

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

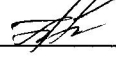
магістра

на тему: **«ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ЗА
КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ»**

Виконала: магістрант(ка) 2 курсу, група 8.1922-вв-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Водопостачання та
водовідведення»

ЛИСЕНКО ЄГОР ІВАНОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і
архітектури, канд. техн. наук  В.О. Савін

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільно-
го будівництва, докт. техн. наук  В. А. Банах


Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

« 03 » травня 20 23 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Лисенко Єгору Івановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Оптимізація роботи насосної станції за критерієм енергоефективності

2. Строк подання роботи: 05.12.2023



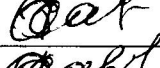

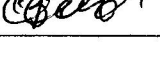

3. Вихідні дані до роботи: насосні станції продуктивністю: № 1- 415 тис.м³/добу, №2-328,3 тис м³/добу; №3 -140 тис. м³/добу; мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз особливостей роботи насосної станції як одного з головних елементів критичної інфраструктури міста. 1.1 Вплив воєнних подій на режими роботи об'єктів критичної інфраструктури міста. 1.2 Специфічні особливості роботи насосних агрегатів. 1.3 Аналіз методів регулювання роботи насосної станції. 1.4 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування технологічним об'єктом. 2. Обґрунтування модернізації насосного обладнання. 2.1.Аналіз технологічних процесів підйому води до реконструкції. 2.2 Насосна станція другого підйому. 2.3 Аналіз впровадження автоматизованої системи технічного обліку електроенергії. Розділ 3. Оптимізація роботи насосної станції третього підйому. 3.1 Характеристика об'єкта дослідження №3. 3.2 Оптимізація денного режиму роботи насосів. 3.3. Оптимізація нічного режиму роботи насосів. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Генплан насосної станції №1. 2. Насосна станція №2: схема, характеристики обладнання. 3. Діаграма водопостачання. 4. Модернізація насосного обладнання. 5. Схема системи автоматизованого управління насосною станцією №2. 6. Схема автоматизованої системи обліку електроенергії. 7. Діаграма електроспоживання. 8. Насосна станція третього підйому. Скореговані суміщені графіки роботи насосів та водовдів.

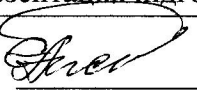
6. Консультанти розділів роботи

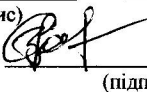
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Савін В.О., к.т.н., доцент		
2	Савін В.О., к.т.н., доцент		
3	Савін В.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	1. Аналіз особливостей роботи насосної станції як одного з головних елементів критичної інфраструктури міста.	15.10.23	
2	2. Обґрунтування модернізації насосного обладнання. Листи-1, 2.	5.11.23	
3	3 Оптимізація роботи насосної станції третього підйому. Листи 3, 4.	15.11.23	
4	Листи 5,6.	20.11.23	
5	Висновки. Листи 7, 8.	26.11.23	
6	Презентація. підготовка доповіді	11.12.23	

Студент  Є.І. Лисенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  В.О. Савін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  І.В. Гребенюк (підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Оптимізація роботи насосної станції за критерієм енергоефективності: 69 с., 26 рис., 6 табл., 19 джерел.

ВОДОПОСТАЧАННЯ; НАСОСНА СТАНЦІЯ;
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ; НАСОСНИЙ АГРЕГАТ; КОЕФІЦІЄНТ
КОРИСНОЇ ДІЇ; ГІДРАВЛІЧНІ РЕЖИМИ РОБОТИ; ЧАСТОТНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

Мета роботи: оптимізація роботи насосного обладнання шляхом впровадження систем частотного регулювання електроприводів та систем автоматизації, дослідження економічних показників з урахуванням модернізації обладнання.

Об'єкт дослідження – насосні станції продуктивністю: № 1 – 415 тис.м³/добу, №2 – 328,3 тис м³/добу; №3 – 140 тис. м³/добу.

Предмет дослідження – робочі параметри насосного обладнання.

У кваліфікаційній роботі магістра представлений аналіз показників функціонування насосної станції за критерієм енергоефективності: досліджені зміни робочих параметрів насосного обладнання з урахуванням його модернізації шляхом встановлення частотного перетворювача, автоматизованої системи технічного обліку електроенергії та станції управління насосними агрегатами.

Результати кваліфікаційної роботи частково впроваджені на комунальному підприємстві «Водоканал» (м.Запоріжжя) та можуть бути використані для розв'язання проблеми енергоефективності використання насосного обладнання.

ABSTRACT

Master's qualification work "Optimization of pumping station operation according to the criterion of energy efficiency: 69 p., 26 fig., 2 table, 19 sources.

WATER SUPPLY; PUMP STATION; ENERGY EFFICIENCY; PUMP UNIT; COEFFICIENT OF PERFORMANCE; HYDRAULIC MODES OF WORK; FREQUENCY CONVERTER.

The purpose of the work: optimizing the operation of pumping equipment by implementing frequency control systems of electric drives and automation systems, researching economic indicators taking into account the modernization of equipment.

The object of the study is the pumping equipment of the first, second, third lift.

The subject of the study is the operating parameters of the pumping equipment.

The master's thesis presents an analysis of pump station performance indicators according to the energy efficiency criterion: changes in the operating parameters of pumping equipment are investigated, taking into account its modernization by installing a frequency converter, an automated system of technical electricity accounting and a pump unit control station.

The results of the qualification work have been partially implemented at the utility company "Vodokanal" (Zaporizhia) and can be used to solve the problem of energy efficiency in the use of pumping equipment.

Keywords: WATER SUPPLY, PUMPING STATION, ENERGY EFFICIENCY, PUMPING UNIT, EFFICIENCY OF PUMPING UNITS, FREQUENCY CONVERTER.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ЗМІСТ	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ЯК ОДНОГО З ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА.	7
1.1 Вплив воєнних подій на режими роботи об'єктів критичної інфраструктури міста.	7
1.2 Специфічні особливості роботи насосних агрегатів	9
1.3 Аналіз методів регулювання роботи насосної станції.	10
1.3.1. Дроселювання	12
1.3.2. Перепуск	12
1.3.3. Зміна частоти обертання робочого колеса	15
1.3.4. Обточка робочого колеса	16
1.3.5. Закручування потоку перед робочим колесом	19
1.3.6. Поворот лопатей	21
1.3.7. Зміна ширини робочого колеса	22
1.4 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування технологічним об'єктом.	23
1.4.1 Регульований електропривод. Види і способи регулювання	25
1.4.2 Ефективність застосування регульованого приводу на насосних установках	27
1.5 Висновки до першого розділу	27
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ	28
2.1. Аналіз технологічних процесів підйому води до реконструкції	28
2.2 Насосна станція другого підйому	31
2.3 Аналіз впровадження автоматизованої системи технічного обліку електроенергії	35
2.3.1 Технічне рішення	37
2.3.2 Особливості процесу автоматизації обліку електроенергії	44
2.3.3. Аналіз показників енергоефективності	48
2.3.4. Оцінка результатів	49
Розділ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ТРЕТЬОГО ПІДЬОМУ.	55
3.1 Характеристика об'єкта дослідження №3	56
3.2 Оптимізація денного режиму роботи насосів	58
3.3. Оптимізація нічного режиму роботи насосів	61
Висновки	66
Список використаних джерел	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСТОЕ Автоматизованої системи технічного обліку електроенергії

ККД Коефіцієнт корисної дії

МВ Мережа водопостачання

НА Насосний агрегат

НС Насосна станція

ПДЗ Поворотно-дисковий затвор

ППЧ Плавний перетворювач частоти

РК Робоче колесо

САК Система автоматичного керування

ЧРП Частотно-регульований привод

ВСТУП

Актуальність роботи. В умовах воєнного стану, реформування житлово-комунального господарства, перекладу цієї галузі на режим самоопитності, виникає гостра проблема підвищення її енергоефективності, економічності, зниження аварійності, підвищення якості послуг при одночасному зниженні витрат на їх надання. Без вирішення цієї проблеми неможлива не тільки ефективна, стійка робота міської інфраструктури систем життєзабезпечення населення, але і її надійне, економічне та безпечне функціонування.

Сучасний стан в розвитку техніки висуває вимоги до широкого застосування на насосних станціях сучасних систем автоматизації та автоматизації. Крім того, необхідно врахувати і те, що багато насосних станцій вже відпрацювали свій ресурс безвідмовної роботи і надалі продовжують працювати зі старим обладнанням. Трапляються ситуації коли при паралельній роботі насосів з різними характеристиками, обладнання завчасно виходить з ладу, виникають невідповідні витрати електроенергії що ускладнює керування насосними агрегатами та насоси експлуатуються в режимі низьких коефіцієнтів корисної дії. Найкращий результат може бути отриманий при використанні комплексного підходу, який включає модернізацію обладнання та застосування засобів автоматизації на всіх рівнях системи водопостачання, в тому числі диспетчерського управління та обліку енергоресурсів. Зазвичай впровадження комплексних систем автоматизації на базі сучасних програмно-технічних комплексів здійснюється підприємствами водопостачання поетапно з поступовим збільшенням складності систем.

Мета роботи: вдосконалення роботи насосного обладнання шляхом впровадження систем частотного регулювання електроприводів та систем автоматизації, дослідження економічних показників з урахуванням модернізації обладнання.

Об'єкт дослідження – насосні станції продуктивністю: № 1 – 415 тис.м³/добу, №2 – 328,3 тис м³/добу; №3 – 140 тис. м³/добу.

Предмет дослідження – робочі параметри насосного обладнання.

Завдання роботи:

- аналіз сучасного стану оптимізації роботи насосного обладнання;
- дослідження ефективності використання насосного обладнання першого підйому;
- розробка системи автоматизованого обліку витрат електроенергії;
- аналіз використання електроенергії з урахуванням роботи насосного обладнання з регулюємими електроприводами;
- розробка рекомендації стосовно енергоефективних режимів експлуатації насосного обладнання.

Структура й обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Робота викладена на 69 сторінках, містить 6 таблиць, 26 рисунків та трьох графіків.

Розділ 1. Аналіз особливостей роботи насосної станції як одного з головних елементів критичної інфраструктури міста

1.1 Вплив воєнних подій на режими роботи об'єктів критичної інфраструктури міста

Воєнні події суттєво вплинули на режими роботи об'єктів критичної інфраструктури міста, призводячи до серйозних та негативних наслідків. Критична інфраструктура міста включає в себе елементи, такі як електростанції, водопровідні системи, газопроводи, транспортні мережі, телефонні мережі, медичні установи, системи зв'язку тощо.

Ось деякі впливи воєнних подій на ці об'єкти критичної інфраструктури:

- **Пошкодження та знищення:** Об'єкти критичної інфраструктури можуть бути піддані атакам, обстрілам або саботажам, що може призвести до їх пошкодження або повного знищення. Це може призвести до припинення постачання електроенергії, води, газу та інших необхідних ресурсів для мешканців.
- **Переривання постачання енергії та комунікацій:** Атаки на електростанції, трансформаторні підстанції або телекомунікаційні мережі можуть призвести до переривання постачання енергії та зв'язку, що ускладнить нормальне функціонування міста.
- **Загроза безпеці:** Воєнні дії можуть створювати загрозу для безпеки персоналу, який працює на об'єктах критичної інфраструктури, та ускладнити їх нормальну роботу або навіть призвести до тимчасового припинення функціонування.
- **Переміщення людей і зруйнування інфраструктури:** Військові дії можуть вимагати евакуації мешканців, порушити нормальний рух транспорту, а також зруйнувати дороги та мости, ускладнюючи досягнення критичних об'єктів.

- **Порушення нормального функціонування медичних установ:** Військові конфлікти можуть вплинути на роботу лікарень та медичних установ, ускладнюючи надання медичної допомоги громадянам.

Для запобігання та ліквідації можливих наслідків воєнних дій на об'єкти критичної інфраструктури важливо мати плани надзвичайних ситуацій, системи захисту, а також забезпечення безпеки цих об'єктів. Також важливо мати плани евакуації та відновлення інфраструктури для надання допомоги мешканцям та відновлення нормальної життя після воєнних подій.

Воєнні події вплинули досить суттєво та відчутно на об'єкти критичної інфраструктури міста. Перебої електроенергії у зимню пору року, зруйнування критичних об'єктів приносить перебої транспортування води, аварії на водопровідних мережах, величезні фінансові збитки, а також насамперед відсутність води у житлових секторах та багатоповерхівках. Завдяки оперативній роботі та професіоналізму, у цей непростий для всіх час, робітники інфраструктур як може сильніше використовують свої навички для скорішого усунення будь яких наслідків зі сторони агресора.

У час, коли об'єкти критичної інфраструктури міста переживають фінансові збитки, у даній роботі запропоновано економічно-вигідне рішення внаслідок економії електроенергії - модернізація застарілого обладнання, встановлення плавного перетворювача частоти, системи автоматичного керування, частотно-регульованого приводу.

Завдяки цієї модернізації насосної станції, з'явиться найбільш ефективна робота насосної станції, що буде економічно вигідна та енергоефективна, тим паче у час коли електроенергії не вистачає із-за наслідків воєнних подій.

1.2 Специфічні особливості роботи насосних агрегатів

Насоси використовуються у різноманітних сферах промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті та у побуті. Вони відносяться до категорії енергетичних машин, де механічна енергія приводу перетворюється на енергію руху рідини, включаючи рідини із твердими включеннями.

На основі принципу дії насоси поділяються на дві основні групи: динамічні та об'ємні. До групи динамічних насосів належать ті, де рідина переміщується через камери, що постійно з'єднані з входом та виходом насоса, під впливом гідродинамічних сил. Об'ємні насоси забезпечують переміщення робочої середовища під впливом поверхневого тиску, змінюючи обсяг насосної камери.

У динамічні насоси включають лопатеві (відцентрові та осьові), насоси трення (вихрові, дискові, черв'ячні та гідрострумінні) та інерційні (вібраційні). Об'ємні насоси включають насоси зворотно-поступальної дії (поршневі та плунжерні) та ротаційні (шестерневі та гвинтові).

При виборі насоса для конкретного використання важливо знати:

- Ціль застосування насоса.
- Обсяг рідини, яку потрібно транспортувати (витрата) із зазначеним тиском (натиском).
- Інформація про робочу среду: в'язкість, хімічна активність, наявність твердих часток, температурні показники, вибухонебезпечність, пожежонебезпечність та токсичність.
- Умови експлуатації, такі як місце роботи (відкритий простір або приміщення), вологість, вибухонебезпечність та пожежонебезпечність приміщення.

Для належної експлуатації насосного обладнання важливо контролювати його робочі параметри. Практика показує, що у випадках, коли немає простих засобів контролю, таких як манометри, витратоміри та засоби для вимірювання споживаної потужності насосів, обладнання часто працює з надмірним

навантаженням. Довготривала експлуатація за межами робочого діапазону (наприклад, з перевищеною подачею) призводить до збільшення навантаження на вал насоса. Це призводить до скорочення терміну служби підшипників та ущільнень. Також може спричинити поломку валу ротора насоса та виникнення кавітації. Ерозійний знос зазвичай призводить до скорочення строку служби робочих коліс до 1.5-2 місяців.

Експлуатація насоса в недопустимій зоні характеристик (наприклад, з меншою подачею) також має негативні наслідки, такі як зменшення ресурсу підшипників та ущільнень, кавітація з низьким рівнем витрат, рециркуляція потоків у робочому колесі, що в результаті зменшує термін служби обладнання.

Контроль робочих параметрів насоса в змінних технологічних процесах може запобігти наслідкам неправильної експлуатації та продовжити термін служби обладнання. Організація такого контролю має сталий характер.

Також важливо відзначити, що, незважаючи на всі переваги комплексного підходу до енергетичного обстеження насосних станцій, доречним є залучення фахівців, спеціалізованих у водопостачанні та каналізації, для обстеження підприємств цієї галузі. Нерідко, у звітах з обстеження водоканалів, де більша частина енергоспоживання припадає на насосні агрегати, цьому обладнанню приділяється недостатня увага.

Для обґрунтування заходів щодо підвищення енергоефективності використовується проста різниця потужності між встановленими та запропонованими двигунами, хоча це далеко не відображає фактичний рівень енергоспоживання. Проведення інструментального обстеження на старих підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства, які були введені в експлуатацію 20 або більше років тому, може виявити потенціал для енергозбереження. Це, в свою чергу, дозволяє значно підвищити ефективність роботи насосного обладнання на 25-30% та продовжити його термін експлуатації.

1.3 Аналіз методів регулювання роботи насосної станції

Звичайними методами контролю роботи насосних установок є дроселювання та зміна кількості працюючих агрегатів, однак ці способи не враховують енергетичних аспектів транспортування води. Такий підхід може призводити до підвищення тиску в системі, збільшення електроенергії, витоків та інших невиробничих витрат води, а також до швидкого знесення обладнання.

Найбільш ефективним способом регулювання насосних установок є кількісне регулювання за допомогою регульованого електроприводу. Завдяки розвитку техніки використання перетворювачів частоти дозволяє ефективно керувати режимом роботи насосів. Розрахунок ефективності частотно регульованого електроприводу спрямований на зменшення споживання електроенергії.

Об'ємне регулювання насосних агрегатів передбачає зміну витрат насосів шляхом зміни робочого об'єму насоса, часто за допомогою регуляторів, включаючи тиск, витрату, потужність тощо. Використання таких регуляторів дозволяє підтримувати стабільний тиск, навіть при зміні витрат робочої рідини.

Штучне "голодування" насоса полягає в штучному обмеженні кількості рідини, що надходить у порожнину всмоктування насоса, що може зменшити споживання енергії, але при цьому може призвести до кавітації та перегріву насоса.

Комбіноване регулювання насосних агрегатів поєднує декілька методів регулювання для оптимізації роботи системи. Програмоване управління розвантаженням насосного агрегату є перспективним напрямком і може бути використане для зменшення споживання енергії.

Вибір оптимального методу регулювання насосів визначається характеристиками системи та вимогами до енергоефективності. Навіть при складних системах із багатьма виконавчими пристроями вибір ефективного методу регулювання може бути складним завданням. Тому для досягнення найкращих результатів необхідно пошукати нові способи та методики регулювання для оптимізації роботи насосних установок [9].

1.3.1. Дроселювання

Дросільне регулювання є економічним варіантом створення гідравлічних систем, але має численні недоліки, такі як значні енергетичні втрати, зменшення ресурсу роботи насосного агрегату через підтримку постійного високого тиску, нагрівання робочої рідини та зменшення її працездатності.

З трьох існуючих способів дросельного регулювання, найбільш ефективним є паралельне підключення дроселя, хоча це потребує більшої кількості апаратів і зв'язків, тому є більш дорогим варіантом. Однак, за практичним досвідом, використання дросельного регулювання вважається економічно доцільним лише в системах потужністю до 3-4 кВт.

Використання гідроаккумуляторів є більш ефективним, оскільки дозволяє розвантажити насос у моменти, коли в системі не використовується витрата рідини або для компенсації недостачі витрат насоса. Однак цей метод також має недоліки, такі як зниження рівня експлуатаційної безпеки та складність вибору аккумулятора для забезпечення потрібного режиму роботи системи.

Гідророзподільники також є ефективними, але вони потребують додаткових пристроїв регулювання для контролю гідродвигуна та захисту насосного агрегату. Крім того, вони мають обмеження у застосуванні при підключенні кількох виконавчих пристроїв або при послідовному підключенні, що може обмежувати їх ефективність.

Таким чином, вибір ефективного методу регулювання насосного агрегату залежить від потреб системи та експлуатаційних умов, і не завжди є тривіальним завданням [5].

1.3.2. Перепуск

Перепуск - це метод регулювання продуктивності насоса, при якому регулятор, встановлений між вхідним та вихідним патрубками насоса, підтримує постійний перепад тиску на насосі (фіксований натиск насоса). Коли подача насоса зменшується, створений ним натиск збільшується - регулятор

реагує на відхилення перепаду від заданої позначки і відкривається, що призводить до перенаправлення частини води з напірного патрубка в усмоктувальний. В результаті подача насоса залишається стабільною, але витрата води в мережі може коливатися в широких межах в залежності від робочих умов та налаштувань регулятора.

Регулювання перепуском застосовується для відцентрових насосів. Дія перепуску показано на (рис. 1).

Коли засувка 2 замкнута, то вплив відведення на роботу насоса відсутній і подача дорівнює $Q_A = Q_{\max}$. Відкриття засувки як би зміщує характеристику насоса вліво на величину Q перепуску. В результаті отримуємо залежності $H-Q$ для будь яких значень ступеня відкриття засувки.

Як видно, з відкриттям засувки корисний напір, створюваний насосом 1 зменшується, видаткова залежність $Q = f(s)$ має вигляд плавної кривої (рис.1 б) і забезпечує зміну витрати від Q_{\max} до 0 (відведення при цьому повинен мати достатньо велику пропускну здатність).

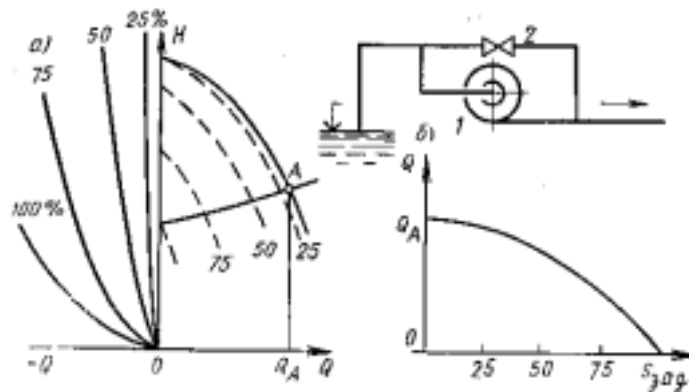


Рис.1.1 – Схема регулювання відцентрового насоса за допомогою перепуску

При відсутності закручування потоку на вході в робоче колесо рівняння Ейлера можна написати у вигляді

$$p_T = \rho c u u = \rho u u - w \cos \beta = (K_T(22n)) D \omega / - w \cos \beta, \quad (1.1)$$

де / $3600^2 K_T = \Pi$, $22n = w / u$

У праву частину рівняння входять чотири параметри, отже, принципово можливі чотири способи регулювання шляхом зміни характеристики нагнітача.

Слід зазначити, що способи регулювання, засновані на зміні діаметра колеса шляхом плавної зміни радіальної довжини лопаток і зміни кута виходу потоку з колеса в результаті повороту кінцевих ділянок лопаток або лопаток цілком, практичного застосування поки що не знайшли.

Так, перевагою методу перепуску є те, що насос завжди працює зі сталою подачею та натиском у зоні оптимального коефіцієнта корисної дії (КПД). Це дозволяє насосу працювати в ефективному режимі, що забезпечує економію енергії та оптимальну ефективність його роботи. Однак недоліком цього методу є те, що навіть при зниженні навантаження в мережі споживання електроенергії, використана насосом, залишається на тому самому рівні. Тобто, незважаючи на зміни в системі, споживання електроенергії насосом залишається постійним, що може призводити до лишнього споживання електроенергії в умовах зниженого навантаження.

На практиці байпасірованіє використовується рідко через неекономічність. Метод регулювання байпасірованієм слід застосовувати при крутопадаючих характеристиках насосів. У цьому випадку він економічніше дроселювання.

1.3.3. Зміна частоти обертання робочого колеса

Так, встановлення регулятора частоти обертання робочого колеса є одним із найбільш ефективних та продуктивних методів управління подачею насоса. Цей метод дозволяє змінювати подачу насоса, контролювати напір та ефективно використовувати електроенергію, знижуючи витрати електричної енергії при зменшенні швидкості обертання насоса.

Фізично цей метод досить простий: зниження частоти обертання робочого колеса веде до пропорційного зниження подачі та напору насоса, а

отже, і споживання електроенергії. Сучасні регулятори частоти обертання мають можливість не лише підтримувати сталу подачу чи напір, але і змінювати їх відповідно до потреб системи у різну годину.

Програмне керування частотою обертання робочого колеса не тільки дозволяє насосу працювати з максимальним КПД, але й зменшує шум, забезпечує м'який пуск, знижує пускові струми та уникнення гідравлічних ударів. Це важливо для оптимізації роботи та тривалості служби насосної установки.

Використання регулятора частоти обертання робочого колеса є особливо доцільним у системах з частими та значними коліваннями витрат води, а також за високих тарифів на електроенергію. У таких випадках вартість встановлення регулятора швидко може окупитися за кілька місяців завдяки зменшенню електроенергії та оптимізації роботи насосної системи.

Так як при зменшенні подачі внаслідок зниження частоти обертання колеса споживана потужність знижується пропорційно третього ступеня відносини частот обертання

Цим способом на відміну від попередніх можна і збільшувати подачу. Нагнітача з приводом, залежить від способу зміни частоти обертання колеса. Для регулювання частоти обертання застосовують такі методи і пристрої.

Якщо регулювати напругу, що підводиться до трьох фаз статора асинхронного двигуна, можна відокремлювати регулюючий пристрій від параметрів, що впливають на характеристики двигуна, та змінювати максимальний момент без зміни критичного ковзання. Це можливо за допомогою тиристорного регулятора або подібних пристроїв для регулювання напруги, які дозволяють змінювати постачану енергію двигуна.

Застосування тиристорного регулятора дозволяє змінювати напругу, що подається на двигун, без зміни інших параметрів. Це дозволяє змінювати максимальний момент, який генерується двигуном, контролюючи напругу подачі, і при цьому зберігати критичне ковзання на необхідному рівні.

Такий метод регулювання може бути корисним для тих випадків, коли потрібно змінювати потужність двигуна або максимальний момент без зміни

інших його характеристик.

при цьому в кожній фазі статора двигуна знаходяться два зустрічно-паралельно включених тиристора. Керуючи кутом включення тиристорів (фазовий управління), можна плавно змінювати чинне напруга.

Регулювання частоти обертання нагнітача за допомогою гідромуфти відбувається при незмінній частоті обертання електродвигуна, т.е. Воно може бути застосоване при використанні звичайних асинхронних електродвигунів.

1.3.4. Обточка робочого колеса

Облицювання робочого колеса відцентрового насоса дозволяє зменшити діаметр для зниження напору, при цьому ефективність гідравліки насоса не погіршується. При малому зниженні ККД досить істотно збільшується подача і напір. Облицювання застосовується тоді, коли характеристика насоса не відповідає поточним умовам функціонування в певних межах, при цьому параметри системи залишаються незмінними, а вибрати агрегат по каталогу не вдається. Кількість обточек, які створюються виробником, не перевищує двох. Розмір обточування знаходиться в діапазоні 8-15% від діаметра колеса. І тільки в крайніх випадках цей показник може бути збільшений до двадцяти. У турбінних насосах оточуються лопатки, а в спіральних - ще й диски колеса. Так, пристосування характеристик насосів до конкретних умов експлуатації може включати зменшення зовнішнього діаметра робочого колеса. Це один із методів зміни робочих параметрів насоса D_2 шляхом підрізування (рис. 1.2)

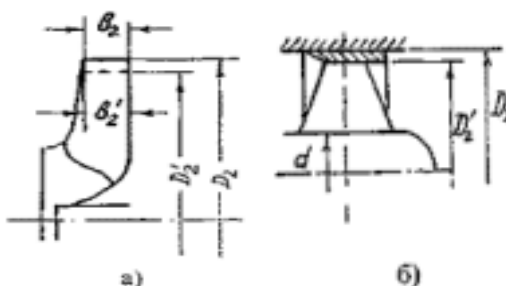


Рис.1.2 – Схема підрізування робочого колеса.

де Q, H, N, D_2 – номінальні подача, напір, потужність і зовнішній діаметр робочого колеса (до обрізки);

Q', H', N', D'_2 – те ж, після обточення.

Зміна характеристик насоса при обточуванні робочого колеса показано на (рис. 3). Як видно, обрізка істотно розширює область подач і напорів, що перекриваються насосом даного типу.

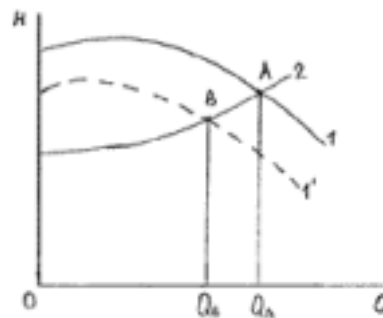


Рис. 1.3 – Характеристики насоса в мережі при підрізуванні робочого колеса

Для насосів з $ns = 60 \div 120$ зменшення діаметра на $10 \div 15\%$ від початкового практично не позначається на ККД. При більш високих ns зниження ККД стає помітним (рис. 1.4)[18].

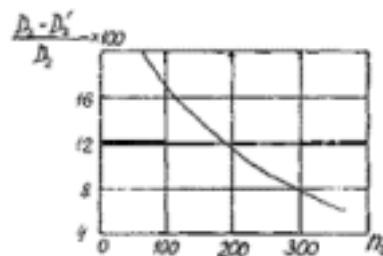


Рис. 1.4. – Допустима обрізка робочого колеса в залежності від коефіцієнта швидкохідності

Для осьових насосів зміна параметрів при підрізуванні робочого колеса можна визначити по залежностям[19].

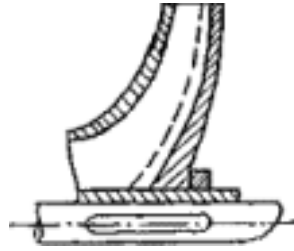


Рис. 1.5. – Схема підрізування робочого колеса по ширині

В роботі авторів [19,20] запропонована обрізка вихідних кромek лопаток робочого колеса по перпендикуляру, опущеного з кінцевої точки робочої сторони лопатки на тильну сторону. Практична доцільність такої обрізки полягає в тому, що з'являється можливість без зміни проточної частини насоса підвищити його натиск на 5-8% при майже незмінному ККД.

У роботах запропонований ще один вид обрізки робочого колеса насоса - тільки по лопатках. Збільшення площі виходу на 11,7% спричинило збільшення подачі на 16,7% при збереженні незмінними потужності і напору виходячи з високого значення коефіцієнта корисної дії (ККД). Це свідчить про те, що оптимізація геометрії робочого колеса може мати значний вплив на продуктивність насосів (рис 1.6).

Збільшення площі виходу може покращити ефективність робочого процесу, сприяючи більш ефективному відводу рідини через робоче колесо. Це може призвести до покращення ефективності перекачування рідини за рахунок зменшення втрат енергії, що відбуваються при проходженні рідини через робочий елемент насоса.

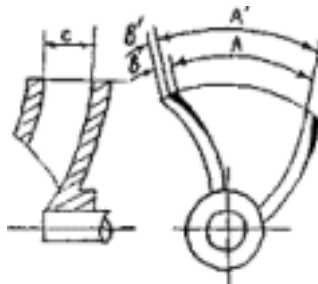


Рис. 1.6 – Схема підрізування робочого колеса по лопатках.

1.3.5. Закручування потоку перед робочим колесом

Теоретичні основи цього способу регулювання легко зрозуміти при розгляді трикутника швидкостей на вході в робоче колесо (рис.1.7.)

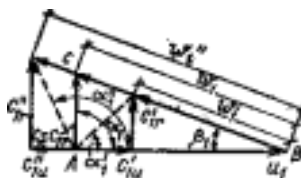


Рис .1.7 – Трикутники швидкостей при вході потоку в робоче колесо.

При цьому передбачається, що швидкість закручування $c_{1u} = 0$ і трикутник ABC - нормальний трикутник швидкостей при радіальному вході потоку з абсолютним кутом входу $= 90^\circ$.

Закручуючи потік на вході в ту або іншу сторону, можна кут зменшити до кута α_1 або збільшити до кута α_1' . Відповідно змінюються значення і напрямок абсолютної швидкості c_1 . При зменшенні кута входу замість c_1 , з'являється швидкість c_1' зі зменшеною радіальною складовою c_{2r}' і, отже, подача нагнітача зменшується. Зменшується і повний тиск нагнітача внаслідок з'явилася швидкості закручування c_{2u}' , що має той же напрямок, що і окружна швидкість u_1

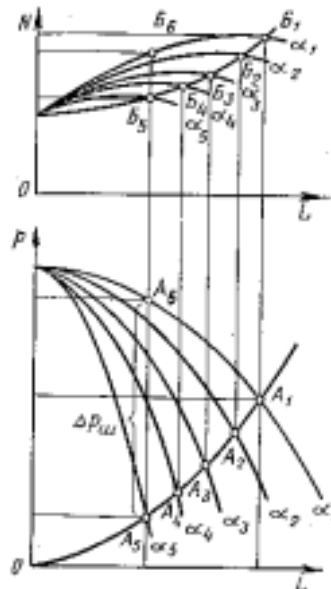


Рис. 1.8 – Характеристики регулювання закручуванням потоку при вході на робоче колесо

Для порівняння на рис.1.8 проілюстровано регулювання шляхом дроселювання. Зміна потужності при цьому відбувається по лінії Б1 – Б6. Видно, що регулювання за допомогою закручування потоку економічніше дроселювання, оскільки витрати потужності знижуються швидше.

Пристрої, які здійснюють закручування потоку перед робочим колесом, називаються напрямними апаратами. Незважаючи на значну відмінність у конструкції, робота всіх цих апаратів заснована на одному принципі - створення в потоці повітря перед робочим колесом деякого моменту кількості руху LR c r 11 в результаті закручування потоку. Цей момент повинен бути тим більше, чим більше зменшення подачі.

1.3.6. Поворот лопатей

Викладені принципи розподілу навантаження між працюючим паралельно насосними агрегатами забезпечують до 5% економії електроенергії. Оптимальний розподіл навантажень між насосними агрегатами, частота обертання яких може регулюватися, з умови економічної роботи насосної установки дає рівність ККД або питомих витрат електроенергії цих агрегатів.

Розрахунковому положенню лопатей відповідає кут їх установки $\alpha = 0$. Кут α може б зменшений або збільшений. Механізм повороту лопатей має ручний, електричний або гідравлічний привід. При ручному приводі кут повороту змінюється тільки на непрацюючому двигуні. Наявність приводу електричного або гідравлічного дозволяє регулювати подачу під час роботи насоса. Діапазон зміни кута установки лопатей порівняно широкий від $-(4 \div 10)^\circ$ до $+(2 \div 6)^\circ$.

Можливість зміни кута установки лопатей дозволяє змінювати крутість напірної характеристики насоса і, отже, регулювати його подачу і напір. При цьому зберігаються порівняно високі значення ККД насоса.

В нормальних і швидкохідних колесах вхідні кромки лопатей винесені в область повороту потоку рідкості, тобто ту зону, де напрям течії змінюється від осевого радіальному. Це обставина викликає преобертання циліндричної лопаті в лопать з поверхнею двоякої кривизни.

Різко вираженими формами лопатей двоякою кривизни мають діагональні насоси. Загальні вимоги, що пред'являються конструктивній формою перерізу лопаті: дотримання розрахункових кутів входу й виходу, мінімальний гідравлічний опір і достатня міцність.

Два перших вимоги задовольняються застосуванням загальноприйнятих способів побудови середньої лінії перерізу лопаті і вживанням профілів раціональної форми з ретельно обробленими, поверхнями проточної частини. Велике значення має форма поперечного перерізу міжлопасного каналу, що визначається шириною лопатей і їх кількістю: Вона повинна володіти великим гідравлічним радіусом. Один з простих способів побудови середньої лінії перерізу лопаті по заданих кутів Входу і виходу показан на (Рис.1.8). За цим методом лопать окреслюється дугою окружності. Кількість робочих лопатей визначається наступними міркуваннями.

Велика кількість лопатей зумовлено розливає канали великої довжини з сприятливою формою поперечного перерізу, але при цьому лопаті ускладнюють поперічковий розтин, зменшуючи пропускну здатність колеса, відомо також, що раціональні форми профілів, вживаються в авіації і гидро

машинобудуванні, мають потовщену округлену передню частину і тонку задню крайню (Рис.1.11.) Така форма профілю лопаті сприятлива в сенсі міцності.

Проте при невеликих розміри робочого колеса потовщені передні кромки робочих лопатей значно утрудняють вхідний переріз, що від цієї форми профілю доводиться відмовлятися і застосовувати перерізу, наведені на. (Рис.1.9)

Товщина робочих лопатей зазвичай призначається конструктивно.

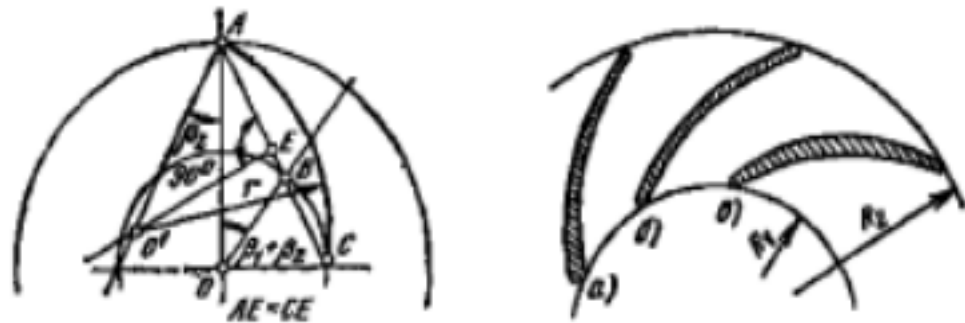


Рис.1.9 – Побудова середній. Форма перетинів робочих лопатей січень лопаті однією дугою кола.

1.3.7. Зміна ширини робочого колеса

Насосні станції для промислового та пиття водопостачання розробляються з урахуванням максимального водоспоживання, що може збільшуватися з часом. У цих станціях основною складовою є насоси з робочим колесом двостороннього входу з розрахунковою подачею від 1250 м³/год до 6300 м³/год. При сучасних темпах скорочення виробництва і, як результат, водоспоживання, при застосуванні неефективних способів регулювання, за даними [1] близько 60 % насосних станцій працюють з коефіцієнтом корисної дії (ККД) усього лише 10–40 %. Варто зазначити, що 75 % насосних систем мають завищені значення напору більш ніж на 20 %, за підрахунками автора [16]. У спробах збільшити ККД насосних станцій вдаються до наступних методів регулювання роботи насосів у системі: використання частотно-регульованого приводу, використання методу «включення виключення» паралельно працюючих насосів та їх комбінації.

Більшість систем насосного обладнання виявляють ефективність у варіабельних умовах завдяки частотно-регульованим приводам (ЧРП). Проте зміна параметрів насосів може бути досягнута через заміну робочого колеса, спеціально розробленого під нові умови мережі, при цьому необхідно враховувати зміни в характеристиці напірного тиску насоса. Також, для різних методів регулювання подачі в системі є конкретні вимоги до напірної характеристики насоса. Наприклад, для ЧРП Q-N важливо, щоб характеристика мала якомога більшу крутість, тоді як при паралельній роботі насосів їх характеристики повинні бути максимально плавними.

1.4 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування технологічним об'єктом

Різноманітні електроприводи, від найменших, що приводять роботу годинників, до найбільших, що використовуються у потужних прокатних станах, споживають більше 60% енергії, що генерується всіма електростанціями України. Вони є необхідною складовою сучасних автоматизованих виробництв.

Сучасні електроприводи мають свої особливості:

- Використання напівпровідникових перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів.
- Застосування мікропроцесорних контролерів для вирішення завдань управління електроприводами.

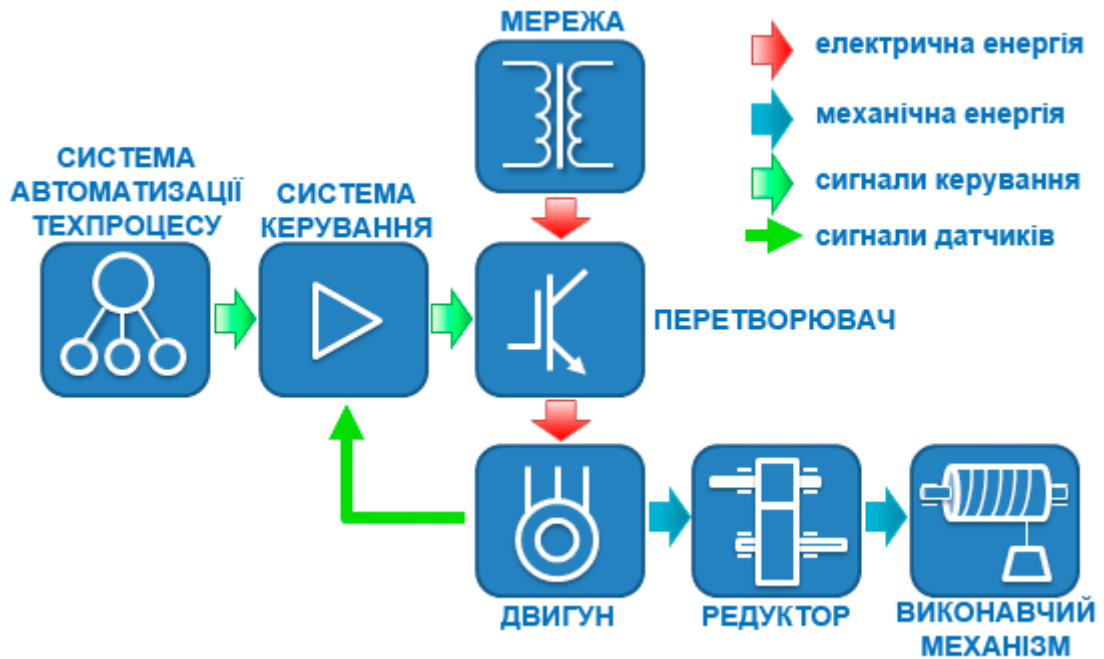


Рис.1.11 – Структура сучасного електропривода промислового механізму

Мережа електропостачання є джерелом електричної енергії. Перетворювач електричної енергії використовується для управління потоком електричної енергії, що подається від мережі до двигуна. Керуючи енергією, перетворювач дозволяє контролювати швидкість двигуна. Сучасні перетворювачі мають велику потужність і використовують напівпровідникові елементи. Основними видами перетворювачів є перетворювачі частоти та випрямлячі.

Система автоматичного управління, що складається з мікропроцесорних систем, є частиною перетворювача. Вона програмується для стабілізації швидкості роботи двигуна.

Двигун - це пристрій, що перетворює електричну енергію на механічну. Крім звичайних обертових двигунів, існують лінійні, де рух частини відбувається у прямій лінії. Редуктор використовується для зміни параметрів механічної енергії, таких як зменшення швидкості та збільшення моменту або перетворення обертового руху на прямолінійний.

Виконавчий механізм - це механізм, який безпосередньо виконує корисну роботу (наприклад, підйом вантажу, рух транспорту, обертання вентилятора тощо).

1.4.1 Регульований електропривод. Види і способи регулювання

Під час регулювання продуктивності насосних станцій часто використовують стратегію зміни кількості працюючих насосних агрегатів, які запускаються безпосередньо з електричної мережі. Однак, для двигунів середньої та великої потужностей існують технічні обмеження, пов'язані з прямим пуском, а також необхідність дотримання певних інтервалів між пусками. Тому при забезпеченні потрібного рівня продуктивності насосної станції важливо враховувати особливості пуску двигунів насосів.

Автор описав різноманітні методи регулювання лопатних насосів, які можна класифікувати за кількісними, якісними та комбінованими підходами.

До кількісних методів належать:

- Дроселювання напірної сторони насоса.
- Дроселювання всмоктуючої сторони насоса.
- Перепуск (байпас).
- Скидання частини піднятої води до нижньої б'єф.
- Впуск повітря у всмоктувальну трубу насоса.
- Авторегулювання (зміна статичної складової напору).
- Комбінація роботи ступенів у багатосекційних насосах паралельно/послідовно.
- Використання баків-гідроакумуляторів.
- Застосування пористих заспокоїтелів в аванкамерах насосних станцій.
- Використання перепускного трубопроводу для з'єднання напірних ліній великих насосних станцій.
- Зміна числа паралельно працюючих насосів (застосування розмінних агрегатів).

До якісних методів належать:

- Зміна частоти обертання робочого колеса.
- Зміна кута установки лопатей направляючого апарату на вході у робоче колесо насоса.
- Зміна кута установки лопатей направляючого апарату на виході з робочого колеса насоса.
- Зміна ширини робочого колеса.
- Зміна ступеня відкриття поперечного перерізу каналів робочого колеса.
- Зміна кута встановлення лопатей робочого колеса.
- Саморегулювання.
- Обточування робочого колеса.
- До комбінованих способів регулювання відносяться:
-
- Саморегулювання з перепуском.
- Перепуск по малому контуру із закручуванням потоку перед робочим колесом.
- Дроселювання з перепуском.
- Перепуск із підкручуванням.
- Дроселювання та зміна частоти обертання робочого колеса.
- Комбінація лопатевого та водоструминного насосів та інші.

1.4.2 Ефективність застосування регульованого приводу на насосних установках

Серед усіх методів забезпечення необхідного обсягу подачі води у мережу, використання регульованого електроприводу вважається найефективнішим. Цей підхід дозволяє розширити можливості регулювання продуктивності насосного агрегату з важливим зменшенням споживання електричної енергії його двигуном у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса. Навіть при відносно високій вартості

перетворювального обладнання, термін окупності такої системи виявляється невеликим і може становити кілька місяців.

Варто враховувати, що насосна станція є комплексною системою, де зміна параметрів одного насосного агрегату може вплинути на характеристики інших. Отже, використання регульованого приводу вимагає поважного розгляду оптимальної сумісної роботи насосів та обґрунтованості установки перетворювачів для кожного двигуна насосного агрегату.

1.5 Висновки до першого розділу

Враховуючи аналіз існуючих способів регулювання роботи насосних агрегатів, можна зробити висновок, що найбільш перспективним є застосування частотний спосіб регулювання як найбільш економічний, оскільки зберігається матеріальний та енергетичний баланс системи, коефіцієнт корисної дії залишається високим при зміні частоти обертання, споживана потужність зменшується пропорційно третій степені швидкості обертання, економія перекачуваної рідини, зниження експлуатаційних затрат, підвищення якості виробництва, забезпечує надійну і економічну роботу групи насосних агрегатів, в тому числі необхідний захист електродвигунів агрегатів, покращення інформованості про стан системи через покази ППЧ.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.1. Аналіз технологічних процесів підйому води до реконструкції

Генплан водопровідної станції об'єкту дослідження №1 показано в графічній частині роботи на плакаті № 1, та на рисунку 2.1. Об'єкт дослідження №1 забезпечує питною водою підприємства і населення загальною кількістю населення 532220 осіб.

Водопідготовка включає:

- забір води з джерела і подача на очищення;
- знезараження, очищення води з доведенням її до питної;
- подача води в розподільну мережу і на насосні станції третіх підйомів;
- контроль якості води в джерелі, по ланках очищення і перед подачею в розподільну мережу.

Різниця між об'ємами дніпровської води, що подається на очищення, насосними станціями I-го підйому і подачею питної води в мережі насосними станціями II-го підйому, обумовлена витратами води на технологічні потреби очисних споруд: промивка швидких фільтрів, мікрофільтрів, контактних освітлювачів, чищення і миття резервуарів, відстійників, приготування концентрованої хлорної води, приготування розчину сульфату амонію, вода від пробовідбірників, на господарсько-питні потреби персоналу, а також обумовлена втратами води з причини нещільності арматури, аварійних ситуацій та ін.

Джерелом водопостачання служить водне джерело. Забір води здійснюється безпосередньо з водосховища з різних глибин (від 6м до 36м)

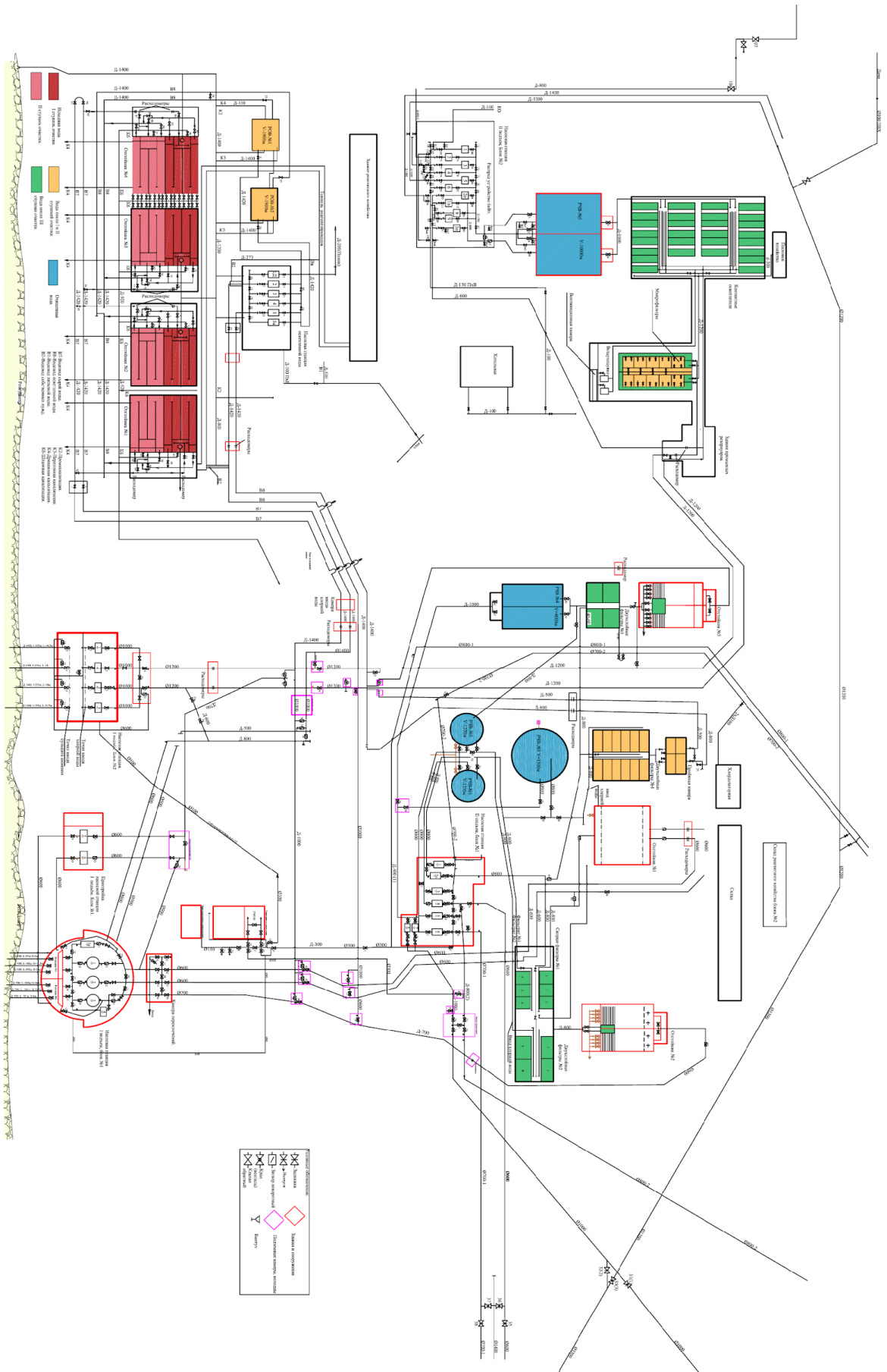


Рис.2.1 – Генплан водопровідної станції ДВС-1

Якість води в джерелі, по ланках очищення і питної води цілодобово контролюються лабораторіями об'єкта дослідження №1, В розподільній мережі ведеться щоденний контроль якості води за різними адресами. Точки контролю, частота контролю і перелік показників визначені у робочих програмах контролю, які є складовою частиною технологічних регламентів об'єкта дослідження №1. На технологічні регламенти отримані санітарно-гігієнічні висновки «Державної служби України» з питань безпеки харчових продуктів і захисту споживачів.

Проектна потужність очисних споруд складає 415 тис.м³/добу без урахування технологічної схеми та за максимальними швидкостями фільтрації. Але робота за максимальними швидкостями допускається за умови задовільної якості води в джерелі, з якою справляються фільтрувальні споруди за показниками каламутності, забарвленості, мікробіологічними показниками. Фактична потужність очисних споруд залежить від фактичної потреби міста в питній воді. За 2019 рік мінімальна та максимальна фактична потужність склала 163-289,5 тис.м³/добу з урахуванням власних потреб станції.

Споруди складаються з двох блоків: №1 та №2. Кожен з них містить насосну станцію 1-го підйому (для забору води з річки), пристрої для очищення води та насосну станцію 2-го підйому (для постачання води до міста).

Для забору води використовується джерело з глибини від 6 до 36 метрів, а отримана вода подається в приймальні колодязі обох насосних станцій блоків №1 та №2.

Для здійснення процесу очищення та дезінфекції води використовують хлорування з амонізацією на початковому етапі (перед подачею води на очисні споруди) та подальше додавання хлору в невеликій кількості для коригування потрібної концентрації хлору в питній воді на заключному етапі очищення.

У блоку №1 на очисних спорудах коагулянт додається до камер реакції відстійників, де відбувається перемішування розчину коагулянту з водою, його гідроліз та утворення нерозчинного осаду у вигляді пластівців з розвиненою поверхнею. Потім вода прямує до відстійників, де відбуваються процеси освітлення та відстоювання води. Після цього очищена вода фільтрується через

кулю кварцового піску та подрібненого антрациту. Завершальним етапом є фільтрація та знезараження води перед надходженням до резервуарів чистої води.

У блоку №2 вода після насосної станції 1-го підйому проходить через мікрофільтри для затримання суспензій, зоопланктону та фітопланктону. Коагулянт додається у змішувачі після мікрофільтрів, після чого відбуваються контактна коагуляція та фільтрація. Після фільтрації та знезараження вода прямує до резервуару чистої води, звідки через насосні станції 2-го підйому подається до розподільної мережі. Згідно з джерела [18].

2.2 Насосна станція другого підйому

Схема насосної станції приведена в графічній частині роботи на плакаті № 2. Проектна потужність насосної станції 328,3 тис м³/доб, за 2019 рік мінімальна та максимальна фактична потужність склала 55,3-102,2 тис.м³/доб. Насосними агрегатами вода подається в водопровідну мережу міста по шести водоводах: Д=600мм, Д=700(1), Д=700(2)мм, Д=800(1)мм, Д=800(2)мм, Д=1000мм. Для рівномірного розподілу води та попередження коливання тиску всі водоводи з'єднанні між собою за територією об'єкта дослідження №1.

Профільтрована вода з осередків фільтрів надходить самопливу резервуар чистої води. Має 4 резервуара, закріплені між собою. Загальною ємністю резервуарів 8000 м³. Час перебування води в резервуарах близько 40-60 хв.

Три резервуари є підземний ж / б. спорудження циліндричної форми, резервуар №1, резервуар №2, резервуар по 1250 м³ резервуар №3- 1500 м³. Резервуар №4- підземний ж / б ємність прямокутної форми, розділена на дві половини, спілкуватися ємність-400 м³. Резервуари згідно санітарно технічним вимогам періодично, не рідше одного разу на рік, зупиняється на очистку і дезінфекцію.

Насосними агрегатами вода подається в водопровідну мережу лівобережній частині міста по шести водоводах: Д=600мм, Д=700(1), Д=700(2)мм, Д=800(1)мм, Д=800(2)мм, Д=1000мм. Для рівномірного розподілу води та попередження

коливання тиску всі водоводи з'єднанні між собою за територією об'єкта дослідження №1

Контроль якості питної води, яка подається споживачу здійснюється на насосній станції 2-го підйому після насосних агрегатів напірному колекторі головних водоводів.

В машинному залі насосної станції встановлено 8 насосних агрегатів надано в таблиці 2, та на рисунку 2.2.

Насосна станція 2-го підйому. Блок №2

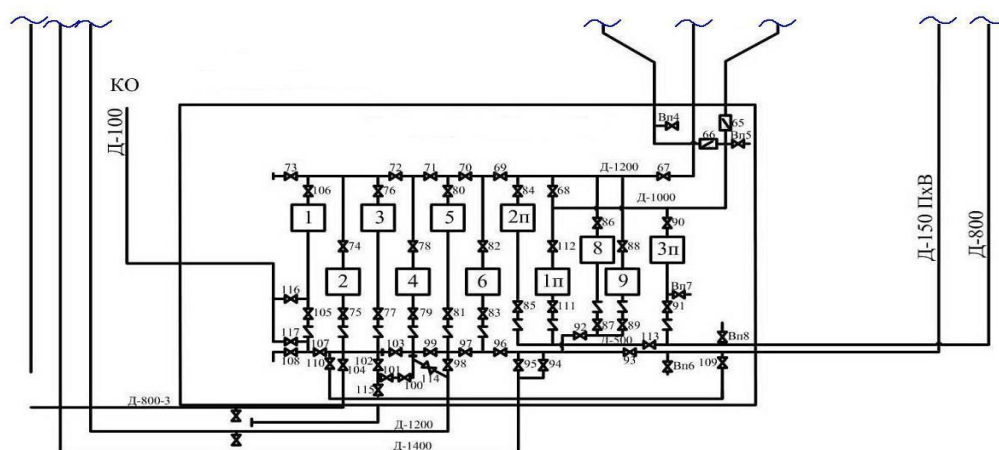


Рис 2.2 – Насосна станція 2-го підйому, блоку № 2.

Таблиця 2 – Характеристика насосних агрегатів другого підйому.

№ Насоса	Марка насоса	Продуктивність м3/год	Потужність електро-двигуна кВт	Напір	Діаметр всмоктуючої засувки, мм	Діаметр напірної засувки, мм
1	SDBH 300/350	1200	318	75	ПДЗ 75	500
2	20 НДС	3200	320	23	800	600
3	SDBH 300/350	1200	318	75	ПДЗ 800	500
4	20 НДС	3420	800	71	600	500
5	20 НДС	2500	400	45	700	500
6	20 НДС	3420	800	71	700	500
7	20 НДС	3420	800	71	800	600
8	20 НДС	3420	800	71	800	600

Рекомендації стосовно модернізації насосного обладнання

За рахунок невинного підвищення тарифів на електроенергію, відбувається постійне збільшення витрат на електроенергію у вартісних показниках продукції підприємства. Це відбувається навіть за умови впровадження підприємством заходів щодо енергозбереження. Самим не ефективним в плані економії електроенергії вважається дросельне регулювання, оскільки чим менше стає значення витрати, тим більше зменшується ККД і велика енергія витрачається на опір дросельної засувки.

Таблиця 3– Проектні рішення для насосних агрегатів.

Проблема	Шляхи вирішення	Результат
Не економічне енергоспоживання насосної станції	Встановлення насосного обладнання з застосуванням частотного способу регулювання	Покращення стабільності електродвигунів та зниження витрат підприємства на обслуговування та ремонт техніки.

Раніше, проєкційні рішення для насосних агрегатів передбачали запас по продуктивності та натиску на рівні 25–30%. Але на сьогодні фактичне навантаження значно знизилася, і багато насосних станцій функціонують, мати навантаження на 40–50% нижче. Одна з об'єктів, №1, була частично модернізована, де встановлено перетворювачі частоти (ПЧ), але інші об'єкти залишилися поза цим процесом. Тому цілком логічно і необхідно провести їх модернізацію.

Модернізація може бути виконана, установивши насосне обладнання з використанням частотного регулювання. Регульовані електроприводи насосів дозволяють оптимізувати їх роботу в різних режимах, забезпечують плавний пуск, безступінчасте регулювання швидкості та ефективну роботу з потрібною швидкістю [18,19]. Це також призводить до підвищення енергоефективності та показників електроприводу, таких як коефіцієнт корисної дії (ККД) та коефіцієнт потужності. Ці заходи дозволяють досягти покращення якості та ефективності систем водопостачання.

Застосування в насосних агрегатах частотно-регульованого електроприводу дає можливість використовувати великі насосні агрегати в режимі малих подач і, отже, зменшити їх загальну кількість. Тут доречно сказати, що більш потужні агрегати мають більш високі технічні показники, в тому числі, більш високі ККД.

Раніше, проєкційні рішення для насосних агрегатів передбачали запас по продуктивності та натиску на рівні 25–30%. Але на сьогодні фактичне навантаження значно знизилася, і багато насосних станцій функціонують, мати навантаження на 40–50% нижче. Одна з об'єктів, №1, була частично модернізована, де встановлено перетворювачі частоти (ПЧ), але інші об'єкти

залишилися поза цим процесом. Тому цілком логічно і необхідно провести їх модернізацію.

Модернізація може бути виконана, установивши насосне обладнання з використанням частотного регулювання. Регульовані електроприводи насосів дозволяють оптимізувати їх роботу в різних режимах, забезпечують плавний пуск, безступінчасте регулювання швидкості та ефективну роботу з потрібною швидкістю. Це також призводить до підвищення енергоефективності та показників електроприводу, таких як коефіцієнт корисної дії (КПД) та коефіцієнт потужності. Ці заходи дозволяють досягти покращення якості та ефективності систем водопостачання.

2.3 Аналіз впровадження автоматизованої системи технічного обліку електроенергії

Сучасний рівень технічного розвитку потребує широкого використання сучасних систем автоматизації та автоматики на насосних станціях. Проектування насосних станцій повинно передбачати можливість їх модернізації та розширення, включення більш потужного обладнання, яке забезпечить підвищення обсягів подачі та тиску. Потрібно враховувати, що багато насосних станцій вже працюють поза своїм призначенням, але продовжують експлуатуватися зі застарілим обладнанням. Це ставить перед персоналом завдання керувати насосним обладнанням з урахуванням зношеності, доцільності та обмежень регулювання, енергоефективності управління та інших аспектів. Важливо враховувати випадки, коли насоси з різними характеристиками працюють паралельно, що ускладнює керування та може призводити до передчасних виходів з ладу, частоти поломок та непотрібних витрат енергії. Некоректне управління групою насосних агрегатів може призвести до роботи деяких з них у режимі з низьким коефіцієнтом корисної дії та великим споживанням енергії.

У структурі собівартості витрати на електроенергію переважають над іншими статтями і досягають 30%. Існує стійка тенденція до зростання

енерговитрат, зумовлена зростанням тарифів на електроенергію, старінням обладнання, що використовується і зниженням подачі води. З метою поліпшення економічного стану пропонується впровадження автоматизованої системи технічного обліку електроенергії. Схема приведена в графічній частині роботи на плакаті № 4.

Однією з першочергових завдань в справі підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів є їх достовірний облік, виявлення і зниження втрат, забезпечення оплати за спожиті ресурси відповідно до фактично спожитих обсягом.

Цілі створення (автоматизованої системи технічного обліку електроенергії) АСТОЕ оптимізація витрат об'єкта дослідження №1 на споживану електричну енергію і потужність, підвищення терміну функціонування основного електротехнічного обладнання, здійснення переходу на багатотарифні систему розрахунків.

Основні завдання системи: зниження питомих норм споживання електричної енергії на одиницю об'єму переданої води; планування і своєчасне отримання повної та достовірної інформації про споживання електроенергії по насосним станціям, насосним агрегатам, реагентного господарства та інших підрозділів об'єкта №1; розрахунок балансу об'єкта і системи в цілому, адресна оцінка джерел втрат електроенергії; можливість використання даних споживання електроенергії для оптимізації режимів електроспоживання і поліпшення режимів роботи обладнання; моніторинг енергоємності технологічних процесів подачі і очищення води;

В результаті реалізації проекту отримано можливість:

- контролю витрат електроенергії на технологічні процеси водопідготовки;
- контроль за генерацією реактивної електроенергії по підприємству, цехам, об'єктами й агрегатами;
- контроль за споживанням активної електроенергії по підприємству, цехам, об'єктами й агрегатами;
- контролю роботи агрегатів, приведення режимів роботи до нормальних;
- розрахунку балансу по електроенергії для підприємства, цеху, об'єкта;

- наявні оцінки втрат електроенергії по підприємству, цеху, об'єкту (небаланс);
- оперативного формування звітів про споживання електроенергії по об'єкту, цеху і підприємству в цілому за різні періоди часу;
- формування аналітичних даних для аналізу роботи цехів і окремих агрегатів, учасних в технологічному процесі очищення і подачі води в системи водопостачання.

2.3.1 Технічне рішення

Зменшення споживання електроенергії окремим насосом при досягненні необхідних значень напору і обсягу досягається через підвищення коефіцієнта корисної дії (КПД). Довготривалий досвід у проведенні досліджень, розробці та виготовленні насосів провідними світовими компаніями забезпечує високі показники КПД у найоптимальнішому режимі роботи насоса.

Установку станції з автоматичною системою управління (АСТУ) для насосних агрегатів було здійснено з метою покращення функціонування водопостачальної станції.

Найбільш відчутні позитивні наслідки використання частотно-регульованих приводів спостерігаються при їх включенні до автоматизованих систем управління технологічними та виробничими процесами як джерело інформації та зв'язок управління технологічним процесом. За допомогою таких приводів, спільно зі стандартними датчиками та виконавчими механізмами, забезпечується своєчасний контроль ходу технологічного процесу та точне і надійне налаштування його параметрів.

Розрахунки, що підтверджені умовами реальної промислової експлуатації, показують, що термін окупності систем частотно-регульованого електроприводу коливається від 2 до 4 років і постійно скорочується через зростання цін на електроенергію та енергетичні ресурси.

1. Відстеження поточних значень споживаної електроенергії по обраній ділянці здійснювалася на мнемосхемах об'єктів автоматизації (рис 2.3).

Інформація представлена на менімосхемах дозволяє швидко оцінити оперативну обстановку по ділянках, вибраних об'єктів.

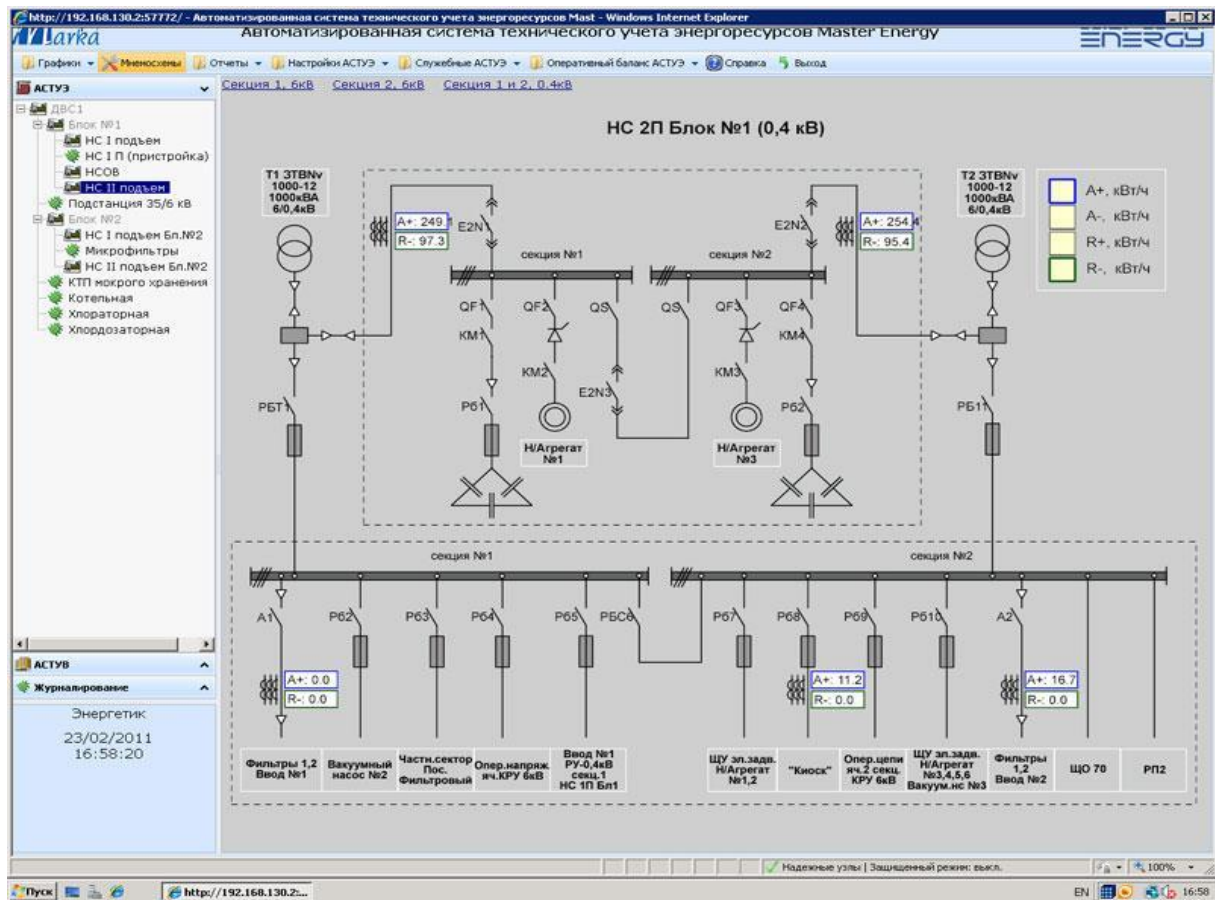


Рис.2.3 – Мнемосхема насосної станції: контроль активної і реактивної електроенергії.

2. Екранна форма «Графік поточних показань» (рис. 2.4) призначена для візуального уявлення у вигляді лінійних графіків значень електроспоживання поагрегатно обраного об'єкта. Графіки представляються в реальному часі, є можливість переглянути ретроспективу. Аналізуючи тенденції, представлені на графіках, можна судити про тривалість запуску і зупинки насосних агрегатів, характер виходу на навантаження, перемикання навантаження між агрегатами, тривалість роботи на холостому ходу, перерозподілі потоків реактивної енергії до і після включення компенсуючих установок.

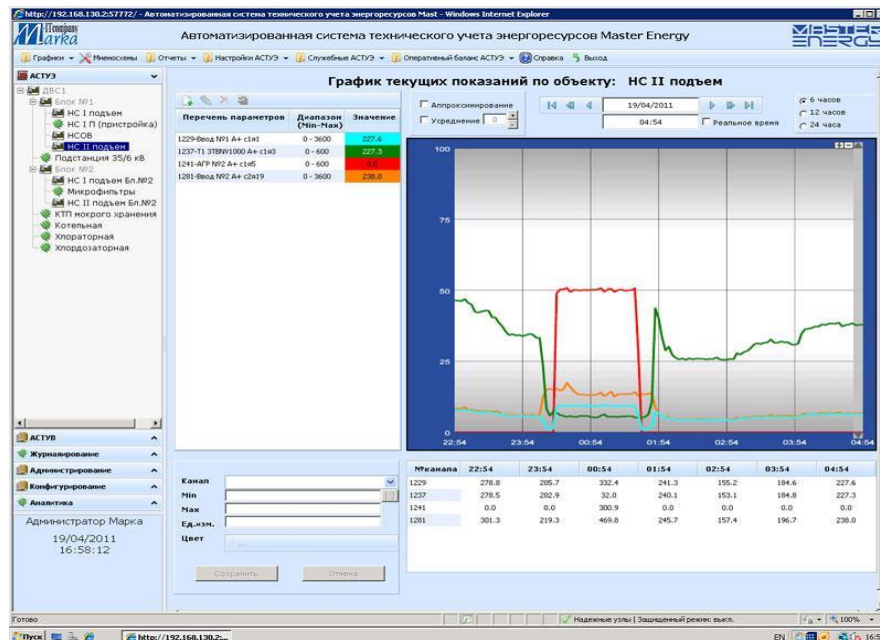


Рис.2.4 – Контроль электроспоживання по об'єктам.

3. Для візуального відображення накопичувальних значень за годинними, добовими і місячними профілями для інформаційних каналів інтегрального характеру, використовується спосіб діаграми. Такі діаграми дозволяють виконувати аналіз підсумкових даних за вибраний період з розподілом підсумків всередині періоду, судити про невиробничих втратах електроенергії в сумарному вираженні.

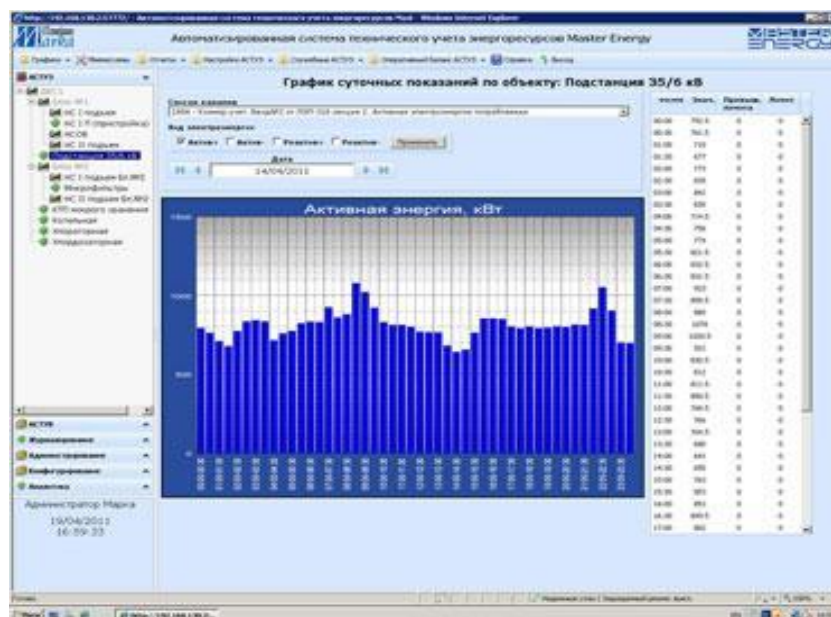


Рис.2.5 – Контроль споживання активної електроенергії по агрегату.

4. Таблица «Оперативный баланс по электроэнергії» (рис.2.6) відображає дані по оперативному балансу для об'єкта по встановленим критеріям за обраний період. Проводиться оцінка обсягів надходження електроенергії на об'єкти, що витрачаються на виробничі потреби, втрати в фідерах і активному обладнанні.

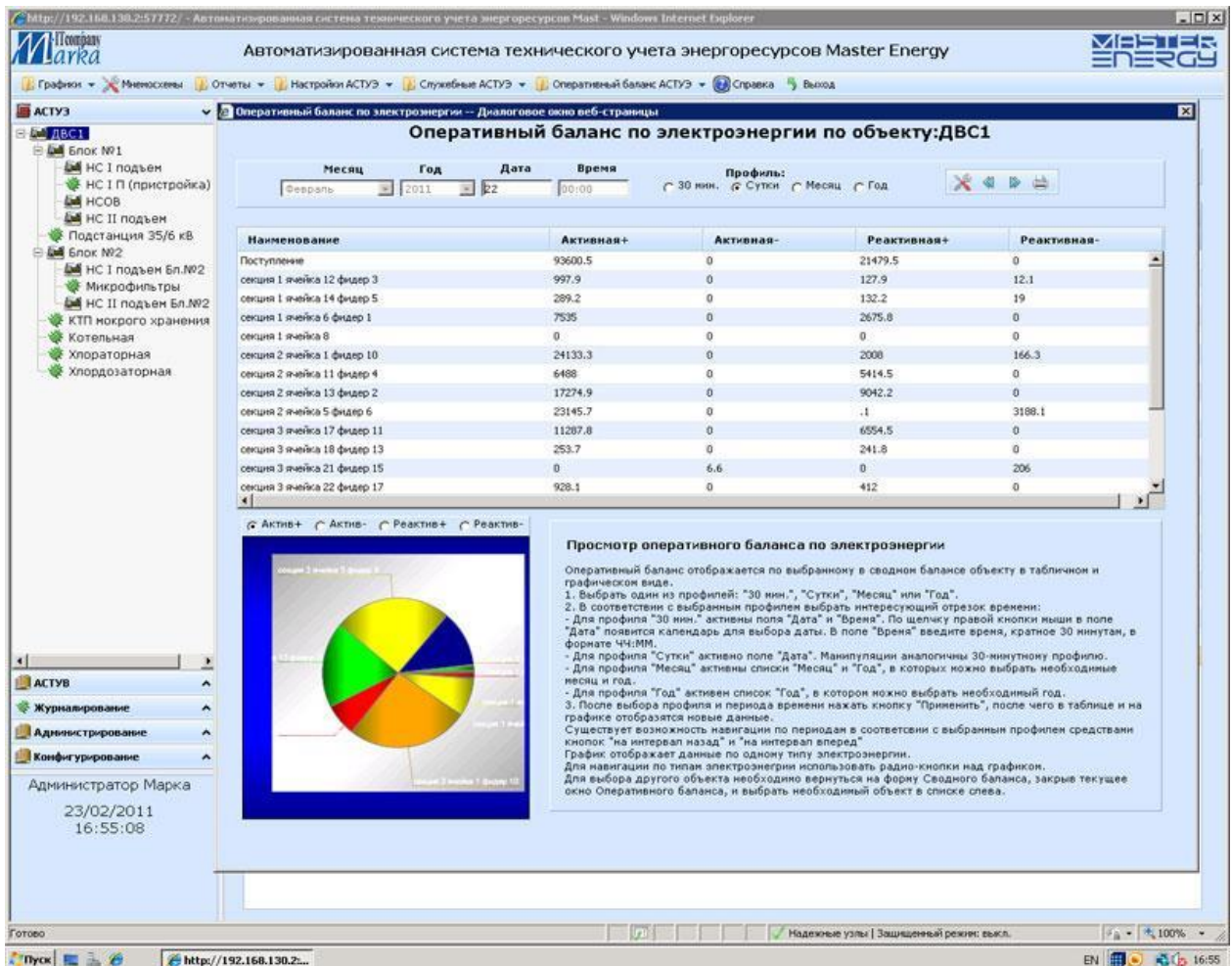


Рис. 2.6 – Оперативний баланс по електроенергії.

5. Вікно «Зведений баланс по електроенергії» (рис. 2.7) призначений для візуального представлення у вигляді таблиць зведеного оперативного балансу по підприємству, або ділянці деталізованої по добі. Виконуючи оцінку показників зведеного оперативного балансу можна робити висновки про величину невиробничих втрат, перевищення лімітів за кожен окрему добу, намагаючись мінімізувати величину нестабільності електроенергії.

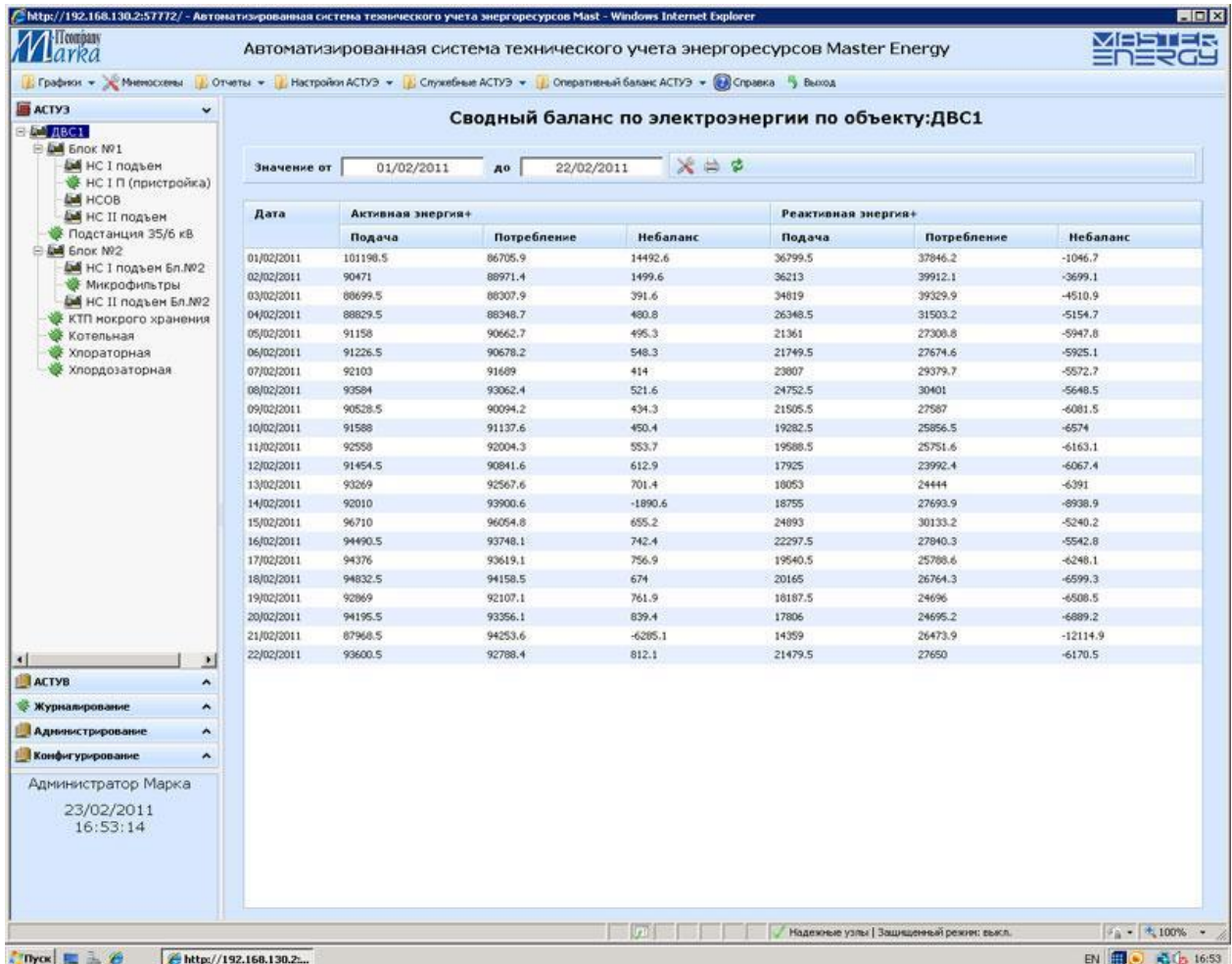


Рис.2.7 – Зведений баланс по електроенергії. розрахунок баланса.

Система АСТОЕ об'єкта дослідження №1 в якості технологічної платформи використовує продукт Master Energy, в наступній комплектації:

- базовий модуль, виконує наступні функції: управління обміном з зовнішніми пристроями і системами; управління обчисленнями в реальному часі і обробки вимірювальних, обчислювальних каналів і каналів ручного введення; сховище технологічної інформації, конфігураційних даних і службової інформації; надання інформації користувачам у вигляді вікон відображення інформації і друкованих звітів;

- Master Energy - EP (Electric Power) додатковий компонент продукту, призначений для розширення його базових можливостей, вирішення завдань з технічного обліку електроенергії;

- Master Energy - Communicator є додатковим компонентом продукту Master Energy і призначений для виконання функцій управління потоками даних в багатосерверних варіантах Master Energy та подання консолідованої інформації;
- Master Energy - IO (Input / Output), призначений для побудови проміжного рівня збору інформації про витрату енергоносіїв з лічильників електричної енергії, нормалізацію, буферизування і видачу інформації на верхній рівень. Основні служби АСТОЕ ДВС-1 складається з лічильників електричної енергії типу ЦЕ6805М з інтерфейсним виходом RS-485.

Клас точності лічильників електричної енергії 1,0. Лічильники по мережах 6 кВ та 0,4 кВ об'єднуються в групи по локальній промислової шині RS-485. Вихідні канали лічильників підключаються до пристроєм збору і передачі даних (далі - УСПД), встановленим безпосередньо на підстанціях, рас-пределительних пунктах і т.п.

УСПД є програмований логічний контролер з вбудованими комунікаційними каналами послідовної зв'язку і зв'язку по Ethernet. У УСПД передбачається можливість віддаленого переконфігуруванні даного контролера, а також локальний доступ до накопиченої інформації з можливістю знімання необхідної інформації на проміжний пристрій, з метою подальшого відновлення інформації на вищому рівні, при збоях в каналах зв'язку.

Інформація з УСПД передається на сервер АСТОЕ об'єкта №1, де здійснюється обробка отриманих даних, зберігання і робота з архівними даними. До завдань сервера АСТОЕ об'єкта №1 також входить надання колективного доступу, відповідно до встановлених прав локальним АРМам функціональних фахівців і передачу консолідованої інформації на комунікаційний сервер.

Комунікаційний сервер приймає додаткову інформацію від сервера АСКОЕ, обробляє і систематизує дані, здійснює тривале зберігання консолідованих даних технічного та комерційного обліку електричної енергії всього підприємства, а також надає колективний доступ, відповідно до встановлених прав локальним АРМов.

2.3.2 Особливості процесу автоматизації обліку електроенергії

Згідно з розрахунками, підтвердженими експлуатаційними умовами, впровадження частотно-регульованих систем електроприводу відбувається з окупністю від 2 до 4 років, що постійно зменшується через зростання цін на електроенергію та енергетичні ресурси.

Система АСКОЕ використовує продукт Master Energy як технологічну платформу, включаючи базовий модуль з функціями управління обміном даними та зберіганням технологічної інформації, а також додаткові компоненти для розширення можливостей системи з обліку електроенергії та управління потоками даних.

"АСКОЕ" або "Автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів" має кілька переваг, серед яких можна виділити наступні:

1. Ефективний моніторинг споживання енергії: АСКОЕ дозволяє в реальному часі відстежувати витрати енергії в різних системах та пристроях, що дозволяє здійснювати ефективний контроль за їх використанням.
2. Аналіз та оптимізація споживання: Збираючи дані про споживання енергії, система надає можливість аналізувати цю інформацію та розробляти стратегії для оптимізації використання ресурсів, що дозволяє зменшити витрати та підвищити енергоефективність.
3. Виявлення проблем та витратних місць: АСКОЕ може виявляти потенційні проблеми в системах енергозабезпечення або місця з надмірним споживанням енергії, що дозволяє оперативно реагувати та усувати неполадки.
4. Планування та управління енергетичними ресурсами: Зібрані дані дозволяють розробляти стратегії для ефективного управління енергоресурсами, встановлення цілей з енергоефективності та впровадження заходів для досягнення цих цілей.
5. Зменшення витрат: Оптимізація споживання енергії завдяки АСКОЕ дозволяє підприємствам та організаціям значно зменшити витрати на

енергію, що може значно вплинути на їх економічні показники.

6. Екологічні переваги: Зменшення використання енергоресурсів також веде до зменшення викидів та впливу на довкілля, сприяючи збереженню природних ресурсів та зменшення углецевого сліду.

Ці переваги роблять АСКОЕ важливою та корисною системою для контролю та оптимізації споживання енергоресурсів у різних галузях та організаціях.

УСПД - це програмований логічний контролер із комунікаційними каналами, який передає інформацію на сервер АСТОЕ для обробки та зберігання даних. Комунікаційний сервер приймає дані, обробляє їх та забезпечує доступ до інформації згідно з правами доступу користувачів.

УСПД може бути встановлено в різних галузях, таких як електроенергетика, водопостачання, газопостачання, теплопостачання та інші галузі. Його основна мета - автоматизувати процес збору та передачі даних для подальшого аналізу, контролю та управління системою.

Основні функції УСПД можуть включати:

1. Збір та передача даних: УСПД забезпечує можливість збирати дані з різних джерел, а також передавати їх на центральний сервер або платформу для подальшої обробки.
2. Моніторинг та контроль: Він дозволяє в реальному часі відстежувати стан системи, контролювати споживання ресурсів та інші параметри.
3. Аналіз та звітність: УСПД може аналізувати зібрані дані та генерувати звіти або статистику про використання ресурсів, що може бути корисним для прийняття рішень.
4. Управління: на основі отриманих даних УСПД може автоматично керувати роботою системи, оптимізувати використання ресурсів або навіть автоматично вживати заходів для забезпечення ефективності.
5. УСПД є важливою компонентою для ефективного управління ресурсами та системами та забезпечує автоматизований контроль та управління у різних галузях.

Впровадження системи управління сценаріями функціонування (УСПД)

в різних галузях, включаючи електроенергетику, водопостачання, газопостачання, тепlopостачання та інші, має великий потенціал для оптимізації управління та контролю систем.

Основні функції УСПД, такі як збір та передача даних, моніторинг та контроль, аналіз та звітність, а також можливості управління, дозволяють ефективно використовувати ресурси, моніторити стан системи в реальному часі та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

2.3.3 Характеристика проєкту

Автоматизована система технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) об'єкта дослідження №1 розподілена багаторівнева система (рисунок 2.7-2.8), що забезпечує: централізоване вимір і контроль технологічних параметрів (електрична енергія, потужність і т.д.); формування та видачу оперативних даних персоналу; передачу інформації в систему управління виробництвом.

Запитання рівень води регулюється шляхом контролю подачі насосних агрегатів на станції. Рівень подачі насосних агрегатів залежить від обертання валу двигуна, який функціонує через перетворювач частоти, а також від кількості насосів, що працюють. В даному випадку перетворювач частоти керує лише одним електродвигуном, тоді як інші працюють на номінальній швидкості. Отже, рівень води регулюється шляхом зміни вихідної частоти перетворювача частоти, який постійно регулюється відповідно до поставленої мети. При необхідності збільшення чи зменшення кількості працюючих насосів, конкретний насос відключається від мережі чи перетворювача частоти.

У системі реалізований механізм для формування складних гнучких аналітичних звітів стосовно роботи підприємства, цехів підприємства і окремих агрегатів, включаючи питомі показники.

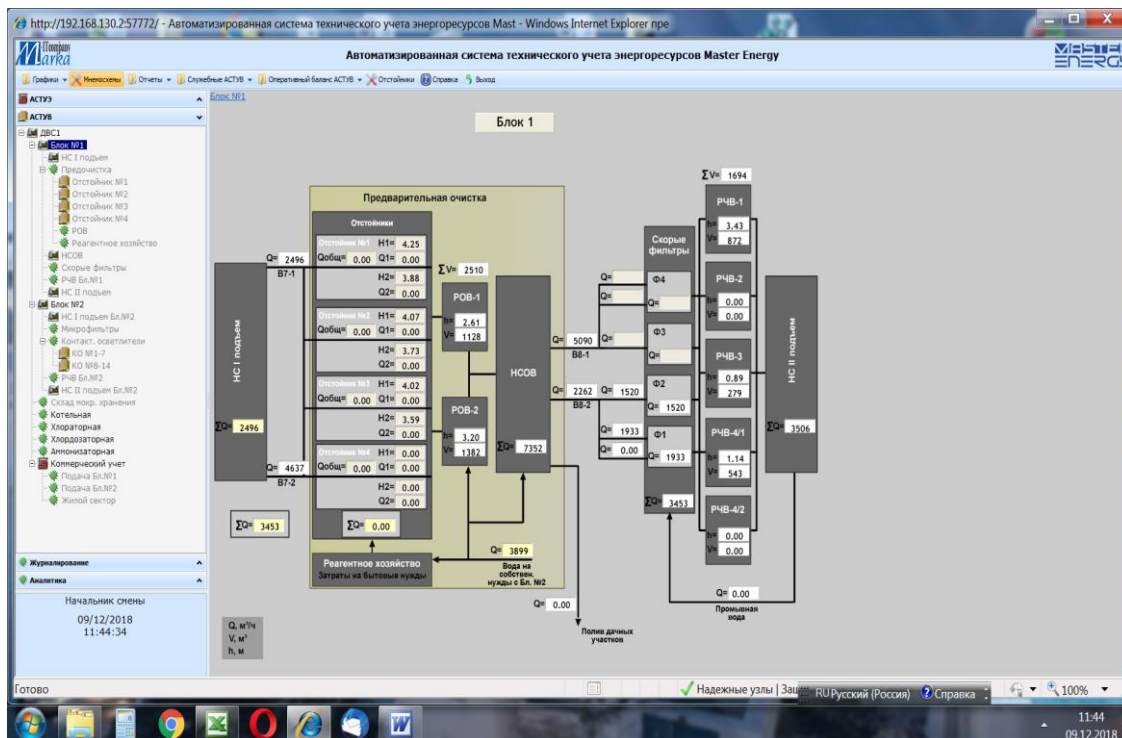


Рис.2.7 – Структурна схема АСТОЕ

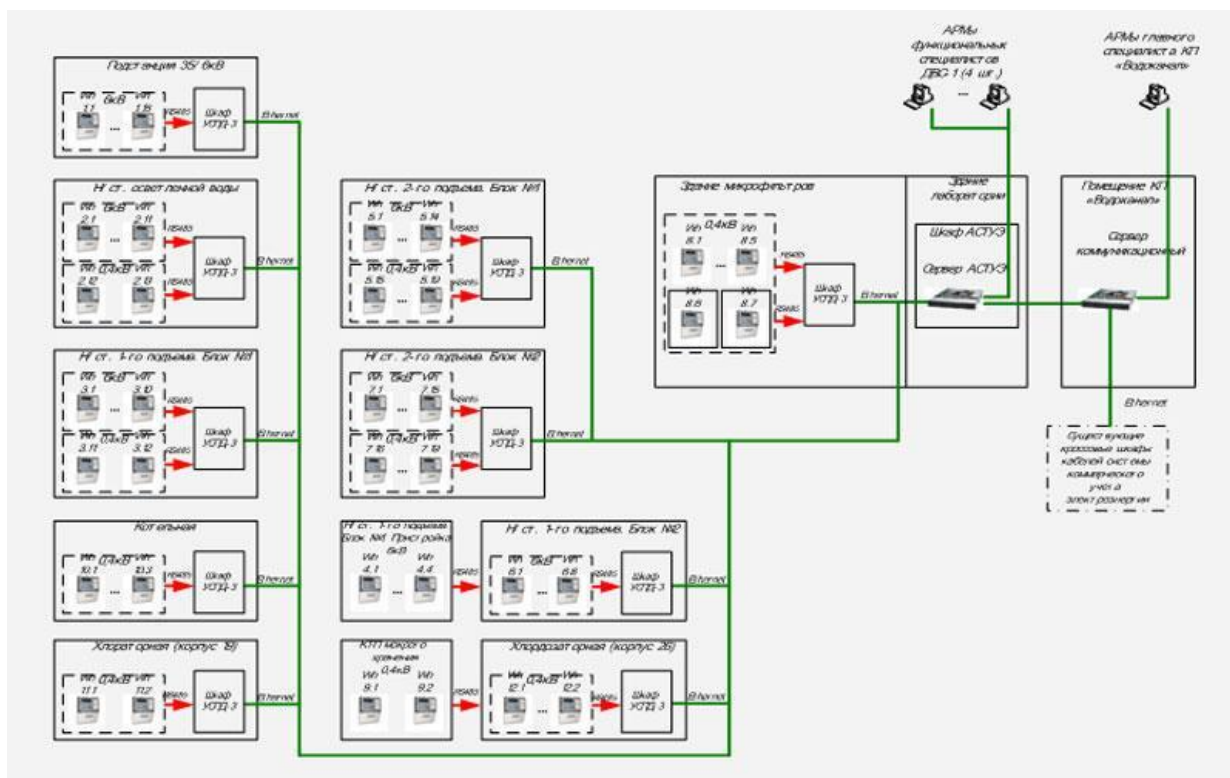


Рис.2.8 – Автоматизована система технічного обліку.

Встановлення перетворювачів частоти (ПЧ) є ефективним з економічної точки зору через зниження витрат на електроенергію. Крім того, ці заходи приносять додаткові позитивні результати: зменшення зношування запірної арматури, оскільки засувки залишаються відкритими протягом більшої частини години; зменшення витрат води через уникнення протікання в мережах завдяки роботі насосів при знижених лещатах; зменшення зношування комутаційного обладнання через переключення за відсутності великих струмів; зменшення зношування механічного обладнання, такого як підшипники та сальники, через плавну зміну обертів та відсутність великих пускових струмів; зменшення ризику аварій за рахунок виключення гідравлічних ударів; зменшення рівня шуму; спрощення подальшої комплексної автоматизації об'єктів водозабезпечення

2.3.3. Аналіз показників енергоефективності

За останній час, зі зростанням тарифів на електроенергію, спостерігається підвищення вартості електроенергії у виробничій собівартості продукції підприємства. Навіть при впровадженні заходів щодо енергозбереження цей тренд залишається незмінним. Додатково, аналіз показує, що зменшення чисельності міського населення не має позитивного впливу на ці показники, а також споживання води.

Розрахунок питомих норм витрат електроенергії стає ефективним інструментом управління процесом енергозбереження. Він дозволяє планувати споживання електроенергії та оцінювати ефективність її використання.

Аналіз показників енергоефективності є ключовим етапом для розробки стратегій енергозбереження та ефективного управління ресурсами, що допомагає зменшити витрати та покращити екологічні показники діяльності підприємства чи організації.

Аналіз показників енергоефективності включає оцінку споживання енергії та ефективного використання ресурсів з метою зменшення витрат та підвищення продуктивності. Для проведення такого аналізу важливо враховувати кілька ключових показників:

- коефіцієнт використання енергії: Це відношення фактично використаної енергії до теоретично доступної чи максимально можливої енергії, високий коефіцієнт використання енергії свідчить про ефективне використання ресурсів;
- енергетична ефективність: цей показник вимірює співвідношення між виробленою продукцією чи послугами та витратами енергії. Зазвичай використовують одиниці виміру, такі як кіловат-години (кВт·год) енергії на одиницю виробленої продукції або послуги;
- витрати на енергію: аналіз обсягів та вартості споживаної енергії дозволяє виявити потенційні джерела енергозбереження та ефективного управління цими витратами;
- енергозбереження: визначення заходів, які можуть зменшити витрати енергії, такі як удосконалення технологій, впровадження енергоефективних приладів чи систем, підвищення свідомості персоналу тощо.

Одним із ключових економічних показників роботи насосної станції є питома витрата електроенергії - співвідношення фактичної кількості електроенергії, витраченої на насоси, до корисної роботи, яку вони виконують протягом того ж періоду. Цей параметр відображає енергоефективність роботи насосної станції та визначає її продуктивність у використанні електроенергії.

2.3.4. Оцінка результатів

Внаслідок послідовного збільшення тарифів на електроенергію, відбувається зростання вартості електроенергії, що впливає на загальні витрати на виробництво продукції підприємства. Навіть за введенням заходів енергозбереження ці показники продовжують зростати. Аналіз свідчить, що зменшення чисельності населення в місті також не призвело до позитивних змін у цих вартісних показниках, подібно до рівня споживання води.

Розрахунок питомих норм витрати електроенергії дозволяє управляти процесом енергозбереження, планувати споживання електроенергії, а так само оцінювати ефективність використання електроенергії.

На насосній станції в 2014 році була проведена реконструкція. Були замінені насосні агрегати Д-3200/75 на два нових насосних агрегати марки SDBH-300/350. Робочі параметри насоса: подача 1200м³/год, напір 75м, КПД 75%, частота обертання робочого колеса 1200 об/хв, Ця група насосів була укомплектована регульованим приводом, що дозволяє регулювати подачу й напір насосних агрегатів до потрібних параметрів не прибігаючи до дроселювання. Регулювання провадитися за рахунок зміни частоти обертання робочого колеса насоса.

Головним економічним показником, що визначає ефективність роботи насосної станції, є питома витрата електроенергії. Цей показник відображає співвідношення між фактичною електроенергією, використаною насосами для виконання корисної роботи, та годинаю, в яку ця робота була виконана. Цей параметр визначає ефективність роботи насосної станції при використанні енергії.

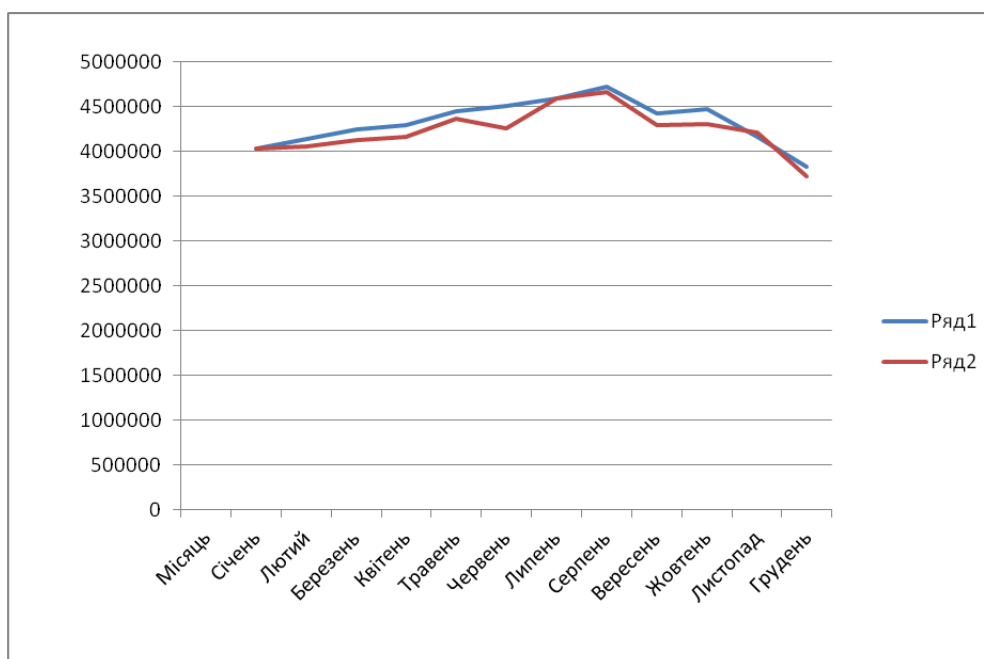


Рис. 2.9 – Використання електропостачання об'єкта дослідження №1 за 2019-2020рр.

Таблиця 2.4 – Енергоспоживання та водопостачання 2019р.

Рік	місяць	Електроспоживання, кВтч	Подача води, тис. м. куб
2019	Січень	4031265	7865215
	Лютий	4140295	7105934
	Березень	4251304	7725649
	Квітень	4296512	7864852
	Травень	4452301	8136259
	Червень	4512697	8465923
	Липень	4595889	8594304
	Серпень	4726222	8882225
	Вересень	4428291	8375767
	Жовтень	4475322	8325366
	Листопад	4160095	7800345
	Грудень	3829690	7700204

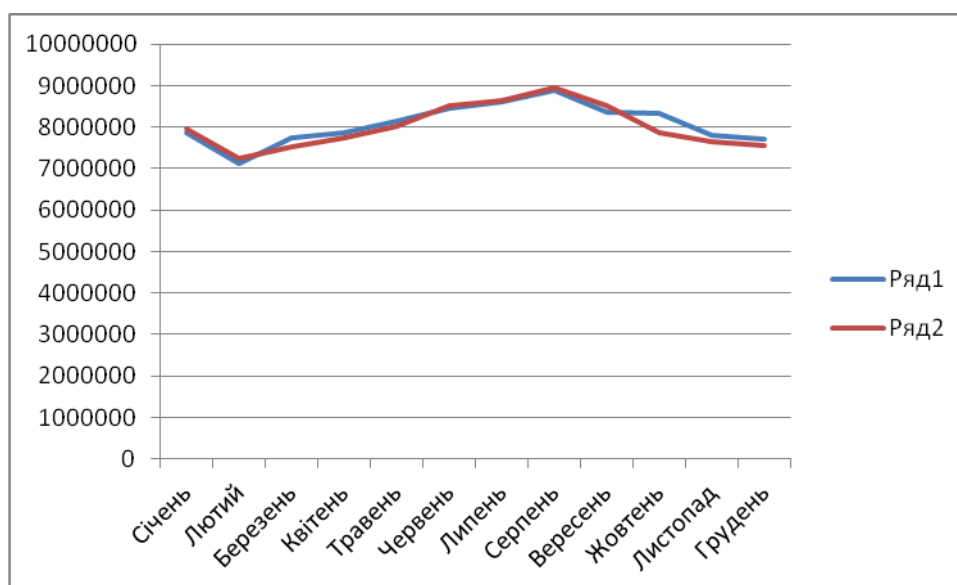


Рис. 2.10 –. Водопостачання води ДВС-1 за 2019-2020рр

Таблиця 2.5– Енергоспоживання і водопостачання 2020р

Рік	місяць	Електроспоживання, кВтч	Подача води, тис. м. куб
2020	Січень	4032156	7963258
	Лютий	3912356	7236548
	Березень	4125630	7521543
	Квітень	4321560	7736215
	Травень	4369521	8013265
	Червень	4365287	8521566
	Липень	4526325	8632456
	Серпень	4865320	8965212
	Вересень	4654231	8524632
	Жовтень	4432658	7856321
	Листопад	4210256	7632150
	Грудень	4132569	7563251

Виходячи із цих даних були побудовані графіки електроспоживання й подачі води див. графік 1 і 2.

Раніше, при проектуванні насосних агрегатів, використовувалися рішення, що передбачали запас на 25–30% щодо продуктивності та тиску. Проте на сьогоднішній день фактичне навантаження значно зменшилося, і багато насосних станцій працюють із навантаженням на 40–50% нижче за проектні показники, які були визначені раніше ,якщо в 2016-2018 роках зниження водоспоживання знижувалося на 5-6% щорічно, то за ці роки зниження водоспоживання склало 50% і 60% відповідно.

Для того що б визначити що зниження електроспоживання відбувається не тільки за рахунок зниження водоспоживання, були проаналізовані дані питомих норм витрати електроенергії й побудований відповідний графік за 2019-2020р.

Таблиця 2.6 – Енергоспоживання і водопостачання 2019р

Рік	місяць	Електроспоживання, кВтч	Подача води, тис. м. куб
2010	Січень	2220462	4728604
	Лютий	2114222	4563736
	Березень	2284601	5100286
	Квітень	2137846	4876141
	Травень	2247162	5256543
	Червень	2438749	5710033
	Липень	2429758	5830270
	Серпень	2636492	6307798
	Вересень	2286821	5489374
	Жовтень	2345318	5410397
	Листопад	2267552	5088509
	Грудень	2288031	5258035

Табл. 2.7 – Енергоспоживання і водопостачання 2020 р.

Рік	місяць	Електроспоживання, кВтч	Подача води, тис. м. куб
2020	Січень	1960485	4276618
	Лютий	1887512	4163341
	Березень	2069085	4627959
	Квітень	1936045	4334306
	Травень	2057972	4767612
	Червень	2251708	5170499

Липень	2230037	5276082
Серпень	2429523	5642797
Вересень	2103217	4939723
Жовтень	2124088	4800368
Листопад	2049161	4460295
Грудень	2069883	4629833

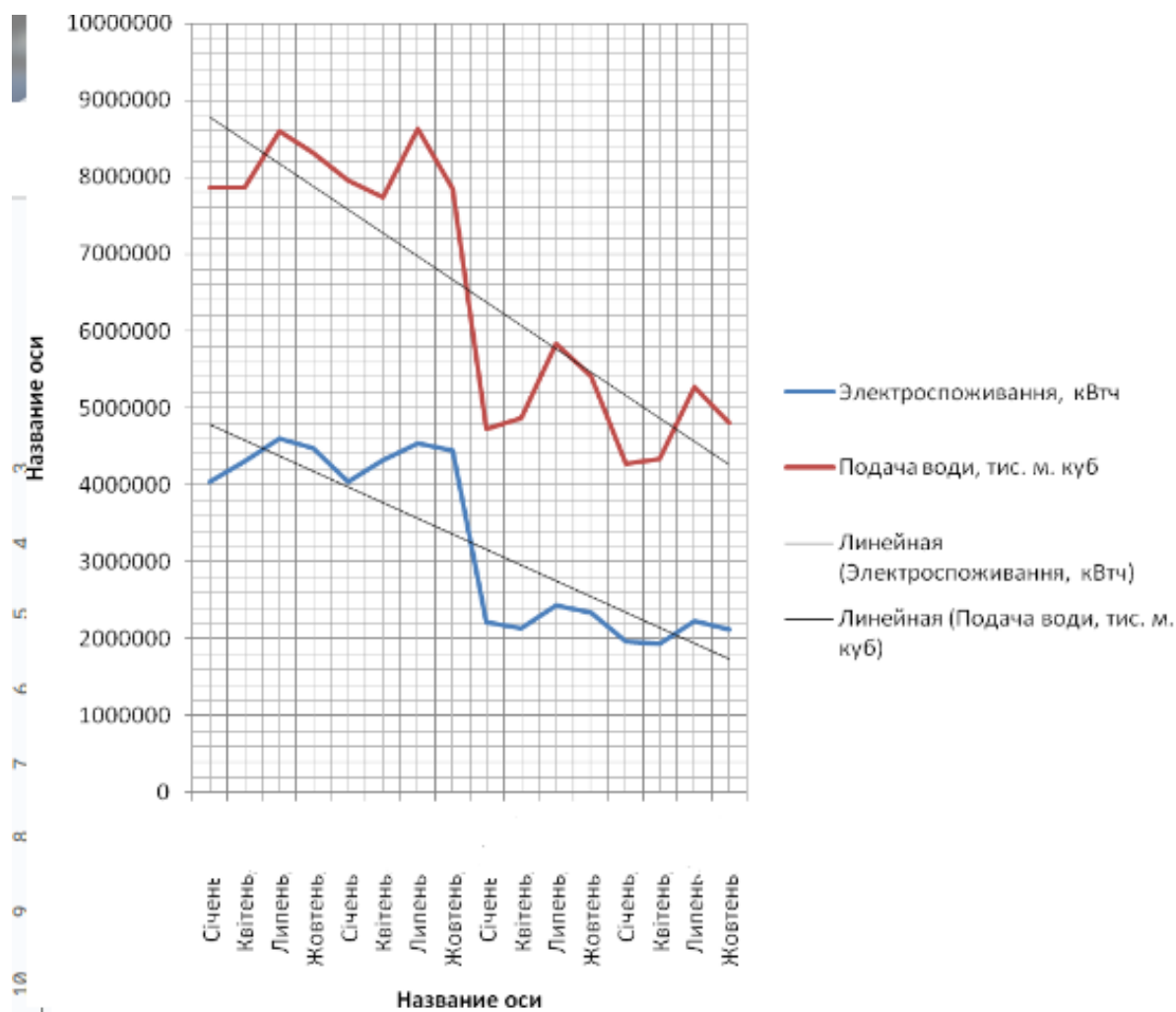


Рис.2.11 – Енергоспоживання і водопостачання 2019–2020 рр.

Запропоновані заходи щодо підвищення ефективності природокористування мають на меті забезпечити стабільну роботу підприємства. Проведене економічне обґрунтування проекту включає модернізацію системи водопостачання шляхом встановлення перетворювачів частоти (ПЧ) на насосні агрегати водопровідних насосних станцій. Ці заходи мають на меті знизити

споживання електроенергії на насосних станціях до технологічного мінімуму та забезпечити підтримання цього мінімуму незалежно від навантаження та впливу сезонних факторів.

Розділ 3. Оптимізація роботи насосної станції третього підйому

3.1 Характеристика об'єкта дослідження №3

Для житлового району міста функціонує насосна станція, що забезпечує водою цей район. Вода поступатиме на станцію через два трубопроводи: один з діаметром 1400 мм, інший - з діаметром 1000 мм. Після прибуття на станцію вода зберігається у резервуарах для чистої води.

Далі, вода з цих двох резервуарів для чистої води перекачується насосами безпосередньо до розподільної мережі. Ця мережа включає трійку трубопроводів з діаметром 1000 мм, які транспортують воду до міської системи. Схему роботи насосної станції можна побачити рисунку 3.1.

Для операцій насосної станції використовують шість насосів.

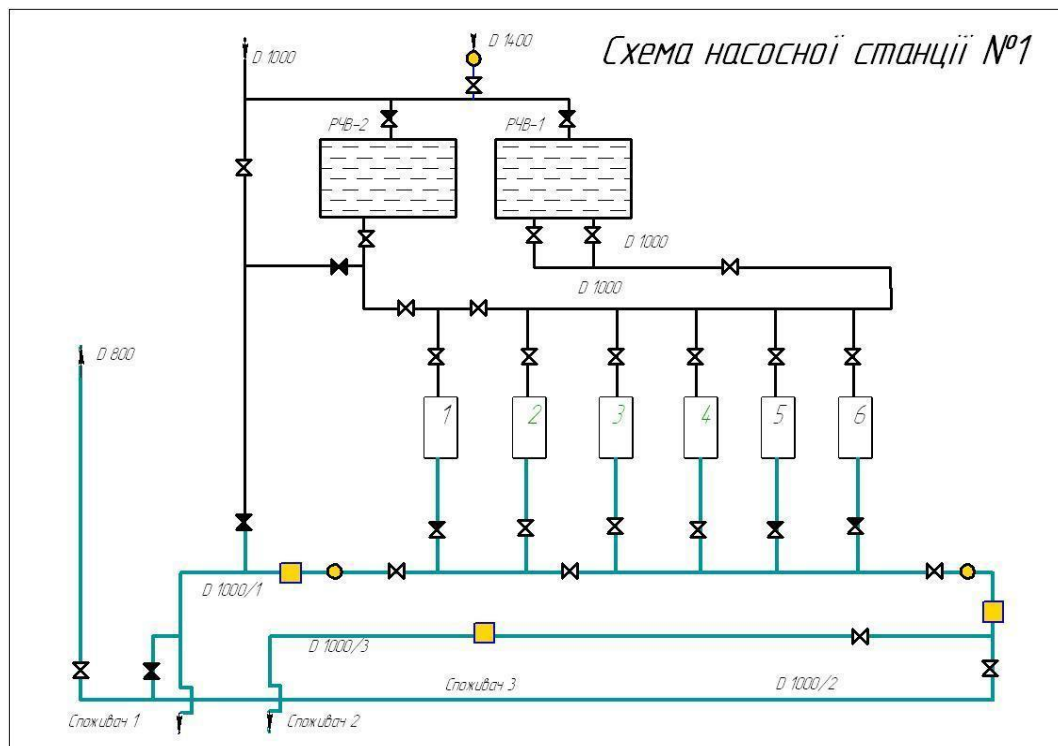


Рис.3.1 – Схема насосної станції

Три з них робочі марки

1.SDA 350/450 , із такими робочими параметрами:

- Подача – 2100 м³/год

- Напір - 50 м
- ККД - 88%
- Частота обертання - 1482 об/хв
- Потужність - 331 кВт

Також три пожежних насоси марки Д 3200/75 і марки Д 4000/95.

2. Робочі параметри насоса Д 3200/75:

- Подача – 2500 м³/год
- Напір - 40 м
- ККД - 88%
- Частота обертання - 730 об/хв
- Потужність – 350 кВт

3. Робочі параметри насоса Д 4000/95:

- Подача – 3200м³/год
- Напір - 50 м
- ККД -88%
- Частота обертання – 730об/хв
- Потужність – 50 кВт.

На насосній станції керування робочим режимом насосів здійснюється шляхом зміни частоти обертання одного з насосів за допомогою перетворювача частоти. Вимір витрати води, яка подається до міської мережі холодного водопостачання, здійснюється за допомогою трьох встановлених витратомірів на напірних водоводах. Крім того, на входах та виході насосної станції розміщені манометри.

Режим роботи насосної станції має значний вплив на основу змін у режимах використання води.

3.2 Оптимізація денного режиму роботи насосів

Режим водоспоживання характеризується добовим графіком водоспоживання (рис. 3.2)

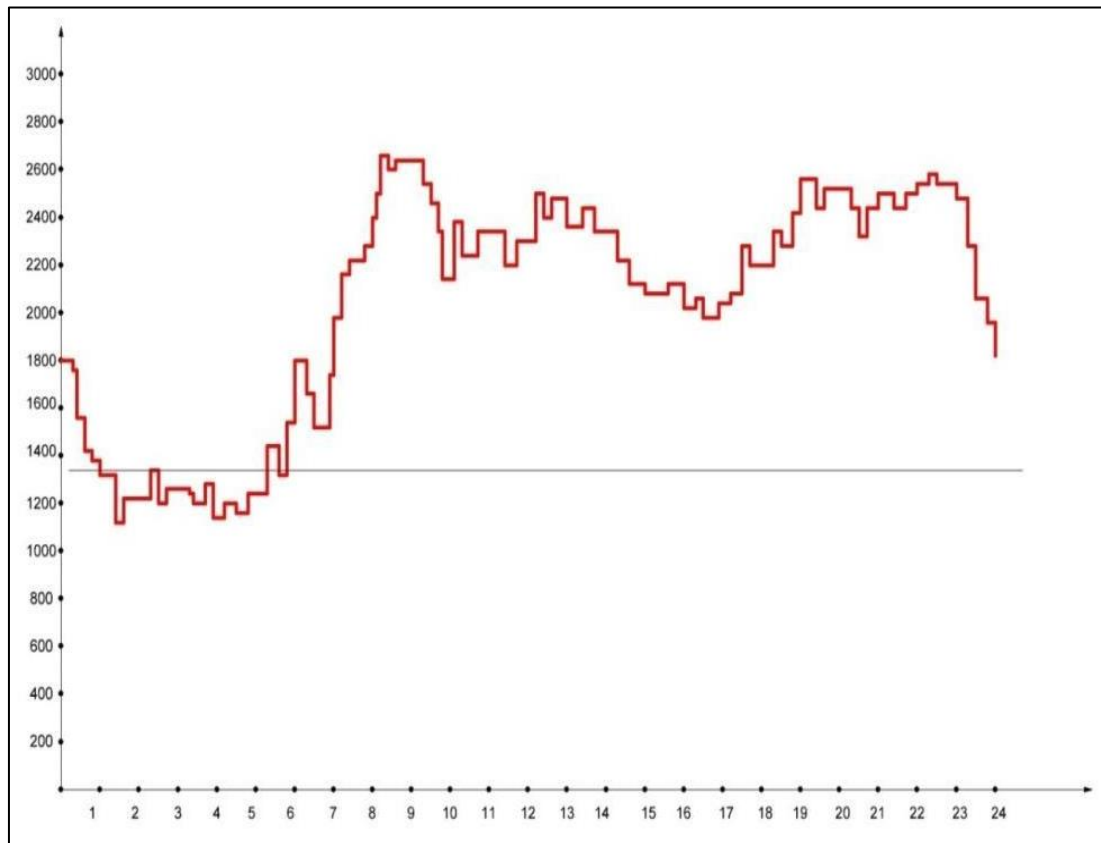


Рис.3.2 – Режим водоспоживання

На насосній станції функціонує два режими – денний та нічний. Під час періодів підвищеного водоспоживання, що припадають на день, перекачування рідини здійснюється трьома насосами. У нічний період, коли водоспоживання різко зменшується, один із насосів відключається, і позбавляються в роботі лише два насоси, які забезпечують необхідний обсяг рідини.

Графік роботи насосів можна побачити на рисунку 3.3. Узгодження між обсягом споживання води та обсягом подачі здійснюється за допомогою зміни частоти обертання робочих коліс насосів за допомогою регульованого електроприводу.

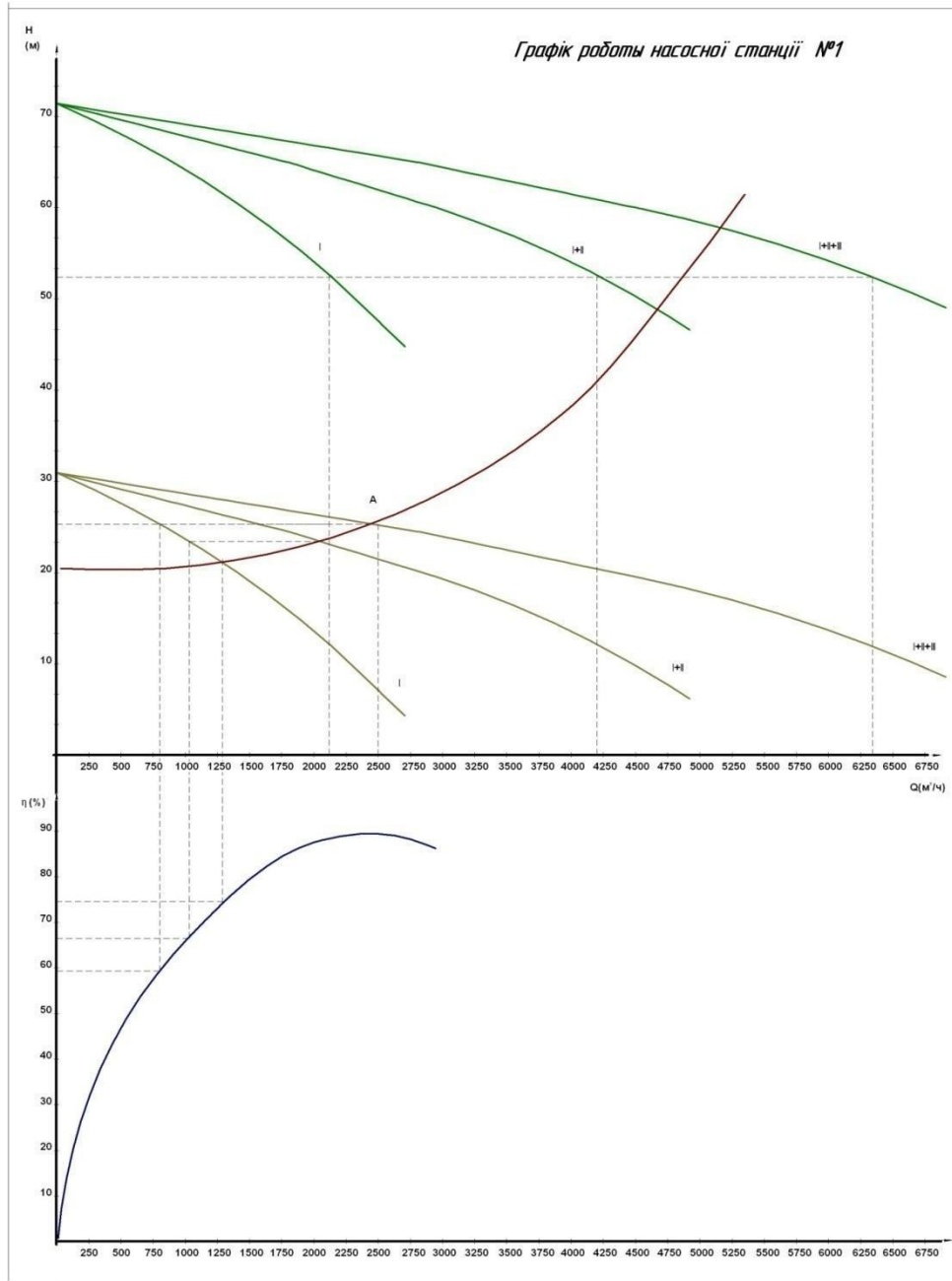


Рис3.3– Графік роботи насосної станції

На практиці оптимальна ефективність роботи насосів досягається, коли подача та напір відповідають максимальному значенню коефіцієнта корисної дії (ККД). Однак, можуть відбуватися деякі відхилення у параметрах насосів, які не повинні виходити за межі рекомендованих значень. В іншому випадку, насоси працюють неефективно, може виникнути перевантаження агрегату та виникнення проблем, таких як кавітація чи помпаж.

Тому основним критерієм є саме коефіцієнт корисної дії насосів. Зміна частоти обертання впливає на подачу, напір та ККД насоса. При використанні

регулювання частоти обертання, можливі зміни цих параметрів, але перерахунок характеристик на іншу частоту може бути виконаний за допомогою формул перерахунку, заснованих на класичній теорії гідромашин.

На графіку 3 видно, що при спільній роботі трьох насосів у денному режимі ККД становить 59%. Однак, ця цифра не враховує глибоке регулювання насосного агрегату.

На практиці встановлено, що зниження ККД насосів значною мірою залежить від глибини діапазону регулювання подачі, тобто співвідношення обертання насоса до його максимально можливого обертання. При невеликій глибині регулювання зниження ККД складає від 2 до 4%. Однак, при збільшенні діапазону регулювання, зниження ККД також зростає.

Для розрахунку ККД працюючих насосів за формулою Муді, перерахованої для насосів, використовуваної за певної частоти обертання.

Формула Муді:

$$\frac{1 - \eta^2}{1 - \eta^1} \frac{1 - \eta^2}{1 - \eta^1} = \left(\frac{D_1^2 n_1}{D_2^2 n_2} \right) \left(\frac{D_1^2 n_1}{D_2^2 n_2} \right)^2 \quad (3.1)$$

де η_2 , n_2 , D_2 – ККД, частота обертання й діаметр робочого колеса насоса;

η_1 , n_1 , D_1 – ККД, частота обертання й діаметр геометрично подібного насоса. η_1 – ККД насоса,

$D_1 = D_2 = 456$ мм – діаметр робочого колеса,

$n_1 = 1482$ об/хв – номінальна частота обертання

$$\eta^2 = 1 - \eta^1 * \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\eta_2 \eta_2 = 1 - 0,41 * (1482/948)^2 = 1 - 0,97 = 0,03 = 3\%.$$

На даний момент важливо визначити оптимальний режим роботи насосної станції, оскільки підвищені значення КПД насосів можуть бути недопустимими та можуть вказувати на неправильну роботу агрегатів. Це може призвести до серйозних проблем, включаючи вихід з ладу обладнання.

Один із можливих шляхів вирішення цієї ситуації - відключення одного з насосів. Давайте спробуємо розрахувати оптимальну роботу двох насосів у денному режимі роботи з урахуванням незмінних характеристик мережі.

Визначимо частоту обертання по формулах приведення:

$$Q_1=2100\text{м}^3/\text{год}$$

$$n_1=1482\text{об/хв}$$

$$Q_2=1600\text{м}^3/\text{год}$$

$$n_2=\frac{1482 \cdot 1600}{2100} = 1130\text{про/хв}$$

Із графіка спільної роботи (см. Графік. 3.1) визначимо ККД роботи кожного насоса. ККД кожного насоса дорівнює 73%.

Порахуємо ККД із урахуванням регулювання по формулі Муді:

$$\eta=1-0,27 \cdot (1482/1130)=1-0,45=0,55=55\%.$$

Такий ККД є припустимим для насосів, які експлуатуються на питній воді.

3.3. Оптимізація нічного режиму роботи насосів

Проведемо розрахунок для нічного режиму роботи насосної станції, де працюють лише два насоси. Оскільки у цей період споживання води зменшується, використовуються менше насосів для перекачування рідини. Нам необхідно зрозуміти, яким чином ці два насоси повинні працювати в умовах нічного режиму, враховуючи характеристики мережі.

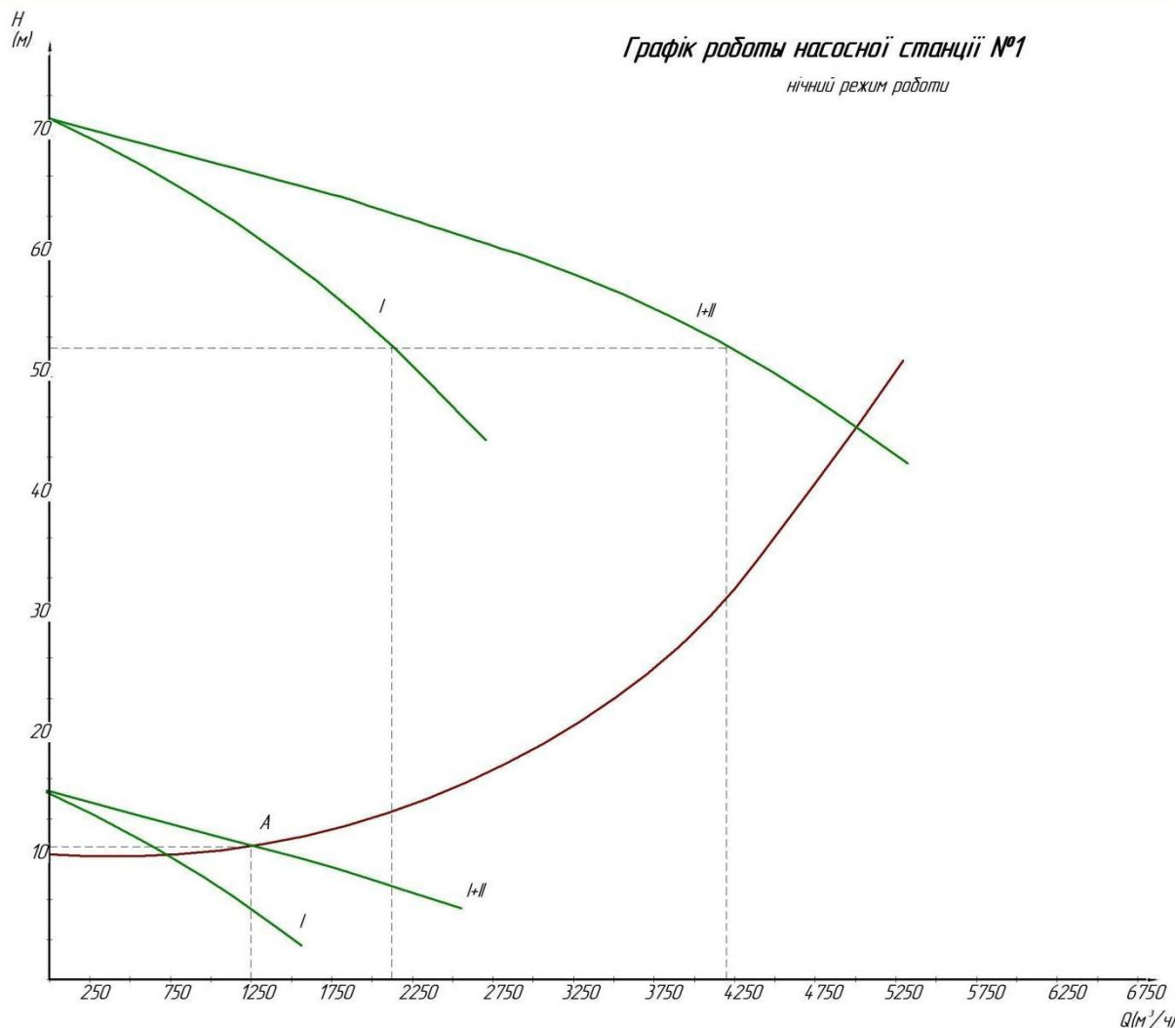


Рис. 3.4 – Графік нічного режиму роботи

Вибір частоти обертання для роботи насосного агрегату за допомогою частотно-регульованого приводу є важливим для підтримки ефективності та безпеки електродвигунів. Отже, відповідно до вітчизняного та закордонного досвіду застосування частотно-регульованих приводів (ЧРП), щоб запобігти перегріву електродвигунів приводу через погіршення якості струму, прийнято допускати зниження обертання робочого колеса насоса не більше ніж вдвічі щодо його номінального значення. Таким чином, максимальне допустиме зниження обертання робочого колеса насоса складає 50% від номінального значення, щоб уникнути перегріву електродвигунів приводу. Тобто приймається

В нашому випадку $i_{\text{тек}} / n_{\text{ном}} \geq 0.5$

$$\eta_{тек}/\eta_{ном}=640/1482=0,4$$

Щоб уникнути надмірного зношення та можливих аварійних ситуацій через вихід насосів за межі робочої зони, цілком доцільним може бути встановлення насоса, чії параметри відповідають нічному режиму роботи насосної станції. Це може включати в себе встановлення насоса, який оптимально працює при зниженому водоспоживанні, тобто здатного ефективно функціонувати за низьких вимог до напору та потоку.

Такий насос буде відповідати умовам нічного періоду, коли зменшене водоспоживання не потребує роботи всієї кількості насосів. Цей підбір обладнання дозволить оптимізувати роботу системи та уникнути перевищення режиму роботи насосів.

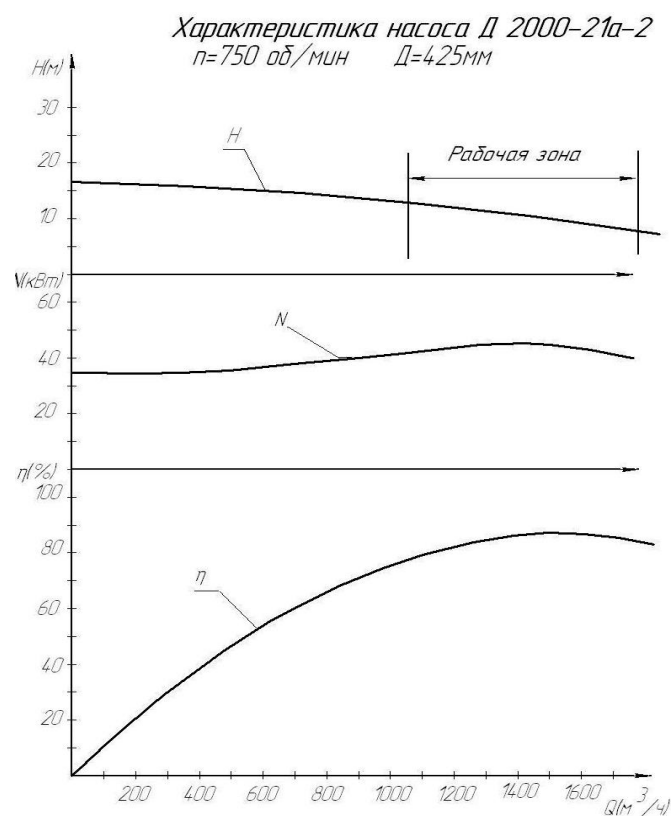


Рис 3.5 – Графік характеристики насососу Д 2000-21а-2.

Для прикладу вибрано насос марки Д 2000-21а-2 з такими робочими характеристиками:

- Подача 1500м³/год
- Напір 10м
- Частота обертання 750 об/хв
- Потужність 45кВт

Графічні характеристики представлені на рисунку 3.5.

Насос може працювати при нічному режимі з високим КПД, а при переході в денний режим він відключається, можна розглянути використання дросельних затворів для регулювання подачі води. Однак, варто врахувати, що під час використання дроселів можуть виникати додаткові втрати енергії через теплові втрати в робочому режимі. Це може призвести до погіршення техніко-економічних показників системи.

За умов, що тиск, поданий на насосну станцію, перевищує потрібний тиск для подачі води споживачам у нічний час, можливе вирішення проблеми шляхом встановлення регулятора тиску. Цей пристрій може регулювати тиск та підтримувати його на оптимальному рівні для водопостачання в умовах нічного режиму роботи. Таке рішення дозволить ефективно керувати тиском у системі та забезпечити оптимальні умови для подачі води споживачам.

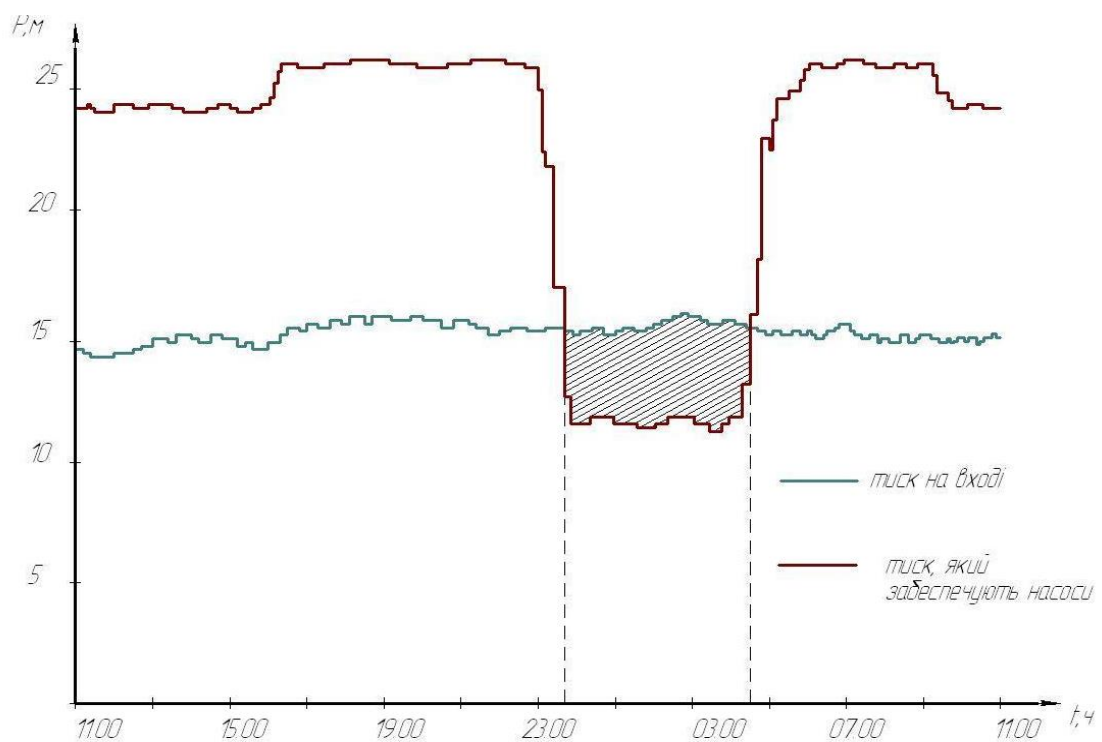


Рис.3.6– Добовий графік зміни тиску на насосній станції №1

Тому вважаю за можливе на цей період часу, а саме із 23.30 до 04.30 ранку, відключати всі насосні агрегати. При цьому транспортувати воду по трубопроводу в обхід насосних агрегатів. Це дозволить значно скоротити витрату електроенергії. П'ята година в добу насосна станція буде споживати електроенергію в основному на господарсько-побутові потреби. До того ж насосні агрегати не будуть працювати в небезпечних режимах, що дозволить продовжити їхній термін служби. Все це дозволить знизити собівартість води.

Переваги:

1. Зменшення витрат електроенергії: Цей підхід дійсно допоможе зменшити витрати електроенергії, оскільки агрегати не працюватимуть у цей період.
2. Збільшення терміну служби насосних агрегатів: Відсутність роботи протягом цього періоду може сприяти збереженню ресурсів насосів та продовжити їх термін служби.
3. Економія на собівартості води: Зменшення енерговитрат впливає на собівартість виробництва води, що може вплинути на кінцеву ціну для споживачів.

ВИСНОВКИ

Насосні станції у сучасних системах водопостачання є ключовим елементом. Вони забезпечують передачу енергії для підвищення рідини на велику висоту або для транспортування її на великі відстані. Насосні станції складаються зі складних споруд та обладнання. Вибір оптимальних техніко-економічних параметрів визначає надійність та ефективність системи водопостачання.

Після оцінки різних методів регулювання насосних агрегатів, можна зробити висновок, що найбільш перспективним є використання частотного регулювання. Воно є найефективнішим, оскільки зберігає матеріальний та енергетичний баланс системи, підтримує високий коефіцієнт корисної дії при зміні обертання, та зменшує споживану потужність пропорційно третьому ступені швидкості обертання. Це призводить до економії рідини, зменшення експлуатаційних витрат, покращення якості виробництва та забезпечення надійної та економічної роботи групи насосних агрегатів.

Модернізація насосних станцій 2-го та 3-го підйому призвела до підвищення енергетичної та економічної ефективності їх експлуатації. Застосування регульованого електроприводу дозволило економити енергію та зменшити витікання води за рахунок стабілізації тиску в мережі. Це також сприяло якісним змінам у регулюванні технологічних та енергетичних режимів системи водопостачання.

Автоматизована система технічного обліку електроенергії була створена для збору та передачі на диспетчерський пункт інформації про стан обладнання, витрати електроенергії та підвищення терміну функціонування основного насосного обладнання. Це дозволяє оптимізувати режими електроспоживання та покращити роботу обладнання.

Економічне обґрунтування проекту модернізації системи водопостачання за допомогою встановлення перетворювачів частоти на насосні агрегати включало вибір необхідного обладнання та розрахунки параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна. Це допоможе значно знизити споживання електроенергії

на насосних станціях та забезпечити стабільну роботу незалежно від навантаження та сезонних факторів.

Загальний висновок полягає в тому, що насосні станції у системах водопостачання відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного функціонування. Використання частотного регулювання виявляється найбільш перспективним способом регулювання насосних агрегатів через його економічні переваги, збереження балансу енергії та матеріалів, зменшення споживання електроенергії та підвищення надійності роботи системи.

Модернізація насосних станцій призвела до позитивних змін, включаючи підвищення ефективності використання енергії та зниження витрат води завдяки застосуванню нових технологій управління. Автоматизована система обліку електроенергії сприяє оптимізації електроспоживання та підвищенню продуктивності обладнання, а також забезпечує більш детальну інформацію щодо стану обладнання та його експлуатації.

Використання передових технологій та автоматизованих систем управління дозволяє значно підвищити ефективність, енергоефективність та надійність роботи насосних станцій у водопостачальних системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водопостачання та водовідведення Мацієвська О.О. Львівська Політехніка, 2015. 144стр.
2. Проектування систем автоматизації Трегуб В.Г Ліра-К 2019 344стр
3. Матвієнко М.П. Основи електротехніки Ліра-К 2021 360стр
4. Насоси і насосні установки Срібнюк С.М. ЦУЛ 2019 312стр
5. Грабко, В. В. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М.М.Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с. ISBN 978-966-641-425-3
6. АТ «Сумський завод «Насосенергомаш» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nemrpump.com>
7. Гриценко К. Г. Спосіб вирішення задачі реконструкції електроприводів насосів насосної станції з використанням імітаційної моделі / К. Г. Гриценко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 2(9). С. 10–16
8. Левченко О.В. к.т.н. НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна Підвищення ефективності роботи системи гідропривода циклічної.
9. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) для студентів ЗДІА спеціальності «Водопостачання та водовідведення» денної та заочної форми навчання / Г.Б. Кожемякін. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 25 с.
10. Регламент КП «Водоканал» м. Запоріжжя.
11. Насосні станції другого підйому[Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://tsdservice.com.ua/our-products/188-nasosni-stantsiyi-druhoho-pidyomu-suna-vns.html>
12. Енерго- та ресурсоефективні установки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48123/1/Ustanovky.pdf>

13. Насосні та повітродувні станції [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://eprints.kname.edu.ua/59592/1/2021_ПЕЧ_68Л_НПС_ГБтаВТ_2021.pdf
14. Насоси. Насоні агрегати. Насосне обладнання. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.plasma.com.ua/ua/pump/index.html>
15. Що таке електропривід [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/electricdrive.php>
16. Мошноріз М. М. Розробка математичних моделей та пристроїв для оптимізації керування насосною станцією: дис. ... магістра технічних наук : 8.092203 / Мошноріз Микола Миколайович. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 100 с.
17. Михайлюта С.Л. Методи та засоби вдосконалення обчислювального пристрою систем керування об'єктів з асинхронними машинами. Вісник ЧДТУ.2005.№4.С.113–116.
18. Визначення розрахункових витрат води для потреб міста [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/3097/pz.pdf
19. Губарев А.П., Козинец Д.А. Левченко О.В. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». №3, 2004.

Україна
Міністерство освіти і науки
Національний центр оцінки якості освіти

як Людмила Іванівна автор(и) роботи про форму
забуття мови, особливої 192 English in school course

названий програми English in school
адреса електронної пошти ludmila.i.vanina@gmail.com

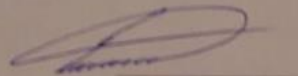
- підтверджую, що виконана мною кваліфікаційна робота на тему:

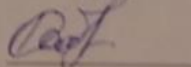
Оцінювачі роботи наслідки свідчі за критерієм перспективності

відповідає вимогам академічної доброчесності та не містить порушень, що визначені у ст. 42 Закону України «Про освіту», зі змістом яких ознайомлений(на);

- заявляю, що надана мною для перевірки електронна версія роботи є ідентичною її друкованій версії;

- згоден(на) на перевірку моєї роботи на відповідність критеріям академічної доброчесності у будь-який спосіб, у тому числі за допомогою інтернет-системи, а також на архівування моєї роботи в базі даних цієї системи.


Підпис


Підпис

Лисенко Є.І.
П.І.П. заступник

Сарвановська О.І.
П.І.П. керівник

ВІДГУК
керівника кваліфікаційної роботи (проєкту)
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «**ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ЗА**
КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ» здобувачем
групи 8.1922-ВВ-Д
Лисенко Єгором Івановичем

Представлена кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці та аналізу ефективності заходів з оптимізації роботи насосної станції за критерієм енергоефективності. Відбудова та реконструкція критичної інфраструктури постраждалих під час воєнних дій населених пунктів має велике значення з точки зору підвищення енергоефективності з численних причин. Тому є актуальним розробка та впровадження енергоощадних режимів роботи насосного обладнання, що дозволяє усунути втрати води, це не лише заощаджує воду, але й зменшує потребу у додатковому використанні енергії для підтримки тиску в системі через втрати. Це зменшує надмірне споживання енергії, необхідної для забезпечення роботи системи.

Виконана кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленому завданню.

Автором представлена застосована ефективна методика аналізу енергоефективності заходів таких як модернізація насосного обладнання з використанням частотного регулювання, впровадження автоматизованої системи технічного обліку електроенергії, застосування енергоефективних режимів роботи насосного обладнання третього підйому, в роботі проаналізовані гідравлічні та енергетичні показники роботи з урахуванням зазначених заходів, розроблені рекомендації стосовно забезпечення оптимальних режимів експлуатації насосного обладнання.

Виконання кваліфікаційної роботи відображає застосування здобувачем отриманих знань у галузі наукових досліджень та розвиток вмінь і навичок для самостійного виконання наукової роботи. Це включає здатність проводити критичний аналіз сучасного стану питань, презентувати результати науково-

дослідної діяльності, готувати наукові публікації та брати участь у наукових конференціях.

Матеріал в основних розділах викладено послідовно з наданням необхідної аргументації, а всі структурні елементи кваліфікаційної роботи логічно пов'язані між собою, висновки відповідають поставленим завданням.

У ході виконання роботи автор продемонстрував здатність самостійно вирішувати поставлені завдання. В роботі відсутні елементи запозичення чужих матеріалів, аналіз літературних джерел представлено з відповідними посиланнями, що виключає можливість виявлення плагіату чи компіляції.

Якість підготовки здобувача вищої освіти Лисенко Є.І. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 Архітектура та будівництво, що дає можливість присвоєння йому кваліфікації магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату (компіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору, Лисенко Єгору Івановичу може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS

(відмінно)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кандидат технічних наук, доцент



В.О. Савін

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «Оптимізація роботи насосної станції за критерієм
енергоефективності»
здобувачем групи 8.1922-вв-д
Лисенко Єгором Івановичем

Актуальність дослідження. Актуальність вивчення питання щодо оптимізації роботи насосних станцій та розробки рекомендації стосовно забезпечення оптимальних режимів їх роботи стає очевидною в контексті відбудови зруйнованої критичної інфраструктури міст. Система водопостачання повинна відповідати високому рівню надійності для забезпечення споживачів водою без неприпустимого зниження встановлених показників щодо кількості або якості води. Таким чином, розробка та впровадження енергоефективних режимів роботи насосного обладнання визначається як одне з найбільш відповідальних завдань під час відбудови та модернізації критичної інфраструктури.

Обґрунтованості висновків та пропозицій. Кваліфікаційна робота представлена на достатньо високому рівні, з вивченням обраної проблеми, враховуючи її різні аспекти. У роботі використані загальнонаукові методи дослідження, і вона має елементи наукової новизни. Висновки є обґрунтованими та логічно послідовними.

Використання наукових методів дослідження. Під час виконання роботи були аналізовані наукові публікації вітчизняних та закордонних фахівців, що оприлюднюються у наукових журналах, збірках тез доповідей науково-практичних конференцій, а також на інтернет-ресурсах.

Вміння студента чітко, грамотно та аргументовано викладати матеріал, правильно оформлювати його. Кваліфікаційна робота має свою систематизацію, а тема досліджена в повному обсязі, з взаємопов'язаними розділами та використанням інформаційно-комп'ютерних технологій. Матеріал відрізняється чіткістю, а оформлення відповідає стандартам технічної грамотності.

Участі студента у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Магістрант Лисенко Єгор Іванович активно брав участь у проведенні досліджень та здійсненні теоретичного та аналітичного аналізу отриманих результатів своєї кваліфікаційної роботи. Розроблені в ній науково-практичні рішення мають відповідне обґрунтування, відповідають поставленим завданням, мають аргументацію, що свідчить про ефективність використаних методик.

Якість виконання. Кваліфікаційна робота виконана у систематичному порядку, всі розділи мають логічні взаємозв'язки та підкріплені обґрунтованим матеріалом. Кожен розділ чітко визначає свої завдання та сприяє досягненню загальної мети. Висновки викладені послідовно та обґрунтовано, відображаючи основні результати, отримані під час виконання даної кваліфікаційної роботи.

Не виявлення (виявлення) в роботі елементів плагіату та компіляції.
Елементи плагіату та компіляції у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Можливості впровадження результатів роботи. Результати роботи мають практичне значення, запропоновані заходи можуть бути використані інженерами-будівельниками під час реконструкції та відбудови критичної інфраструктури. За темою роботи опубліковані тези доповіді на міжнародній науково-практичній конференції.

Недоліки роботи. Бажано було б детальніше розглянути розрахунки економічних показників за більш тривалий період. В цілому зауваження суттєво не впливає на загальну якість виконання кваліфікаційної роботи.

Оцінки кваліфікаційної роботи та можливості присвоєння здобувачу вищої освіти відповідної кваліфікації. Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня вищої освіти Лисенко Єгору Івановичу на тему: «Оптимізація роботи насосної станції за критерієм енергоефективності» за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Водопостачання та водовідведення».

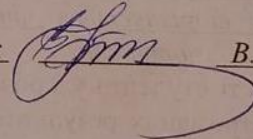
Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні та заслуговує оцінки «відмінно».

Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору Лисенко Єгору Івановичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кількість балів за шкалою ECTS 97/4/ відмінно

Рецензент кваліфікаційної роботи
професор кафедри промислового
та цивільного будівництва, докт. техн. наук



В. А. Банах