ТГЕ		
Розділ 3	Осаул О.І., доц. каф. ТГЕ		

7 Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Аналіз підприємства та його технологічного обладнання.	10.10.2022	
2	Аналіз енергоспоживання підприємством водопостачання	31.10.2022	
3	Заходи щодо зниження споживання електричної енергії насосними агрегатами	26.11.2022	

Студент




(підпис)

Р.В. Лобов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



(підпис)

О.І. Осаул

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

С.Є. ЧИЖОВ

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лобов Р.В. «Дослідження шляхів підвищення енергоефективності технологічного обладнання підприємства водопостачання».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 - Гідроенергетика. Науковий керівник – канд. техн. наук, доцент Осаул О.І. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2022 р.

Проведено аналіз підприємства водопостачання та його технологічного обладнання. Зроблено аналіз споживання електричної і теплової енергії основним та додатковим обладнанням підприємства, обладнанням водоочисних споруд. В роботі запропоновано та розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зменшити споживання електричної енергії обладнанням підприємства. Запропоновано встановити нові енергоефективні насосні агрегати на каналізаційній насосній станції, комплексну систему управління водопровідною насосною станцією. Описані технічні характеристики обраного обладнання та розраховано техніко-економічні показники запропонованих заходів.

Ключові слова: частотний перетворювач, система управління, насосний агрегат, плавний пуск, водоочисна споруда, енергоефективність, електрична енергія, термін окупності

ABSTRACT

Lobov R.V. «Research on ways to increase the energy efficiency of the technological equipment of the water supply enterprise».

Qualifying final work for obtaining a master's degree in the specialty 145 - Hydro Power Engineering, Supervisor Ph.D., Associate Professor Osaul O.I. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute

named after Yu.M. Potebny, Department of Thermal Power Engineering and Hydro Power Engineering, 2022.

An analysis of the water supply and yogo technological possession was carried out. The analysis of the reduction of electrical and thermal energy to the main and supplementary possessions of the enterprise, the possession of water purification spores, is detailed. In the robot, a number of technical approaches have been proposed and broken up, to allow for a change in the reduction of the electric energy of the enterprises. It was requested to install new energy-efficient pumping units at the sewerage pumping station, an integrated control system for the water supply pumping station. Description of the technical characteristics of the return of the property and the insurance of the technical and economic indicators of the proponated entries.

Keywords: frequency changeover, control system, pumping unit, soft start, water purification system, energy efficiency, electric energy, terms of recoupment

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз підприємства та його технологічного обладнання.....	9
1.1 Частотні перетворювачі для асинхронних двигунів.....	9
1.2 Загальні відомості про підприємство.....	16
1.3 Система водопостачання міста Запоріжжя.....	21
1.4 Водовідведення міста Запоріжжя.....	24
1.5 Технології прокладання мереж водопроводу та каналізації міста Запоріжжя.....	27
2 Аналіз енергоспоживання підприємством водопостачання.....	29
2.1 Споживання електричної енергії на підприємстві.....	29
2.2 Споживання електричної енергії та обладнання водоочисних споруд ДВС-1 та ДВС2.....	36
2.3 Споживання електричної енергії та характеристика обладнання центральних очисних споруд №1 та №2.....	41
3 Заходи щодо зниження споживання електричної енергії насосними агрегатами.....	46
3.1 Основні заходи зниження споживання електроенергії на підприємстві.....	46
3.2 Модернізація системи каналізаційної насосної станції	50
3.3 Розробка заходів щодо зниження електричної енергії на Дніпровській водопровідній станції №1	61
3.4 Модернізація водопровідної насосної станції «Хортицька» ...	67
Висновки.....	72
Перелік посилань.....	73

ВСТУП

Актуальність роботи. Актуальність досліджень обумовлена масовим переоснащенням та модернізацією електроприводів у системах водопостачання на основі використання алгоритмів частотного регулювання та необхідністю підтримки експлуатаційних показників надійності електродвигунів на високому рівні. Згідно енергетичної стратегії України до 2035р. енергоефективність та енергозбереження входять до списку пріоритетних напрямків розвитку науки, технологій та техніки нашої країни.

Створенню енергоефективних та економічних режимів роботи насосних агрегатів досі приділяється недостатньо уваги, що призводить до нераціональних витрат електроенергії від 5 до 15% у процесі перекачування чистих та стічних вод.

Асинхронний двигун є основним джерелом енергії для всіх видів насосів. Використання частотного перетворювача дозволяє знизити пусковий струм та здійснювати плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна.

Насправді ККД насосних систем становить середньому 40%, при чому використовувані ними насоси під час роботи у номінальному режимі мають ККД вище 70%. Основні енергетичні втрати пов'язані з використанням методів регулювання, що невиправдано знижують ККД системи (дроселювання), з неправильним підбором насосів (вибір насосних агрегатів з більшою потужністю, ніж потрібно для роботи насосної станції, із зносом обладнання, з недостатнім приділенням уваги характеристиці системи водопостачання .

Мета роботи - аналіз ефективності заходів щодо зменшення споживання електричної енергії

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі

- аналіз підприємства та його технологічного обладнання;

- аналіз енергоспоживання підприємством водопостачання;
- розробка заходів щодо зниження споживання електричної енергії насосними агрегатами;
- модернізація системи каналізаційної насосної станції;
- модернізація водопровідної насосної станції.

Об'єкт дослідження – електропривід насосного обладнання підприємства водопостачання.

Предмет дослідження – витрати електричної енергії насосним обладнанням.

Методи та засоби дослідження. Теоретичні дослідження виконані із залученням теорії електроприводу та теорії автоматичного управління.

Практична цінність роботи. Підтверджена можливість зменшення споживання електричної енергії завдяки заміні насосних агрегатів та впровадженню комплексної системи управління водопровідною насосною станцією.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на II Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 18-20 жовтня 2022 р.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилення з 23 позицій. Загальний обсяг складає 75 сторінок, у тому числі 17 ілюстрацій та 18 таблиць.

1 АНАЛІЗ ПІДПРИЄМСТВА ТА ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Частотні перетворювачі для асинхронних двигунів

На теперішній час у більшості фахівців, які експлуатують насосне обладнання, вже склалося чітке уявлення щодо можливості використання частотних перетворювачів (ЧП) приводу насосів та насосних агрегатів. Розуміння цього питання зумовлено інтенсивним впровадженням частотно-регульованого приводу за останні роки і накопиченим досвідом його ефективного використання.

Для всіх видів рідини, що перекачується, перетворювачі частоти забезпечують більш економічне, більш ефективне і більш надійне регулювання, ніж відомі механічні способи. Незалежно від галузі використання (видобуток та транспорт нафти, електроенергетика, житлово-комунальне господарство тощо) ефект від частотного регулювання насосів загальновідомий:

- економія електроенергії до 30 – 60 %;
- зниження витоків рідин до 5 %;
- економія теплової енергії до 10 %;
- збільшення терміну служби устаткування (1,5...2) рази;
- зменшення ймовірності виникнення розривів трубопроводів;
- підвищення ефективності захисту електроприводу;
- покращення екологічної обстановки.

Частотний перетворювач у комплекті з асинхронним електродвигуном дозволяє замінити електропривод постійного струму. Системи регулювання швидкості двигуна постійного струму досить прості, але слабким місцем електроприводу є електродвигун. Він дорогий і ненадійний. Під час роботи

відбувається іскріння щіток, під впливом електроерозії зношується колектор. Такий електродвигун не може використовуватися в запиленому та вибухонебезпечному середовищі.

Асинхронні електродвигуни перевершують двигуни постійного струму за багатьма параметрами: вони прості за пристроєм і надійні, тому що не мають рухомих контактів. Вони мають менші в порівнянні з двигунами постійного струму розміри, масу та вартість за тієї ж потужності. Асинхронні двигуни прості у виготовленні та експлуатації.

Основний недолік асинхронних електродвигунів - складність регулювання їх швидкості традиційними методами (змінюю напруги живлення, введенням додаткових опорів у ланцюг обмоток).

Управління асинхронним електродвигуном у частотному режимі донедавна було великою проблемою, хоча теорія частотного регулювання розробили ще тридцятих роках. Розвиток частотно-регульованого електроприводу стримувалося високою вартістю перетворювачів частоти. Поява силових схем із IGBT-транзисторами, розробка високопродуктивних мікропроцесорних схем управління дозволили різним фірмам Європи, США та Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної вартості.

Відомо, що регулювання частоти обертання виконавчих механізмів можна здійснювати за допомогою різних пристроїв: механічних варіаторів, гідравлічних муфт, резисторами, що додатково вводяться в статор або ротор, електромеханічними перетворювачами частоти, статичними перетворювачами частоти. Застосування перших чотирьох пристроїв не забезпечує високої якості регулювання швидкості, неекономічно, потребує великих витрат при монтажі та експлуатації.

До появи частотних перетворювачів на ринку сучасної енергетики, електромонтерам доводилося застосовувати для підключення асинхронного двигуна стартовий або фазозсувний конденсатор великої ємності.

Двигун при цьому працював, але суттєво втрачав потужність. Також застосування конденсаторів сильно розігрівало обмотки двигуна, що сильно

знижувало його ресурс роботи, і двигуни часто доводилося «перемотувати». Враховуючи, що обмотки асинхронного двигуна робляться з мідного дроту, такі ремонти приносили велику шкоду.

Так як асинхронний двигун є складовою майже кожного сучасного приводу, то питання створення частотного регулювання вставало на особливий рівень. І ось ЧП вже повсюдно застосовуються для підключення електричного двигуна до мережі та його управління.

По суті, частотний інвертор це прилад, що змінює частоту поданого на обмотки напруги з ШИМ-регулюванням. Завдяки ЧП, вдалося підключити асинхронний двигун до мережі без шкоди його ресурсу, без перегріву, і ще дати масу можливостей з управління швидкістю обертання валу.

Також, застосовуючи різні інтерфейси передачі даних та команд, застосування ЧП дозволило об'єднати всі приводи великого підприємства в одну диспетчерську систему управління та контролю параметрів.

У світ сучасної автоматизації технологічних процесів це вагомий аргумент.

По суті, частотні перетворювачі для асинхронних двигунів принцип роботи яких полягає у простому виробленні потрібної частоти змінного струму, це модулятори потрібної природи напруги, яка необхідна для того чи іншого устаткування. Саме це і знизило негативний вплив на роботу електричного двигуна, що мало місце при використанні конденсатів.

Електричний двигун отримує саме таку напругу, яка покладена йому для нормальної та повноцінної роботи.

Вважаємо за потрібне відзначити, що і за наявності лінії трифазної напруги, не завжди раціонально підключати електричний двигун до мережі просто через вимикач. У такому разі двигун буде працювати, але регулювати його роботу не вийде. Не вийде і слідкувати за станом обмоток.

Загальний вигляд частотного перетворювача наведено на рисунку 1.1.

У промисловому виконанні можна зустріти два основні типи перетворювачів: спеціальні та універсальні.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд частотного перетворювача

Спеціальний частотний перетворювач для асинхронного двигуна, схема якого відрізняється від універсального, виготовляється під конкретне обладнання за конкретними потребами. Як правило, це дуже урізані версії, які не здатні працювати з будь-яким обладнанням.

Універсальні частотні інвертори можуть працювати, як і в спеціальному устаткуванні, так і в інших варіантах застосування. На те вони й універсальні, що їх можна налаштовувати та програмувати під будь-які потреби.

Тому, вибір частотного перетворювача для асинхронного двигуна має бути не тільки продиктований конкретними потребами виробництва, а й можливістю модернізації обладнання.

На рисунку 1.2 зображено загальний вигляд частотного перетворювача Sneider Electric.



Рисунок 1.2 - Загальний вигляд частотного перетворювача Sneider Electric

Практично у всіх ЧП сьогодні реалізовано можливість встановлення та контролю режиму роботи електричного двигуна з пульта управління. Перший інтерфейс управління вбудований у сам корпус ЧП. Там є і ручка регулювання швидкості обертання двигуна.

Але можна застосовувати виносні пульти управління. Які можна розташовувати як у диспетчерській, так і безпосередньо на верстаті, що приводиться в рух електричним двигуном. І його встановлюють далеко від обладнання.

Більшість інверторів частоти дозволяють програмувати роботу устаткування. Але задати програму просто з пульта управління не вийде. Для

цього використовується інтерфейс передачі даних та налаштування, який за допомогою комп'ютера дозволяє задати потрібну програму роботи.

При проектуванні дуже важливо враховувати, що спілкування частотних перетворювачів з диспетчерським пультом відбуватиметься за допомогою електричних імпульсів проводів зв'язку. Не варто забувати, що різні стандарти зв'язку по-різному впливають один на одного. Тому, передання даних одним способом, може істотно знижувати якість передачі даних іншим способом.

Питання потужності ЧП, швидше за все, стоїть на першому плані при розрахунку приводу для будь-якого верстата або агрегату. Річ у тім, більшість частотних інверторів здатні витримувати великі навантаження до (200...300) %. Але це зовсім не означає, що для живлення електричного двигуна можна сміливо купувати ЧП сегментом нижче, ніж потрібно з планування.

Вибір потужності частотного перетворювача здійснюється з обов'язковим запасом (20...30) %. Ігнорування цього правила може спричинити вихід із ладу частотного перетворювача і простій устаткування.

Також важливо враховувати пікові навантаження, які може витримувати ЧП. Справа в тому, що при старті електричного двигуна його пускові струми можуть перевищувати номінальні. У деяких випадках, пусковий струм перевищує номінальний у шість разів. ЧП має бути розрахований на такі зміни. Кожен електричний двигун обладнаний вентилятором охолодження. Це лопаті, які встановлені у задній частині двигуна і в міру обертання валу проганяють через корпус двигуна повітря.

Якщо електричний двигун працює на знижених оборотах, потужності потоку повітря може не вистачити для охолодження.

У цьому випадку потрібно вибирати ЧП з датчиками температури двигуна. Або організувати додаткове охолодження.

На рисунку 1.3 зображено загальний вигляд перетворювача частоти Hyundai.



Рисунок 1.3 - зображено загальний вигляд перетворювача частоти
Hyundai

При розрахунку та підключенні ЧП до мережі та електричного двигуна, слід пам'ятати, що він дуже схильний до перешкод. Також перетворювач частоти може і сам стати джерелом перешкод для іншого обладнання. Саме тому всі підключення до ЧП і від нього виконуються екранованими кабелями і витримуванням дистанції в 10 см один від одного.

За своєю суттю застосування приватного перетворювача для живлення асинхронного електричного двигуна дозволило істотно продовжити життя електричного двигуна, дало можливість регулювати роботу двигуна і добре економити на витраті електричної енергії.

1.2 Загальні відомості про підприємство

Розвиток Запорізького краю, як промислового центру, почався тільки наприкінці XIX століття. До середини XIX ст. населені пункти Олександрівського повіту Катеринославської губернії (сучасна Запорізька область) мали можливість отримати питну воду із відкритих водойм (річки, озера, ставки), а також завдяки підвозу води в бочках гужовим транспортом із шахтних колодязів та покинутих копалень.

Перша артезіанська свердловина була пробурена у 1886р. у м. Мелітополь, водопровід, який перебував у приватній власності, був прокладений до центру м. Олександрівськ (тепер Запоріжжя) у 1883-1904рр.; в 1898р. велися пошукові роботи і буріння артезіанських свердловин для забезпечення водопостачання м. Бердянськ.

Із-за відсутності каналізації, забруднення малих відкритих водоймищ, колоністи, промисловці, підприємці, почали проводити інтенсивне буріння артезіанських свердловин, будувати водопровідні мережі та споруди. На початок 1930р. в області вже функціонувало 280 артезіанських свердловин.

Розвиток каналізаційних систем значною мірою відставав від водопостачання, хоча з 1930 по 1937рр. було побудовано водопровідних споруд для м. Запоріжжя з річки Дніпро, потужністю 45 тис.м³/добу.

До 1940р. в області частково каналізаційні мережі були тільки від окремих будинків та промислових підприємств, а їх стоки скидали у відкриті водойми та балки. У самому місті Запоріжжя каналізаційні мережі з примітивними спорудами механічної очистки були тільки в одиничних районах, протяжність цих мереж складала 76 км. Бурхливий розвиток промисловості і, зокрема, водопостачання почався у повоєнні роки.

Для пошуку запасів підземних вод і буріння свердловин по області у 1945р. було створено інститут «Харківбурвод», на початок 1980р. в

Запорізькій області вже було понад 2500 артезіанських свердловин та 16 тисяч шахтних колодязів.

Завод «Азовкабель» для міста Бердянськ будував з 1956 по 1963рр. комплекс водопостачальних споруд з водосховища на річці Берда, потужність складала 30 тис.м³/добу. Потужністю 36 тис.м³/добу в 1957р. було побудовано комплекс каналізаційних очисних споруд для м. Запоріжжя.

З метою планомірного розвитку та вдосконалення централізованого водопостачання і водовідведення у великих містах області, у 1966р. було створено Запорізьке обласне управління водопровідно-каналізаційного господарства. До складу управління увійшли водоканали міста Запоріжжя, м. Бердянськ та м. Мелітополь.

За період існування вищезазначеного обласного управління було введено в експлуатацію:

1) комплекси водопровідних споруд:

Лівобережний ДВС, Правобережний в м. Запоріжжя з потужністю 100 тис.м³/добу;

2) комплекси очисних споруд каналізації:

– два комплекси потужністю 310 тис.м³/добу в м. Запоріжжя; комплекс потужністю 45 тис.м³/добу в м. Бердянськ; комплекс з потужністю 63 тис.м³/добу в м. Мелітополь;

3) водозабори з підземних джерел:

Луначарський з артезіанських свердловин для водопостачання м. Бердянськ; Новопилипівський з підземних джерел для водопостачання м. Мелітополь;

4) здійснено розширення очисних споруд водопроводу до 71,8 тис.м³/добу в м. Бердянськ.

У зв'язку з реорганізацією в 1988р. обласне управління водопровідно-каналізаційного господарства було перейменовано в обласне виробниче об'єднання «Запоріжжяводоканал», з 1999 р. в обласне Комунальне підприємство «Запоріжжяводоканал» а з 2003р. і по сьогоднішній день - КП «Облводоканал» Запорізької обласної ради.

Комунальне підприємство «Запоріжжяводоканал» займалося питаннями експлуатації і розвитку водопостачання та водовідведення в області (окрім міст Запоріжжя, Мелітополя і Бердянська). Підприємство складалося з восьми дільниць водопровідно-каналізаційного господарства, які були розташовані у районах області, управління Західного групового водопроводу (місце розташування - смт. Якимівка) та Дирекції з будівництва об'єктів водопостачання.

Отже, у розвитку водопостачання Запорізької області можемо виділити наступні етапи:

- водопостачання із місцевих поверхневих джерел (малі річки, озера, ставки) та привізним водопостачанням з копанок і артезіанських свердловин;
- водопостачання Західним груповим водогоном з річки Дніпро.

Визначними датами для Комунального підприємства «Водоканал» є:

23.02.1893 року – постанова міської думи щодо будівництва в м. Олександрівську водопроводу;

червень 1894 р. – введена в дію перша черга водогону з потужністю 20 тис. відер на добу від водозабору річки Дніпро;

1906 р. – рішенням окружного суду Харківської судової палати щодо розірвання контакту та передачу водопроводу в комунальну власність міста;

1928 р. – введено в експлуатацію: водопроводи на обох берегах р.Дніпро, очисні споруди водопроводу з насосною станцією II підйому потужністю 6000 м³/добу, насосна станція III підйому потужністю 760 м³/год., каналізація та біологічна станція Правого берега з розрахунком очищення 800-1000 м³/добу;

1930-1937 рр. – побудована та введена в дію Дніпровська водопровідна станція Лівого берега (ДВС-1);

14 жовтня 1957 р. – введено в експлуатацію комплекс каналізаційних споруд з механічним очищенням ЦОС №1 з продуктивністю 36 тис. м³/добу;

19 квітня 1963 року – Радою Міністрів України прийнято рішення про будівництво ДВС-2 (правобережжя р.Дніпро);

7 липня 1994р. – відкрили «Музей історії Запорізького водопроводу»;

15 січня 1996 р. – створення нового структурного підрозділу - цеху № 4 «Цех по експлуатації та капітального ремонту мереж і насосних станцій водопроводу Заводського району» [1].

КП «Водоканал» це - одне із найстаріших підприємств м. Запоріжжя, з великим історичним минулим та багаторічними традиціями.

Перший централізований водогін у Запоріжжі (на той час – Олександрівськ) було введено в експлуатацію у 1894 році. Водопроводи правого та лівого берегів річки Дніпро ввійшли до складу діючих в 1928р. [1].

У 1937р. було введено в дію очисні споруди водопроводу із насосною станцією першого підйому Дніпровська водопровідна станція №1 (ДВС-1), а в 1970 році було введено в експлуатацію Дніпровська водопровідна станція на правому березі р. Дніпро (ДВС-2).

З 1933 року почалося будівництво системи каналізації, очисні споруди лівого берега р. Дніпро були введені в експлуатацію в 1957 році, а правого берега – в 1976 році (центральні очисні споруди ЦОС-1 та ЦОС-2).

На теперішній час Запорізьке КП «Водоканал», яке створено згідно із розпорядженням міського голови м. Запоріжжя від 10.06.2002 р. № 1025–р на базі державного комунального підприємства «Водоканал», забезпечує питною водою населення, підприємства і організації обласного центру, а також три прилеглих райони: Запорізький район (с. Богатирьово, Лежено, Балабине, Кушугум, Новомиколаївський та Вільнянський райони).

Основні напрями діяльності підприємства це: виконання робіт по видобутку, виробництві, обробці питної води, подачі, транспортуванні, розподілу і реалізація; здійснення ППР, капітальних і поточних ремонтів; здійснення технічного водопостачання споживачів; розробка заходів для раціонального використання води. КП «Водоканал» забезпечує безперебійне постачання населенню, підприємствам та організаціям питної та технічної води відповідно до Держстандарту, надає послуги із водовідведення і

очищення господарсько–побутових стоків відповідно до умов прийому стічних вод системою каналізації; вдосконалює якість води і процеси очистки стоків та ін.

До системи водопроводу належать 2 водопровідні станції підготовки питної води це: лівобережна - ДВС–1(потужність - 519,2 тис.м³ на добу) та правобережна - ДВС-2(потужність – 150,0 тис.м³на добу), які виконують забір і первинну обробку води з р. Дніпро та щодоби очищають та подають близько 400 тис.м³питної води. Подачу води до споживачів забезпечують 26 водопровідних насосних станцій, загальна протяжність розподільчої мережі (на 01.01.2021р.) - 2 239,6 км, в тому числі зношених та аварійних – 1 287,8 км. На водопровідній мережі обладнано 26 насосних станцій для підкачки води, встановлені 3 307 пожежних гідранта і 12 вуличних водорозбірних колонок.

До централізованої системи каналізації водночас надходять побутові стоки від житлових районів та організацій, а також – стоки від комунальних та промпідприємств міста. До системи міської каналізації входить комплекс складних інженерних споруд: 46 насосних станцій, дві станції повної біологічної очистки стічних вод. Станції очистки стічних вод обробляють щодоби близько 200 тисяч кубічних метрів стоків. Загальна довжина мереж і колекторів складає 923,97 км., діаметр труб – від 150мм до 2000 мм. [1].

Комунальне підприємство «Водоканал» забезпечене усіма необхідними енергоресурсами, транспортом та технікою, розвиненою виробничою інфраструктурою, має в своєму розпорядженні кваліфіковані кадри.

Але в результаті довготривалого строку експлуатації обладнання, запірна арматура, трубопроводи та інше морально і фізично застаріло, енергозатратне, тому потребує проведення робіт з модернізації і реконструкції , а також заміни на сучасне енергозберігаюче.

1.3 Система водопостачання міста Запоріжжя

Комунальним підприємством «Водоканал» питна вода подається з Дніпровської водопровідної станції №1 (ДВС-1) і Дніпровської водопровідної станції №2 (ДВС-2), які проводять забір і первинну обробку води.

Джерелом водопостачання є річка Дніпро. У 2020 році фактичний об'єм обробленої води (у тому числі на власні потреби станцій) склав: 163,6 тис. м³/ добу (ДВС-1), 79,3 тис. тис. м³/ добу (ДВС-2), подача води склала 143,6 тис.м³/ добу та 68,5 тис. м³/ добу відповідно.

На водопровідних станціях для отримання води питної якості використовуються традиційні методи очищення:

- а) хлорування;
- б) коагулювання;
- в) відстоювання;
- г) фільтрування.

Водопровідні мережі й водогони мають діаметр від 25 мм до 1400 мм.

ДВС-1 постачає питну воду підприємствам і населенню лівобережної частини м. Запоріжжя і м. Вільнянськ, с.м.т. Новомиколаївка та частині Запорізького району [3].

У складі очисних споруд ДВС-1 є блок №1 та блок №2. До складу кожного з блоків входять: насосна станція першого підйому, яка забезпечує підйом води з річки, споруди та обладнання для очистки води та насосна станція другого підйому, яка забезпечує подачу води в місто. Забір води здійснюється завдяки сифонно-самоплинним водогонам руслового типу із горизонтів 6-36м, потім вода направляється до приймальних колодязів двох насосних станцій 1-го підйому блоку №1 та блоку №2.

На блоці №1 застосовується двохступенева схема очистки води. Після насосної станції 1-ого підйому вода потрапляє до горизонтальних відстійників задля відстоювання і освітлення.

З метою затримання дрібних та колоїдних частинок на цьому етапі очистки здійснюється коагуляція. Коагулянт змішується з водою в камері реакцій відстійників. Процес змішування здійснюється за рахунок подачі повітря. Потім освітлена вода направляється до швидких фільтрів для фільтрації. Далі очищена вода надходить в резервуари чистої води, з яких потім обладнанням насосної станції 2-го підйому направляється у розподільну мережу міста.

На блоці №2 очищення води здійснюється за одноступеневою схемою. В першу чергу вода направляється до мікрофільтрів для затримання зоо- та фітопланктону, суспензій та грубодисперсних речовин. Після цього вода надходить для фільтрування в контактні освітлювачі, перед якими в змішувачі перегорадчатого типу введено коагулянт. Потім очищена вода потрапляє у резервуар чистої води, а звідти насосною станцією 2-ого підйому надходить до розподільної мережі міста.

З метою забезпечення процесу знезараження та очищення води на ДВС-1 використовується технологія дробового хлорування. Для попередження утворення шкідливих хлорорганічних сполук дробове хлорування здійснюється з преамонізацією із введенням сульфату амонію і хлору в вихідну воду. На етапі вторинного хлорування хлор подають у фільтрати перед резервуарами чистої води [3].

У складі споруд ДВС-1 є: водозабори та насосні станції 1-го підйому блоку №1 та блоку №2; відстійники (4шт.), проміжні відстійники (3 шт.), реагентне обладнання, резервуари освітленої води (2 шт.), насосна станція освітленої води, швидкі фільтри (14 шт.), контактні освітлювачі (14шт), резервуари для чистої води (5шт), насосні станції другого підйому блоку №1 та блоку №2, хлорувальна і хлордозаторна, амонізаторна і котельня, лабораторія та адміністративні приміщення.

ДВС-2 забезпечує водою питної якості підприємства, установи та населення правобережної частини м. Запоріжжя та частково Запорізького району.

У складі очисних споруд ДВС-2 є : насосна станцію першого підйому, блок очисних споруд за двохступеневою схемою та насосна станція другого підйому. Забір води з річки забезпечується завдяки сифонно - самоплинним водогонам руслового типу із горизонтів 12-24 м . Вода надходить в приймальні колодязі насосної станції першого підйому.

Спершу вода направляється до горизонтальних відстійників для відстоювання і освітлення. Коагулянт вводиться в змішувачі, які поєднуються з камерами реакцій відстійників, змішування здійснюється завдяки подачі повітря.

Потім вода надходить до контактних освітлювачів. Після фільтрації очищена вода по загальному колектору фільтрів потрапляє до резервуарів чистої води, а звідти насосною станцією 2-го підйому направляється до розподільної мережі міста.

В процесі забезпечення процесу знезараження та очищення води на ДВС-2 застосовують дробове хлорування: спочатку з преамонізацією із введенням сульфату амонію і хлору у приймальні колодязі насосної станції першого підйому, а потім – у фільтрати перед резервуарами чистої води.

У склад споруд ДВС-2 входять:

водозабір та насосна станція першого підйому, відстійники (2шт), реагентне господарство, контактні освітлювачі(16шт.), резервуари для чистої води (2шт.) насосна станція другого підйому, хлорувальна і амонізаторна, котельня, лабораторія, адміністративні приміщення.

1.4 Водовідведення міста Запоріжжя

Система каналізації міста це - комплекс складних інженерних споруд, до його складу входять 48 насосних станцій та дві станції повного біологічного очищення води, які обробляють за добу до 126 тис. м³ стоків. Стічні води лівого берега очищують центральні очисні споруди (ЦОС-1), які мають потужність 280,0 тис. м³ на добу, а правого берега – центральні очисні споруди (ЦОС-2) із потужністю 110,0 тис. м³ на добу. Фактичний пропуск стоків ЦОС-1 у 2021 році склав 92,6 тис. м³ на добу, а ЦОС-2 – 29,9 тис. м³ на добу.

Відведення стоків здійснюється за допомогою самопливних та напірних колекторів, стоки подаються на міські очисні споруди за допомогою КНС. Протяжність колекторів водовідведення 239 км.

Очищення стічних вод є багатоступеневим складним процесом, який спрямовується на відтворення якісних характеристик забрудненої води задля можливості її подальшого використання в господарстві. Очищення води, насамперед, передбачає зменшення кількості та видалення із неї компонентів, які її забруднюють: органічні речовини, колоїдні чи завислі тверді частинки, і також знищення збудників хвороб (бактерій) та інше.

На ЦОС-1 усі стічні води проходять механічне та біологічне очищення. На очисних спорудах впроваджена нова технологія очищення стоків, при якій разом з процесами нітрифікації застосовані процеси денітрифікації і дефосфотації – зниження усіх видів азоту та фосфатів у стічних водах, які очищуються.

Перед скиданням до водоймища, у теплий період року, очищені стічні води знезаражуються завдяки хлоруванню.

На ЦОС-1 механічне очищення стічних вод здійснюється на автоматизованих ґратах (решітках) тонкого очищення, які затримують крупні забруднення, потім стоки надходять на піскожировловлювачі, які затримують

нерозчинні мінеральні домішки. Піскожировловлювачі піддаються процесу аерації, яка забезпечує циліндровий та спіралеподібний рух рідини, а також відбувається відмивання важких мінеральних фракцій від легких органічних налипань [1].

У процесі біологічного очищення стічні води проходять двоступінчатий каскад безкисневих та кисневих зон. Кисень, який утворився у азоті нітратному і нітритному використовується з метою окислення органічних сполук у безкисневих зонах, завдяки цьому повністю окислюються сполуки азоту. Зміна аноксичних та аеробних зон дає змогу трансформувати фосфоровміщуючі сполуки в бактеріальну клітину із подальшим виведенням надлишкової біологічної маси з системи. Суміш води та мулу надходить до вторинних відстійників, в яких здійснюється розділення суміші на чисту воду та осад (активний мул).

Після проходження процесу знезараження, очищені стоки потрапляють до водоймища, а осад потрапляє на подальшу обробку в мулоущільнювачах, після цього він направляєється до мулових майданчиків з метою зневоднення у природних умовах чи зневоднюється центрифугами у цеху механічного зневоднення.

У складі споруд ЦОС-1 є: приймальна камера, будівля решіток, піскожировловлювачі, майданчики з піском, станції: для дозування реагенту, повітродувна, хлораторна, резервуари денітрифікування та дефосфотації, аеротенки, вторинні горизонтальні та радіальні відстійники, мулоущільнювачі, насосні станції ущільненого і зворотного мулу, насосна станція для подачі мулу до мулових майданчиків, цех механічного зневоднення мулу, мулові майданчики та ставки, лабораторія та адміністративні приміщення.

На ЦОС-2 усі стічні води проходять механічне та біологічне очищення.

Спершу вони проходять механічне очищення на автоматизованих решітках тонкого очищення, при цьому затримується тільки крупне забруднення.

Потім стоки надходять до пісколовок, які здійснюється затримання мінеральних нерозчинних домішок. Заключний етап механічного очищення стічних вод це - первинні відстійники, в них осідають та збираються нерозчинні органічні забруднення.

Після цього стічна вода направляється на подальше очищення, а осад, який випав на дно, подається на зневоднення.

Після завершення процесу механічного очищення, стічні води направляються до комплексу біологічного очищення, який складається з аеротенків та вторинних відстійників. В аеротенках (за умови додавання кисню) у стічних водах відбувається процес біологічного окислення органічних речовин мікроорганізмами активного мулу, до простих мінеральних з'єднань. Стічна вода, до складу якої входять очищена стічна вод та активний мул, направляється до вторинних відстійників, в яких вона буде розділена на воду і осад (мул). Очищені стоки після знезараження потрапляють до водоймища, а мул проходить подальшу обробку у мулоущільнювачах та зневоднюється на мулових майданчиках чи в цеху механічного зневоднення. Механічне зневоднення відбувається на центрифугах (із застосуванням флокулянтів).

Склад споруд ЦОС-2 : приймальна камера, будівля решіток, пісколовловлювачі , піскові майданчики, первинні та вторинні радіальні відстійники, насосна станція для первинних відстійників; аеротенки, повітродувна станція, насосна станція мулу, реагентне господарство, вузол дозування гіпохлориту натрію, мулоущільнювачі, цех механічного зневоднення осаду, мулові майданчики та ставки, котельня, лабораторія, адміністративні приміщення.

Каналізаційні мережі обладнані 47 насосними станціями для перекачування стічних вод.

1.5 Технології прокладання мереж водопроводу та каналізації міста Запоріжжя

Загальна протяжність водопровідних мереж КП «Водоканал» (на 01.01.2021р.) - 2 239,6 км, в тому числі зношених та аварійних – 1 287,8 км.

Протяжність каналізаційних мереж 979,8 км, з яких 630,4 км також потребують термінової заміни.

Планом розвитку КП «Водоканал» м. Запоріжжя на 2022 – 2026 рр. та Інвестиційної програми КП «Водоканал» м. Запоріжжя на 2022 рік заплановано ряд заходів. Зокрема це : реконструкція котельні; заміна насосних агрегатів насосних станцій другого підйому; придбання лабораторного обладнання для лабораторії питної води і стічних вод; придбання необхідного обладнання для проведення ремонтно-відновлювальних робіт, заміна насосного обладнання; заміна системи вентиляції у будівлі ґрат на ЦОС №2 КП «Водоканал»; заміна погрузних мішалок на ЦОС № 1; заміна повітродувки з електродвигуном 250кВт та перетворювачем частоти 315кВт на ЦОС-1; та інші заходи.

Щорічно планується та проводяться роботи по заміні найбільш зношених і аварійних мереж власними силами та за власні кошти.

При проведенні робіт по заміні трубопроводів КП «Водоканал» надається перевага пластиковим трубам, строк служби яких - більше 50 років. Окрім того, підприємством було придбано нову технологію щодо заміни трубопроводу методом руйнування (діаметром від 100 мм до 600 мм) [1].

Завдяки цій технології старий сталевий трубопровід руйнується за допомогою спеціальної головки, до якої прикріплено новий трубопровід. Новий поліетиленовий трубопровід протягується замість старого по мірі процесу руйнування. З метою встановлення необхідного технологічного обладнання передбачається пристрій невеликих котлованів, які

розташовуються на відстані близько 100 погонних метрів один від одного, що дає можливість зберегти дорожнє покриття.

За останні роки завдяки цій технології КП «Водоканал» здійснив заміну більш як 50 км зношених і аварійних водопровідних та каналізаційних мереж.

З причини того, що велику кількість водопровідних мереж необхідно замінити, використання сучасних установок дає можливість замінювати усі існуючі трубопроводи (з діаметрами від 50мм до 520 мм), включаючи сталеві і чавунні. В усьому світі практикується використання пластикових труб замість сталевих, адже це - довговічність матеріалу і якість питної води.

Застосування машин для безтраншейного прокладання труб доводить його ефективність та економічність. Не порушуючи природного ландшафту, зношена труба замінюється на пластикову, яка є більш довговічною, тривкою та екологічно безпечною.

Переваги безтраншейних технологій:

- метод руйнування менш затратний від відкритого способу та більш швидкий;
- велика швидкість проходження та заміни старої труби на нову. Для прикладу та порівняння: якщо за робочу зміну гідравлікою є можливість замінити приблизно 200 м будь якої труби, то пневмопробійником тільки до 30 м труб;
- ріжучі кромки руйнують ножі та не містять рухомих елементів, вони дуже надійні, одним ножем можна замінити близько 10 км старих мереж;
- обслуговувати руйнівник можуть всього дві особи;
- споживання руйнівником дизельного палива складає від 3 до 4 літрів за годину;
- при необхідності є можливість збільшити діаметр труби [3].

Завдяки використанню цієї новітньої техніки значно підвищується ефективність проведення робіт по ремонту, обслуговуванню і прокладанню трубопроводів.

2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Споживання електричної енергії на підприємстві

Водопостачання і водовідведення у м. Запоріжжя здійснюється комунальним підприємством «Водоканал». Джерелом водопостачання є річка Дніпро, вище греблі Дніпрогесу. Виробнича продуктивність водопроводу міста - 649 тис.м³/добу. Водозабірні станції у м. Запоріжжі це - Дніпровські водопровідні станції №1 та №2; ДВС-1 розташовується на лівому березі річки, ДВС-2 – на правому березі [1].

Проектна продуктивність Дніпровської водопровідної станції лівого берега (ДВС-1) - 519 тис.м³/добу. У склад ДВС-1 входять блок № 1 та блок № 2, у кожному із яких є: насосна станція першого підйому (для забезпечення забору води з річки), споруда для очищення води, насосна станцію другого підйому (для забезпечення подачі води у місто). По завершенню обробки вода за допомогою насосів другого підйому направляється до споруд третього підйому «Павло - Кічкас», «Леваневського», «Шевченко» [6].

Проектна продуктивність Дніпровської водопровідної станції №2 (ДВС-2) - 150 тис.м³/добу. До споруд ДВС-2 входять: насосні станції першого та другого підйому і блок очисних споруд. Основний об'єм води в основному споживається північною частиною правого берега, яка знаходиться на межі із головними спорудами, до південної частини вода надходить транзитним водоводом до ділянки споруд 3-го підйому Хортицького житлового масиву.

Стічні води міста завдяки системі каналізаційних колекторів та насосних станцій потрапляють до очисних споруд. Вони проходять механічне і біологічне очищення на Центральних очисних спорудах

лівобережжя – ЦОС-1 (з проектною потужністю 280 тис.м³/добу) та Центральних очисних спорудах правобережжя – ЦОС-2 (проектна потужність складає 110 тис.м³/добу).

Загальна пропускна спроможність промислово-побутової каналізації - 390 тис.м³/добу.

На теперішній час Запорізьке КП «Водоканал» обслуговує м. Запоріжжя з 769 тисячним населенням і декілька прилеглих адміністративних районів та є великим за рівнем споживання ПЕР підприємством. У 2021 році Дніпровськими водопровідними станціями (ДВС-1 і ДВС-2) всього було піднято 99980,74 тис. м³ води [7].

До очисних споруд КП «Водоканал» ЦОС-1 (у т.ч. до очисних споруд смт Новомиколаївка), ЦОС-2, полів фільтрації о. Хортиця всього надійшло для очищення 521787,74 тис.м³ стоків [1].

Комунальне підприємство «Водоканал» споживає електричну енергію (усі об'єкти) і теплову енергію (на водопровідних та очисних станціях функціонують котельні, які працюють на газу, та забезпечують вироблення теплоти для опалення, гаряче водопостачання та вентиляцію підрозділів підприємства, а на ДВС- 1 також і сторонніх споживачів). За основу з метою складання енергобалансу були взяті дані із опитувальних листів цехів, служб та відділів КП «Водоканал» , а також дані зі звіту «Розрахунок норм питомих витрат ПЕР на одиницю виробленої продукції у 2021 р.»[12].

Розподіл споживання енергоресурсів на КП «Водоканал» у тоннах умовного палива наведено у таблиці 2.1 та на рисунку 2.1 .

Розподіл споживання електричної енергії за підрозділами і напрямками на підприємстві наведені у таблиці 2.2 і 2.3. На рисунку 2.2 зображено споживання електроенергії за видами обладнання на КП «Водоканал».

Таблиця 2.1 – Планове споживання електричної і теплової енергії на КП «Водоканал» у 2021 році

Найменування		Умовне паливо, т.у.п.	Фізичні величини
електроенергія		24804,1	70667,1 тис.кВт·год
теплова енергія		1982,2	13234,2 Гкал
У тому числі	Теплова енергія (від котелень)	1380,8	9028,8 Гкал
	Теплова енергія (від теплових мереж)	601,4	4205,4 Гкал

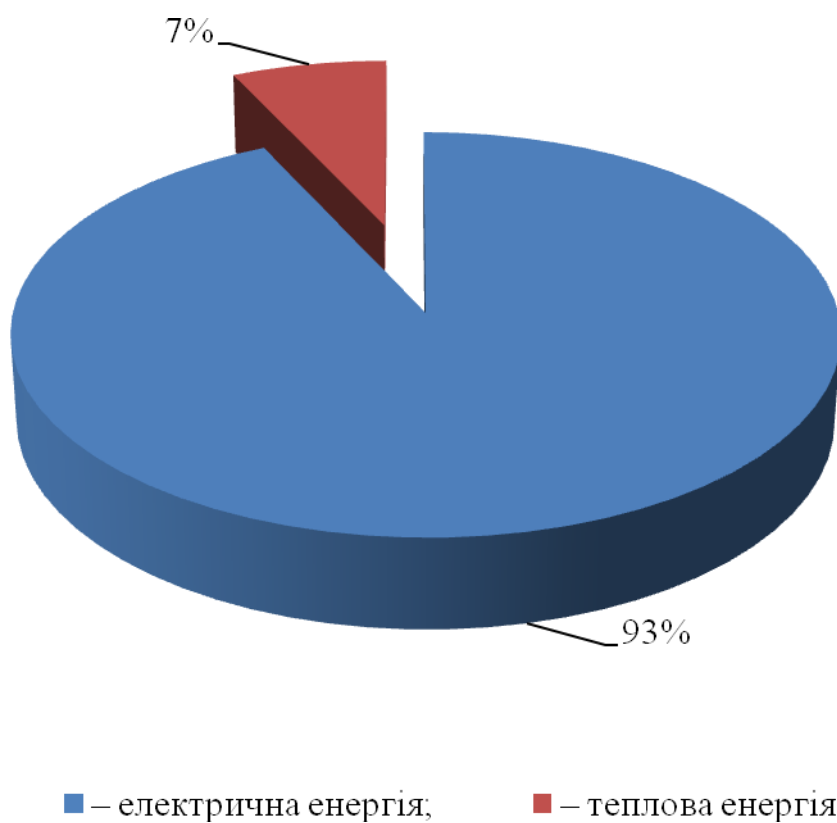


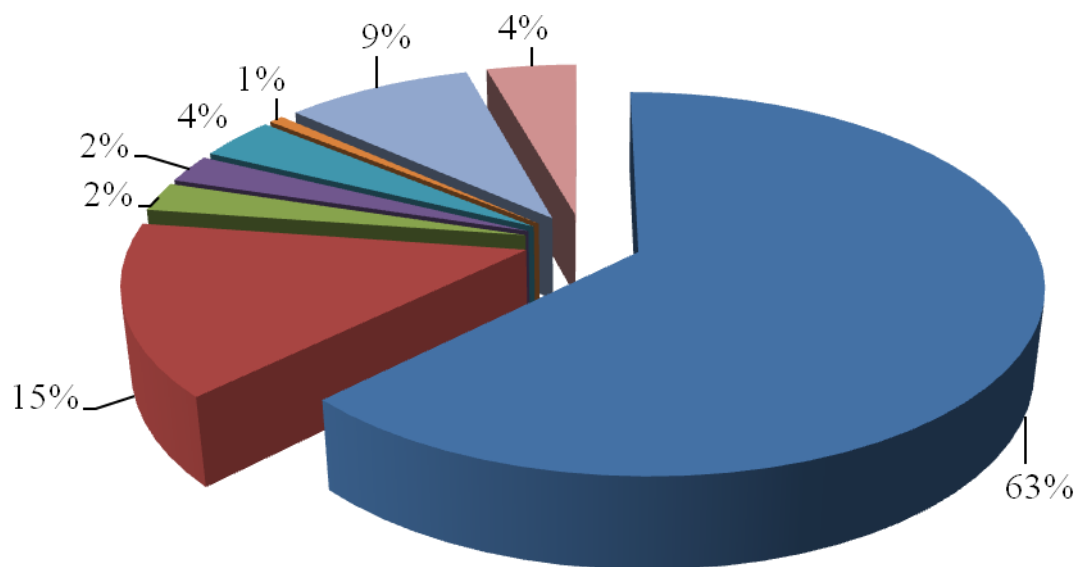
Рисунок 2.1 – Розподіл споживання видів енергоресурсів на підприємстві

Таблиця 2.2 – Планове споживання електричної енергії на 2021 рік

Підрозділи		Насосними агрегатами, тис. кВт·год	Основне обладнання, тис. кВт·год	Допоміжне обладнання, тис. кВт·год	Відкачування дренажних витоків, тис. кВт·год	Освітлення, тис. кВт·год	Вентиляція, тис. кВт·год	Витрати у трансформаторах, тис. кВт·год	Подача повітря повітродувками, тис. кВт·год	Всього, тис. кВт·год
Всього по КП "Водоканал"		44 566	3 085	6 424	55	2 627	1 731	1 778	10 402	70667
Підготовка та подача води		33 872	592	3 135	32	1 504	574	1 095	479	41283
У тому числі	ДВС-1	20 196	324	980	13	712	498	435	302	23459
	ДВС-2	9 880	243	1 001	15	273	18	143	177	11751
	Цех-1	615	0	288	4	138	17	198	0	1260
	Цех-2	846	3	184	0	135	3	207	0	1379
	Цех-3	1 121	19	78	0	72	0	0	0	1324
	Цех-4	1 214	2	604	1	173	38	79	0	2110
Збирання стічних вод		10 694	0	752	17	454	439	197	0	12553
КНС		10 694	0	752	17	454	439	197	0	12553
Очищення стічних вод		0	2 493	1 446	5	434	695	459	9 923	15457
У тому числі	ЦОС-1	0	1 308	1 321	5	280	602	321	6 901	10738
	ЦОС-2	0	1 186	125	0	154	93	139	3 022	4666
Збирання та очищення стічних вод		10 694	2 494	2 199	23	888	1134	656	9 923	28010
Допоміжні підрозділи		0	0	1 090	0	235	23	27	0	1374

Таблиця 2.3 – Споживання електроенергії за видами обладнання

Підрозділи		Насосними агрегатами, %	Основне (технологічне) обладнання, %	Допоміжне обладнання, %	Відкачування дренажних витоків, %	Освітлення, %	Вентиляція, %	Витрати у трансформаторах, %	Подача повітря повітродувками, %
Всього по КП "Водоканал"		63,1	4,4	9,1	0,1	3,7	2,4	2,5	14,7
Підготовка та подача води		82,0	1,4	7,6	0,1	3,6	1,4	2,7	1,2
У тому числі	ДВС-1	87,1	1,4	3,0	0,1	3,1	2,1	1,9	1,3
	ДВС-2	84,1	2,1	8,5	0,1	2,3	0,2	1,2	1,5
	Цех-1	48,83	0,03	22,81	0,29	10,93	1,38	15,73	0,0
	Цех-2	61,38	0,23	13,37	0,01	9,80	0,19	15,02	0,0
	Цех-3	84,69	1,45	5,92	0,03	5,46	0,01	2,44	0,0
	Цех-4	57,50	0,07	28,61	0,05	8,22	1,79	3,76	0,0
Збирання стічних вод		85,2	0,0	6,0	0,1	3,6	3,5	1,6	0,0
КНС		85,2	0,0	6,0	0,1	3,6	3,5	1,6	0,0
Очищення стічних вод		0,0	16,1	9,4	0,0	2,8	4,5	3,0	64,2
У тому числі	ЦОС-1	0,00	12,22	11,98	0,05	2,62	5,63	3,00	64,51
	ЦОС-2	0,0	25,4	1,6	0,0	3,3	2,0	3,0	64,8
Збирання та очищення стічних вод		38,2	8,9	7,8	0,1	3,2	4,0	2,3	35,4
Допоміжні підрозділи		0,0	0,0	79,3	0,0	17,1	1,7	1,9	0,0



- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| ■ – насосними агрегатами; | ■ – подача повітродувками; |
| ■ – втрати у трансформаторах; | ■ – вентиляція; |
| ■ – освітлення; | ■ – відкачувння дренажних витоків; |
| ■ – допоміжне обладнання; | ■ – основне обладнання |

Рисунок 2.2 – Споживання електричної енергії за видами обладнання на підприємстві

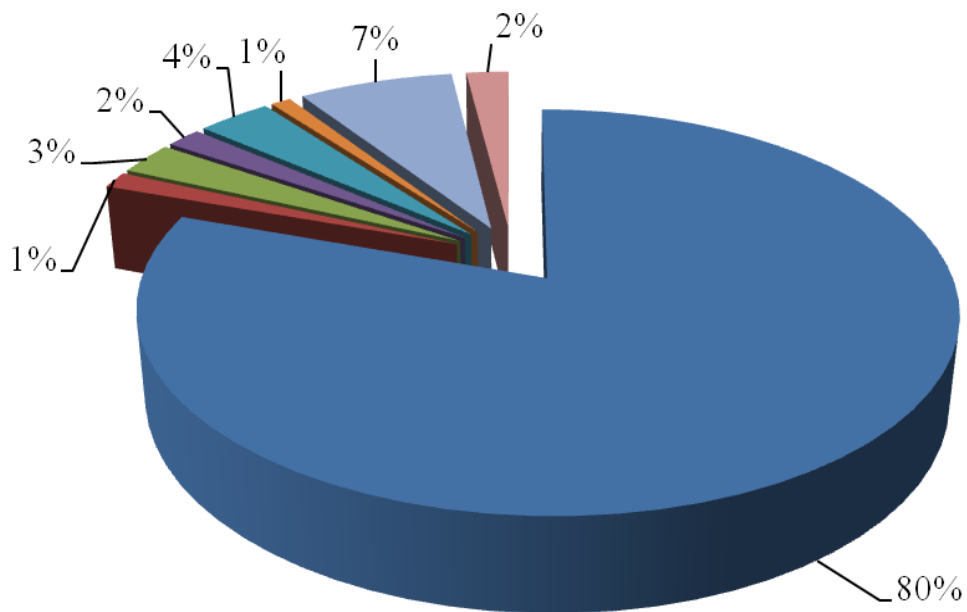
Комунальне підприємство «Водоканал» забезпечує водою питної якості м. Запоріжжя та райони області :Запорізький, Вільнянський і Новомиколаївський, а також здійснює відведення та очищення побутових і (частково) виробничих стічних вод промпідприємств міста.

Кожну добу Дніпровські водопровідні станції забезпечують очищення і подають до споживачів до 250 тис.м³ питної води.

На рисунку 2.3 представлено розподіл електроенергії за видами обладнання.

Розподіл електроенергії за підрозділами на підприємстві представлений на рисунку 2.4.

Найбільший споживач електричної енергії КП «Водоканал» це - Дніпровська водопровідна станція №1, доля її споживання складає 33%.



- – насосними агрегатами;
- – подача повітродувками;
- – втрати у трансформаторах;
- – вентиляція;
- – освітлення;
- – відкачувння дренажних витоків;
- – допоміжне обладнання;
- – технологічне обладнання

Рисунок 2.3 – Споживання електроенергії на водопідготовку і подачу води за видами обладнання

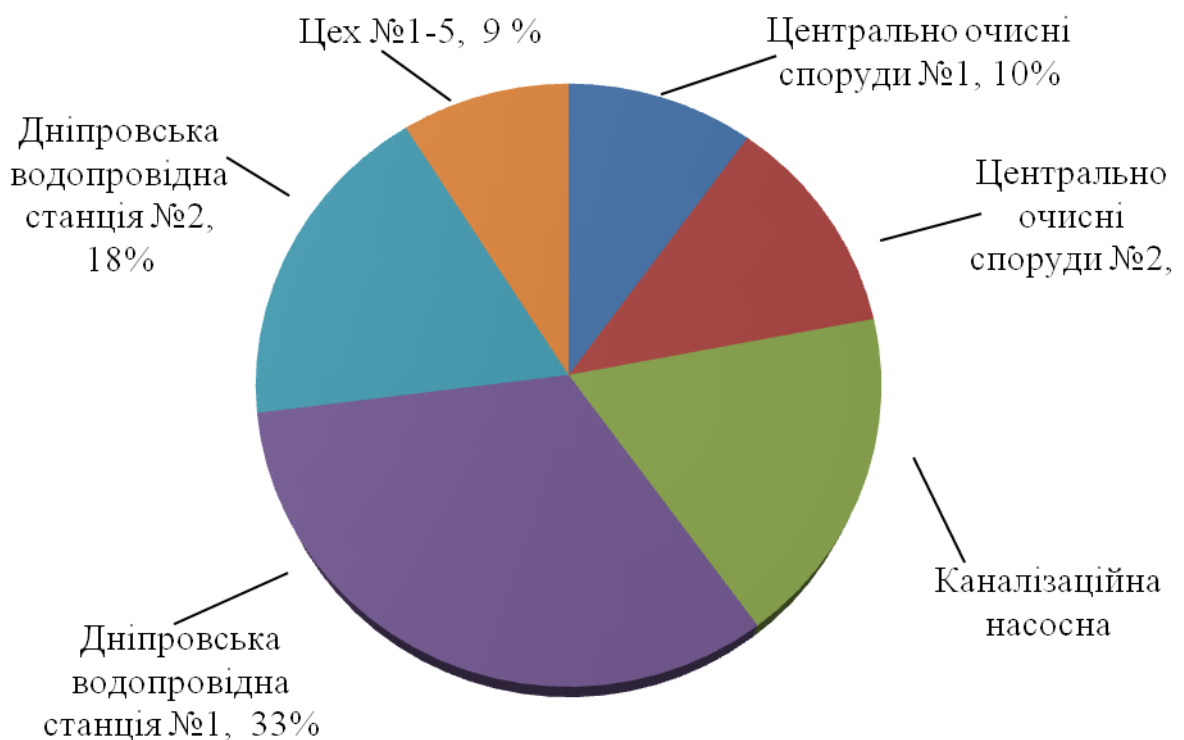


Рисунок 2.4 – Розподіл електроенергії за підрозділами на підприємстві

2.2 Споживання електричної енергії і обладнання водоочисних споруд ДВС-1 та ДВС-2

Як видно із наведено в розділі 1 аналізу структури комунального підприємства «Водоканал», до його складу входять ДВС-1 і ДВС-2.

Основним завданням ДВС-1 підприємства КП «Водоканал» є забезпечення водою питної якості населення лівобережжя м. Запоріжжя, міста Вільнянськ і смт Новомиколаївка, частини Запорізького району, а також подача води пром підприємствам.

В даному дипломному проекті пропонується зробити аналіз споживання електроенергії електричним обладнанням основних енергоємних споруд КП «Водоканал» [4].

До складу Дніпровської водопровідної станції № 1 (ДВС-1) входять блоки № 1 та № 2, у кожному з яких є: насосна станція 1-го підйому (для підйому води із р.Дніпро), споруда для очищення води, насосна станція 2-го підйому (для подачі води до міста). Схема ДВС-1 наведена на рисунку 2.5.

У 2021 році Дніпровською водопровідною станцією №1 було піднято 65777,50 тис.м³ води (в т.ч. використано для власних потреб – 6602,24 тис.м³, технічної води на полив – 494,31 тис.м³), подано в мережу 58580,96 тис.м³.

Перелік і характеристика обладнання наведено в табл. 2.4.

На рисунку 2.6 зображено споживання електроенергії ДВС-1 за видами обладнання.

Споруди Дніпровської водопровідної станції № 2 (ДВС-2) включають; насосні станції 1-го та 2-го підйому та блок очисних споруд.

У 2021 році ДВС-2 було піднято 34213,23 тис.м³ води (використано для власних потреб - 3536,54 тис.м³), подано до мережі 30676,69 тис.м³ [1].

На рисунку 2.7 зображено споживання електроенергії ДВС-2 за видами обладнання. Перелік і характеристика обладнання наведено в табл. 2.5.

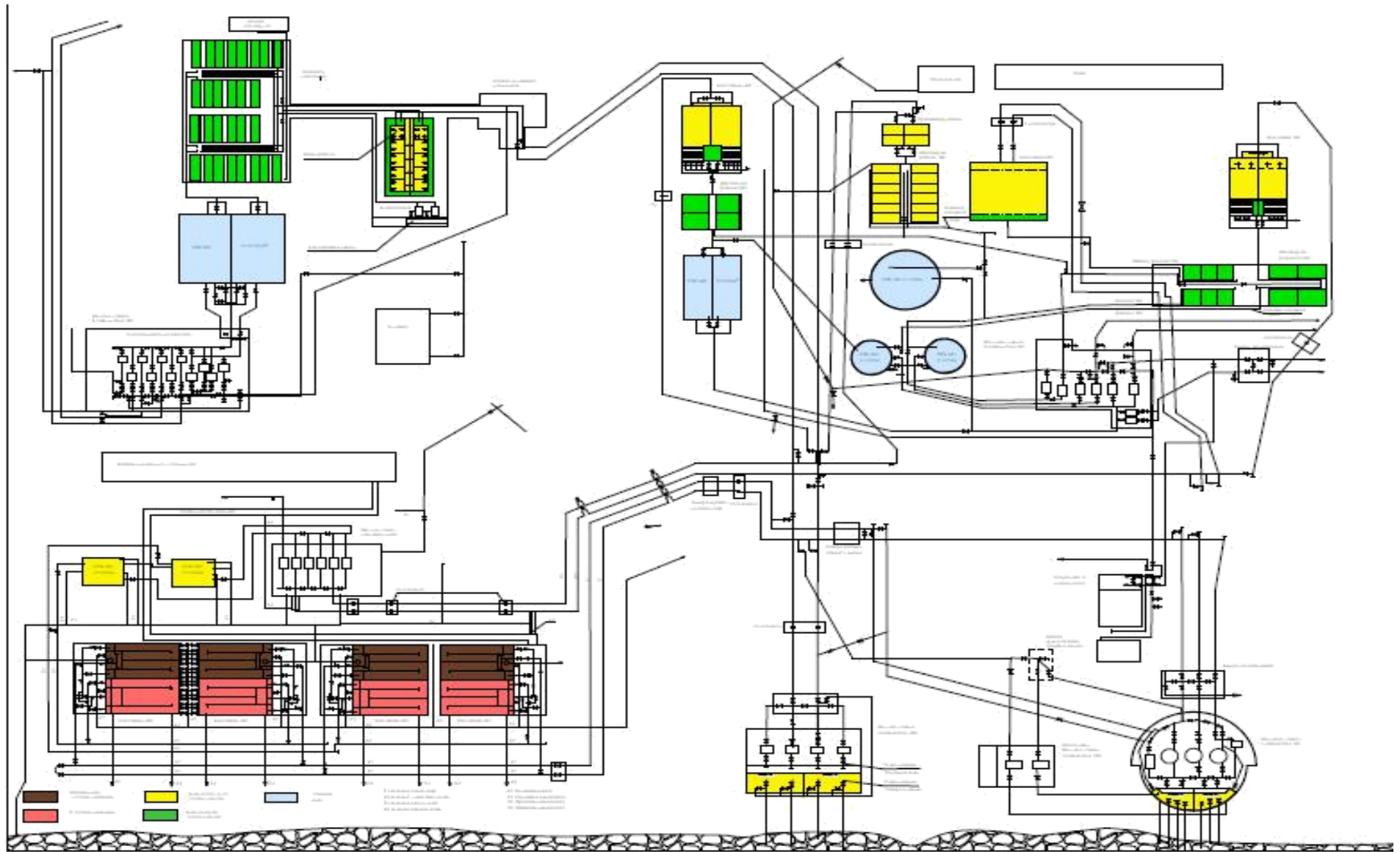


Рисунок 2.5 – Схема Дніпровської водопровідної станції №1

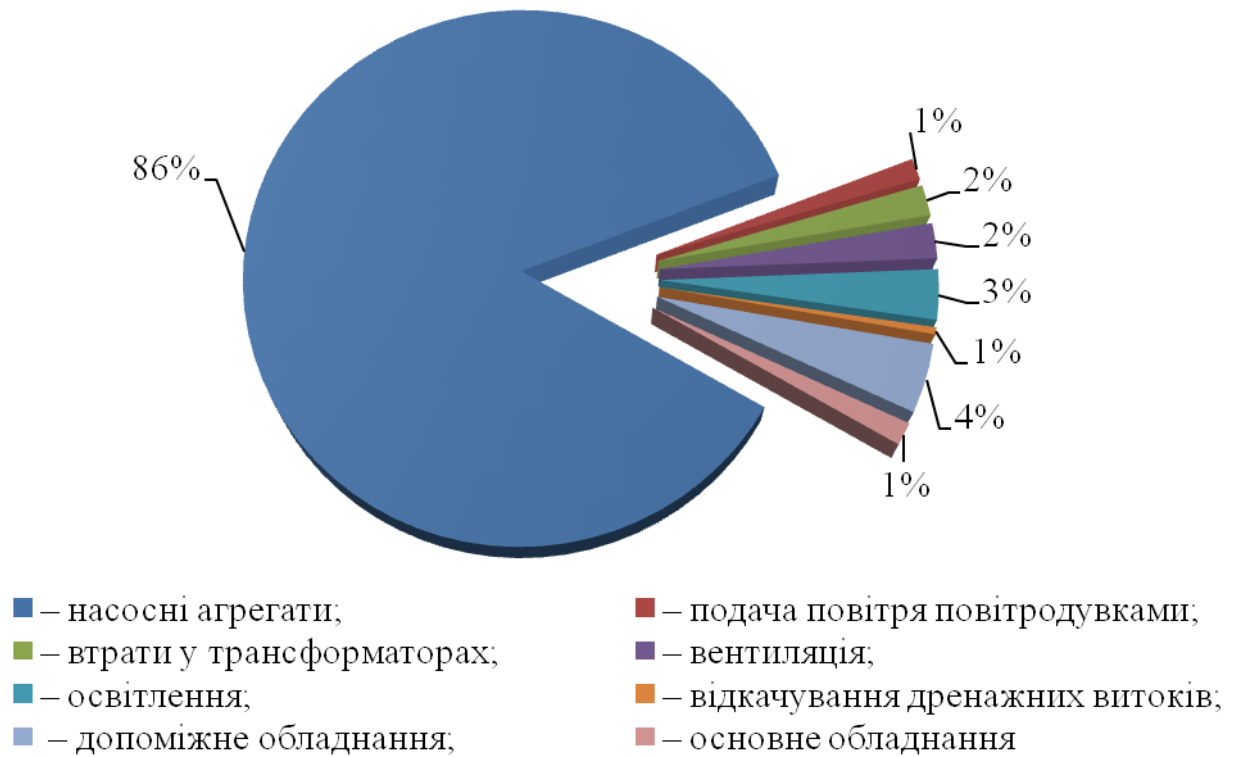


Рисунок 2.6 – Споживання електроенергії ДВС-1 за видами обладнання



Рисунок 2.7 – Споживання електроенергії ДВС- 2 за видами обладнання

Таблиця 2.4 – Перелік і загальна характеристика обладнання
Дніпровської водопровідної станції № 1

Найменування споруд	Найменування устаткування	Кількість, шт.	Технічна характеристика					
			Продуктивність, м ³ /год	Напір, м	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	ККД, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Насосна станція I підйому блоку № 1	Вертикальні насоси 20НДС В, (двигун ДАВ 500-750)	3	3100	45	370	440	6000	88
	Відцентровий насос 12 НДС, (двигун А 11-41-4)	1	110	45	320	1485	6000	88
	Відцентровий насос 20 НДС, (двигун А 13-52-84)	1	3100	45	500	740	6000	88
	Відцентровий насос 20 НДС, (двигун А 12-42-8А)	1	2700	30	250	740	6000	88
	Відцентровий насос 20 НДС, (двигун А 13-42-8)	1	3100	45	400	740	6000	88
	Вакуум-насоси РМК-2	2	2700	45	10	1450	6000	84
	Дренажний насос НЦС-3	1	1260	16	10	3000	6000	87
	Дренажний насос 4К90/20	2	80	20	10	3000	6000	88
Насосна станція I підйому блоку №2	Вертикальні насоси 28В-12	4	4500	55	100	600	4000	89
	Дренажний насос СД 250/22.5	1	250	23	37	1470	6000	88
	Дренажний насос ФГ 57.5-9.5	1	57	9,5	7	1470	4000	89
	Вакуум-насос ВВН 1-3	1	1800		7,5	1470	4000	87

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хлораторна станція	Відцентровий насос ЦНСГ 60-66 330	2	60	66	18	3000	6000	88
Насосна станція освітленої води	Відцентровий насос Д5000-32	1	4100	32	500	750	6000	87
	Відцентровий насос Д5000-32	1	4100	32	400	750	6000	88
	Відцентровий насос Д5000-32	1	3100	32	315	750	6000	88
	Відцентровий насос Д-200-90	1	200	90	90	760	6000	88
Передочисні споруди	Хімічні насоси Х80-50160 ДС	3	50	32	45	2910	5000	88
	Насоси-дозатори 2ДА	3	5000	32	3	680	6000	89
	Насос для перекачування «Зіпекс 1-12 БН»	8	1650	32	1,5	740	6000	87
	Агрегат компрес.ВК-12М1УХЛ4	2	1200	45	950			
Амонізаторна станція	Відцентрові насоси КМ 50/32-125	2	8	18	1,5	750	6000	88
	Насос-дозатор ENCORE 700	6	600	100	0,75	750	6000	87
Будівля мікрофільтрів	Повітродувки ТВ 80	2	6000		52			
	Повітродувка ТВ 42	1	6000		52			

Таблиця 2.5 – Перелік і загальна характеристика обладнання Дніпровської водопровідної станції № 2

Найменування споруд	Найменування устаткування	Кількість, шт.	Технічна характеристика					
			Продуктивність, м ³ /год	Напір, м	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	ККД, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приймальне відділення	Вакуум – насос ВВН-12,	1	600	15	44	960	6000	88

насосної станції 1 підйому	ел.двигун АО2-72-6							
Насосна станція 1 підйому	Вертикальні насоси 28В-1	2	5000	50	1000	600	5000	89
	Вертикальні насоси 28В-12	1	5000	50	1000	600	6000	87
	Вертикальні насоси 28В-12	1	5000	45	1000	600	6000	87
	Дренажні насоси	2	36	57	5,5	1450	6000	88
Насосна станція II підйому	Відцентровий насос 20Д6М	1	2000	100	800	970	6000	88
	Відцентровий насос 14Д6М	2	1250	100	500	1450	6000	87
	Відцентровий насос 20НДН	1	3000	23	250	960	6000	87
	Відцентровий насос 20НДН	1	3000	23	250	960	6000	88
	Відцентровий насос 20НДС	2	2500	45	250	960	6000	88
	Відцентровий насос 20НДС	1	2700	45	250	960	6000	88

2.3 Споживання електричної енергії і характеристика обладнання центральних очисних споруд №1 та №2

Стічні води міста завдяки системі каналізаційних колекторів та насосних станцій потрапляють на очисні споруди. Стічні води піддаються механічному та біологічному очищенню на Центральних очисних спорудах лівобережжя – ЦОС-1 (в т.ч. очисні споруди стм Новомиколаївка), Центральних очисних спорудах правобережжя – ЦОС-2 і полях фільтрації о.Хортиця.

На очисних спорудах ЦОС-1 та ЦОС-2 реалізовано повний цикл механічного та біологічного очищення (в аеротенках), знезараження і

скидання в р. Дніпро господарсько-побутових та промислових стічних вод, які близькі до них по складу.

Об'єм стічних вод, який надійшов на очищення складає – 51787,74 тис.м³ стоків [3].

На рисунку 2.8 наведений розподіл електроенергії на очищення стічних вод за підрозділами.

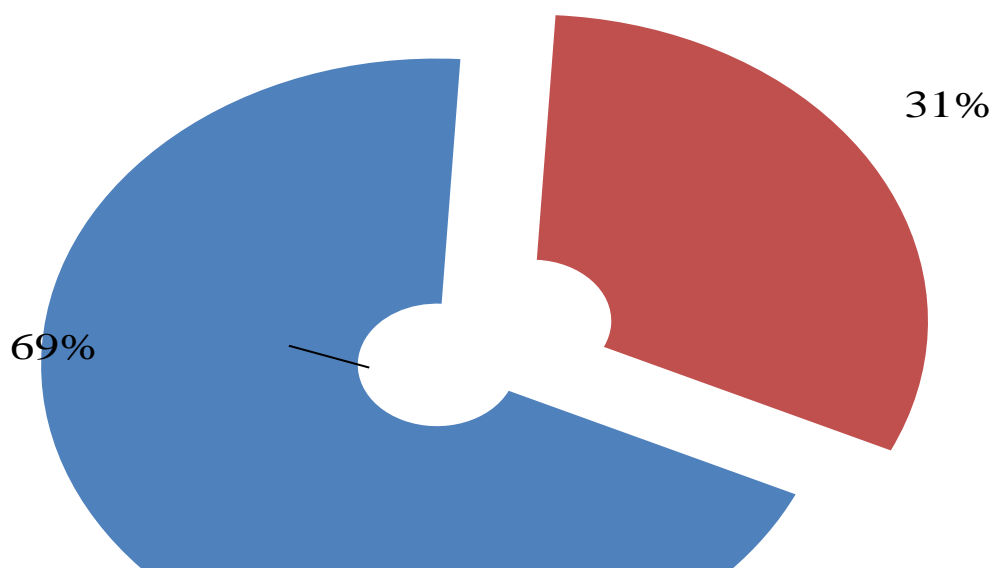


Рисунок 2.8 – Розподіл електроенергії на очищення стічних вод за підрозділами

На етапі вибору технології реконструкції центральних очисних споруд №1 враховувалися основні вимоги до необхідної якості очищених стічних вод не тільки в Україні, але і у Європі, у США і інших розвинених країнах світу. Завдяки цьому була введена в експлуатацію нова технологія біологічного очищення нітрифікації і денітрифікації при якій нарівні з процесами нітрифікації застосовуються процеси денітрифікації і дефосфатації – зниження усіх видів азоту та фосфатів у стічних водах, які очищуються. Ця технологія для комунальних стічних вод була застосована

вперше в Україні [4]. Споживання електроенергії ЦОС-1 наведено на рисунку 2.9, перелік та загальна характеристика обладнання центральних очисних споруд наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Перелік і загальна характеристика обладнання центральних очисних споруд №1

Найменування споруд та устаткування	Кількість, N шт.	Технічна характеристика	
		Потужність, P кВт	Частота обертання, n об/хв.
1	2	3	4
Мілкопрозорі решітки MEVA (Швеція) RS 29-1305	6	3	1425
Гвинтовий конвеєр U-320 MEVA	3	2,5	1400
Гвинтовий прес SWP 30-90 MEVA	2	5,5	1420
Повітродувки ротаційні GM 25 S	3	30	1440
Заглибні насоси AMAREX F 80-210024 UG2-190	6	2,4	1420
Жироскріб SK1S163/H10 AXZ-IEC63S/4RD	6	2,45	1420
Кабельний барабан	3	0,2	150
Роторні повітродувки Aeirzener Mashinenfabri Gmb типу GM 200L	9	250	1630
Ротаційна повітродувка HAFI	1	250	7800
Насоси перекачування зворотного мулу ДО 500-630/18 ЗН	6	132	1600
Чергова вентиляція	2	4	1420
Аварійна вентиляція	2	5,5	1440
Насоси води MOT MG 160 MA	3	11	2930
Насоси перекачування надлишкового мулу ITT Flygt 3152.18. 1-0720048	2	9	1200
Насоси барботажу MA 13250-2	2	7,5	2900
Насос SEV100	1	4	1460
Насос СД-450/22,5	1	55	980

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4
Насос 4КМ-8	2	22	1450
Вентилятор припливний	2	7,5	1450
Повітродувка ТБ-300	1	400	2950
Вентилятор витяжний	2	7,5	1440

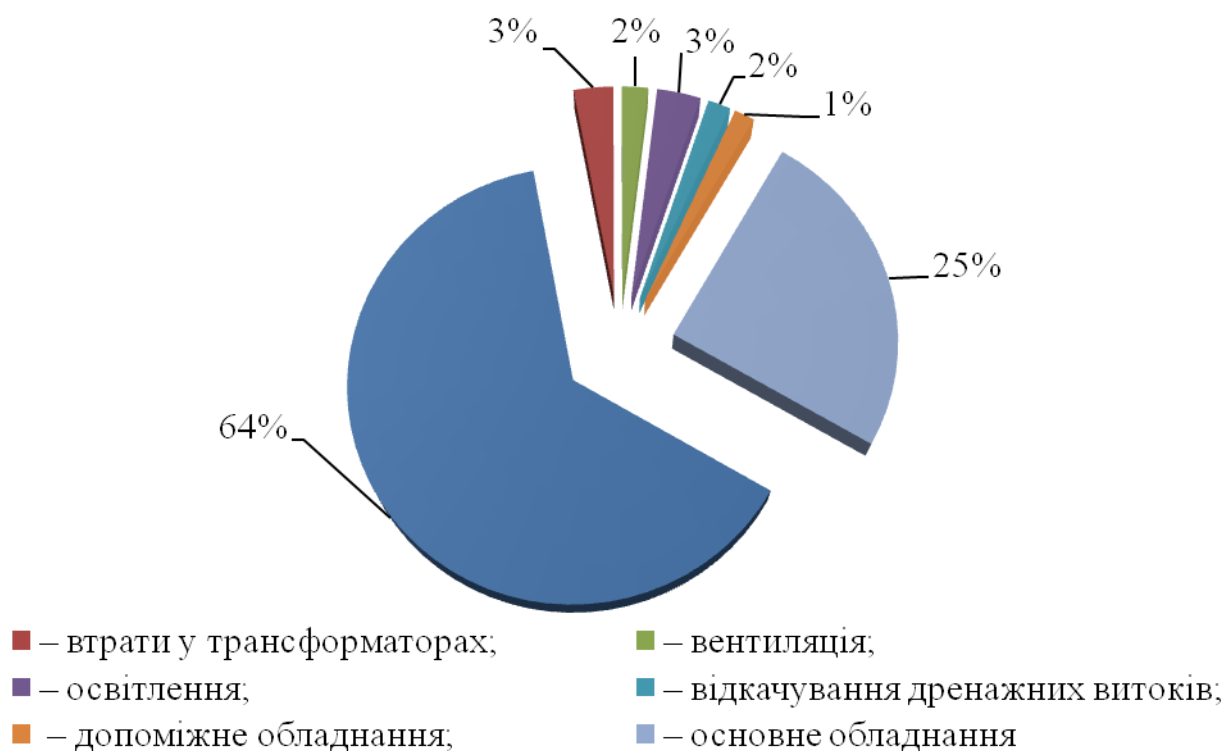
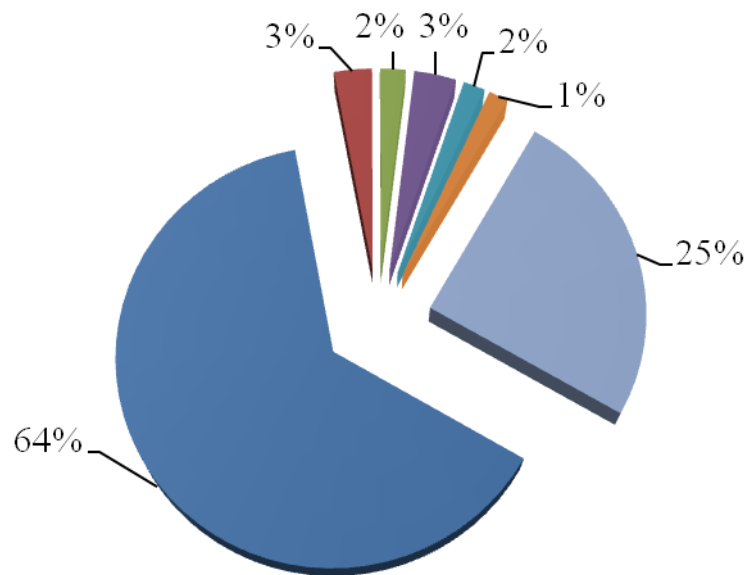


Рисунок 2.9 – Споживання електроенергії ЦОС-1

На ЦОС-2 використовується класична технологія біологічного очищення стічних вод, при якій процеси окислення органічних сполук проходять за схемою нітрифікації, коли азот амонійний, що надходить на споруди до введених стоків переходить в нітрити, а далі в нітрати.

На рисунку 2.10 зображено споживання електроенергії ЦОС-2.



- – втррати у трансформаторах;
- – освітлення;
- – допоміжне обладнання;
- – вентиляція;
- – відкачування дренажних витоків;
- – основне обладнання

Рисунок 2.10 – Споживання електроенергії ЦОС-2

3 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

3.1 Основні заходи зниження споживання електричної енергії на підприємстві

Результат аналізу отриманих даних показав, що на КП «Водоканал» гострою проблемою є втрата електричної енергії насосними агрегатами, повітродувками і трансформаторами.

З метою вирішення зазначених проблем у роботі запропоновано ряд заходів для зменшення втрат електроенергії і зниження її споживання.

КП «Водоканал» - це великий споживач електричної енергії, а питома витрата електроенергії підприємством на потреби житлово-комунального господарства в розрахунку на одного мешканця становить (0,3...0,4) кВт·год/добу.

Величина споживання електроенергії у значній мірі залежить від місцевих умов: (якість води, розташування вододжерел, рельєф місцевості і т. п.), отже питома витрата електроенергії на 1 м³ поданої і відведеної води змінюється у широких межах. В середньому питома витрата електроенергії у комунальному водопроводі складає 0,65 кВт·год/м³ поданої води, а майже 80 % електричної енергії витрачається насосними станціями.

Системою комунального водовідведення витрачається у середньому 0,2 кВт·год/м³ стічних вод, але при умові використання методу біологічного очищення стічних вод витрати збільшуються до 0,35 кВт·год/м³ [21].

Оплата електроенергії – це майже 25 % усіх експлуатаційних витрат і 15 % припадає на системи водовідведення. Чим більше поверхів у будинках, чим більш віддалене джерело водопостачання від житлового масиву, чим нижчий рівень підземних вод, а також у зв'язку з ускладненням методів очищення питної та стічної води питома витрата електроенергії збільшується.

Виявлення та використання можливих ресурсів для зниження максимальної потужності і загальної витрати електричної енергії набувають все більшого значення ще й тому, що системи комунального водопостачання і водовідведення розвиваються високими темпами (щорічний приріст продуктивності складе (4...5) %).

Насос – це пристрій, який входить до складу більшості нагрівальних або охолоджувальних систем, систем водопостачання, використовується для передачі різних рідин та суспензій. Якщо неправильно організувати керування насосом, то він може серйозно збільшувати споживання енергії. Якщо насос працює довго вхолосту, то він також істотно впливає на загальне споживання енергії.

Досить важливим питанням є вивчення реальної потреби в перекачуванні насоса. Необхідно дослідити, чи змінювалося навантаження після проектування і встановлення системи насосів, також є необхідність у розгляді основного навантаження (теплове, охолоджувальне або транспортне) та часового графіку цього навантаження протягом дня, тижня чи року. В одних випадках системи експлуатуються з підвищеною продуктивністю протягом тривалого часу, а у других випадках - навпаки, довго працюють недовантаженими, тому аналізуючи реальне навантаження насоса, необхідно відповідним чином підкорегувати його продуктивність. Найчастіше керування продуктивністю насосів ґрунтується за принципом тимчасової залежності, що досягається за рахунок ручного керування або автоматично - годинниковим механізмом. При ручному керуванні важливо, щоб органи керування були розташовані у межах досяжності оператора. Керування продуктивністю повинно бути автоматизованим, і обладнання цієї автоматики необхідно перевіряти досить часто. Значної економії можливо досягти і при керуванні швидкістю потоку для підтримки визначеного рівня тиску.

Розробка енергозберігаючої системи керування режимами роботи насосної установки забезпечило автоматичну зміну їх водоподачі відповідно

до зміни водоспоживання завдяки використанню регульованого електроприводу. При збільшенні водоспоживання, частота обертання регульованих агрегатів підвищується, відповідно зростає водоподача та тиск усієї насосної установки. У разі збільшення водоспоживання настільки, що насосні агрегати при максимальній частоті обертання не забезпечують необхідну водоподачу, система подає сигнал оперативному персоналу щодо необхідності вмикання у роботу додаткових насосних установок. У разі необхідності є можливість перетворити сигнал у команду на автоматизований пуск додаткового агрегату. При зменшенні водоспоживання, системою автоматично знижується частота обертання регульованих агрегатів і за необхідності подається сигнал для зменшення кількості працюючих агрегатів. Отже, насосна установка працює без зайвих напорів та без втрат енергії для їх створення [19].

Рекомендовані заходи з метою економії електроенергії у насосних агрегатах:

- заміна насосів з низьким ККД на агрегати з вищим ККД; проведення якісного ремонту насосів, ретельного балансування робочих коліс, застосування нових ущільнень забезпечує підтримання ККД насосів на рівні паспортних значень;
- максимальне завантаження насосів; найменші питомі витрати електроенергії спостерігаються при максимальній подачі насоса;
- при невідповідності характеристики трубопроводу паспортним даним, необхідно узгодити паспортні дані насоса з опором трубопроводів системи водопостачання з метою забезпечення максимальної подачі;
- підвищення ККД насосів до їхніх паспортних значень за рахунок установки нових ущільнень та ретельного балансування робочих коліс;
- ККД передачі набагато вищий, якщо робоче колесо розташовується безпосередньо на валу двигуна;

- у випадку, якщо потужність електродвигуна вище потужності, яку споживає насос у (1,2...1,25) рази, то двигун працює у режимі з максимальним ККД;
- якщо продуктивність контролюється дросельною заслонкою, то необхідно розглянути інший спосіб керування продуктивністю (декілька невеликих насосів, які працюють паралельно або ж забезпечити керування швидкістю потоку – безупинно чи ступенево);
- при постійному завищенні продуктивності насосної системи необхідно спробувати змінити передаточне число ремінної або іншої передачі.

У якості заходу із зниження споживання електричної енергії, найбільш значущого ефекту можна домогтися при скороченні витрат електроенергії, яка споживається приводом насосних агрегатів. У цьому випадку основне завдання полягає не тільки у підвищенні їх коефіцієнта корисної дії, але також у скороченні усіх видів втрат та нераціонального витрачання води, вирівнювання режимів подачі води, зниження напору на виході із насосних станцій і зменшення надлишкового напору [10].

При впровадженні перетворювачів частоти на електропривід забезпечується:

- зниження споживання електричної енергії (10...30) %, за рахунок оснащення електродвигунів частотними перетворювачами, що регулюють частоту їх обертання в залежності від реального навантаження;
- зменшення експлуатаційних витрат (зниження величини пускового струму електродвигуна до рівня номінальних і, відповідно, виключення шкідливого впливу цього струму на живильну мережу);
- практичне виключення із роботи дроселів, заслінок і різного типу клапанів;
- виняток чи істотне зниження динамічних впливів на технологічне устаткування і мережі;

- продовження строку служби підшипників обертових частин, тому що механізми, які забезпечені перетворювачами частоти, тривалий час можуть працювати з частотами обертання меншими номінальних;
- економія ресурсів та енергії при використанні його в насосних агрегатах (економія води складає (10...15) %);
- зниження рівня шуму експлуатованого обладнання при його роботі на знижених обертах;
 - підвищення надійності роботи обладнання і систем;
 - комплексне автоматизування виробництва.

До переваг використання пристроїв плавного пуску відносяться:

- безударний запуск двигуна, плавне та динамічне гальмування,
- регулювання моменту, зменшення пускового струму;
- зменшення перевантаження і перегріву двигуна, зменшення електричних втрат у електродвигуні;
 - усунення ривків в механічній частині устаткування;
- усунення гідравлічних ударів у трубах та запірній арматурі при пуску та зупинці насосів, компресорів і вентиляторів.

3.2 Модернізація системи каналізаційної насосної станції

На каналізаційній насосній станції (КНС) насосні установки експлуатуються у старт-стопному режимі роботи. Насосний агрегат (НА) включається при викачуванні стоків із резервуару і відключається аж до наступного заповнення резервуару. Для прикладу: за даними розрахунків показників режимів роботи насосних агрегатів на КНС-23 виявилось, що усереднене значення кількості включень агрегатів може складати 1 або 2 рази на годину. На вищезазначеному об'єкті задіяні такі схеми включення

електродвигунів, якими передбачається пряме підключення електродвигуна до мережі живлення [22].

При запуску асинхронного двигуна напряму від мережі електроживлення стикаємося з наступними проблемами : підвищене значення пускового току (у (6..10) разів вище від номінального), що призводить до виділення великої кількості тепла у обмотках ротору і статору; рівної кінетичній енергії маси, яка приводиться в рух; затухання коливального характеру пускового моменту валу двигуна.

При цьому в самому двигуні ослаблюється бандажування обмотки та порушується ізоляція, отже, двигун може вийти із ладу з причини пробою обмотки і короткого замикання. У силовій частині збільшується споживана потужність, у цьому випадку реактивна, спостерігаються провали напруги, які можуть бути і такої величини, що виводить із ладу інше устаткування, а сам двигун не запуститься через зниження пускового моменту на квадрат величини падіння напруги. Окрім того, пікові величини пускових моментів викликають появу та збільшення зазорів у вузлах і рухомих деталях кінематичної схеми двигун-навантаження.

У випадку прямих пусків механізмів, коли приводний електродвигун підключено безпосередньо до повної номінальної напруги мережі, буде зростати навантаження на трубопроводи й механічну частину електрообладнання, так як пускові струми перевищують номінальні у (6...7) разів. Кожен прямий пуск механізму завжди знижує його ресурс та надійність роботи. Особливо це відноситься до потужних відцентрових механізмів, для приводу яких застосовуються високовольтні синхронні та асинхронні електричні двигуни. Прямі пуски та супутні їм перепади струму й електродинамічні перевантаження призводять і до інших негативних наслідків: ушкодження і пробой ізоляції у місцях пайки обмоток та у їх лобових частинах. Ремонт обмоток потребує істотних витрат. За умови прямого пуску при короткому періоді розгону на електродвигун впливають також короточасні температурні перевантаження за рахунок виділення

великої кількості теплової енергії, яка пропорційна квадрату струму. З цієї причини для деяких двигунів підприємства-виробники встановлюють обмеження на число пусків [23].

Виникає альтернатива – або застосовувати часті відключення механізмів відповідно до технологічної необхідності, що знизить їх ресурс та збільшить імовірність виходу із ладу, або залишати їх працюючими, що приведе до надлишкового споживання електроенергії. Вирішити проблему можливо при застосуванні безударного вмикання електродвигунів за допомогою так званих пристроїв плавного пуску (ППП). З метою усунення недоліків прямого включення електродвигунів використаємо прилади плавного пуску (ППП), які забезпечують зниження величини пускового струму[24].

При застосуванні пристроїв плавного пуску на каналізаційній насосній станції отримаємо наступні переваги:

- виключення можливості перегріву двигуна;
- усунення ударних навантажень на механічний привід і при пуску і при зупинці;
- збільшення строку експлуатації електродвигуна;
- зменшення споживаної активної потужності;
- зменшення реактивної потужності;
- зменшення рівня шуму та вібрації при запуску;
- значне зменшення величини коливань мережевої напруги;
- зменшення динамічних навантажень на кінематичні системи, які приводяться в рух двигуном.

У рамках реалізації заходів із підвищення енергоефективності пропонується встановлення пристроїв плавного пуску на обраних до проекту КНС. Конструктивне рішення реалізації цього заходу передбачає встановлення пристроїв плавного пуску і автоматизованої системи управління каналізаційною станцією (АНС2), яка складається з комплекту комутаційного обладнання. Як варіант рішення, проектом передбачено

встановлення одного пристрою плавного пуску і забезпечення його підключення до одного із обраних до роботи електричних двигунів за допомогою комутаційного обладнання. Автоматизована система управління (АНС2) забезпечує комутацію ППП насосного агрегату.

За допомогою зафіксованих під час обстеження даних щодо годинних стоків води на КНС і даних щодо фактичної продуктивності станції на 03.09.2021 було побудовано добовий графік відкачки стоків каналізаційної насосної станції, який наведений в таблиці 3.1. Фактичний об'єм відкачки стоків за 03.09.2021 склав 51843 м³. Фактичний графік відкачки стоків за 03.09.2021 зображено на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Добовий графік відкачки стоків з КНС-1

Час	Продуктивність, м ³ /год	%
0	1994	3,85
1	1053	2,03
2	1116	2,15
3	1365	2,63
4	1471	2,84
5	1701	3,28
6	2564	4,95
7	2788	5,38
8	2731	5,27
9	2711	5,23
10	645	1,24
11	1635	3,15
12	2656	5,12
13	2751	5,31
14	2607	5,03
15	2696	5,20
16	2822	5,44
17	2329	4,49
18	2398	4,63
19	2754	5,31
20	2837	5,47
21	2642	5,10
22	2501	4,82
23	1076	2,07
Разом	51843	100

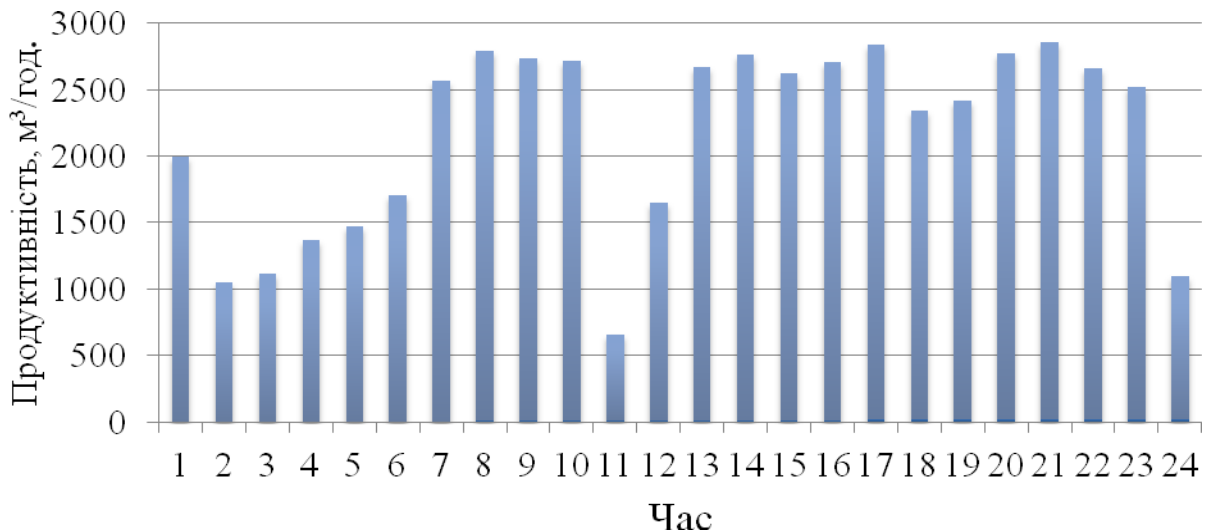


Рисунок 3.1 – Добовий графік відкачки стоків з КНС-1 за 03.09.2021р.

Сумарний об’єм відведених стоків за добу складає 51843 м³, що дорівнює середній за годину продуктивності близько 2160 м³/год.

Споживання електроенергії за добу 03.09.2021 складає 6701 кВт·год, що відповідає середній за добу потужності, яка споживається з мережі, на рівні 279 кВт. З урахуванням власних потреб КНС (коефіцієнт (0,95...0,97) приймаємо 270 кВт [1].

Середньодобовий ККД насосних агрегатів можна визначити за формулою:

$$\eta = \frac{0,00273 \cdot Q \cdot H}{\eta_{дв} \cdot P}, \quad (3.1)$$

де Q – витрата води, м³/год;

H – розвиваний напір насоса, м.вод.ст.;

$\eta_{дв}$ – ККД електродвигуна (приймаємо 0,94);

P – потужність, що споживається насосом з мережі, кВт.

Середній за добу (03.09.2021) ККД насосів складає, % :

$$\eta = \frac{0,00273 \cdot 2160 \cdot 25}{0,94 \cdot 270} = 0,58 .$$

Фактичне середнє за добу значення ККД насосів складає близько 58 %, а номінальне – понад 80 %, що значно більше.

Внаслідок знижених фактичних значень ККД відносно номінальних, використання існуючих насосних агрегатів КНС і фактичні режими їх роботи супроводжуються значними втратами електричної енергії.

Використання перетворювача частоти з метою регулювання продуктивності насосного агрегату каналізаційної насосної станції вважається недоцільним, тому що технологічний режим КНС принципово відрізняється від режиму насосної станції для водопостачання споживачам.

Гідравлічний режим насосної станції водопостачання 2-го й вище підйомів (продуктивність і напір) це - функція поточного водоспоживання споживачів й поточний ККД насосних агрегатів обумовлений саме цим фактором (незалежно від методів регулювання) [26].

А ось відкачка стоків із приймального резервуара КНС не залежить від поточних потреб кінцевої точки (очисна споруда), необхідний напір є величиною постійною, а продуктивність насосних агрегатів це - функція об'ємів стоків, які усереднюються в часі приймальним резервуаром.

Отже, якщо виконувати регулювання продуктивності КНС за рахунок ПЧ (за сигналом рівня стоків у резервуарі, що встановлюється константою), то при нерівномірному надходженню стоків до КНС впродовж доби фактичні значення ККД коливаються від деякого мінімуму до номінальних значень, але середньодобове значення ККД насосних агрегатів буде менше номінального.

Натомість, вибір насосів за продуктивністю і напором, які відповідають необхідному режиму відкачки стоків, та їх необхідної кількості, а також ступеневий метод регулювання продуктивності КНС дозволяють в будь який момент часу використати один або декілька насосних агрегатів з фактичними значеннями ККД, які близькі до номінальних, (рис. 3.2).



Рисунок – 3.2 Каналізаційна насосна станція

Нижче наведено приклад, який ілюструє вищезазначені висновки. Моделювання режимів роботи КНС виконано на прикладі використання насосів HS 350-350-390/318 із наступними характеристиками:

- номінальна продуктивність – 1500 м³/год;
- розвиваний тиск – 24 м.вод.ст.;
- номінальна потужність – 132 кВт;
- номінальний КПД насоса – 76,6 %.

Умовно в роботі 2 насосних агрегати, електричні приводи яких обладнані перетворювачами частоти.

Результати моделювання та розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати моделювання режимів роботи насосних агрегатів каналізаційної насосної станції з частотним перетворювачем

Продуктивність, м ³ /год.	ККД насосів, %	Потужність на валу, кВт	Потужність з мережі, кВт
1994	0,681	199	216
1053	0,698	102	111
1116	0,717	106	115
1365	0,759	123	134
1471	0,765	131	142
1701	0,625	185	201
2564	0,749	233	253
2788	0,761	250	271
2731	0,759	245	266
2711	0,758	243	264
645	0,522	84,2	91
1635	0,612	183	199
2656	0,755	240	261
2751	0,76	246	267
2607	0,752	236	256
2696	0,757	243	264
2822	0,762	252	274
2329	0,728	218	237
2398	0,735	222	241
2754	0,76	246	267
2837	0,763	253	275
2642	0,754	238	258
2501	0,744	229	249
1076	0,707	104	113
51843			5223

Споживання електроенергії за добу складає 5223 кВт·год. Середнє значення ККД насосних агрегатів - 72,4 %, при номінальному значенні - 76,6%.

Якщо припустити, що кількість стоків в об'ємі 51843 м³/добу відкачають насоси NS 350-350-390/318 з продуктивністю 1500 м³/год., то необхідний час складе, год :

$$t = \frac{51843}{1500} = 35$$

Це означає, що один насос умовно знаходиться у роботі 24 години за добу і близько 11 годин – додатково працює другий насос.

Споживання електроенергії за добу складе, кВт·год :

$$W = \frac{P}{\eta \cdot t}, \quad (3.2)$$

де P – потужність на валу в номінальному режимі кВт;

η – ККД електроприводу;

t – кількість годин роботи.

$$W = \frac{130}{0,94 \cdot 35} = 4840.$$

Таким чином, економія електричної енергії у відносному значенні при більш високому ККД насосних агрегатів складе, % :

$$E_w = \frac{5223 - 4840}{5223} \cdot 100 = 7.$$

З урахуванням вищевказаного, рекомендується виконувати модернізацію КНС за наступними принципами : обирати насосні агрегати із максимальними значеннями ККД.

Номінальна характеристика насосного агрегату повинна максимально точно відповідати необхідним параметрам гідравлічного режиму КНС (номінального напору).

Регулювання продуктивності КНС потрібно здійснювати у автоматичному режимі ступінчастим способом, тобто кількістю працюючих насосів в залежності від рівня стоків у резервуарі за сигналом датчика рівня.

Щоб забезпечити тривалий термін експлуатації електроприводів насосних агрегатів і обмеження величини пускових струмів доцільно застосовувати пристрої плавного пуску.

Розглянемо модернізацію насосної станції КНС-1 із встановленням нових насосних агрегатів компанії KSB марки Amarex KRT K 350-636, який зображений на рисунку 3.3.



Рисунок – 3.3 KSB Amarex KRT K 350-636

Номінальні характеристики агрегату наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Номінальні характеристики агрегату Amarex KRT K 350-636

Показники	Позначення	Величина
Номінальна продуктивність	Q	2400 м ³ /год
Розвиваний тиск	p	25 м вод. ст.
Номінальна потужність	P	250 кВт
Номінальний ККД насоса	η	87%
Діаметр робочого колеса	d	510 мм
Частота обертів	n	960 об./хв.

Проектна потужність КНС-1 складає близько 67440 м³/год. Потужність з мережі - 6322,5 кВт. Сумарний об'єм відведених стоків за добу 03.09.2021, складає 51843 м³. Отже, споживання електричної енергії насосними агрегатами Amarex KRT K 350-636 становитиме, кВт :

$$W = \frac{V \cdot P}{P_{np}}, \quad (3.3)$$

де V – сумарний об'єм відведених стоків, м³;
 P – потужність з мережі, кВт;
– проєктна потужність КНС-1, м³/год.

$$W = \frac{51843 \cdot 6322,5}{67440} = 4860.$$

Фактичне поживання електроенергії за добу 03.09.2021 в даному випадку ситуацією склало 6701 кВт·год.

Таким чином, економія електричної енергії складе, кВт·год :

$$E_w = 6701 - 4860 = 1840.$$

Економія електричної енергії у відносному значенні складе, % :

$$E_w = \frac{6701 - 4860}{6701} \cdot 100 = 27.$$

Річна економія електроенергії складе, тис.кВт·год :

$$E_w = W \cdot 0,98 \cdot 0,27, \quad (3.4)$$

де W – споживання електроенергії КНС-1 за 2020 рік, тис. кВт·год;
0,98 – коефіцієнт, що враховує власні потреби КНС;
0,27 – коефіцієнт, що враховує виявлений потенціал енергозбереження.

$$E_w = 31600 \cdot 0,98 \cdot 0,27 = 8360 .$$

Розрахунок річної економії витрат:

Економія витрат на електроенергію складе, тис.грн :

$$E = \frac{8360 \cdot 1341,57}{1000} = 112,2 .$$

Витрати на модернізацію насосної станції КНС-1 за експертною оцінкою становлять близько 300 тис.грн.

$$T_{ок} = \frac{300}{112,2} = 2,7 \text{ роки.}$$

Заощадивши електричну енергію при впровадженні заходів при коефіцієнті викидів 0,46 т/МВт·год зниження викидів CO₂ складе, т :

$$E_{CO_2} = 8360 \cdot 0,46 = 3845,6 .$$

3.3 Розробка заходів щодо зниження споживання електричної енергії на Дніпровській водопровідній станції №1

У відповідності з даними розрахунків потенціалу економії для ДВС-1 у підрозділі (таблиця 3.3) встановлено, що навантаження насосної станції ДВС-1 не співпадає із номінальною продуктивністю насосних агрегатів. На вказаній станції застосовується технологічний режим роботи насосних агрегатів, коли у роботі використовуються два насосних агрегати, де перший працює як "основний" (в номінальному режимі), а другий працює як

"допоміжний"(не в номінальному режимі). Режим роботи "допоміжного" насосного агрегату не в номінальному режимі призводить до підвищених втрат електричної енергії через значне зниження ККД електродвигуна. Усього на насосній станції встановлено 7 насосних агрегатів, з метою рівномірного відпрацювання "мотогодин", в роботу включають один із встановлених насосів у відповідності з технологічним графіком роботи [1].

Перелік та характеристики електродвигунів ДВС-1 наведено в таблиці 3.4.

Для підвищення ККД електричного двигуна та зменшення непродуктивних втрат електроенергії пропонується встановити перетворювач частоти (ПЧ) для управління роботою "допоміжного" електродвигуна насосного агрегату. Встановлення перетворювача частоти забезпечить регулювання обертів насосу та підтримання потрібного значення продуктивності насосної станції при високих показниках ККД електричного двигуна [31].

Конструктивним рішенням передбачається встановлення комплексної системи управління насосною станцією, яка складається із ПЧ та комплексу комутаційного обладнання. На насосній станції застосовуються високовольтні електричні двигуни із живленням від мереж 6,3 кВ. Перетворювачі частоти для управління високовольтними двигунами це - досить дороге обладнання. Як варіант рішення, проектом передбачається встановлення лише одного ПЧ ROBICON Perfect Harmony 400 кВт, який представлений на рисунку 3.4, також передбачається забезпечення його підключення до одного із обраних електродвигунів за допомогою комутаційного обладнання. Комплексна система управління насосної станції забезпечить вибір та підключення перетворювача частоти до одного із обраних насосів та підтримання його в номінальному режимі роботи.

Таблиця 3.4 – Перелік та характеристики електродвигунів Дніпровської водопровідної станції №1, 1 підйом, блок 1

Споживачі електричної енергії									
Найменування установки	Двигун				Насос				
	Тип	Потужність, кВт	Напруга, кВ	Оберти, об/хв.	Номинальна продуктивність, м ³ /год	Напір, м	ККД, %	Фактична продуктивність, м ³ /год	Часи роботи на протязі року, год/рік
Насосний агрегат №1 типу 20 НДС В	ДАВ 500-750	370	6	700	2700	40	88	3200	223
НА №2 типу 20 НДС В	ДАВ 500-750	370	6	700	2700	40	88	2750	1582
НА №3 типу 20 НДС В	АБВ 360-750	360	6	740	2700	40	88	3200	1349
НА №4 типу 12 НДС	А 11-41-4	320	6	1480	1100	39	88	1300	2618
НА №5 типу 20 НДС	А 12-42-8	250	6	750	2700	39	88	2500	782
НА №6 типу 20 НДС	А13-42-8	400	6	735	2700	39	88	2750	1394
НА №1А типу 20 НДС	А13-52-84	500	6	750	2700	39	88	2900	3023

Обсяг зменшення споживання електричної енергії (таблиця 3.4), що буде викликано дією перетворювача частоти, визначається на основі формули визначення потужності, що споживається при частотному регулюванні:

$$P_{пч} = P_m \cdot \left(\frac{Q_\phi}{Q_m} \right)^3, \quad (3.5)$$

де $P_{ПЧ}$ – потужність насосного агрегату при роботі від ПЧ, кВт;

P_m – максимальна потужність НА, кВт;

Q_ϕ – фактична продуктивність, м³/с;

Q_m – максимальна продуктивність, м³/с.



Рисунок 3.4 – Перетворювач частоти ROBICON Perfect Harmony

Таблиця 3.5 – Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу (ДВС-1)

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Потужність двигуна максимальна (паспортна)	кВт	320
Коефіцієнт завантаження		0,547
Потужність при роботі від ПЧ	кВт	52,24
Споживання електроенергії при існуючому стані	тис.кВт·год	153,2
Споживання електроенергії при використанні ПЧ	тис.кВт·год	45,8
Зменшення споживання електроенергії	тис.кВт·год	107,4

Інвестиції для даного проекту умовно можна поділити на наступні 2 групи : прямі інвестиції та інвестування в підготовку проекту.

Прямі інвестиції спрямовуються для придбання матеріалів, комплектуючих частин і нового обладнання, включаючи витрати на його доставку, встановлення і налагоджування. Інвестування в підготовку проекту спрямовуються для забезпечення і супроводу проекту та на розробку проектної документації [26].

Загальна сума інвестицій це - сумарна складова усіх витрат по кожному із запропонованих заходів по модернізації об'єкту.

В таблиці 3.6 наводяться зведені дані щодо вартості капітальних вкладень для забезпечення заходу на ДВС-1. Розрахунки базуються на припущенні, що в якості основного обладнання приймається частотний перетворювач виробництва компанії Siemens. Конструктивно за проектом передбачено встановлення 1 пристрою ЧП на групу насосів, а управління забезпечувати за допомогою комутаційного обладнання .В таблиці 3.7 наведена структура вартості робіт по етапам виконання проекту.

Таблиця 3.6 – Вартість капітальних вкладень для заходу на ДВС-1

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
ROBICON Perfect Harmony 400 кВт, 6 кВ	тис.грн	335
Системи комутацій високовольтних мереж	тис.грн	129
Роботи	тис.грн	50
Вартість всього	тис.грн	514

Таблиця 3.7 – Вартість робіт заходу на ДВС-1

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Проектні роботи	тис.грн	26
Монтажні роботи	тис.грн	40
Пуско-налагоджувальні роботи	тис.грн	23
Всього	тис.грн	89

Економічний ефект заходу визначається шляхом зменшення споживання електроенергії, яке буде викликане дією перетворювачів частоти. Дані розрахунків економії електричної енергії наведено в таблиці 3.8. Для попередньої оцінки ефективності проєкту визначається період простої окупності проєкту. Це найбільш простий метод оцінки, при цьому розраховується період часу, на протязі якого вигоди від проєкту будуть рівними витратам на проєкт.

Період повернення грошей (T_o) виражається формулою:

$$T_o = \frac{K}{E}, \quad (3.5)$$

де K – капітальні витрати;

E – економія.

Дані розрахунків економічної ефективності проєкту і визначення періоду простої окупності наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахунок економічного ефекту, що очікується від впровадження проєкту (при існуючих тарифах)

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Економія електроенергії	тис.кВт·год	107,4
Прибуток від економії	тис.грн	180,432
Капітальні витрати	тис.грн	514
Економічний ефект (річний)	тис.грн	180,432
Термін простої окупності	рік	2,8

3.4 Модернізація водопровідної насосної станції «Хортицька»

Навантаження водопровідної насосної станції (ВНС) це - мережі споживачів, що характеризуються змінними значеннями показників технічного стану мереж. Значення продуктивності споживання і приведенного напору мережі залежать від режиму споживання води мешканцями і постійно змінюються у часі. Відповідно до даних розрахунків потенціалу економії для ВНС «Хортицька» виявлено, що фактична усереднена продуктивність ВНС становить до 80 % від номінальної продуктивності існуючих НА.

На водопровідній насосній станції діє технологічний режим роботи, при якому у роботі застосовується один насосний агрегат, продуктивність якого, як правило, забезпечує потреби мережі. Насосний агрегат працює не в номінальному режимі, а із зменшеним навантаженням. Режим роботи НА не в номінальному режимі призводить до підвищення втрат електроенергії через надмірне зниження ККД електричного двигуна. В даному випадку (за наданими даними) видно, що із 5-ти існуючих НА, постійно працюють (табл. 3.9) лише 2 насосні агрегати, які є низьковольтними. Три насосні агрегати (високовольтні), на даний час практично не знаходять в експлуатації. Встановлені агрегати працюють по черзі, з метою рівномірного відпрацювання "мотогодин" у роботу включається один із встановлених насосів у відповідності до технологічного графіку роботи [11,27].

Для підвищення коефіцієнта корисної дії електричного двигуна та зменшення непродуктивних втрат електроенергії пропонується встановлення векторного перетворювача частоти типу АЕ-V812-G250/P280T4С, який представлений на рисунку 3.5. Встановлення векторного перетворювача частоти забезпечує регулювання обертів насосного агрегата та підтримання необхідного значення продуктивності насосної станції при високих показниках ККД електричного двигуна.

Таблиця 3.9 – Перелік та характеристики електродвигунів ВНС «Хортицька»

Споживачі електричної енергії									
Двигун					Насос				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Найменування устаткування	Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Оберти, об/хв.	Номінальна продуктивність, м ³ /год	Напір, м	ККД	Фактична продуктивність, м ³ /год	Часи роботи на протязі року, год/рік
НА №1 типу Д 4000-95а	A12-52-10	250	6000	590	2430	32	80	1400	77
НА №2 типу Д 4000-95	A 4-450у-8у	630	6000	750	3200	55	88	3200	0
НА №3 типу Д 1600-90а	A03355M	200	380	985	1325	55	88	1088	808
НА №4 типу Д 2500-62	A 114-8M	250	380	735	1800	34	88	1400	610
НА №5 типу Д 4000-95а	A 4-450у-8у	315	6000	750	2490	34	80	2000	6

Конструктивне рішення передбачає встановлення комплексної системи управління насосною станцією, яка складається із векторного перетворювача частоти та комплексу комутаційного обладнання. Як варіант рішення у проекті передбачається встановлення тільки одного векторного перетворювача і забезпечення його підключення до одного із обраних до роботи електричних двигунів завдяки комутаційному обладнанню.



Рисунок 3.4 – Векторний перетворювач частоти типу AE-V812-G250/P280T4C

Комплексна система управління насосної станції реалізовує вибір та підключення перетворювача частоти до одного із обраних НА і забезпечує підтримання його в номінальному режимі роботи.

Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від встановлення перетворювача частоти на ВНС представлений в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу на ВНС

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Споживання електроенергії на ВНС	тис.кВт·год	936,5
Коефіцієнт завантаження по продуктивності		0,81
Потужність при роботі від ПЧ	кВт	53,8
Споживання електроенергії при використанні ПЧ	тис.кВт·год	795,3
Зменшення споживання електроенергії	тис.кВт·год	141,2

Додатковий позитивний результат від впровадження заходів при встановленні векторного перетворювача частоти буде спостерігатися в наступному [35-38]:

- покращиться $\cos \varphi$ установки ($\cos \varphi=0,95$);
- знизиться зношування запірної арматури, бо більшу частину часу засувки повністю відкриті;
- зменшаться витрати води через протікання у мережах за рахунок роботи насосних агрегатів при знижених тисках;
- зменшиться зношення комутаційного обладнання, тому що переключення здійснюються при відсутності токів;
- зменшиться зношення механічного обладнання (підшипники, сальники, тощо) завдяки плавному змінненню кількості обертів та відсутності великих пускових токів;
- зменшиться небезпека аварій через виключення гідравлічних ударів;
- буде забезпечено одночасний захист двигуна від коротких замикань міжфазних та на землю; неповнофазного режиму роботи, захист від перенапруг і низької напруги, тепловий захист двигуна і перетворювача частоти від перевантажень;
- зменшиться рівень шуму;

спрощується подальша комплексна автоматизація об'єктів водозабезпечення.

В таблиці 3.11 наведено зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу на ВНС «Хортицька».

Розрахунки базуються на припущенні, що в якості основного обладнання приймаються ЧП виробництва компанії АВВ. Конструктивно за проектом передбачено встановлювати 1 пристрій на групу насосів, а управління підключенням до роботи одного із НА забезпечувати за допомогою комутаційного обладнання.

В таблиці 3.12 наведена структура вартості робіт по етапам виконання проекту.

Таблиця 3.11 – Вартість капітальних вкладень для заходу на ВНС «Хортицька»

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
AE-V812-G250/P280T4C	тис.грн	294
Системи комутацій низьковольтних мереж	тис.грн	200
Роботи	тис.грн	84
Вартість всього	тис.грн	578

Таблиця 3.12 – Вартість робіт заходу на ВНС «Хортиця»

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Проектні роботи	тис.грн	22
Монтажні роботи	тис.грн	42
Пуско-налагоджувальні роботи	тис.грн	19
Всього	тис.грн	83

Економічний ефект даного заходу визначиться за рахунок зменшень споживання електроенергії, як результат дії векторного перетворювача частоти. Дані розрахунків економії електроенергії наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Розрахунок економічного ефекту, що очікується від впровадження проекту (при існуючих тарифах)

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Економія електроенергії	тис.кВт·год	141,2
Прибуток від економії	тис.грн	237,216
Капітальні витрати	тис.грн	578
Економічний ефект (річний)	тис.грн	237,216
Термін простої окупності	рік	2,4

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз енергоспоживання КП «Водоканал», який показав, що насосні агрегати є одними з найбільших споживачів енергоресурсів, на які припадає близько 60 % споживання електричної енергії від загального обсягу споживання технологічним обладнанням на підприємстві.

2. В роботі запропоновано та розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зменшити споживання електричної енергії обладнанням КП «Водоканал», що в свою чергу підвищить енергоефективність технологічного обладнання підприємства в цілому.

3. Запропоновано встановити нові енергоефективні насосні агрегати компанії KSB марки Amarex KRT K 350-636 на каналізаційній насосній станції. Заміна насосних агрегатів дозволить скоротити споживання електричної енергії на 8360 тис.кВт·год та отримати економічний ефект в розмірі 112,2 тис.грн. Термін окупності капітальних вкладень на такий захід становить 2,7 роки.

4. На Дніпровській водопровідній станції №1 запропоновано застосувати комплексну систему управління насосною станцією, що складається із перетворювача частоти типу ROBICON Perfect Harmony і комплекту комутаційного обладнання. Встановлення ПЧ дозволить скоротити споживання електричної енергії на 107,4 тис.кВт·год та отримати економічний ефект в розмірі 180,432 тис. гривень. Термін окупності капіталовкладень – 2,8 роки.

5. На водопровідній насосній станції «Хортицька» запропоновано встановити векторний перетворювач частоти типу AE-V812-G250/P280T4C. Впровадження такого заходу дозволить скоротити споживання електричної енергії на 141,2 тис.кВт·год та отримати економічний ефект в розмірі 237,216 тис.грн. Термін окупності капітальних вкладень на такий захід становить 2,4 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. КП «Водоканал» [Електронний ресурс] / UA REGION.INFO. – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://vodokanal.zp.ua>. – 02.09.2022 р. – Заголовок з екрану.
2. Загірняк, М. В. Електричні машини [Текст] : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невалін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Знання, 2009. – 399 с. – ISBN 978-966-336-644-6.
3. Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции [Текст]: учеб. / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – 2- э изд., Стройиздат, 1986. – 320 с.
4. Варнавский, Б. П. Энергоаудит промышленных и коммунальных предприятий [Текст] / Б. П. Варнавский, А. И. Колесников, М. Н. Федоров. – М. : Издание Ассоциации энергоменеджеров, 1999. – 234 с.
5. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения [Текст] : Учеб. пособие для вузов / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев . – Мн. : БГЭУ, 2002. – 198 с.
6. Ковалко, М.П., Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк // Відповід. ред. А.К. Шидловський. – Київ : УЕЗ, 1998. – 506 с.
7. Частотный преобразователь [Електронний ресурс] / «АС Привод» Электротехническая компания. – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.privodel.ru/produkt.html?clid26037710501080109/>. – 05.05.2017 р. – Заголовок з екрану.
8. Преобразователи частоты – просто о сложном [Текст] : Перевод с английского. Издание перове. – М. : ЗАО «Данфосс», 2006. – 165 с. – ISBN 5-533-85167-041X.
9. Осипов, О. И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод [Текст] : Учебное пособие по курсу «Типовые решения и техника современного электропривода» / О. И. Осипов. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 80 с.

10. Закон України про енергозбереження [Електронний ресурс] / Верховна рада. – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/74/94>. – 14.04.2016 р. – Заголовок з екрану.

11. ДБН Г.1-8-2000 «Норми розрахунку витрат палива, теплової та електричної енергії».

12. ДСТУ 4065-2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги [Текст] . – Введ. 2007-06-01. – М. : Вид-то стандартів, 2007. – 26 с.

13. ДСТУ 4472:2005. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. [Текст] . – Затв. 27.03.2010 – М. : Вид-то стандартів, 2010. – 17 с.

14. Методика розрахунку норм питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства України. [Текст] : СП № 1606-21918. . – Затв. – Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово –комунального господарства України 19.09.2012 – М. : Вид-то стандартів, 2012. – 58 с.

15. ДСТУ 4715:2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадіях розроблення та впровадження. Загальні вимоги. [Текст] . – Затв. 13.09.2007 – М. : Вид-то стандартів, 2007. – 34с.

16. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. Загальні вимоги. [Текст] . – Затв. 28.02.2007 – М. : Вид-то стандартів, 2007. –23с.

17. Голота, А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах [Текст] : Навч. посіб. / А. Д. Голота. – К. : Вища шк., 2006. 367 с. – ISBN 966-642-316-2.

18. Енергозбереження. Служба енергоменеджменту підприємств житлово-комунального господарства. Загальні вимоги. [Текст] . – Затв. 17.05.2007 СОУ ЖКГ 74.30-35077234: Вид-то стандартів, 2007. –87с.

19. Розрахунок норм питомих витрат ПЕР на одиницю виробленої продукції в 2016 р. [Текст] : технічний звіт ТОВ «Маг Енергія»; рук. А. А. Мікіртумов, 2016 – 54с.

20. Зінченко, В.Л. Автоматизована система контролю та обліку електроенергії [Текст] : підручник / В.Л. Зінченко, : Знання, 2011. – 231 с.

21. Коренькова, Т. В. Перетворювачі частоти та пристрої плавного запуску електроприводів [Текст] : навч. посібн. / Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – Кременчук : Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2012. – 191 с.

22. Яцун, М. А. Електричні машини [Текст] : Навчальний посібник / М. А. Яцун. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка», 2001. – 428 с.

23. Goncharuk, A., Khudolei, V., Stanislavyk, O., Yatsyshyn, V., and Semenchuk, Y. (2021). Barriers to energy sustainability: A case study from Ukraine. In E3S Web of Conferences.