

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності електроспоживання насосної станції
ДВС-1 КП «Водоканал»

Виконав: студент 5 курсу, групи 6.1418-з
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Науменко Р.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., доц. Коваленко В.Л.

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

Рецензент Артемчук В.В.

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

Запоріжжя
2023

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

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М. _____
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ


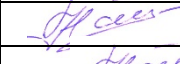
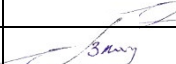

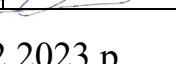

Завідувач кафедри
д.т.н., доц. Зиму В.Л. Коваленко
« 23 » 05 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Науменку Роману Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Підвищення ефективності електроспоживання насосної станції ДВС-1 КП «Водоканал»
керівник роботи Коваленко Віктор Леонідович, д.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 29 » грудня 2022 року № 1894 - с
- 2 Строк подання студентом роботи 16 травня 2022 р.
- 3 Вихідні дані до роботи: енергоспоживання насосної станції першого підйому ДВС №2; добовий графік подачі води насосною станцією першого підйому ДВС №2; з 24:00 години до 6:00 ранку – це період мінімального водоспоживання (приблизне споживання 830 м³/год), а період з 8:00 годинку ранку – пікове споживання води (приблизне споживання 1700 м³/год).
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Сучасний стан та перспективи розвитку насосних станцій 2) Аналіз ефективності споживання енергоресурсів насосною станцією 3) Розрахунок заходів зі зменшення електроспоживання
- 5 Перелік графічного матеріалу 1) Аналіз електроспоживання насосної станції 2) Схема однолінійна 3) Схема технологічна 4) Запропоновані заходи підвищення ефективності електроспоживання 5) План розміщення обладнання після модернізації 6) Техніко-економічні показники підвищення впровадження заходів

6 Консультанти розділів роботи

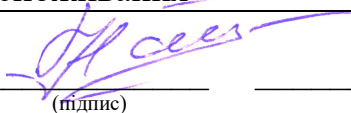
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		
Розділ 2	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		
Розділ 3	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.02.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасний стан та перспективи розвитку насосних станцій	01.03.2023	
2	Аналіз ефективності споживання енергоресурсів насосною станцією 3)	01.04.2023	
3	Розрахунок заходів зі зменшення електроспоживання	10.05.2023	

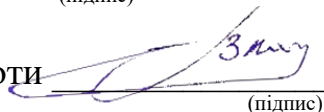
Студент


(підпис)

Р.В. Науменко

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

В.Л. Коваленко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 72 с., 15 рисунків, 11 таблиць, 34 джерела, 2 додатки.

У даній роботі розглянуто ефективність роботи і електроспоживання насосної станції комунального підприємства «Водоканал» міста Запоріжжя. За результатами енергетичного обстеження і встановлення режимів роботи насосних агрегатів з нерегульованою системою керування пропонується виконати модернізацію, замінивши некеровані електродвигуни на нові енергоефективні з частотними перетворювачами, та виконати додаткові технічні заходи, які спрямовані на зменшення споживання електроенергії. Параметричне керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором при зміні частоти напруги, що живить дозволяє одержати зниження втрат електроенергії в електроприводах насосних агрегатів. В основній частині роботи проводиться порівняльний аналіз ефективності споживання електроенергії без регулювання напруги, що живить електроприводи насосів і можливе зниження споживання електроенергії з регулюванням напруги, обґрунтування й опис енергозберігаючих заходів.

НАСОС, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ТРАНСФОРМАТОР,
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, СИСТЕМА
ВОДОПОСТАЧАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, КОЕФІЦІЄНТ
ПОТУЖНОСТІ, ЧАСТОТА

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Сучасний стан та перспективи розвитку насосних станцій	9
1.1 Характеристика насосних станцій	9
1.2 Впровадження перетворювачів частоти	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Заміна трансформаторів і встановлення компенсуючої установки	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Економія електроенергії на насосних станціях.....	24
1.5 Пристрій плавного пуску електродвигунів.....	35
2 Аналіз ефективності споживання енергоресурсів насосною станцією .	37
2.1 Аналіз споживання енергоресурсів насосною станцією	37
2.2 Характеристика обладнання об'єкта дослідження.....	40
3 Розрахунок заходів зі зменшення електроспоживання.....	50
3.1 Вибір насосних агрегатів	50
3.2 Розрахунок питомих норм споживання електроенергії.....	53
3.3 Розрахунок і вибір трансформаторів	55
3.4 Розрахунок компенсуючої установки	57
3.5 Розрахунок втрат в системі живлення	59
3.6 Основні економічні показники проекту	62
Висновки	66
Перелік посилань.....	61
Додатки.....	70

ВСТУП

В економіці України енергозбереження та енергозберігаючі технології є пріоритетними при впровадженні їх у виробництво. Підвищення цін на паливо, воду, електроенергію вимагають перегляду підходів до проектування і експлуатації устаткування насосних станцій.

Житлово-комунальне господарство – галузь, що забезпечує життя і роботу населення всієї країни в нормальних умовах, а також забезпечує сфери народного господарства ресурсами води, газу, тепла й іншими. Серед багатьох галузей, спрямованих на підвищення рівня життя людей, благоустрою міст і розвитку промисловості, водопостачання займає пріоритетне місце і вирішує ряд соціальних проблем населення. Забезпечення водою споживачів – основний напрямок діяльності комунальних підприємств.

У зв'язку з ненормованою витратою енергоресурсів постала проблема їх економії, шляхом застосування енергозберігаючих технологій.

В умовах ринкових відносин відбувається зростання цін на енергоносії і постійне збільшення питомих витрат на енергоресурси (в першу чергу на електроенергію) в собівартості послуг водопостачання. У зв'язку з цим, система водопостачання господарства України опинилась у кризовому стані. Це викликано цілою низкою факторів:

- відсутністю централізованого фінансування розвитку, реконструкції та модернізації;
- ростом неплатежів за послуги;
- зношеністю мереж і споруд;
- високою енергоємністю виробництва та надання послуг;
- зростанням цін на електроенергію, реагенти та матеріали.

З енергетичної точки зору система водопостачання та водовідведення міста є складним комплексом, експлуатація якого вимагає систематичного

проведення технічних, економічних та організаційних заходів по підвищенню енергоефективності.

В той час, коли ціни на енергоносії були у 20-30 разів нижче сучасних, заходи по підвищенню енергоефективності не мали економічного сенсу. Потужність більшості енергетичного устаткування на насосних станціях була значно завищена, з міркувань забезпечення безперебійності роботи і резервування. Заходи по підвищенню енергоефективності системи водопостачання є вигідними, економічно обґрунтованими і мають великий потенціал енергозбереження.

Застосування технічних заходів щодо підвищення енергоефективності, зокрема енергозбереження в електроприводах насосних агрегатів, а також системи живлення електрообладнання насосної станції є основним напрямом дослідження, на шляху зменшення електроспоживання. Особлива увага приділяється впровадженню регульованого електроприводу і оптимізації потужності насосних агрегатів, вдосконаленню технологічної схеми подачі води.

В переважній більшості електроприводи насосних агрегатів проєктовані ще до появи на ринку перетворювачів частоти. Тому використовувались нерегульовані електроприводи, що не дозволяли регулювати подачу води залежно від її споживання шляхом зменшення обертів насосу. Регулювання подачі відбувалося шляхом дроселювання потоку рідини за допомогою засувки.

Засувка регулює тиск в трубопроводі при зміні споживання води, але електропривід працює з постійною швидкістю. Вибрані, виходячи з максимальної продуктивності, механізми значний час працюють з меншою подачею, яка визначається зміною споживання води в різний час доби. Також такі системи подачі води створюють значний тиск в трубопроводі, що приводить до витоків води та зносу технологічного обладнання та мереж водопостачання.

Асинхронний двигун є найбільш простим, дешевим і надійним електричним двигуном, тому його використання в регульованому

електроприводі насосних агрегатів задовольняє експлуатаційним і технологічним режимам роботи. Регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною частоти (частотний спосіб) є одним із найбільш перспективних. Він забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні. Крім того, він відрізняється ще однією важливою перевагою – регулювання швидкості асинхронного двигуна не супроводжується підвищенням його ковзання, тому втрати потужності при регулюванні швидкості виявляються невеликими.

Встановлення на насосній станції частотного перетворювача дозволить вирівняти тиск в трубопроводах і підтримувати його. Це досягається за рахунок регулювання кількості обертів електродвигуна насосного агрегату. Якщо розбір води у мережі низький, електродвигун насосного агрегату може працювати на понижених обертах.

Окрім оптимізації тиску, енергозбереження досягається за рахунок плавного запуску та плавної зупинки насосного агрегату. Коли відбувається моментальний запуск агрегату, пускові струми збільшуються в 5-7 разів, що спричиняє навантаження на електродвигун. За допомогою перетворювача, можна задати час, за який відбуватиметься запуск. Плавне наростання частоти приведе до поступового розкручування валу електродвигуна.

Плавний запуск насосного агрегату захищає мережу від гідроударів, вода подається в магістраль поступово та рівномірно, що сприяє збереженню запірної арматури, зворотних клапанів, дозволяє уникнути розривів трубопроводів.

Частотний перетворювач є сучасним універсальним пристроєм, простим в експлуатації, до того ж він передбачає захист електродвигуна від перенапруги, обриву фаз та усіх інших факторів, які можуть виникати у процесі експлуатації.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Характеристика насосних станцій

Для будь-якого міста необхідно безперебійне водопостачання, яке використовується як для побутових потреб населення, так і в технологічних процесах. При відсутності сучасної системи автоматизації насосної станції є низькоефективними і ненадійними.

Для сучасних насосних станцій найважливішими показниками ефективності є економічне використання ресурсів (як енергетичних, так і виробничих), надійність і довговічність обладнання, а морально і фізично застаріле обладнання задовольнити такі потреби не може. Тому необхідно модернізувати обладнання на насосних станціях. Автоматизація насосного обладнання дозволяє забезпечити безперебійне водопостачання в повному обсязі. Основні причини впровадження автоматизованої системи керування насосними станціями є:

- необхідність забезпечення постійних параметрів на виході з насоса;
- оптимізація штатного розкладу і вимога забезпечити керування насосною станцією дистанційно (це дозволить зменшити штат оперативного персоналу);
- можливість організації автоматичного включення резерву насосів для забезпечення безперебійного водопостачання;
- необхідність динамічно змінювати вироблення насосів для економії коштів в періоди низьких навантажень;
- запобігання виходу насосів з ладу через відсутність води на вході, і, відповідно, зниження вартості ремонтних робіт (захист від сухого ходу);
- рівномірність розподілу терміну корисної експлуатації насосного обладнання.

Автоматизація насосних станцій ефективно і економічно впливає на виробничий процес, шляхом раціонального використання насосного обладнання.

Більшість автоматизованих насосних систем виготовляються виходячи з технічних вимог, для своєї роботи. Сучасні автоматизовані насосні станції використовують малошумні насоси. Робота автоматизованої насосної станції неможлива без використання статичних перетворювачів частоти, цей пристрій завжди поставляється в комплекті з насосною станцією.

Всі сучасні автоматизовані насосні системи забезпечуються наступними видами автоматики і автоматичного захисту:

- індикація і діагностика несправностей в насосній системі, всі сучасні насосні станції оснащені обчислювальними контролерами або CPU;
- всі сучасні насосні станції можуть підтримувати не тільки заданий користувачем тиск в системі, але так само підтримувати і задані користувачем параметри витрати води;
- завдяки частотним перетворювачам, автоматизовані насосні станції здійснюють постійний контроль напруги живлення і можуть автоматично відновлювати роботу після збою в мережі енергоживлення;
- завдяки наявності частотного перетворювача, система надійно захищена від перевантажень і перепадів напруги;
- при взаємодії CPU і частотних перетворювачів, автоматизована насосна станція розподіляє навантаження між насосами з метою досягнення максимальної ефективності в роботі насосів, параметри навантаження можуть встановлюватися користувачем, а можуть вибиратися автоматично;
- робота автоматизованої насосної станції влаштована таким чином, що станція сама перемикає навантаження з одного насоса на інший, для однакового вироблення робочого ресурсу насосних агрегатів.

В автоматизованих насосних станціях існує два способи регулювання продуктивності системи, каскадний спосіб, і регулювання продуктивності за допомогою частотних перетворювачів.

Запорізьке комунальне підприємство «Водоканал» готує воду питної якості на Дніпровських водопровідних станціях №1 і №2 (ДВС-1, ДВС-2) і транспортує її споживачам міста Запоріжжя.

Основними напрямками діяльності підприємства є:

- видобуток, виробництво, обробка питної води, подача, транспортування, розподіл та реалізація;
- здійснення планово – попереджувальних, капітальних та поточних ремонтів;
- технічне водопостачання споживачів;
- розробка заходів щодо раціонального використання води та установлення лімітів водоспоживання;
- видача технічних умов на водопостачання та узгодження проектів;
- розробка проектної документації по розвитку, реконструкції діючих водопровідних споруджень та технологічного устаткування, у тому числі по перекладці водогінних мереж замість технічно зношених.

Джерелом водопостачання служить ріка Дніпро вище греблі. Встановлена виробнича продуктивність міського водопроводу складає 649 тис.м³/добу. Водозабірні споруди ДВС-1 розташовуються на лівому березі, ДВС-2 – на правому.

На ДВС-1 і ДВС-2 для отримання питної води застосовуються традиційні методи очищення: хлорування, коагулювання, відстоювання, фільтрування. Для знезараження води і забезпечення необхідної концентрації хлору перед подачею в розподільну водопровідну мережу міста на станціях водопідготовки проводиться хлорування води.

Для забезпечення процесу знезараження й очищення води на ДВС-1 застосовуються хлорування з амонізацією на первинному етапі і вторинне хлорування на заключному етапі очищення води.

На очисних спорудах блоку №1 реагенти (коагулянт, флокулянт) вводяться в камери реакції відстійників передочисних споруд, в яких здійснюються процеси освітлення та відстоювання води, з подальшим

фільтруванням через шар кварцового піску і подрібненого антрациту. Після фільтрації та знезараження вода надходить у резервуари чистої води.

На блоці №2 вихідна вода після насосної станції 1-го підйому надходить на мікрофільтри для затримання суспензій, зоо- і фітопланктону. Реагенти вводяться в змішувачі, потім вода в контактних освітлювачах піддається контактної коагуляції, і після знезараження надходить в резервуар чистої води.

Якість води в джерелі, по ланках очищення питної води цілодобово контролюються лабораторіями ДВС-1 і ДВС-2

Проектна потужність Дніпровської водопровідної станції лівого берега (ДВС-1) складає 519 тис.м³/добу. Споруди ДВС-1 складаються із блоків № 1 і № 2, кожен з яких включає: насосну станцію 1-го підйому (забір води з річки), споруди для очищення води, насосну станцію 2-го підйому (подача води в місто). Після обробки вода насосами другого підйому подається на ділянки споруд третього підйому «Павло - Кічкас», «Леваневського», «Шевченко».

На насосній станції третього підйому «Павло - Кічкас» відбувається розділення води на два трубопроводи (напірний і самопливний).

Самопливний трубопровід постачає воду до центра міста, де відбувається перерозподіл води. В цій системі не потребується насосного обладнання, так як перепад висот між містом і станцією складає біля 50 м, що створює достатній тиск в мережі. Напірний трубопровід постачає питну воду Заводському району міста Запоріжжя.

Проектна потужність ДВС-2 складає 130 тис.м³/добу. Споруди ДВС-2 включають: насосну станцію 1-го підйому, блок очисних споруд, насосну станцію 2-го підйому. Основний об'єм води споживається у північній частині правобережжя, що практично межує з головними спорудами, у південну частину вода подається транзитним водоводом на ділянку споруд третього підйому Хортицького житлового масиву. Системи лівого та правого берега мають гідравлічний зв'язок, що прокладений через греблю.

На балансі КП «Водоканал» станом 01.01.2013 р. знаходяться 2 532 км водопровідних мереж. З них 320 км вкрай зношені і потребують негайної

заміни - це мережі, де спостерігається найбільша кількість витоків. За 2012 рік їх кількість склала 5 189 витоків.

1.2 Впровадження перетворювачів частоти

Постійний ріст цін на енергоносії стимулює водоканали і підприємства житлово-комунального комплексу впроваджувати енергозберігаючі технології, до яких відноситься і частотно-регульований електропривод.

Для отримання максимальної економії електроенергії необхідно знати силову перетворювальну техніку і регульований електропривод змінного струму, необхідно враховувати електромагнітну сумісність і параметри мережі живлення, умови експлуатації, характерні і специфічні режими роботи приводного механізму і технологічного процесу в цілому, і вміти оптимально поєднувати все це при налаштуванні системи керування насосними агрегатами.

Серед методів, що забезпечують збільшення ефективності роботи і терміну служби насосного обладнання, все більш поширеним стає використання частотних перетворювачів. Частотно-регульований електропривод насосних агрегатів привернув увагу водоканалів і підприємств ЖКГ, в першу чергу, можливістю виключення «людського» фактору з процесу регулювання тиску в мережах водопостачання і в автоматичному режимі підтримувати його на заданому рівні незалежно від розходу. У порівнянні з усіма відомими механічними способами регулювання потоку рідини, що рухається по трубопроводу, контрольоване збільшення або зниження частоти обертання валу двигуна сприяє:

- економії до 60% електроенергії;
- зниження до 5% витоків рідини;
- більш надійному захисті електроприводу;

– збільшення майже вдвічі довговічності насосного обладнання і трубопроводів.

Економію електроенергії на насосних станціях отримують за рахунок:

– оптимального вибору режиму роботи насоса;
– експлуатації електродвигуна і перетворювача частоти з найбільшим ККД;

– використання оптимальних законів регулювання технологічними процесами.

Такі показники ефективності, що свідчать про економічну обґрунтованість використання частотних перетворювачів, пояснюються наступним чином:

1) У більшості агрегатів застосовуються досить потужні електродвигуни для більшої продуктивності насоса. Однак на ділі максимальна потужність двигуна необхідна лише в 10-20% від усього часу роботи насоса – в невеликий період пікового навантаження. Весь інший час двигун, що не оснащений перетворювачем частоти, працює з тією ж високою швидкістю обертання валу двигуна, споживаючи при цьому більше на 30-60% електроенергії, ніж потрібно. Застосування ж частотного перетворювача дозволяє уникнути такої перевитрати електроенергії. Регулювання потужності електродвигуна робить можливим управління режимами роботи гідросистеми та оптимізацію витрат води.

2) При частотному регулюванні вдається уникнути виникнення в трубопроводі надлишкового тиску. Коли ж для зміни тиску використовуються засувки, надлишковий тиск виникає досить часто, що неминуче призводить до прихованих витоків рідини. Збільшення напору рідини при пусках насоса сприяє швидкому зносу трубопровідних мереж. Завдяки частотному перетворювачу забезпечуються плавні пуски і зупинки електроприводу, що виключає виникнення гідроударів і подовжує термін служби трубопроводу. Відсутність прихованих витоків та зменшення ймовірності розливу рідини в результаті пошкодження трубопроводу дозволяє зробити висновок про те, що

постачання насосів частотними перетворювачами робить експлуатацію обладнання більш безпечною з погляду екології.

3) Плавні пуски насоса не тільки усувають гідроудари, але і знижують пускові струми двигуна, оберігаючи тим самим електропривод від перевантажень. Крім того, при плавних пусках електродвигуна вдається уникнути впливу ударних механічних навантажень на вузли кріплення приводу, з'єднувальні муфти, підшипники, вали.

Ідеальний насос витратить в чотири рази менше енергії на перекачування одного і того ж об'єму рідини, працюючи на половинній швидкості ніж на повній, але час роботи, при цьому, збільшується в двічі.

Враховуючи цю обставину можна припустити, що реальний насос, який працює в повторно-короткочасному режимі, або в режимі дроселювання також може дати економію електроенергії, якщо його продуктивність регулювати за допомогою зміни швидкості. Це припущення підтверджується на практиці і досвід експлуатації реальних насосів, при частотному регулюванні швидкості (продуктивності), свідчить про те, що реальна економія електроенергії становить 25 – 40% в залежності від режиму роботи насосної станції.

Коли мова йде про економію 60%, а інколи і 80%, то мають на увазі, що з впровадженням частотного приводу одночасно міняють і насосне обладнання на сучасне, більш ефективне.

Якщо насос працює постійно і його продуктивність не регулюється, то економія електроенергії можлива тільки за рахунок оптимального вибору насосного обладнання і зменшення гідродинамічних втрат в трубопроводах.

При правильному виборі насоса середня частота обертання електромагнітного поля напруги, що живить регульованого насоса (частота обертання) $f_{\text{середн}}$ становить 40 ... 42 Гц. За рахунок роботи за графіками установок середня частота обертання регульованого насоса в сталому режимі може знизитися до 38 Гц. Зниження частоти нижче вказаного рівня викликає помітне зниження ККД системи η , тим самим – збільшення втрат, що

призводять до зниження продуктивності установки підвищення тиску (рисунок 1.1).

При частоті обертання 38 Гц (0,76 максимальної продуктивності) очікувана економія для закону регулювання $U/f = const$ може бути оцінена за такою формулою:

$$\Delta \tilde{W} = \frac{f_{\max} - f_{\text{середн}}}{f_{\Sigma \max}}, \quad (1.1)$$

де f_{\max} , $f_{\text{середн}}$ – відповідно максимальне і середнє значення частоти обертання електромагнітного поля насоса;

$f_{\Sigma \max}$ – сума максимальних частот обертання насосів (для 1 насоса - 50 Гц, для 2-х - 100 і т.д.).

Зниження частоти обертання до значення 38 Гц викличе зниження η системи підвищення тиску на 0,05 ... 0,08 одиниць (рисунок 1.1). З урахуванням зниження η очікувана економія електроенергії при роботі тільки одного насоса складе не більше 23% його енергоспоживання.

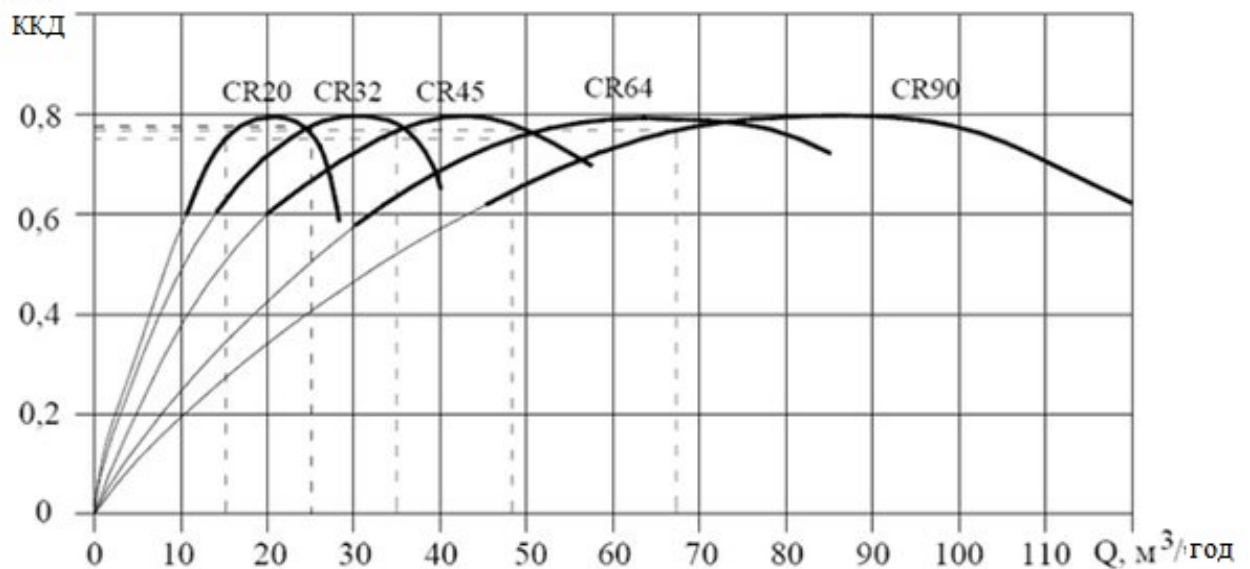


Рисунок 1.1 – Графік зниження ККД насосів при зменшенні величини

Для автоматичного підтримання тиску, розходу, рівня використовують ПД-регулятори, які змінюють вихідну частоту і напругу перетворювача частоти таким чином, щоб параметр, який регулюється підтримувався з заданою точністю, а на режим роботи насоса «не звертають» увагу.

Побудований графік залежності (рисунок 1.2) питомих витрат електроенергії на перекачування одного кубічного метра води (кВт·год/м³) від швидкості насоса свідчить про те, що найбільшу економію електроенергії отримаємо при роботі насоса в діапазоні частот 35 – 45 Гц.

Для кожного конкретного випадку необхідно експериментальним шляхом визначити оптимальний частотний діапазон, в якому питомі витрати електроенергії на перекачування води будуть найменшими, і по мірі можливості, працювати в цьому діапазоні.

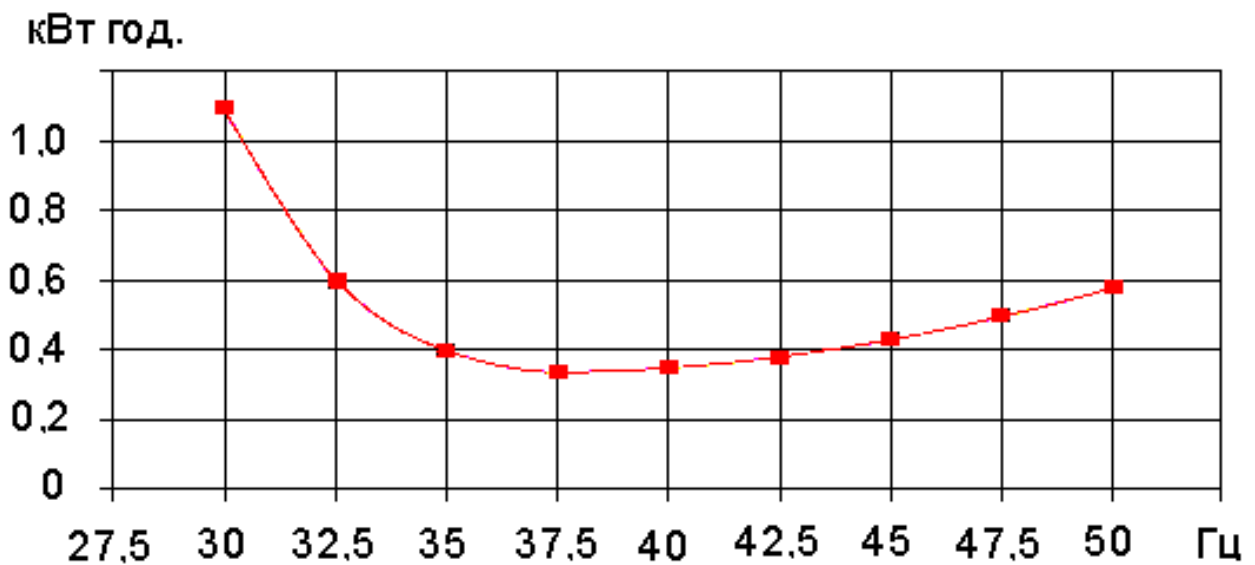


Рисунок 1.2 – Графік залежності питомих витрат електроенергії на перекачування 1 м³ води

Каскадне включення насосів використовується для оптимізації режимів роботи насосних агрегатів при змінному графіку споживання води з метою отримання максимальної економії електроенергії.

Бажано, щоб всі насоси працювали в оптимальному частотному діапазоні, а для цього вони повинні бути оснащені перетворювачами частоти. Якщо такої можливості нема, то використовуйте режим обходу перетворювача частоти, при якому один перетворювач частоти по черзі працює з одним із насосів, а при необхідності проводить частотний пуск інших насосів.

Проблема частих поломок валів – одна з найактуальніших, пов'язані з ними проблеми в роботі насосів складають до 40% випадків виходу з ладу

насосного обладнання. Це стосується і обладнання, призначеного для перекачування в'язких рідин, і насосів, що працюють тільки з водою.

Поломка валу може бути викликана кількома причинами: дефектом матеріалу виготовлення, механізмами в'язкого руйнування (таке відбувається, коли вал насоса заклинює під час роботи) або втомного руйнування (пов'язаного з тривалим терміном служби насоса). Поломка вала насоса також може статися внаслідок неправильного вибору обладнання або через недотримання правил його монтажу та експлуатації.

Ударні навантаження на вал, що призводять до його поломки, можуть бути двох видів: по-перше, це імпульсні перевантаження, які виникають при пуску і зупинці двигуна, по-друге, навантаження при стаціонарному режимі роботи, коли на вал діє корозійна втома при крученні. В обох цих випадках виключити виникнення навантажень на вал допомагає використання частотних перетворювачів.

У першому випадку це відбувається за рахунок запуску електроприводу з пусковим струмом, обмеженим деяким допустимим значенням. Через це сила впливу на вал насоса також буде не вище номінального значення, тоді як при прямому пуску ця сила перевершує допустиме значення в 2-3 рази. Час пуску або гальмування двигуна з перетворювачем частоти можна регулювати з тим, щоб зберегти момент сили, що діє на вал, в межах номіналу.

Установка перетворювача частоти доцільна не тільки внаслідок істотної економії енерговитрат, а й за рахунок можливості запобігання швидкого зносу деталей і вузлів насоса, попередження аварій та простою обладнання. Причому ефективність від застосування перетворювача частоти зростає в разі його установки на нові насоси при їх введенні в експлуатацію, що виключає ризик поломки вала на етапі пуско-налагоджувальних робіт.

При аналізі ефективності частотно-регульованого електроприводу насосних агрегатів було звернуто увагу на те, що лічильники старого зразку (дискові) не показують споживання реактивної потужності, що цілком

закономірно, тому що коефіцієнт реактивної потужності ($\cos \varphi$) перетворювача частоти більше 0,98.

Лічильники старого зразку (дискові) вимірюють тільки першу гармоніку, а електронні вимірюють всі гармоніки до 50-тої включно. Наявність вищих гармонічних складових напруги і струму приводить до споживання реактивної потужності.

Вхідний струм перетворювачів частоти суттєво відрізняється від синусоїдального внаслідок чого в мережі живлення генеруються непарні і не кратні 3 гармоніки – 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 і т.д.

На точність вимірювання електричної енергії впливають більш ніж 30 складових, 20 з яких виникають за рахунок вищих гармонічних складових напруги і струму в мережах електропостачання.

Встановлено, що при використанні в сучасних лічильниках трансформаторів струму і напруги класу 0,2 в нормальних умовах похибка вимірювання становить $\pm 0,5\%$, а за рахунок вищих гармонік сумарна похибка збільшується до $\pm 3,5\%$. При використанні трансформаторів струму і напруги класу 1,0 похибка вимірювання становитиме вже $\pm 2,2\%$, а за рахунок вищих гармонік сумарна максимальна похибка лічильників активної і реактивної енергії збільшується до $\pm 13,3\%$.

Вищі гармонічні складові не тільки збільшують похибку вимірювання лічильників, а і розігрівають силові трансформатори мережі живлення і конденсатори компенсаторів реактивної потужності.

Якщо не вжити заходів до покращення форми вхідного струму, то максимальна потужність перетворювача частоти не повинна бути більшою 10% від потужності трансформатора живлення.

Для покращення форми вхідного струму використовують силові дроселі на вході перетворювача частоти, або в ланці постійного струму, які суттєво зменшують рівень гармонічних складових.

Якщо потужність перетворювача частоти становить більше 40% потужності трансформатора живлення, то на вході перетворювача частоти необхідно встановити вхідний фільтр гармонік.

Пасивні фільтри гармонік дають можливість отримати практично синусоїдальний вхідний струм перетворювача частоти з коефіцієнтом нелінійних спотворень 10% і 5% відповідно. Перетворювач частоти підключають послідовно з фільтром гармонік.

1.3 Заміна трансформаторів і встановлення компенсуючої установки

Розглядаючи енергоспоживання насосною станцією, слід приділяти увагу і трансформаторам, завантаження яких змінюється відповідно до режимів роботи насосів. В період мінімального споживання води завантаження трансформаторів різко зменшується, що суттєво знижує його ККД і збільшує втрати. В системі живлення насосної станції слід передбачити резервування трансформаторів, яке підвищить енергобезпеку і зменшить втрати холостого ходу.

Втрати в трансформаторах поділяються на два основних типи – «втрати в сталі» (тобто в осерді) і «втрати в міді» (тобто в обмотках). Втрати в сталі викликаються гістерезисом і вихровими струмами в феромагнітних пластинах сердечника і становлять приблизно 0,2-0,5% номінальної потужності трансформатора. Втрати в міді пов'язані з опором мідних обмоток і виділенням тепла в них. Величина цих втрат приблизно 1-3% номінальної потужності (при стовідсотковому завантаженні трансформатора).

При експлуатації трансформатора в реальних умовах середній коефіцієнт завантаження завжди менше 100%. Залежність між ККД трансформатора і коефіцієнтом завантаження має вигляд, показаний на рисунку 1.3. ККД досягає максимуму при величині коефіцієнта завантаження близько 40%.

Незалежно від потужності трансформатора, залежність ККД від коефіцієнта завантаження має максимум, що знаходиться в середньому на рівні 45% від номінального завантаження.

Ця особливість дозволяє розглянути наступні варіанти підвищення ефективності для трансформаторної підстанції:

– якщо загальна потужність, що споживається навантаженням, нижче рівня 40-50% P_n , в якості запобіжного енергозбереження доцільно відключити один або декілька трансформаторів, щоб довести завантаження решти до оптимальної величини;

– в протилежній ситуації (загальна потужність, що споживається навантаженням, перевищує 75% P_n), досягти оптимального ККД трансформаторів можна лише за допомогою установки додаткових потужностей;

– при заміні трансформаторів, що вичерпали ресурс, або модернізації трансформаторних підстанцій кращою є установка трансформаторів із знизеним рівнем втрат, що дозволяє знизити втрати на 20-60%.

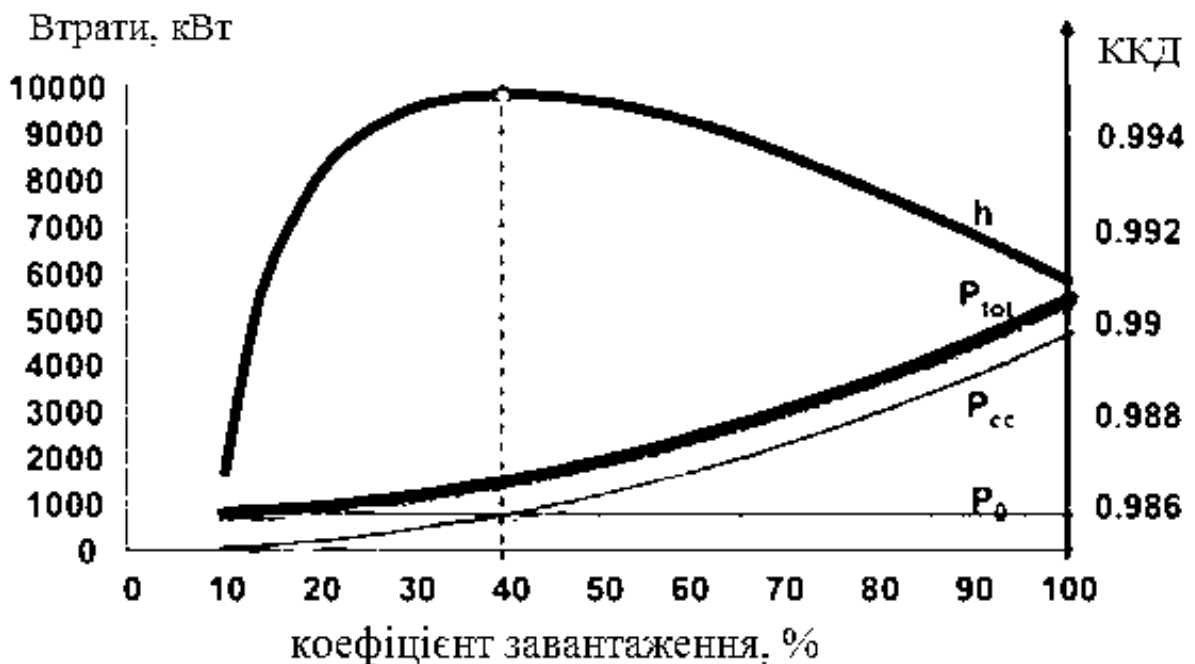


Рисунок 1.3 – Залежність між ККД трансформатора і коефіцієнтом завантаження

Компенсація реактивної потужності самий дешевий і самий ефективний спосіб енергозбереження. Готове рішення окупається через півроку і крім економії грошових ресурсів дає можливість розвантажити силовий трансформатор і пускорегулюючу апаратуру, збільшити пропускну спроможність системи електропостачання і уникнути глибоких провалів напруги на віддалених об'єктах – водозабірні станції, очисні споруди.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивній потужності (конденсаторних батарей). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

Відносну ефективність зменшення реактивного навантаження в тому чи іншому пункті електричної мережі можна оцінити за допомогою так званого економічного еквівалента реактивної потужності. Економічний еквівалент чисельно дорівнює зменшенню втрат активної потужності в мережах при зменшенні реактивного навантаження на 1 квар.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивній потужності (конденсаторних установок). Використання конденсаторних установок дозволяє:

- розвантажити живлячі лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої;
- зменшити витрати на оплату електроенергії; при використанні певного типу установок знизити рівень вищих гармонік;
- подавити мережеві перешкоди, понизити несиметрію фаз;
- зробити розподільні мережі надійнішими і економічнішими.

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати рівень реактивної потужності в розподільчій мережі відповідно до значення економічно оптимальної реактивної потужності, яка може бути передана

підприємству в режимах найбільшого і найменшого активного навантаження енергосистеми.

Залежно від виду використовуваного устаткування електричне навантаження підрозділяється на активне, індуктивне і ємнісне. Навантаження на насосній станції має характер активно-індуктивними навантаженнями. Відповідно, з електричної мережі відбувається споживання як активної, так і реактивної енергії.

Активна енергія перетворюється в корисну – механічну, теплову та ін. енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах.

Значення коефіцієнта потужності некомпенсованого устаткування наведені нижче. В оптимальному режимі показник повинен прямувати до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

- асинхронний електродвигун до 100 кВт: 0,6-0,8;
- асинхронний електродвигун 100–250 кВт: 0,8-0,9;
- зварювальний апарат змінного струму: 0,5-0,6;
- лампа денного світла: 0,92;

Реактивні навантаження підприємств не залишаються незмінними не тільки протягом більш-менш тривалих проміжків часу доби, місяця, року, але й протягом однієї виробничої зміни. Ці навантаження безупинно змінюються залежно від графіку споживання води, від ступеня завантаження насосних агрегатів і відносної тривалості ввімкнення, від коливань напруги в мережі, від якості обслуговування устаткування експлуатаційним і ремонтним персоналом та від інших факторів.

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

1.4 Економія електроенергії в насосних станціях

При подачі у всмоктувальний колектор насосної станції води з підвищеним тиском, тиск у нагнітальному колекторі насосної станції також зростає. Для виконання режимних параметрів роботи устаткування й досягнення економії електроенергії цього допускати не можна, тому для зниження тиску в нагнітальному колекторі використовуються наступні методи:

- регулювання режиму за допомогою засувки на нагнітанні;
- обточування робочого колеса насоса;
- зміна частоти обертання робочого колеса насоса.

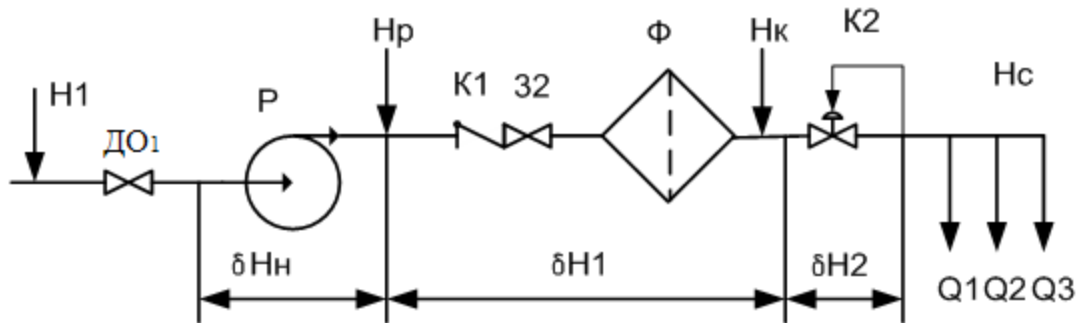
Обточування робочого колеса є необоротним процесом і насосний агрегат після неї починає працювати в нерозрахованому режимі поза своїми гідравлічними характеристиками. Тому даний метод є небажаним, і надалі розглядатися не буде.

Розглянемо спосіб регулювання продуктивності за допомогою дроселювання потоку засувкою на нагнітанні й зміною обертів робочого колеса насоса за допомогою напівпровідникового перетворювача частоти.

Можливість керування частотою обертання короткозамкнених асинхронних електродвигунів була доведена відразу після їхнього винаходу. Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою силових напівпровідникових приладів — спочатку тиристорів, а пізніше транзисторів IGBT. У цей час в усьому світі широко реалізується частотний спосіб керування асинхронною машиною, який сьогодні розглядається не тільки з погляду економії енергії, що споживається, але й з погляду вдосконалення керування технологічним процесом. У промислово розвинених країнах техніка застосування частотнорегулюючих приводів використовується більш 30 років. Протягом цього часу закладалися наукові й методичні основи, розроблялися й удосконалювалися технічні засоби керування електроприводом,

удосконалювалися технологічні процеси й устаткування, коректувалися навчальні курси для підготовки фахівців.

Дійсно, враховуючи порівняно високу вартість напівпровідникових перетворювачів, які застосовуються для регулювання частоти обертання асинхронних приводів, на сьогоднішній день найбільш важливим є питання повернення засобів, вкладених у їхнє впровадження. Тому особлива увага приділяється порівнянню енергетичних втрат у приводах нагнітачів з різними видами керування. Для ілюстрації причин, за рахунок чого й коли з'являється можливість економії енергії, яка споживається приводами насосів, і що необхідно робити для того, щоб цю економію одержати, не порушуючи загальний хід технологічного процесу, візьмемо узагальнену технологічну схему системи, що забезпечує подачу води в мережу споживачів з постійним заданим тиском (рисунок 1.4).



31 і 32 - запірні технологічні засувки, P - насосний агрегат, DO_1 - зворотний клапан, Φ - фільтр води, K_1 та K_2 - регулювальний клапан, H_1 - напір, що створюється джерелом подачі води, H_p - напір, одержуваний після насосного агрегату, H_k — напір перед регулювальним клапаном, H_c — напір у мережі споживачів, $Q_1 - Q_3$ — витрати води споживачами мережі, δH_n - напір, що розвивається насосним агрегатом, а також втрати напору на елементах системи, що розташовані між насосним агрегатом P і мережею споживачів: δH_1 — втрати напору на засувці 32 і водяному фільтрі, δH_2 — втрати напору на регулювальному клапані.

Рисунок 1.4 - Приклад спрощеної технологічної схеми

Накопичений досить великий досвід у прийнятті технічних рішень при створенні систем, що використовують цей тип приводів, ряд рішень стандартизований. Однак, на жаль, це відноситься до стану справ за рубежом. У нашій країні склалася трохи інша ситуація. Частотнорегулюючі приводи, що відповідають вимогам надійності й електромагнітної сумісності з електричними мережами, з'явилися на українському ринку порівняно пізно, та й ціна їх в умовах ринкової економіки досить висока. Наявний не завжди позитивний досвід застосування тиристорних приводів визначив обережне відношення до використання сучасних систем, а щодо очікуваного економічного ефекту від їхнього впровадження багато експлуатаційники виражають недовіру.

Розглядаючи енергетичні характеристики технологічного процесу об'єкта, можна написати, що необхідна (корисна) енергія для подачі води споживачам може бути розрахована як:

$$W_c = H_c(Q_1 + Q_2 + Q_3), \quad (1.2)$$

Для нормальної роботи мережі частіше всього необхідно створення постійного значення напору H_c . Величини витрат Q_1 - Q_3 визначаються споживачами і протягом часу можуть змінюватися.

Гідравлічна енергія, що розвивається насосним агрегатом, може бути отримана як:

$$W_n = H_n \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \quad (1.3)$$

де $Q_1 + Q_2 + Q_3$ сума витрат представляє собою загальну витрату води мережі Q_c .

В ідеальному варіанті бажано, щоб зберігалась рівність W_c і W_n . Насправді між насосним агрегатом та мережею встановлені елементи зі своїми

гідравлічними опірами, на яких губиться частина напору, що розвивається насосним агрегатом

$$H_6 = H_1 + H_2, \quad (1.4)$$

Таким чином, втрати енергії на технологічне забезпечення параметрів рідини, що перекачується, можна визначити як:

$$W_6 = H_6 \cdot Q_c, \quad (1.5)$$

Отож, для підтримання заданих технологічних параметрів мережі насос повинен розвивати гідравлічну потужність, рівну:

$$W_n = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) + H_6 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \quad (1.6)$$

Останній вираз показує, що втрати енергії в технологічному процесі залежать від витрати мережі (технологічного навантаження), що визначається споживачем, і втрат напору на устаткуванні насосної станції H_6 , які визначаються гідравлічним опором елементів схеми. В загальному випадку оцінити ці втрати напору можна, порівнявши показання манометрів перед напірною засувкою 32 і манометра в мережевому трубопроводі. Чим більше різниця в їх показаннях, тим більше втрат енергії має система.

Для організації технологічного процесу з мінімальними енергетичними втратами необхідно, у першу чергу, знизити втрати напору між трубопроводом насосного агрегату й мережею споживачів - H_6 . Тепер розглянемо роботу технологічного процесу, з погляду зміни параметрів навантаження мережі Q_c . Для цього скористаємося відомими Q - H характеристиками для насосних агрегатів і мережі (рисунок 1.5).

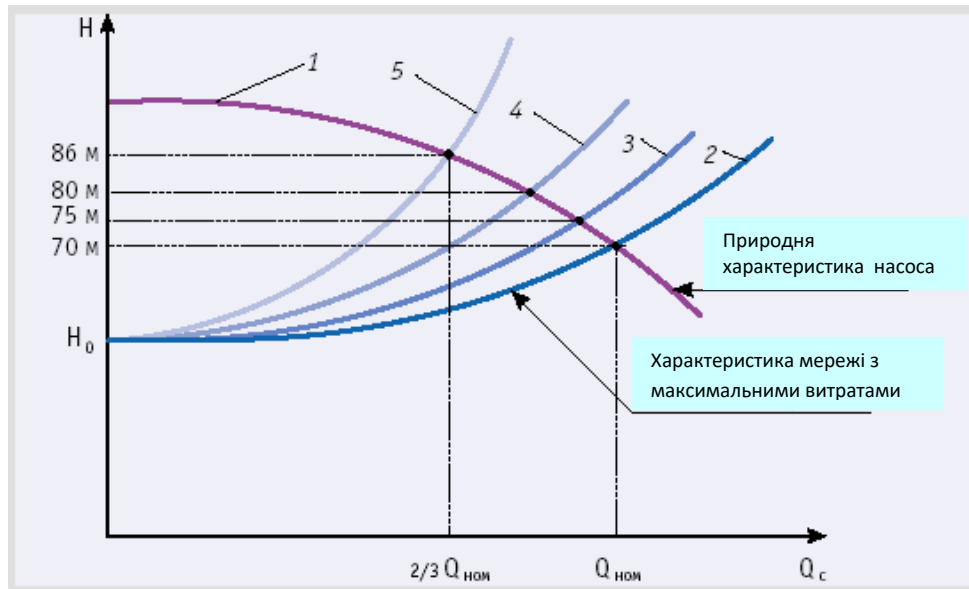


Рисунок 1.5 Характеристики насосного агрегату й мережі без регулювання тиску

Крива 1 відповідає напорній характеристиці насосного агрегату, а крива 2 — гідравлічній характеристиці мережі, де H_0 - необхідний статичний напір мережі. Точка перетинання цих характеристик є ідеальною розрахунковою точкою спільної роботи насосного агрегату і мережі ($Q_{ном}$). При зміні конфігурації мережі внаслідок підключення або відключення споживачів або зміні споживання води за допомогою запірної арматури, встановленої безпосередньо на водоспоживаючому устаткуванні, міняється і її гідравлічна характеристика - лінії 3-5. Відповідно будуть зміщатися точки перетинання характеристик. Як видно з рисунка, зі збільшенням витрати зменшується тиск у мережі. Крім того, у процесі функціонування залежно від режимів роботи системи може мінятися тиск перед насосом, який створюється джерелом водопостачання. Зміни цього тиску також відбиваються на величині тиску в мережі споживачів. Такий характер взаємозв'язку параметрів вимагає установки в системі дросельних регулюючих елементів, регулювальних клапанів (як правило, їхню роль виконують напірні засувки агрегатів). Ці елементи створюють додатковий гідравлічний опір і дозволяють забезпечити стабільний тиск у мережному трубопроводі. При використанні дросельних елементів

відбувається розподіл напору на елементах системи. Цей розподіл напору приведений на рисунку 1.6.



H_0 — спадання напору на дросельному елементі

Риунок 1.6 - Характеристики насосного агрегату й мережі з дросельним регулюванням

Для підтримки заданого тиску в мережному трубопроводі при зміні витрати рідини доводиться змінювати гідравлічний опір регулюючого елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вид. Величина H_0 з таким регулюванням неухильно збільшується. Таким чином, чим глибше проводиться дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат має весь технологічний процес. На величину втрат при дросельному регулюванні впливає не тільки регулюючий елемент: найчастіше на етапі проектування вибирається насосний агрегат з певним запасом напору, а при заміні насосних агрегатів нове обладнання може мати трохи завищені напірні характеристики. Крім того, діапазон зміни вхідних тисків (перед всмоктувальним патрубком насосного агрегату) впливає на величину тиску за насосним агрегатом. Усі ці обставини приводять до того, що втрати енергії в ході технологічного процесу стають досить великими, що досягають 45 і більш відсотків від номінальної потужності агрегату.

Для рішення завдання мінімізації втрат, пов'язаних з регулюванням тиску в мережі, необхідно виключити додаткові гідравлічні опори на ділянці від насосного агрегату до мережного трубопроводу, тобто необхідно повністю відкрити всю запірно-регулюючу арматуру. Це можна зробити, якщо процес регулювання тиску передати насосному агрегату. Теорія роботи нагнітачів (насосів і вентиляторів) доводить, що зміна частоти обертання приводу нагнітача змінює його напірні характеристики. Крім того, напір, що створюється нагнітачем, пропорційний квадрату частоти обертання агрегату.

Зміна напірних характеристик насосного агрегату при зміні частоти обертання ілюструє рисунок 1.7, на якому крива 1 відповідає номінальній (при номінальній частоті обертання приводу) напірній характеристиці, а криві 2-4 — напірним характеристикам при зниженій частоті обертання.

Якщо організувати роботу приводу насосного агрегату таким чином, щоб він при зміні параметрів технологічного процесу (витрати в мережі й тиску на вході агрегату) змінював частоту обертання, то в підсумку можна без істотних втрат енергії стабілізувати тиск у мережі споживачів. При такому способі регулювання виключаються втрати напору (немає дроселюючих елементів), а одже, і втрати гідравлічної енергії.

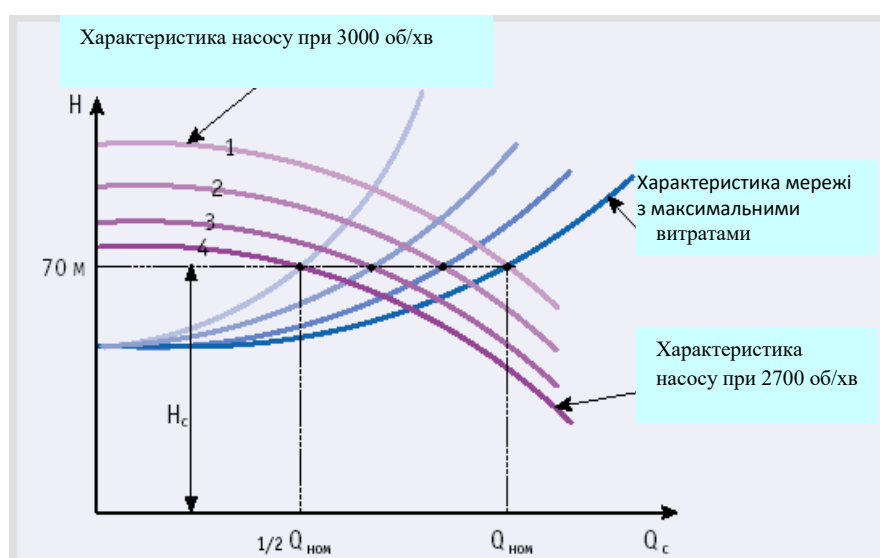


Рисунок 1.7 - Характеристики насосного агрегату й мережі з частотним регулюванням

Спосіб регулювання тиску в мережі шляхом зміни частоти обертання привода насосного агрегату знижує енергоспоживання ще й з іншої причини.

Насос, як пристрій перетворення енергії, має свій коефіцієнт корисної дії — відношення механічної енергії, прикладеної до вала, до гідравлічної енергії, що одержується в напірному трубопроводі насосного агрегату. Характер зміни коефіцієнта корисної дії насоса η_n залежно від витрати рідини Q при різних частотах обертання представлено на рисунку 1.8.

Відповідно до теорії подібності максимум коефіцієнта корисної дії зі зменшенням частоти обертання трохи знижується й зміщається вліво.

Аналіз необхідної зміни частоти насосного агрегату при зміні витрати в мережі показує, що зі зменшенням витрати потрібно зниження частоти обертання. Якщо розглянути роботу агрегату для витрати менше номінального (вертикальні лінії А і В), то для цих режимів раціонально працювати на зниженій частоті обертання. У цьому випадку ККД насоса вище, ніж при роботі на номінальній частоті обертання.

Таким чином, зниження частоти обертання відповідно до технологічного навантаження дозволяє не тільки заощаджувати енергію, що споживається, на виключенні гідравлічних втрат, але й одержати економічний ефект за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії самого насоса — перетворення механічної енергії колеса насоса в енергію потоку рідини. Застосування частотного регулювання приводів дозволяє суттєво зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з обслуговуванням агрегатів і систем. Наприклад, зниження перепаду тиску між всмоктувальним і напірним патрубками насосного агрегату збільшує термін служби чепцевих ущільнень, практично виключає гідравлічні удари й забезпечує стабільність тисків у трубопроводах мереж, а також мінімізує витрати на їхнє обслуговування.

Представлені результати теоретичних і практичних досліджень визначили необхідність широкого впровадження частотнорегульованих приводів у технологічних системах у нашій країні. Однак слід зазначити, що установка

тільки перетворювача частоти дозволяє одержати лише малу частину можливого ефекту від впровадження.

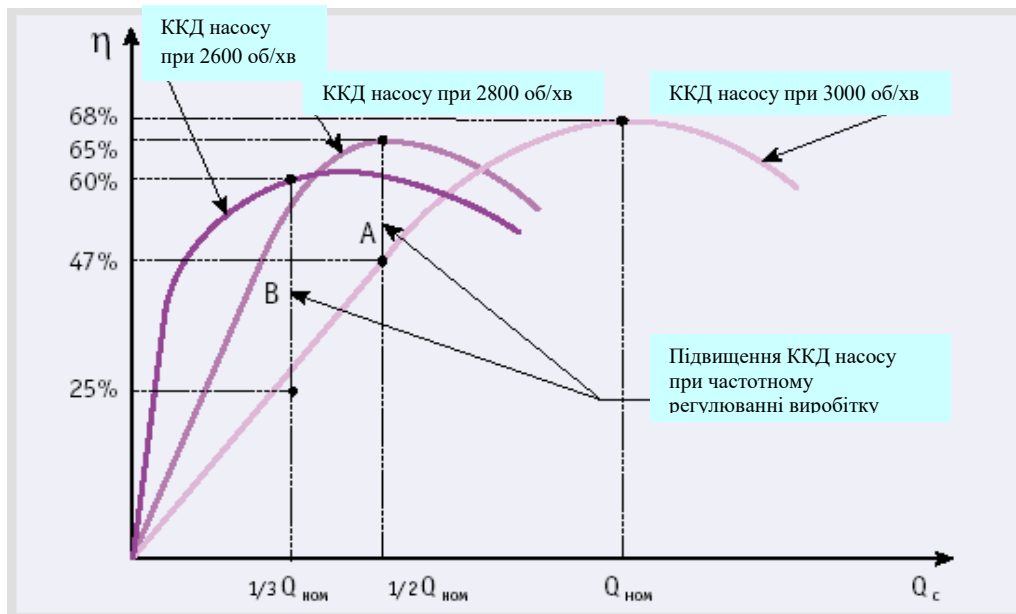


Рисунок 1.8 - Зміна ККД частотнорегулюємого насосного агрегату при зміні продуктивності

Говорячи про економічну ефективність, можна сказати, що строк окупності установки частотно-регульованих приводів коливається від 1 до 1,4 роки й залежить від рівномірності завантаження насосних агрегатів. Чим більш нерівномірне завантаження, тим скоріше окупиться установка частотно-регульованого привода.

Для досягнення такого ефекту при проектуванні систем із частотним регулюванням застосовують сучасні схемні рішення й енергоефективні алгоритми керування устаткуванням. До складу системи входять перетворювач частоти і програмувальний логічний контролер. Контролер забезпечує необхідний алгоритм керування насосними агрегатами й залежно від режиму роботи насосів робить вибір агрегату (за відпрацьованими годинами або встановленим ключем керування), підключення допоміжного агрегату до шин перетворювача (два агрегати від одного перетворювача) або безпосередньо в мережу. Крім того, контролер формує аварійні й попереджувальні

повідомлення при відхиленні технологічних параметрів і параметрів приводів від встановлених норм.

Практика застосування частотних перетворювачів для керування насосами доводить доцільність не просто включення перетворювача для керування агрегатом, а створення спеціалізованих систем керування технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє одержати економічний ефект не тільки від зниження електричної потужності, що споживається з мережі, але й добитися істотного зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці й збільшення терміну служби устаткування.

Сучасні перетворювачі частоти дозволяють одержувати більш 20 параметрів стану електропривода. Відповідна обробка цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагностування як устаткування системи, так і процесів, що протікають. З'являється можливість не тільки реагувати на виниклу аварію, але й попереджати її, що для енергетичних об'єктів значно важливіше.

Створення систем з частотнорегулюючими приводами, у яких керування частотою здійснюється поряд з контролем цілого комплексу різних технологічних параметрів, дозволяє знизити не тільки споживання електричної енергії. До складу устаткування системи входять перетворювачі частоти, що керують частотою обертання насосів, програмувальний логічний контролер і допоміжне устаткування. Керування перетворювачами частоти здійснюється за їхніми дискретними і аналоговими входами, а читання основних параметрів приводів — через промислову мережу з інтерфейсом RS-485. Програмне забезпечення перетворювачів дозволяє підключати до 32 пристроїв до цієї мережі. Зв'язок контролера з перетворювачами здійснюється через загальноприйняті протоколи.

Про свій стан перетворювач інформує контролер через вбудовані дискретні й аналогові виходи. Використання мережних можливостей перетворювача в цьому випадку обумовлене вимогами підвищеної надійності до керування насосними агрегатами. Вибір частоти обертання агрегатів проводиться контролером за даними, одержуваними від датчиків технологічних

параметрів устаткування. Уся інформація, що обробляється контролером, може передаватися через промислову мережу або модем для керування з більш високого рівня.

При створенні простих систем, керуючих нескладним технологічним процесом, можуть використовуватися й більш прості технічні рішення на основі використання мікроконтролерів.

У таких системах процес регулювання технологічного параметра переданий перетворювачу частоти (як правило, з вбудованим ПІД-регулятором), а керування агрегатами - мікроконтролеру. Подібні рішення досить дешеві, однак забезпечують необхідні алгоритми переключення комутаційної апаратури, реалізують автоматичне введення резерву агрегатів і необхідну сигналізацію для нормальної експлуатації системи.

Підводячи підсумок, можна зробити ряд висновків. Застосування частотнорегулюючих приводів для насосів і вентиляторів у технологічних процесах дозволяє знизити енергоспоживання технологічним устаткуванням.

Перед початком впровадження рекомендується провести техніко-економічне обґрунтування, що дозволяє визначити не тільки строки окупності від впровадження, але й правильно організувати технологічний процес із урахуванням можливостей приводів із частотним регулюванням.

Доцільне використання перетворювачів частоти не в якості елементів системи керування конкретного агрегату, а як складових комплексних системних рішень з підключенням широкого набору засобів автоматизації технологічного процесу.

Такі рішення дозволять одержати додатковий ефект, який завідомо більший простої економії електричної енергії.

На закінчення треба додати, що вже сьогодні в нашій країні існує досвід впровадження й експлуатації систем із частотним регулюванням. Пророблені ідеологічні, організаційні й схемотехнічні аспекти їх застосування.

Розроблені й запробовані різні методики визначення економічного ефекту від впровадження частотнорегулюючих приводів, з розрахунку необхідної

потужності перетворювача. Крім того, на ринку України представлена велика кількість перетворювачів частоти в самому широкому діапазоні потужностей, організоване їхнє обслуговування й технічне навчання.

Як показує статистика, з кожним роком кількість впроваджуваних систем росте. Слід зазначити, що на підставі вищевикладеного можна зробити висновок про доцільність застосування способу регулювання насосної станції освітленої води за допомогою транзисторних перетворювачів частоти.

1.5 Пристрій плавного пуску електродвигунів

Через великі пускові струми в момент запуску електродвигунів великої потужності та інтенсивного зносу підключеного до них обладнання від різкого розгону ротора, їх намагаються якомога менше відключати і включати в роботу, що призводить до нераціонального використання обладнання та великої витрати електроенергії і води, що охолоджує. Пристрій плавного пуску (ППП) дозволить відключати і включати компресори (вентилятори, насоси) в будь-який момент, коли це необхідно, навіть на годинні перерви. Це дозволить істотно знизити витрати на електроенергію. PPP доцільно використовувати на синхронних і асинхронних електродвигунах потужністю від 400 до 12500 кВт.: На компресорах, насосах, вентиляторах.

Пристрій служить для поступового (плавного) розгону електродвигуна до певного числа обертів.

Переваги пропонованого пристрою плавного запуску:

- пускові струми знижуються в 4-7 разів;
- скорочується споживання охолоджуючої води;
- знижується обводнення пневмосистеми;
- виключається неприпустиме падіння напруги в мережі під час пуску;

– допустима кількість запусків електродвигунів потужністю понад 1 МВт до капітального ремонту зростає з 50 до необмеженої кількості разів. Інтервали між включеннями - будь-які, без негативних наслідків для запуску двигуна;

– сумісність з синхронними і асинхронними двигунами будь-якої потужності;

– можливість автоматизації включення і відключення електродвигунів;

– не потрібно спеціалізованого сервісного обслуговування і витрат на ремонт;

– виключаються гармоніки, що передаються в мережу.

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

2.1 Аналіз споживання енергоресурсів насосною станцією

Основними споживачами електричної енергії на насосній станції першого підйому ДВС-1 є насосні агрегати. Витрати електричної енергії при роботі насосних агрегатів зумовлюються необхідністю:

- переміщення рідини;
- підтримання тиску в трубопроводі;
- переборення гідравлічного опору в трубопроводі.

Частина енергії, що споживається насосною установкою, витрачається на подолання сил тертя в самому насосі (підшипниках, сальниках); у складових електропривода, особливо в електродвигунах (на покриття втрат у міді та сталі). Втрати енергії в насосному агрегаті визначають його коефіцієнт корисної дії, який, залежно від потужності та типу насосного агрегату, може становити від 0,3 до 0,9. Технічні характеристики та перелік насосних агрегатів, які встановлені на насосній станції першого підйому ДВС-1 приведено в Додатку А.

Напір H_0 (тиск) насоса на початку трубопроводу залежить від статичного напору $H_{ст}$, який визначається геодезичними показниками рівнів рідини та її подачі, а також динамічним напором рідини $H_{дин}$, що залежить від подачі Q та характеристики (гідравлічного опору) трубопроводу S .

Гідравлічний опір залежить від наявності засувок, вигинів труб, їх обробки, наявності зварних швів тощо. Крім того, під час роботи установок на нього впливає корозія, яка зменшує живий діаметр труб і збільшує гідравлічний опір, що спричиняє зростання споживання електричної енергії.

Оптимальним режимом роботи насосної установки вважають режим, за якого насос працює при номінальному розрахунковому значенні подачі $Q=Q_{ном}$, напору $H=H_{ном}$ і максимальному значенні ККД.

Реальні режими роботи насосної установки зазвичай відрізняються від оптимальних.

Споживання електричної енергії насосними агрегатами визначається переважно витратами енергії на технологічний процес транспортування рідини. Обсяги споживання електричної енергії та об'єм води, що перекачуються насосними агрегатами станції першого підйому ДВС-1» приведені в Додатках Б1, Б2. Для економічної та ефективної роботи насосної установки найважливішим є підтримання:

- відповідності подачі насоса витратам рідини в мережі ($Q_{нас} = Q_{вип}$);
- напору насоса, рівного втратам напору в мережі і статичному напору (геодезичній висоті подачі рідини).

Невідповідність параметрів насоса і мережі (трубопроводу) призводить до того, що не забезпечується подача необхідної кількості рідини споживачам або подача її виконується із перевитратами електричної енергії. Усунення такої невідповідності зумовлює необхідність керування режимами роботи насосних установок.

Відповідно даним додатків Б1 і Б2 побудуємо графіки залежності (рисунок 2.1) для аналізу споживання електричної енергії та корисного відпуску води на насосній станції першого підйому ДВС-1.

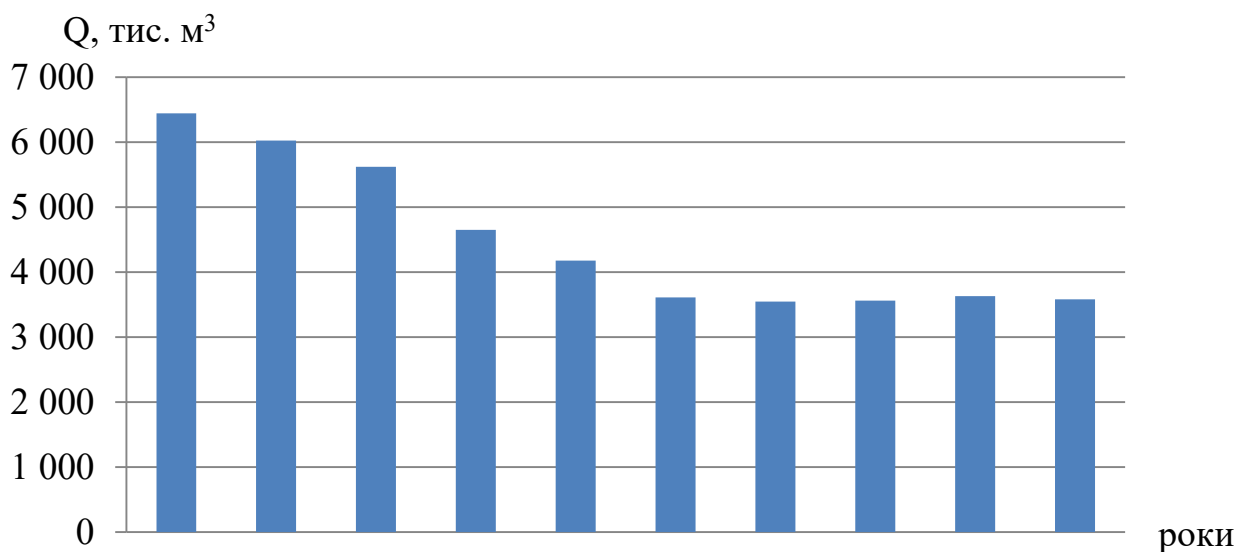


Рисунок 2.1 – Обсяги корисного відпуску води за роками

Зниження обсягу подачі води скоротився майже у 2 рази, з 6444, 2 тис. м³ у 2005 році до 3581,3 тис. м³ у 2014 році пояснюється:

– зниженням невикористаних витрат і неврахованих витрат води за рахунок постійних робіт та заходів з забезпечення надійності функціонування обсягів водозабезпечення;

– зниженням подачі води споживачам, які несвоєчасно сплачують послуги водопостачання та збільшення культури водозабезпечення при встановленні квартирних пристроїв обліку споживання води.

Така тенденція пов'язана з постійним зниженням чисельності населення, а також зі зменшенням обсягів виробництва на підприємствах і перехід на технічну воду. У 1991 році населення міста складало 984 000 мешканців, у 2013 році населення зменшилось до 768 900 мешканців. Спад численності мешканців міста склав 220 000 осіб, або 22%.

Порівняно з 2005 роком споживання електроенергії також знизилось з 831,3 тис. кВт·год до 720,0 тис. кВт·год (рисунок 2.2).

Спад споживання питної води досить істотно впливає на зниження економічних показників КП «Водоканал», перш за все на зниження енергетичної ефективності підприємства та на підвищення тарифів. Це візуально видно на графіку (рисунок 2.3).

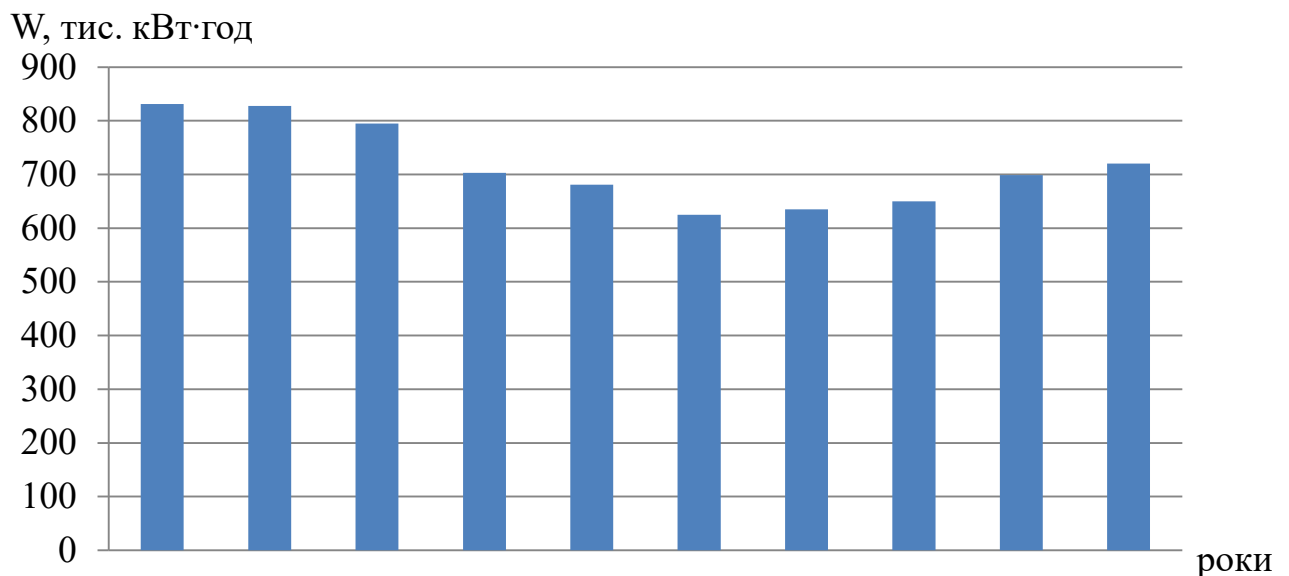


Рисунок 2.2 – Споживання електроенергії насосами за роками

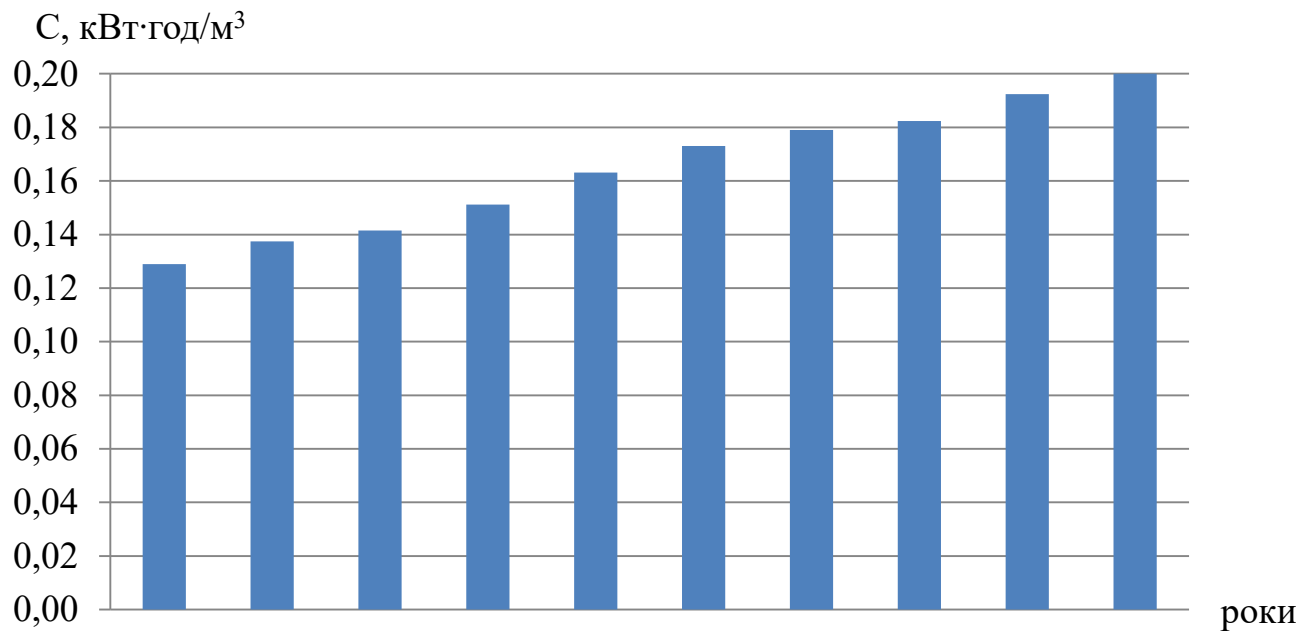


Рисунок 2.3 – Питомі витрати електроенергії за роками

КП «Водоканал» має значний потенціал зниження собівартості та підвищення енергетичної ефективності, за рахунок технічної оптимізації і переоснащення електрообладнання насосної станції.

2.2 Характеристика обладнання об'єкта дослідження

Насосами називаються машини, призначені для створення потоку (переміщення) рідини. Особливе значення має застосування насосів, насосних установок або насосних станцій в системах водопостачання, де вони є одним з основних вузлів. У системах водопостачання насоси забезпечують подачу води споживачам: промисловим підприємствам, житлових кварталах населених пунктів.

Насосними станціями називають будівлі або приміщення, в яких розташовані насосні агрегати, що їх з'єднують – трубопроводи, арматура,

силове електрообладнання, контрольно-вимірювальні прилади, вантажопідйомне і допоміжне обладнання, що забезпечують нормальну роботу насосних агрегатів, їх ремонт або заміну. Насосні станції є найбільш відповідальними спорудами в системах водопостачання і водовідведення, що забезпечують подачу необхідної витрати води з необхідним напором. Від того наскільки правильно спроектована і побудована насосна станція, залежить не тільки її надійність і зручність експлуатації, а й надійність і економічність роботи системи водопостачання або водовідведення.

Насосні станції класифікують за призначенням, за необхідної надійності дії, по розташуванню машинного залу щодо рівня землі, за ступенем автоматизації і т.д.

Водопровідні насосні станції в залежності від їх призначення в системі водопостачання підрозділяють на насосні станції першого і другого підйому, що підвищують (станції підкачки) і циркуляційні.

Насосні станції першого підйому призначені для подачі води з джерела водопостачання на очисні споруди або безпосередньо в мережу, резервуари або водонапірну башту, якщо очищення води не потрібно. Якщо в системі є декілька незалежно діючих насосних станцій, то їх, як правило, нумерують (насосна станція № 1, № 2 і т.д.). У деяких випадках на насосній станції першого підйому встановлюють дві або більше груп насосів, наприклад, для подачі води на очисні споруди і безпосередньо споживачам.

Насосні станції другого підйому призначені для подачі очищеної води з резервуарів в водоводи і розподільчу мережу.

Підвищувальні насосні станції (станції підкачки, станція третього підйому), призначені для підвищення напору в мережі окремих районів міста або на деяких ділянках районних водопроводів. Ці насосні станції забирають воду з водоводів або розподільної мережі.

По надійності дії водопровідні насосні станції згідно з нормами поділяють на три категорії:

1) Станції першої категорії – перерва в подачі насосної станції неприпустима, оскільки це може призвести до значного матеріального збитку (пошкодження технологічного обладнання, розладу складного технологічного процесу і т.д.).

2) Станції другої категорії – перерва в подачі води допустима на час, за який обслуговуючий персонал встигне включити резервні агрегати.

3) Станції третьої категорії – перерва в подачі води припустима для ліквідації аварії (але не більше 24 годин).

До першої категорії з надійності відносить насосні станції протипожежних водопроводів, а також об'єднаних господарсько-протипожежних або виробничо-протипожежних водопроводів.

До другої категорії по надійності відносять насосні станції, які мають у системі водопостачання ємність з необхідним протипожежним запасом води і забезпеченим розрахунковим напором, а також населених пунктів з кількістю жителів понад 3000 чоловік при витраті води на зовнішнє пожежогасіння 20 л/с.

До третьої категорія по надійності відносять насосні станції господарсько-протипожежних водопроводів і населених пунктів з кількістю жителів менше 3000 чоловік при витраті води на пожежогасіння до 20 л/с, а також насосні станції, що подають воду в допоміжні цехи промислових підприємств.

Число резервних агрегатів в насосних станціях залежить від категорії станції, числа робочих агрегатів в кожній групі насосів. Для гарантованої надійної роботи насосної станції необхідно забезпечити її безперервне електропостачання. Це досягається підключенням силової установки станції двома фідерами від двох незалежних джерел живлення.

По розташуванню приймального резервуара щодо машинного залу розрізняють насосні станції з роздільним розташуванням резервуара і суміщені, коли в одному будинку розміщений резервуар з решітками та іншим обладнанням і машинний зал.

По висоті розташування обладнання щодо рівня землі як водопровідні, так і каналізаційні станції підрозділяють на наземні, полузаглиблені, заглиблені і шахтного типу, т. е. розташовані на великій глибині.

Насосна станція першого підйому ДВС - 1 – наземна станція з роздільним розташуванням резервуарів з водою щодо машинного залу.

Класифікація насосів – це складна і неоднозначна задача. Насоси класифікують за рядом ознак: принципом дії, призначенням, галузевою застосування, величиною подачі і напору, виконанню і т. п.

Класифікація насосів за основними параметрами включає в себе такі показники, як номінальна корисна потужність насоса, номінальна подача і натиск. Таким чином, насоси класифікуються за крупності. Умовний розподіл насосів за продуктивністю наведено в таблиці 2.1.

За напором, що розвивається розрізняють насоси з низьким (до 10 м), середнім (до 70 м) і високим (більше 70 м) напором при відповідних тисках до 0,1 МПа, 0,7 МПа і більше 0,7 МПа.

Таблиця 2.1 – Розподіл насосів за продуктивністю

Показник крупності насоса	Корисна потужність, кВт	Подача, м ³ /с
Мікро	0–0,4	–
Дрібний	0,4–4	–
Малий	4–100	–
Середній	100–400	До 0,5
Крупний	400 і більше	більше 0,5

Пристрій відцентрового насоса показано на рисунку 2.4. Усередині корпусу насоса 1, що має, як правило, спіральну форму, на валу 2 жорстко закріплено робоче колесо 3. Робоче колесо складається з заднього і переднього дисків, між якими встановлені лопаті 4, відігнуті від радіального напрямку в бік протилежний напрямку обертання робочого колеса. За допомогою патрубків 5 і 6 корпус насоса з'єднаний з всмоктуючим і напірним трубопроводами.

Якщо при наповнених рідиною корпусі і всмоктуючому трубопроводі привести в обертання робоче колесо, то рідина, що знаходиться в каналах

робочого колеса (між його лопатями), під дією відцентрової сили буде відкидатися від центру колеса до периферії. У результаті цього в центральній частині колеса створиться розрідження, а на периферії – підвищений тиск. Під дією цього тиску рідина з насоса надходить у напірний трубопровід, одночасно через всмоктуючий трубопровід під дією розрідження рідина надходить у насос. Таким чином, здійснюється безперервна подача рідини відцентровим насосом.

Відцентрові насоси можуть бути не тільки одноступінчастими (з одним робочим колесом), як показано на рисунку 2.4, а й багатоступінчастими (з декількома робочими колесами). При цьому принцип їх дії у всіх випадках залишається одним і тим же – рідина переміщується під дією відцентрової сили, що розвивається обертовим робочим колесом. Робоче колесо осьового насоса являє собою втулку, на якій укріплено кілька крилоподібних лопатей. При обертанні колеса навколо осі лопаті впливають на потік таким чином, що створюється підйомна сила, під дією якої рідина переміщується вздовж втулки колеса. Робоче колесо осьового насоса обертається в трубчастій камері, і основна маса потоку в межах колеса рухається в осьовому напрямку. Одночасно перекачується рідина кілька закручується робочим колесом. Для усунення обертального руху в камері на деякій відстані від робочого колеса встановлюють виправний апарат, через який рідина надходить у колінчастий відведення насоса і далі в напірний трубопровід.

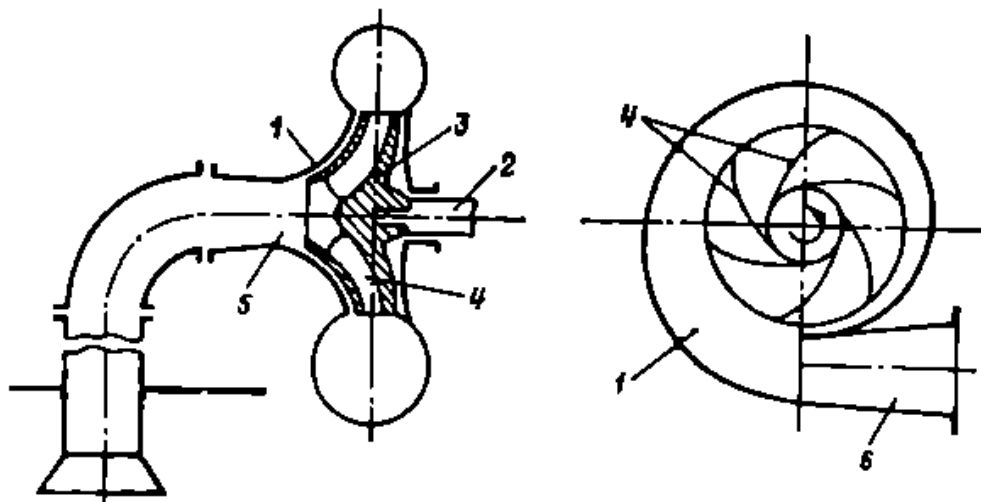


Рисунок. 2.4 – Схема відцентрового насоса

Для правильного вибору насоса, потрібно вміти прогнозувати робочі параметри насоса. Складність цього завдання полягає в тому, що робочі параметри насоса залежать не тільки від самого насоса, але і від трубопроводу (трубопровідної мережі), за яким насос переміщує рідину. Оцінити робочі параметри можна тільки при аналізі взаємодії насоса з трубопровідною мережею, що вимагає навичок побудови графічних характеристик насоса, групи насосів і трубопровідної мережі. При аналізі ефективності роботи насоса необхідно вміти оцінювати коефіцієнт корисної дії (ККД) і визначати за його максимального значення оптимальну подачу насоса.

Режим роботи відцентрового насоса залежить від трубопровідної мережі, в якій він працює, при експлуатації насоса і виявленні неполадок необхідно розуміти з яких елементів складається трубопровідна мережу і як користуватися вимірювальними приладами, встановленими в трубопровідній мережі.

Важливим завданням при експлуатації насоса в трубопровідній мережі є регулювання подачі ним рідини. Від подачі відцентрового насоса залежить його ККД, а значить і потужність, що споживається. Подача насоса може мінятися при зміні різних параметрів трубопровідної мережі (рисунок 2.5) (тиску в резервуарах, рівня рідини). У зв'язку з цим, необхідно розуміти, як залежить робоча подача насоса від параметрів трубопровідної мережі.

Розрахункові добові витрати води приймаються в основу розрахунку всієї системи подачі та розподілу води (включаючи мережі). Для розрахунку системи важливий також облік нерівномірності витрати води протягом доби. Режим роботи мереж і безпосередньо пов'язаних з ними споруд (насосів II підйому, водоводів і регулюючих ємностей) визначається режимом відбору води з водопровідної мережі об'єктів в окремі періоди доби.

Режим відбору води населенням є в значній мірі випадковим і некерованим процесом. Тим часом щоб можливо більш точно і економічно спроектувати систему подачі та розподілу води, необхідно задатися деякими

«розрахунковими» графіками відбору води з мережі протягом доби, найбільш близькими до дійсним.

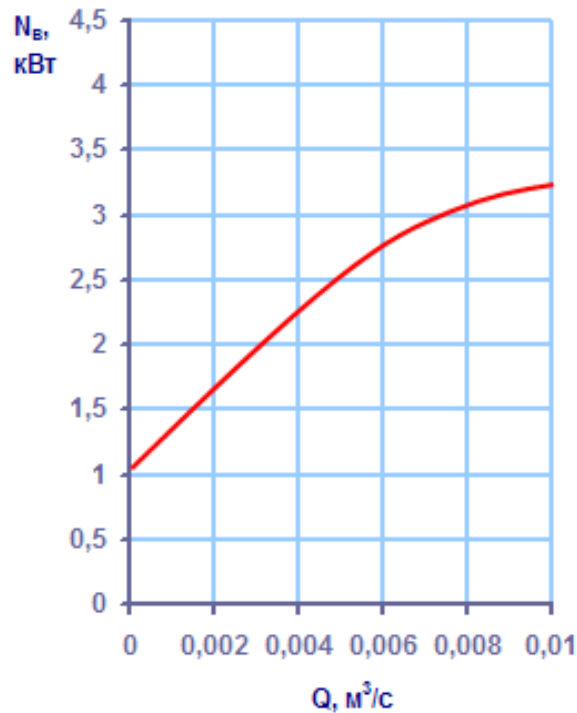


Рисунок 2.5 – Характеристика залежності потужності на валу від подачі відцентрового насоса.

Єдина можливість отримання таких графіків – вивчення та аналіз дійсних графіків водоспоживання населених пунктів, найбільш близьких за кліматичними і демографічними умовами, за чисельністю населення і за ступенем санітарно-технічного благоустрою мешканців до того населеного пункту, для якого розробляється проект. Якщо проект складається для розширення мережі водопостачання, вже існуючої в даному місті, слід використовувати дані про його фактичні режими водоспоживання.

Необхідно мати на увазі, що графік зміни витрат води протягом доби змінюється в окремі дні і в різні сезони року.

Головним завданням є вивчення та аналіз можливо більшого числа графіків водоспоживання аналогічних об'єктів за можливо більш тривали терміни і вибір з них найбільш близьких для проєктованого об'єкта і найбільш

характерних для доби найбільшого, середнього та найменшого водоспоживання.

Велике значення для правильного встановлення розрахункових витрат води має врахування можливих максимальних годинних витрат. Максимальна годинна витрата в добу найбільшого водоспоживання визначає найбільше ймовірне навантаження мережі за розрахунковий рік. При мінімальній годинній витраті протягом доби в мережі будуть найбільші вільні напори (внаслідок малих ухилів п'єзометричних ліній). Середня часова витрата може бути використана для оцінки витрат енергії на подачу води.

На підставі досвіду роботи міських водопроводів та аналізу коливання витрат води протягом доби в СНиП II-31-74 представлені нормативні значення коефіцієнтів для визначення коефіцієнта нерівномірності, що характеризує максимальну розрахункову витрату за добу.

Таблиця 2.2 – Нормативні значення коефіцієнтів для визначення коефіцієнта нерівномірності водоспоживання

Число жителів, тис. чол.	β_{\max}	β_{\min}	Число жителів, тис. чол.	β_{\max}	β_{\min}
<1	2	0,1	20	1,2	0,5
1,5	1.8	0,1	30	1,15	0,6
2,5	1,6	0,1	100	1,1	0,7
4	1.5	0,2	300	1,05	0,85
6	1.4	0,25	≥ 1000	1	1
10	1.3	0,4			

Ступінь нерівномірності водоспоживання протягом доби залежить від двох факторів. Першим є число мешканців міста. Чим воно більше, тим буде менше коефіцієнт нерівномірності. Крива (графік) коливання витрат води протягом доби в місті в цілому являє собою суму індивідуальних кривих (графіків) споживання води окремими мешканцями. Зазвичай ці індивідуальні

криві значно відрізняються один від одного і при додаванні більшого їх числа пікові ординати сумарних кривих знижуються. Відхилення від цієї закономірності можливо в населених пунктах з однаковим режимом життя більшої частини населення: курортних місцях, робочих селищах і т. п.

Другим чинником, що впливає на ступінь нерівномірності витрачання води протягом доби, є сума індивідуальних особливостей кожного населеного пункту (клімат, заняття жителів і т. п.).

Вода з міського водопроводу відбираються на господарсько-питні потреби населення, на потреби промислових підприємств, а також відбуваються деякі втрати води. Повний графік витрати води по годинах доби слід будувати з урахуванням усіх цих витрат і можливих ступенів їх коливання протягом доби.

Витрачання води промисловими підприємствами зазвичай майже рівномірно протягом робочого часу. При проектуванні водопроводу графік споживання води промисловими підприємствами задається технологами.

Досить часто вода з мережі міського водопроводу, призначена для потреб промислових підприємств надходить в їх регулюючі та запасні ємності, звідки подається місцевими насосними станціями в цехи. Іноді подача води промисловим підприємствам з мережі міського водопроводу здійснюється в години найменшого споживання води містом. Подібний режим постачання водою підприємств сприяє упорядкуванню режиму та підвищенню економічності роботи міського водопроводу в цілому.

Для всіх зазначених категорій водоспоживання повинні бути складені графіки споживання води протягом доби. Ординати цих графіків складають з ординатами основного графіка споживання води містом і в результаті отримують сумарний графік витрачання води з мережі міського водопроводу. Ординати графіків складаються, так само як і ординати сумарного графіка, повинні бути виражені у відсотках загальної сумарної витрати води містом.

Сумарні графіки служать основою для розрахунку мережі. Відповідно до цих графіками призначають графіки подачі води насосами, визначають схеми живлення мережі від насосів.

На рисунку 2.6 наведено добовий графік подачі води насосною станцією першого підйому ДВС - 1.

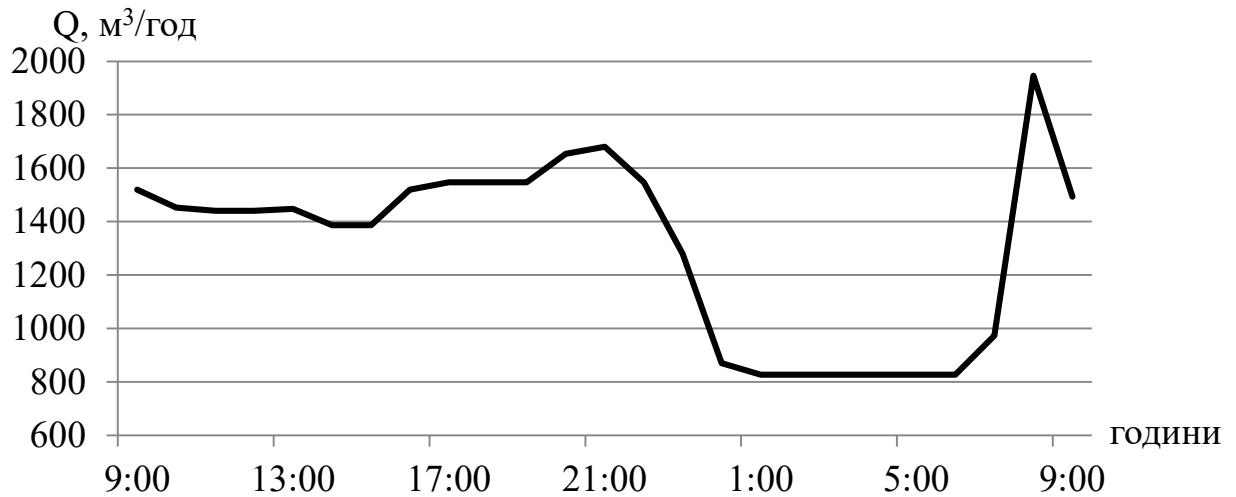


Рисунок 2.6 – Добовий графік подачі води насосною станцією

3 РОЗРАХУНОК ЗАХОДІВ ЗІ ЗМЕНШЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

3.1 Вибір насосних агрегатів

В основу вибору насосних агрегатів покладений принцип послідовного включення електричних двигунів, в залежності від обсягу споживання питної води. Таке регулювання дозволить максимально ефективно використовувати електрообладнання і зменшити споживання електричної енергії.

Проаналізувавши графік споживання води було встановлено, що з 24:00 години до 6:00 ранку – це період мінімального водоспоживання (приблизне споживання 830 м³/год), а період з 8:00 годинку ранку – пікове споживання води (приблизне споживання 1700 м³/год). Тому продуктивність насосних агрегатів підбирається таким чином, щоб кожний двигун протягом дня був максимально завантажений і при цьому його ККД буде максимальним.

На підставі вищезазначених даних і обґрунтувань виконаємо вибір насосних агрегатів з дотриманням технологічних параметрів. Данні обраних насосних агрегатів приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики насосних агрегатів

№	Двигун						Насос				Вартість, грн.
	Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВт	Оберти, об/хв	ККД, %	cosφ	Тип	Номінальна продуктивність, м ³ /ГОД	Напір, м	ККД, %	
1	1	АИР 225 М4	55	1500	92,4	0,87	Д 320-506	300	30	90	64652
2	2	АИР 280 S6	75	1000	93	0,85	1Д 630-90а	470	30	90	114017
3	1	5АМН 280 М6	110	1000	94,8	0,85	1Д 1600-906	870	30	90	136231

Для керування асинхронними двигунами обираємо частотні перетворювачі фірми **Schneider Electric** відповідних потужностей. Технічні характеристики перетворювачів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювачів частоти

№	Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВт	Число фаз	Напруга на виході, В	Максимальна вихідна частота, Гц	Вартість, грн.
1	1	ATV212HD55N4	55	3	380	200	86894
2	2	ATV212HD75N4	75	3	380	200	108934
3	1	ATV61HC11N4	110	3	380	500	195697

Економії електроенергії в насосній установці при використанні в ній регульованого електроприводу з частотним перетворювачем розраховується за кривими $W_{ек}^* = f(\lambda, H_{\phi}^*)$, за якими досить просто, в залежності від значень λ і H_{ϕ}^* , визначається відносна економія електроенергії $W_{ек}^*$.

Знаючи відносну економію енергії $W_{ек}^*$ обчислюється прогнозована економія електроенергії за розрахунковий період.

Визначаємо діапазон зміни подачі води за розрахунковий період.

$$\lambda = \frac{Q_m}{Q_b}, \quad (3.1)$$

де Q_b , Q_m – найбільша і найменша подача за розрахунковий період, м³/год.

Відповідно денному графіку споживання води:

$$Q_b = 1946,45 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$Q_m = 827,15 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\lambda = \frac{827,15}{1946,45} = 0,43$$

Визначаємо крутизну характеристики трубопроводу.

$$H_{\phi}^* = \frac{H_{\phi}}{H_b}, \quad (3.2)$$

де H_{ϕ} – фіктивна висота підйому води при нульовій подачі насоса;

H_{ϕ} – напір, що відповідає найбільшій подачі Q_{ϕ} .

$$H_{\phi}^* = \frac{15}{30} = 0,5$$

По графіку (рисунок 3.1) визначаємо значення відносної економії енергії.

$$W_{\text{ек}}^* = 0,278$$

Визначаємо приблизну економію електроенергії за рахунок впровадження частотних перетворювачів.

$$W_{\text{ек}} = W_{\text{річ}} \cdot [W_{\text{ек}}^* - (1 + \xi - \eta_{\text{пр}})], \quad (3.3)$$

де $W_{\text{річ}}$ – річне споживання електроенергії, тис. кВт·год;

$\eta_{\text{пр}}$ – номінальний ККД частотного перетворювача, $\eta_{\text{пр}} \approx 0,98$;

ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати в електродвигуні,
 $\xi = 0,02 \dots 0,03$.

$$\Delta W_{\text{ек}} = 720 \cdot [0,278 - (1 + 0,03 - 0,98)] = 164,16 \text{ тис. кВт·год}$$

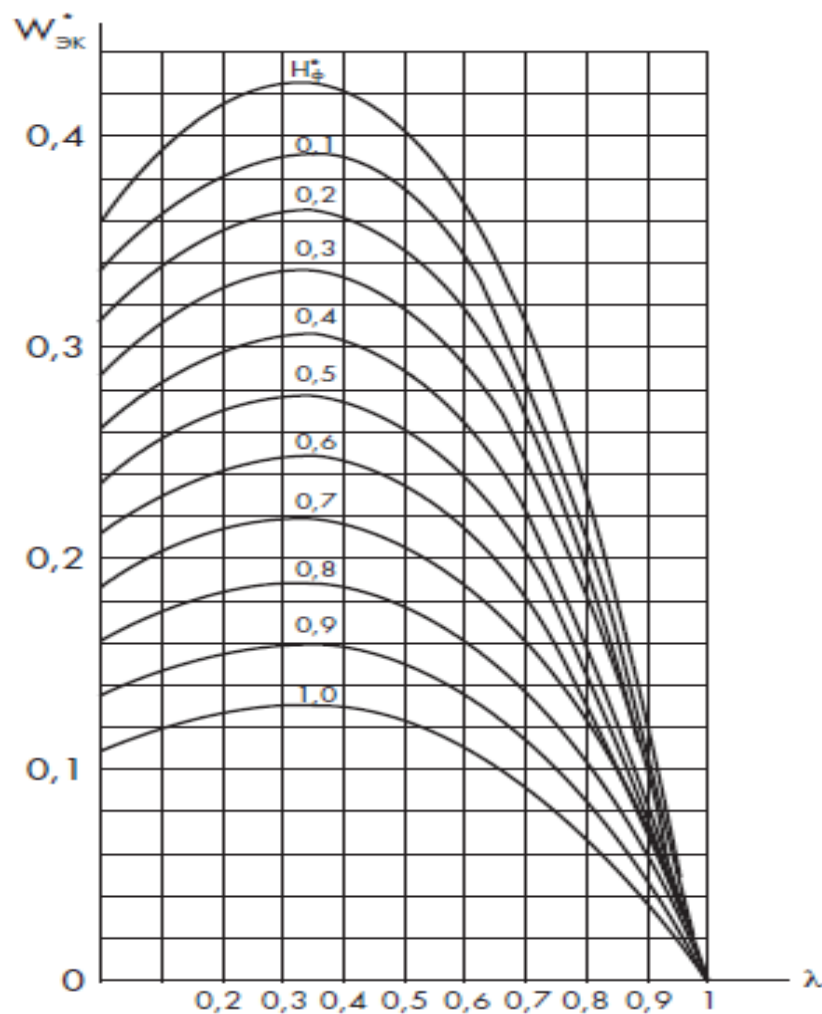


Рисунок 3.1 – Розрахункові криві для насосних агрегатів

3.2 Розрахунок питомих норм споживання електроенергії

На насосній станції у вартості води, що перекачується значну питому вагу займають витрати на електроенергію. Оптовий ринок електроенергії організований за принципами, які мають велике значення і точність в формуванні планових заявок споживачів на оптовому ринку електроенергії. В разі відхилення планової заявки від фактичного споживання підприємство штрафується. У випадку перевищення фактичного споживання над планової заявкою енергетичні ресурси реалізуються на оптовому ринку за підвищеною ціною.

Статистичні норми встановлюються на основі звітних даних про середню витрату матеріальних ресурсів за минулий період з деяким коректуванням їх у бік зниження на плановий період. Такий метод нормування має істотні недоліки. Дослідно-статистичні норми ґрунтуються на рівні техніки та організації виробництва попереднього періоду. Такі норми зазвичай слабо орієнтують виробничі колективи на вишукування резервів.

На основі статистичних методів формуються норми витрати енергії. На технологічні потреби вони складаються у вигляді норм витрати на одиницю продукції або на одиницю часу роботи устаткування і носять загальне найменування – питома норма витрат.

Визначаємо питомі витрати електроенергії на перекачування одного м³ води.

$$C = \frac{W}{Q}, \quad (3.4)$$

$$C = \frac{831,3}{6444,2} = 0,129 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$$

Визначаємо грошові питомі витрати на перекачування одного м³ води.

$$B = C \cdot B_{ee}, \quad (3.5)$$

де B_{ee} – тариф на електроенергію.

$$C = 0,129 \cdot 2,316 = 0,441 \text{ грн.}/\text{м}^3$$

В таблиці 3.3 приведені основні показники питомих витрат електроенергії і питомих витрат в грошовому еквіваленті за роками.

Таблиця 3.3 – Показники розрахункових питомих витрат електроенергії на насосній станції

Найменування	Одиниці виміру	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Тариф на е/е	грн / кВт·год	0,31	0,38	0,44	0,7	0,73	0,82	1,05	1,13	1,23	1,525
Споживання е/е на рік (W)	тис. кВт·год	831	827	794	703	681	625	635	650	699	720,0
Витрати води (Q)	тис. м ³	6444	6023	5619	4650	4176	3611	3547	3564	3633	3581,3
Питомі витрати е/е	кВт·год/м ³	0,129	0,137	0,141	0,151	0,163	0,173	0,179	0,182	0,192	0,201
Питомі витрати е/е	грн/м ³	0,04	0,05	0,06	0,10	0,12	0,14	0,18	0,20	0,23	0,306
Витрати на е/е за рік	тис. грн	262,4	316,4	353,1	493,1	500,9	514,5	667,8	738,4	865,9	1097,6

На рисунках 3.2–3.3 приведені графіки, які показують як збільшуються питомі витрати по рокам.

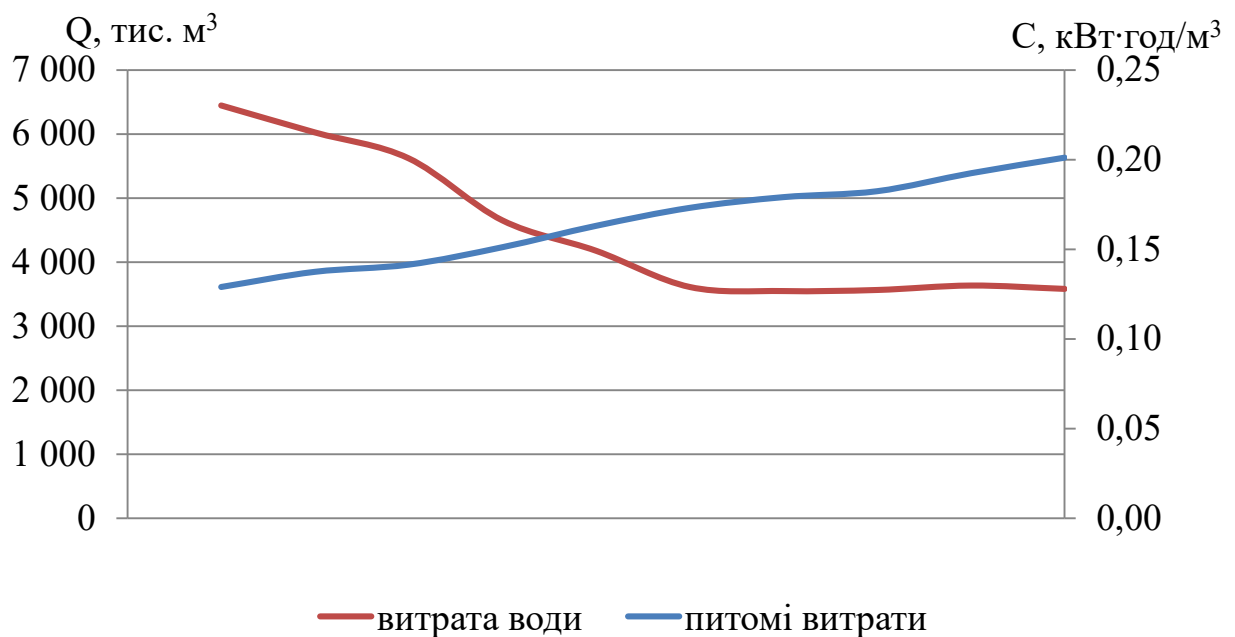


Рисунок 3.2 – Графік витрати води і питомих витрат електроенергії

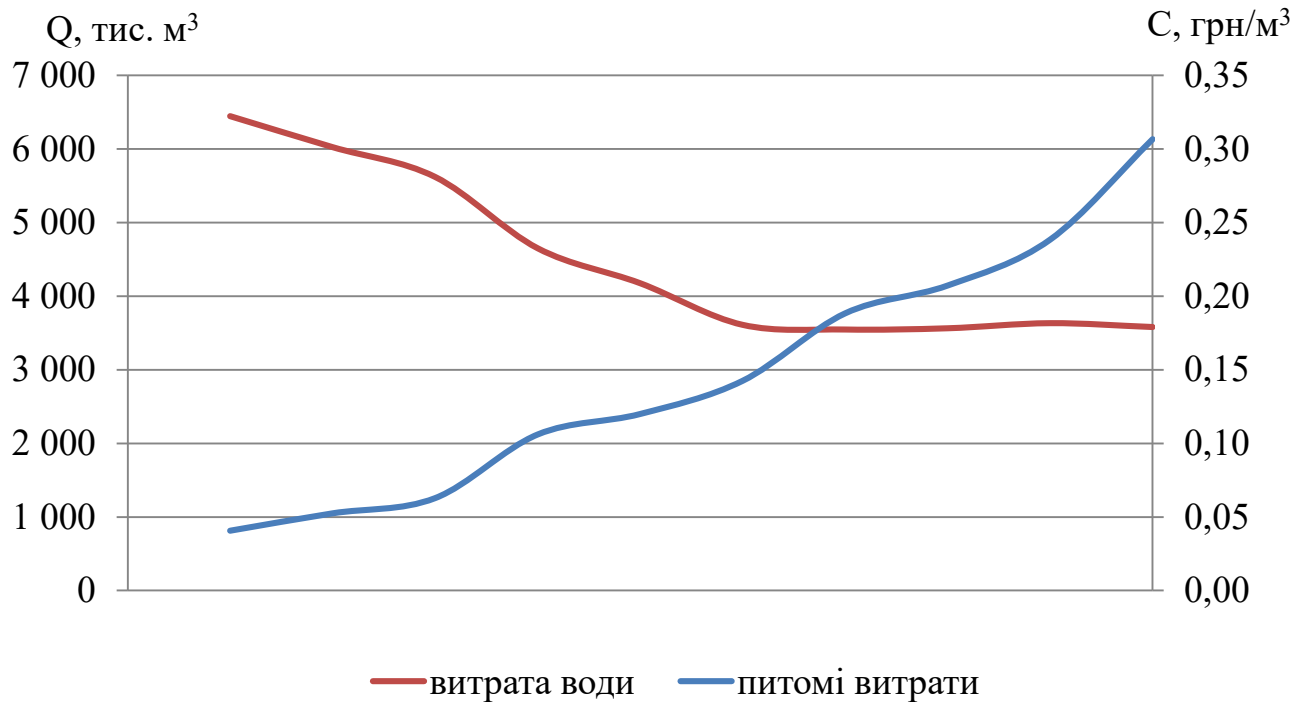


Рисунок 3.3 – Графік витрати води і питомих витрат в грошовому еквіваленті

3.3 Розрахунок і вибір трансформаторів

В системах електропостачання насосних станцій цехові підстанції використовують для перетворення і розподілу електроенергії, яка поступає від енергосистем. На всіх підстанціях для зміни напруги і змінного струму служать силові трансформатори різного конструктивного виконання, що випускаються в широкому діапазоні номінальних потужностей і напруг.

Правильне визначення числа і потужності цехових трансформаторів можливе тільки з урахуванням таких факторів: категорії електропостачання споживачів; компенсації реактивних навантажень на напрузі до 1 кВ; перевантажувальної здатності трансформаторів у нормальному та аварійному режимах; економічних режимів роботи трансформаторів залежно від графіка навантаження. У нормальних умовах силові трансформатори повинні

забезпечувати живлення всіх електроприймачів підприємства. Як правило, трансформаторів на підприємстві повинно бути не більше двох.

Двотрансформаторні підстанції застосовуються при значному числі споживачів першої та другої категорії.

Насосна станція відноситься до I категорії електропостачання, тому повинна дотримуватися надійність і безперебійність роботи електроприймачів, для запобігання аварійних режимів. Виходячи з цього, вибираємо дувхтрансформаторну підстанцію, яка розташовується в приміщенні насосної станції.

Визначаємо реактивну потужність електродвигунів.

$$Q = \tan \varphi \cdot P_{\text{ном}}, \quad (3.6)$$

$$\varphi = \arccos \cos \varphi$$

$$\varphi_1 = 29,54$$

$$\varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = 31,79$$

$$Q_1 = \tan 29,54 \cdot 55 = 31,17 \text{ квар}$$

$$Q_2 = \tan 31,79 \cdot 75 = 46,48 \text{ квар}$$

$$Q_3 = \tan 31,79 \cdot 75 = 46,48 \text{ квар}$$

$$Q_4 = \tan 31,79 \cdot 110 = 68,18 \text{ квар}$$

Визначаємо сумарну активну і реактивну потужність.

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}_1} + P_{\text{ном}_2} + P_{\text{ном}_3} + P_{\text{ном}_4}. \quad (3.7)$$

$$\sum P_{\text{ном}} = 55 + 75 + 75 + 110 = 315 \text{ кВт}$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4. \quad (3.8)$$

$$\sum Q = 31,17 + 46,48 + 46,48 + 68,18 = 192,31 \text{ квар}$$

Визначаємо повну розрахункову потужність.

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{\sum P_{\text{ном}}^2 + \sum Q^2}. \quad (3.9)$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{315^2 + 192,31^2} = 369 \text{ кВА}$$

По результатам розрахунків обираємо два трансформатора типу ТМ-400, які забезпечать безперебійне живлення насосних агрегатів і резервування в разі

аварії або в разі проведення ремонтів. В таблицях 3.4-3.5 приведені технічні характеристики трансформаторів.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики встановлених на насосній станції трансформаторів

Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВА	Клас напруги, кВ		Напруга КЗ, %	Втрати, Вт	
			ВН	НН		XX	КЗ
2	ТМ-1000	1000	10	6/0,4	6,5	2000	12200

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики обраних трансформаторів

Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВА	Клас напруги, кВ		Напруга КЗ, %	Втрати, Вт		Вартість, грн.
			ВН	НН		XX	КЗ	
2	ТМ-400	400	10	0,4	4,5	830	5500	66000

3.4 Розрахунок компенсуючої установки

Компенсуючі установки застосовуються для того, щоб уповільнити обертання лічильника реактивної енергії. Їх застосування дозволяє вирішити ряд інших проблем, що виникають на виробництві:

– знизити завантаження силових трансформаторів (при зниженні споживання реактивної потужності знижується споживання повної потужності);

– забезпечити живлення навантаження по кабелю з меншим перетином (не допускаючи перегріву ізоляції);

– за рахунок часткової струмового розвантаження силових трансформаторів і кабелів, що живлять підключити додаткове навантаження;

– дозволяє уникнути глибокої просадки напруги на лініях електропостачання віддалених споживачів.

Визначаємо розрахункову величину потужності компенсуючої установки.

$$Q'_{\text{ку}} = P \cdot \alpha \cdot (\tan \varphi_{\text{ср.вз.}} - \tan \varphi). \quad (3.10)$$

$$\tan \varphi_{\text{ср.вз.}} = \frac{Q}{P}, \quad (3.11)$$

де α – коефіцієнт, який враховує можливе зменшення споживання реактивної потужності природним шляхом, $\alpha=0,9$;

$\tan \varphi_{\text{ср.вз.}}$ – середнє значення \tan до компенсації;

$\tan \varphi$ – нормативне значення, яке встановлено постачальником, $\tan \varphi=0,2$.

$$\tan \varphi_{\text{ср.вз.}} = \frac{192,31}{315} = 0,61$$

$$Q'_{\text{ку}} = 315 \cdot 0,9 \cdot (0,61 - 0,2) = 116,24 \text{ квар}$$

Визначаємо потужність компенсуючої установки з умови:

$$Q_{\text{ку}} \geq Q'_{\text{ку}}. \quad (3.12)$$

$$120 \text{ квар} \geq 116,24 \text{ квар}$$

На стороні 0,4 кВ встановлюємо компенсуючі установки типа АУКРМ-60-4-К. Технічні характеристики компенсуючих установок приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики компенсуючої установки

Кількість, шт.	Тип	Потужність установки, квар	Кількість ступенів регулюв.	Точність регулюв., квар	Вартість, грн
2	АУКРМ-60-4-К	60	4	5	10587

Визначаємо річну економію

$$C_{pe} = K_{пп} \cdot n \cdot Q_{ку} \cdot T, \quad (3.13)$$

де K_{nn} – коефіцієнт зниження втрат, $K_{nn}=0,12$;

n – кількість компенсуючих установок.

$$C_{pe} = 0,12 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 8760 = 126,144 \text{ тис. квар}\cdot\text{год}$$

3.5 Розрахунок втрат в системі живлення

У режимі холостого ходу споживана трансформатором активна потужність витрачається тільки на покриття втрат в сталі магнітопроводу і в первинній обмотці. Особливістю втрат холостого ходу є їх сталість і незалежність від режиму навантаження трансформатора.

Визначаємо втрати холостого ходу трансформатора.

До модернізації

$$\Delta P'_{xx} = 2 \cdot \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \sum S_{тр} \cdot \frac{2 \cdot I_{xx}}{100\%}, \quad (3.14)$$

де ΔP_{xx} – втрати потужності трансформатора при холостому ході;

K_{nn} – коефіцієнт зниження втрат, $K_{nn}=0,12$;

I_{xx} – таблична величина.

$$\Delta P'_{xx1} = 2 \cdot 2 + 0,12 \cdot 2 \cdot 1000 \cdot \frac{2 \cdot 1,4}{100\%} = 10,72 \text{ кВт}$$

Після модернізації

$$\Delta P'_{xx} = 2 \cdot \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \sum S_{тр} \cdot \frac{2 \cdot I_{xx}}{100\%}, \quad (3.15)$$

$$\Delta P'_{xx2} = 2 \cdot 0,83 + 0,12 \cdot 2 \cdot 400 \cdot \frac{2 \cdot 2,1}{100\%} = 5,69 \text{ кВт}$$

Визначаємо зменшення електричних втрат в трансформаторі.

$$W = \Delta P'_{xx} \cdot T, \quad (3.16)$$

де T – кількість годин роботи трансформаторів на рік.

$$W_1 = 10,72 \cdot 8760 = 93907,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$W_2 = 5,69 \cdot 8760 = 49844,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$\Delta W = W_1 - W_2. \quad (3.17)$$

$$\Delta W = 93907,2 - 49844,4 = 44062,8 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

На рисунку 3.4 приведена схема живлення насосної станції.

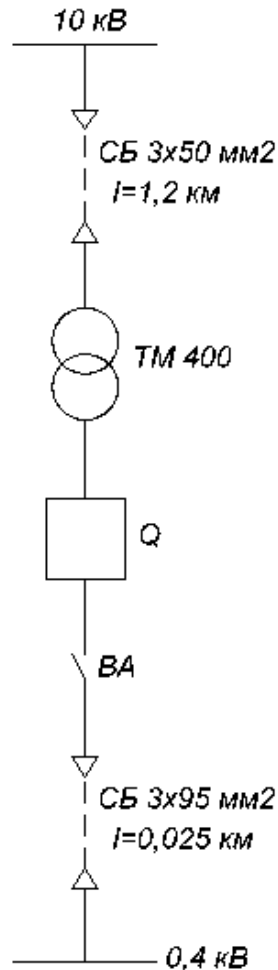


Рисунок 3.4 – Схема живлення насосної станції

Визначаємо струм в кабельній лінії на високій стороні (10 кВ) і низькій стороні (0,4 кВ).

До модернізації

$$I_{\text{ср ВН}} = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}} \cdot 1,033 \cdot T \cdot \cos \varphi}. \quad (3.18)$$

$$I_{\text{ср ВН}} = \frac{720000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,033 \cdot 8760 \cdot 0,9} = 5,11 \text{ А}$$

$$I_{\text{ср НН}} = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 1,033 \cdot T \cdot \cos \varphi}. \quad (3.19)$$

$$I_{\text{ср НН}} = \frac{720000}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1,033 \cdot 8760 \cdot 0,9} = 127,75 \text{ А}$$

Після модернізації

$$I_{\text{ср ВН}} = \frac{W - \Delta W_{\text{ек}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}} \cdot 1,033 \cdot T \cdot \cos\varphi}, \quad (3.20)$$

де T – число годин роботи трансформатора під навантаженням, год;

$\cos\varphi$ – середньозважений коефіцієнт потужності трансформатора, $\cos\varphi=0,9$;

$$I_{\text{ср ВН}} = \frac{720000 - 164160}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,033 \cdot 8760 \cdot 0,9} = 3,95 \text{ А}$$

$$I_{\text{ср НН}} = \frac{W - \Delta W_{\text{ек}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 1,033 \cdot T \cdot \cos\varphi}. \quad (3.21)$$

$$I_{\text{ср НН}} = \frac{720000 - 164160}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1,033 \cdot 8760 \cdot 0,9} = 98,63 \text{ А}$$

Визначаємо втрати в кабельній лінії на високій стороні (10 кВ) і низькій (0,4 кВ) стороні.

$$W_{\text{кл}} = 1,1 \cdot n \cdot p \cdot I_{\text{ср}}^2 \cdot \frac{L}{g} \cdot 0,001 \cdot T, \quad (3.22)$$

де n – число фаз лінії; $n=3$;

p – питомий опір матеріалу (таблиця 3.7), Ом·мм²/м;

L – довжина кабельної лінії, м;

g – перетин кабелю, мм²;

T – час роботи за розрахунковий період, $T=8760$ годин;

I, I – коефіцієнт, що враховує опір контактів, з'єднання жил і спосіб прокладки кабельної лінії.

До модернізації

$$W_{\text{кл ВН}} = 1,1 \cdot 3 \cdot 0,0189 \cdot 5,11^2 \cdot \frac{1200}{50} \cdot 0,001 \cdot 8760 = 342,43 \text{ кВт·год}$$

$$W_{\text{кл НН}} = 1,1 \cdot 3 \cdot 0,0189 \cdot 127,75^2 \cdot \frac{25}{95} \cdot 0,001 \cdot 8760 = 2346 \text{ кВт·год}$$

Після модернізації

$$W_{\text{кл ВН}} = 1,1 \cdot 3 \cdot 0,0189 \cdot 3,95^2 \cdot \frac{1200}{50} \cdot 0,001 \cdot 8760 = 204,59 \text{ кВт·год}$$

$$W_{\text{кл НН}} = 1,1 \cdot 3 \cdot 0,0189 \cdot 98,63^2 \cdot \frac{25}{95} \cdot 0,001 \cdot 8760 = 1398,67 \text{ кВт·год}$$

Визначаємо зменшення втрат в кабельній лінії на високій стороні (10 кВ) і низькій (0,4 кВ) стороні.

$$\Delta W_{\text{кл ВН}} = W_{\text{кл ВН до}} - W_{\text{кл ВН після}} \quad (3.23)$$

$$\Delta W_{\text{кл НН}} = 342,43 - 204,59 = 137,84 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$\Delta W_{\text{кл НН}} = W_{\text{кл НН до}} - W_{\text{кл НН після}} \quad (3.24)$$

$$\Delta W_{\text{кл НН}} = 2346 - 1398,67 = 947,33 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Таблиця 3.7 – Довідникові питомі опори міді і алюмінію

Матеріал жили кабелю	Опір	Одиниці виміру
Мідь	0,0189	Ом·мм ² /м
Алюміній	0,0271	Ом·мм ² /м

3.6 Основні економічні показники проекту

Для підтвердження доцільності впровадження всіх вище перерахованих заходів, які пропонуються в дипломній роботі, необхідно виконати економічні розрахунки і визначити простий термін окупності. Додатково до вартості обладнання враховуються витрати на демонтажні, монтажні, пусканалагоджувальні роботи, частка яких від загальної вартості складає 25%.

В таблицях 3.8–3.10 приведені техніко-економічні показники енергозберігаючих заходів. На рисунках 3.5-3.6 приведені графічне зображення техніко-економічних показників.

Визначаємо простий термін окупності.

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E} \quad (3.25)$$

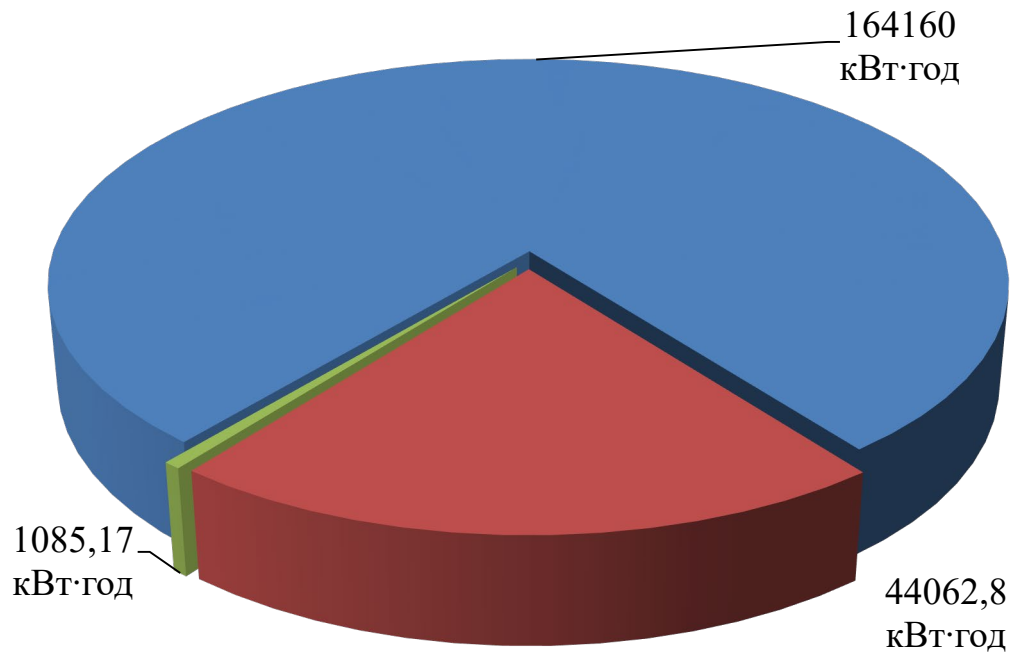
$$T_{\text{ок}} = \frac{1082550 \cdot 1,25}{335199,9} = 4,04 \text{ роки}$$

Таблиця 3.8 – Перелік обладнання, що встановлюється на насосній станції

№	Кількість, шт.	Найменування	Тип	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
1	1	Насосні агрегати	Д 320-506	64652	64652
	2		1Д 630-90а	114017	228034
	1		1Д 1600-906	136231	136231
2	1	Частотні перетворювачі	ATV212HD55N4	86894	86894
	2		ATV212HD75N4	108934	217868
	1		ATV61HC11N4	195697	195697
3	2	Трансформатори	ТМ-400	66000	132000
4	2	Компенсуюча установка	АУКРМ-60-4-К	10587	21174

Таблиця 3.9 – Технічні заходи, що впроваджуються на насосній станції для економії електроенергії

№	Заходи зі зменшення споживання електроенергії	Споживання електроенергії до модернізації, кВт·год	Споживання електроенергії після модернізації, кВт·год	Економія електроенергії, кВт·год
1	Встановлення насосних агрегатів з частотними перетворювачами	720000	555840	164160
2	Заміна трансформаторів			
	– зменшення втрат холостого ходу	93907,2	49844,4	44062,8
3	Встановлення компенсуючих установок	172935	46791	126144
4	Втрат в системі живлення			
	– в кабельній лінії на стороні 10 кВ	342,43	204,59	137,84
	– в кабельній лінії на стороні 0,4 кВ	2346	1398,67	947,33
	Всього	816711,87	607287,7	209424,2



- Встановлення насосних агрегатів з частотними перетворювачами
- Заміна трансформаторів
- Зменшення втрат в системі живлення

Рисунок 3.5 – Діаграма економії електроенергії по кожному технічному заходу

Таблиця 3.10 – Техніко-економічні показники дипломної роботи

№	Заходи зі зменшення споживання е/е	Вартість устаткування, грн.	Економія електроенергії, грн.	Термін окупності, років
1	Встановлення насосних агрегатів з частотними перетворювачами	929 376,00	250 344,0	4,64
2	Заміна трансформаторів	132 000,00	67 195,8	2,46
3	Встановлення компенсуючих установок	21 174,00	17 660,2	1,50
4	Зменшення втрат в системі живлення	2 500,0	1 654,9	1,89
	Всього	1 082 550,0	336 854,8	4,03



Рисунок 3.6 – Економічні показники дипломної роботи

ВИСНОВКИ

Економічна ефективність заходів із встановлення перетворювачів частоти забезпечується за рахунок зниження платежів за електроенергію. По результатам розрахунків заходів з енергозбереження отримано економію електроенергії близько 210 тис кВт·год на рік, що складає майже 337 000 грн. на рік. Приблизний термін окупності всіх запропонованих заходів складає 4,03 роки. Додатковий позитивний результат при впровадженні заходів буде спостерігатися у наступному:

- покращується $\cos \varphi$ установки ($\cos \varphi > 0,95$);
- знижується зношування запірної арматури, тому, що більшу частку часу засувки повністю відкриті;
- зменшуються витрати води із-за протічок в мережах за рахунок роботи насосів на понижених тисках;
- зменшується зношення комутаційного обладнання, тому що переключення виконуються при відсутності великих струмів;
- зменшується зношення механічного обладнання (підшипників, сальників) за рахунок плавної зміни кількості обертів і відсутності великих пускових струмів;
- зменшується небезпека аварій за рахунок виключення гідравлічних ударів;
- забезпечується одночасний захист двигуна від між фазних коротких замикань та замикань на землю, захист від перенапруг та низької напруги, тепловий захист двигуна та перетворювача частоти від перевантажень;
- зменшується рівень шуму;
- спрощується подальша комплексна автоматизація об'єктів водозабезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1971. – 480 с.
2. Карелин, В. Я., Минаев, А. В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.– 320 с: ил.
3. Эгильский, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1988. – 216 с.
4. Лобачев, П. В. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройна дат. 1983. – 191 с, ил.
5. Залуцкий, Э. В., Петрухно, А. И. Насосные станции. Курсовое проектирование – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.– 167 с.
6. Михайлов, А. К., Малюшенко, В. В. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления – М.: «Машиностроение», 1971, 304 с.
7. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Энергоатом издат, 1984. – 416 с.
8. Репин, Б. Н., Запорожец, С. С. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. – М.: Высш. шк. 1995 – 431 с.
9. Ткачук, К. Н. Безопасность труда в промышленности: справочник – К.: Техника, 1982. – 231 с.
10. Гажаман, В.І. Електробезпека на виробництві: навч. посібник – К.: Охорона праці, 2002. – 272 с.
11. Дементий, Л. В. Охрана труда в автоматизированном производстве. Обеспечение безопасности труд. – Краматорск: ДГМА, 2007. – 300 с.

12. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: навч. посіб. За ред. В. В. Сафонова. – К.: Основа, 2000. – 336 с.

13. Чижиков, Г. І. Охорона праці в галузі: Курс лекцій для студентів спеціальності МО / Г. І. Чижиков, С. А. Гончарова, Ю. К. Доброносів. – Краматорськ: ДДМА, 2004. – 140 с.

14. Денисенко, Г.Ф. Охрана труда. – М.: Вища школа, - 1985. – 319 с.

15. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М., 1987.

16. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості виробничого процесу. «Охорона праці», №6/98.

17. СНиП 2.01.02-85. противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

18. Бакалін, Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник – Харків, 2002 - 200с.

19. Кноринг, Г.Н. Осветительные установки -Л., Энергоаудит, 2002 - 230с.

20. Богословский, В.Н., Сканава, А.Н. Отопление: Учебник для вузов .- М.: Стройиздат, 1991.-456с.

21. Козин, В.Е., Левина, Г.А. и др. Теплоснабжение. - М.: Высшая школа, 1980-315с.

22. Хабрахманов, А.Р. Вентиляционное оборудование. Отопительное оборудование. Справочник., 1995. - 356с.

23. Немцев, З.Ф., Арсеньев, Г.В. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 310 с.

24. Ананьев, В.А., Балужева, Л.Н. Системы вентиляции и кондиционирования. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 410 с.

25. Щекин, Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции.-К.: Строитель, 1968. - 289 с.

26. Методичні вказівки до виконання організаційної і економічної частини дипломних проектів для студентів ЗДІА спеціальності 7.09010 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання / Укл.: Л.С. Сердюк - Запоріжжя, 2005 - 28 с.

27. Любушин, М.П., Лещева, В.Б., Дьякова, В.Г. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия. Учебное пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. –340с.

28. ГОСТ 12.0.002 – 80 Охрана труда.

29. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества.

30. ДСН 3.3.042-99. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений.-К.: Будівельник,1999.-33 с.

31. НАПБ А.01.001-95 "Правила пожежної безпеки в Україні" .

32. ДСН 3.3.037-99. Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука.-К.:Будівельник,1999-30 с.

33. Попова, Г.И.,Иванов Б.А. Условные обозначения в чертежах и схемах по ЕСКД.-Л.:Машиностроение,1976.-106 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Технічні характеристики електрообладнання насосної станції першого підйому ДВС-1

№	Підрозділ, цех, дільниця, агрегат, установка	Двигун						Насос			
		Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Оберти, об/хв	Рік випуску	ККД, %	Рік випуску	Номінальна продуктивність, м ³ /год	Напір (тиск, розрідження), м	ККД, %
1	Насосний агрегат №1 типу SDA 350/450	ASFA-TM 001	303	380	1 500	2003	94,5	2004	2 400	40	88
2	Насосний агрегат №2 типу Д 3200-33	CD 2.74.41.6	315	6000	1 000	1998		1992	3 200	33	88
3	Насосний агрегат №3 типу Д 3200-33	CD 2.74.47.6	400	6000	1 000	1991		1992	3 200	33	88
4	Насосний агрегат №4 типу Д 3200-33	CD 2.74.47.6	400	6000	1 000	1988		1992	3 200	33	88
5	Насосний агрегат №5 типу SDA 350/450	ASFA-TM 001	303	380	1 500	2003	94,5	2004	2 400	40	88
6	Насосний агрегат №6 типу Д 3200-75	CD13-42-8	500	6000	750				2 700	52	

ДОДАТОК Б

Таблиця Б1 – Витрата води насосною станцією першого підйому ДВС № 1

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³	тис. м ³
Січень	578,7	482,3	465,2	419,1	387,2	279,9	313,7	259,8	268,3	263,7
Лютий	574,1	427,5	388,0	403,0	359,9	249,3	297,4	253,5	247,0	246,5
Березень	513,2	477,0	435,0	410,9	429,2	271,6	324,3	263,6	272,0	273,6
Квітень	514,0	556,2	417,5	329,6	289,8	256,8	276,5	267,9	262,1	272,8
Травень	518,6	512,7	453,2	356,9	305,8	276,7	288,0	317,6	287,9	341,7
Червень	545,5	518,6	474,5	376,4	372,5	302,6	307,4	368,9	314,4	364,8
Липень	534,4	586,7	532,2	417,9	400,0	336,9	338,1	388,3	363,3	349,4
Серпень	536,2	540,6	553,4	445,5	372,2	407,9	327,4	351,4	388,9	349,8
Вересень	566,7	502,7	412,2	385,0	331,6	320,4	260,9	276,7	337,1	288,6
Жовтень	520,9	456,8	505,8	374,7	321,7	312,3	289,1	279,5	315,8	288,0
Листопад	523,4	420,4	491,5	371,5	303,6	297,0	260,0	269,5	289,3	265,4
Грудень	518,5	541,8	490,6	360,4	302,7	299,6	264,7	267,7	287,6	277,0
Рік	6 444,2	6 023,3	5 619,1	4 650,9	4 176,2	3 611,0	3 547,5	3 564,4	3 633,7	3 581,3

ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Б

Таблиця Б2 – Споживання електроенергії насосною станцією першого підйому ДВС-1

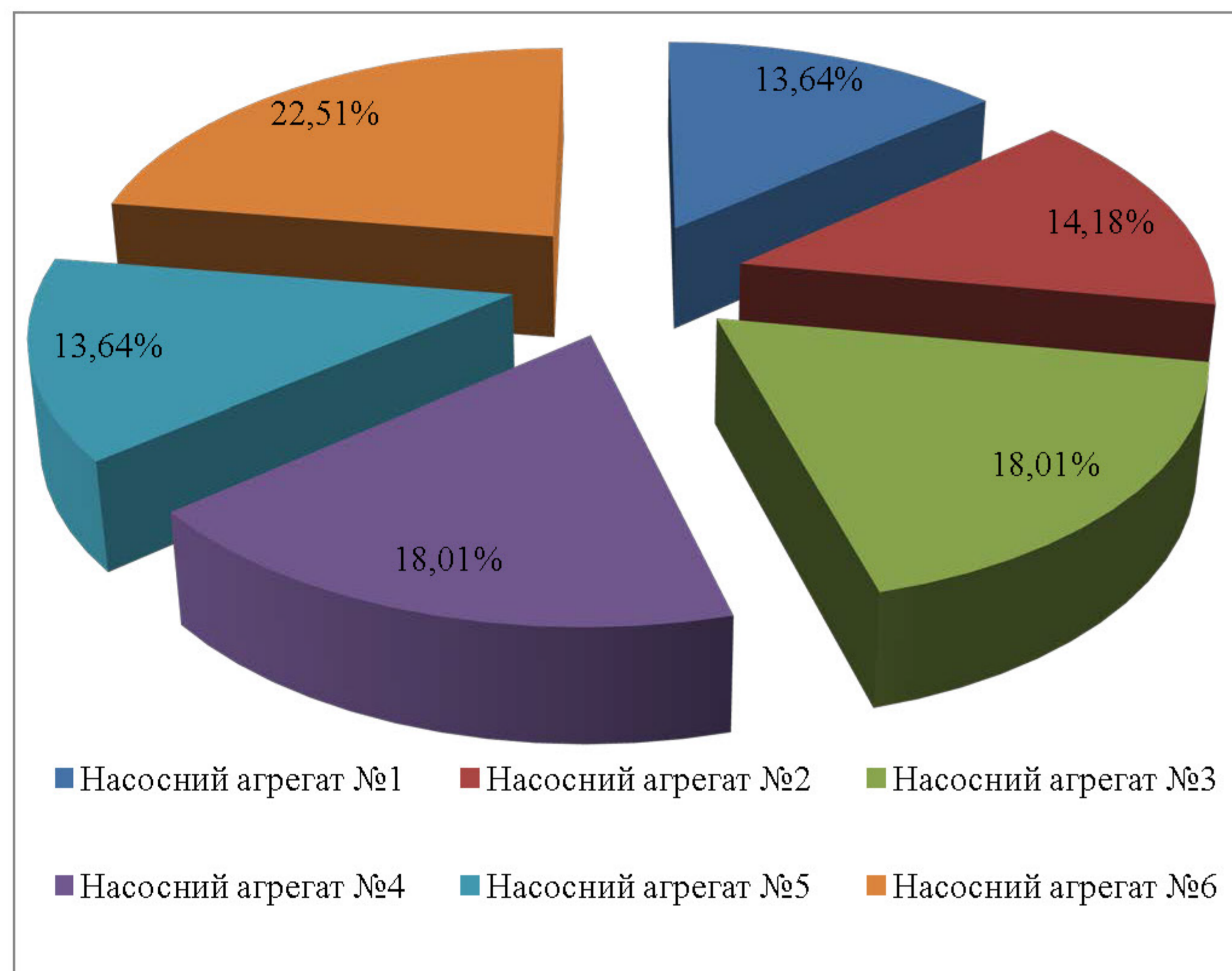
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год
Січень	67,2	75,0	59,4	64,6	51,4	43,8	72,1	55,5	56,8	51,4
Лютий	68,3	69,5	58,6	65,0	53,2	42,0	64,0	56,7	56,0	51,9
Березень	67,9	69,4	61,6	55,8	52,6	44,2	64,7	53,8	55,7	50,5
Квітень	68,8	66,1	62,6	52,1	57,1	46,6	47,9	50,3	59,6	56,3
Травень	75,7	70,4	69,0	57,0	58,2	43,0	44,4	57,6	64,5	61,7
Червень	72,4	67,8	67,8	65,1	60,9	49,0	49,8	62,1	61,3	65,9
Липень	73,3	76,1	69,3	64,9	62,9	59,0	51,1	69,6	64,1	62,4
Серпень	76,3	70,9	71,8	56,9	59,5	63,1	45,9	65,8	61,0	64,5
Вересень	68,1	67,4	72,7	53,4	58,6	56,5	46,8	40,7	60,5	61,7
Жовтень	67,1	66,6	65,3	55,2	56,5	59,5	49,3	47,0	60,4	66,4
Листопад	61,2	62,2	67,2	57,9	57,4	58,9	47,3	46,5	47,9	67,7
Грудень	65,0	66,5	69,5	55,1	52,7	59,4	51,9	44,4	51,2	59,6
Рік	831,3	827,9	794,8	703,0	681,0	625,0	635,2	650,0	699,0	720,0

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Розподіл витрат на електроенергію



Технічні характеристики електрообладнання насосної станції

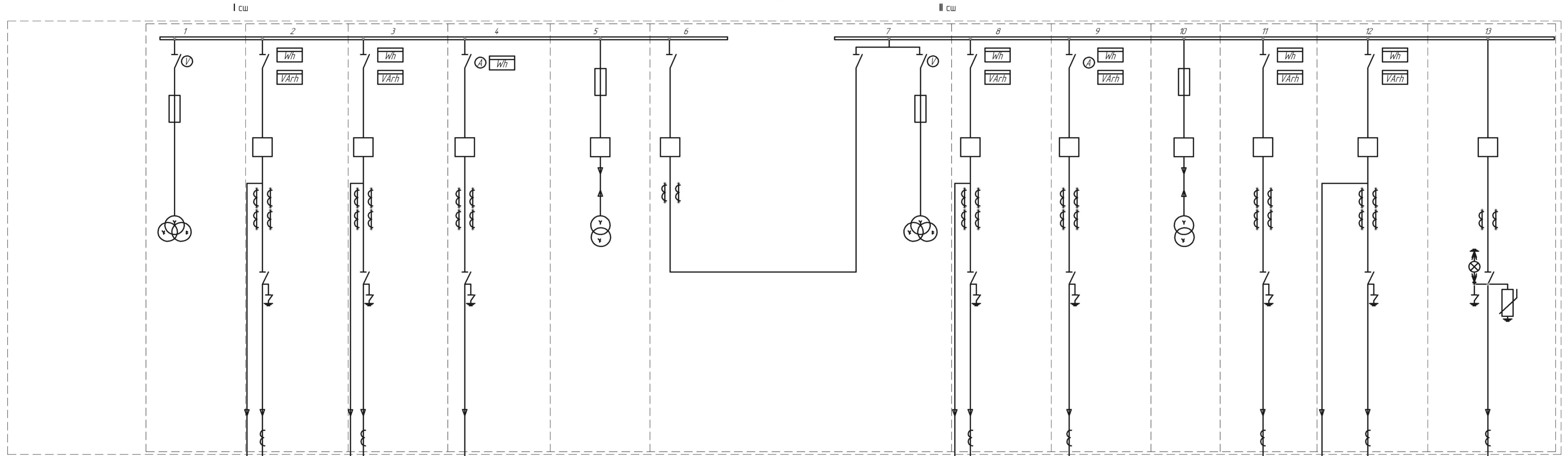
№	Підрозділ, цех, дільниця, агрегат, установка	Двигун				Насос		
		Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Оберти, об/хв	Номінальна продуктивність, м ³ /год	Напір (тиск, розрідження), м	ККД, %
1	Насосний агрегат №1 типу SDA 350/450	ASFA-TM 001	303	380	1 500	2 400	40	88
2	Насосний агрегат №2 типу Д 3200-33	CD 2.74.41.6	315	6000	1 000	3 200	33	88
3	Насосний агрегат №3 типу Д 3200-33	CD 2.74.47.6	400	6000	1 000	3 200	33	88
4	Насосний агрегат №4 типу Д 3200-33	CD 2.74.47.6	400	6000	1 000	3 200	33	88
5	Насосний агрегат №5 типу SDA 350/450	ASFA-TM 001	303	380	1 500	2 400	40	88
6	Насосний агрегат №6 типу Д 3200-75	CD13-42-8	500	6000	750	2 700	52	

Втрати електроенергії в системі електропостачання

Втрати	Одиниці виміру	Значення
В трансформаторі	кВт·год	93907,2
В кабельній лінії на стороні 10 кВ	кВт·год	137,84
В кабельній лінії на стороні 0,4 кВ	кВт·год	947,33
Реактивної потужності	квар·год	172935

СХЕМА ОДНОЛІНІЙНА ДІЛЯНКИ

РУ 3-6 кВ



Позначення шафи	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	Ф12	Ф13
Роз'єднувач, заземлювач	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/600 ПР-2	---	РВФ-6/600 ПР-2	РВФ-6/600 ПР-2	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/600 ПР-2	---	РВФ-6/400 ПР-2	РВФ-6/400 ПР-2
Запобіжник	ПКТ-10	---	---	---	ПК6-30/20	---	---	ПКТ-10	---	ПК6-30/20	---	---	---
Вимикач	---	ВМГ-10 ПП-67/11600	ВМГ-10 ПП-67/11600	ВМГ-10 ПП-67/40000	ВНП-17 ПРА-17	ВМГ-10 ПП-67/11000	---	ВМГ-10 ПП-67/11600	ВМГ-10 ПП-67/40000	ВНП-17 ПРА-17	ВМГ-10 ПП-67/11600	ВМГ-10 ПП-67/11600	ВВ/TEL ПРА-17
Трансформатори струму Кл.п	---	ТПЛ-10 05/Р-150/5	ТПЛ-10 05/Р-150/5	ТПЛ-10 Р/300/5	---	ТПЛ-10 Р35/3/12	---	ТПЛ-10 05/Р-150/5	ТПЛ-10 Р/300/5	---	ТПЛ-10 05/Р-150/5	ТПЛ-10 05/Р-150/5	ТПЛК-10 0,5/10Р-3000/5
Трансформатор (ТСН, ТН)	НТММ-6	---	---	---	ТМ-160/10	---	---	НТММ-6	---	---	ТМ-160/10	---	---
Трансформатори струму нульової посл-ті	---	ТЗ/1	ТЗ/1	---	---	---	---	---	---	---	ТЗ/1	ТЗ/1	ТЗ/1
Напрямок лінії	ТН N1	Електродвигун	Електродвигун	Електродвигун	С/Н N1 6+5%, 0,4-0,23кВт	Секційний вимикач	Секційний роз'єднувач	ТН N2	Електродвигун	Введення N2	С/Н N2 6+5%, 0,4-0,23кВт	Електродвигун	Електродвигун

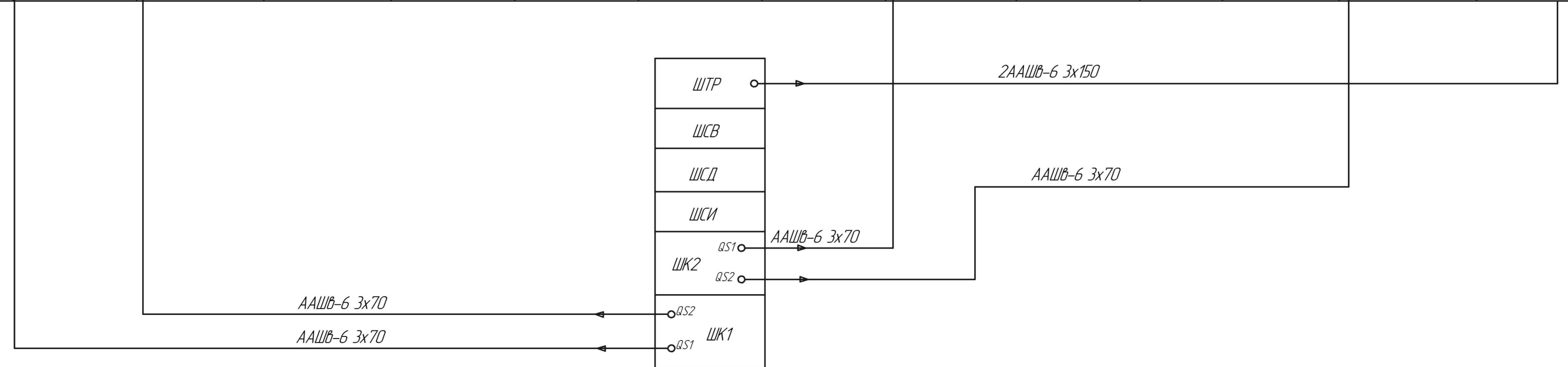
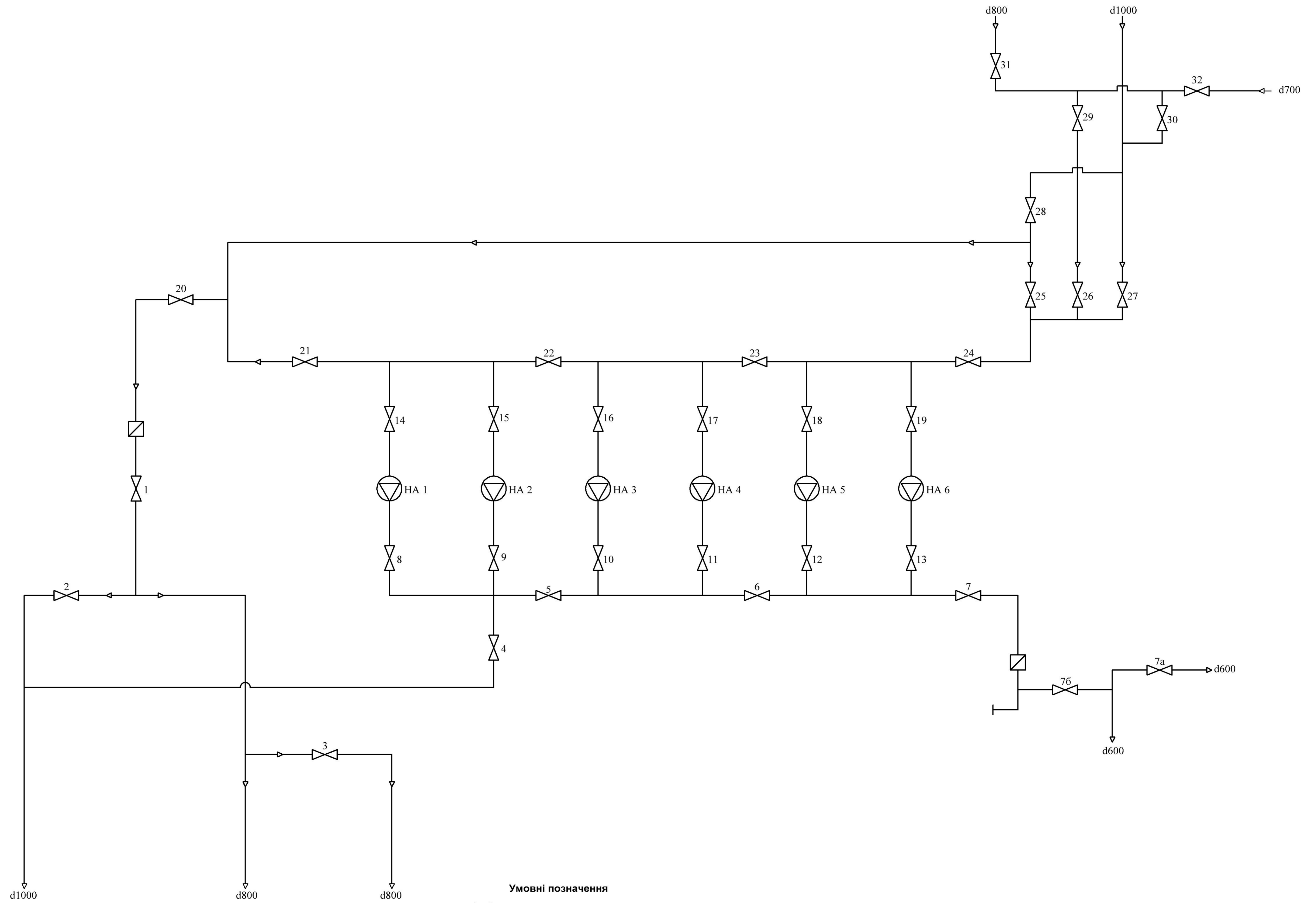


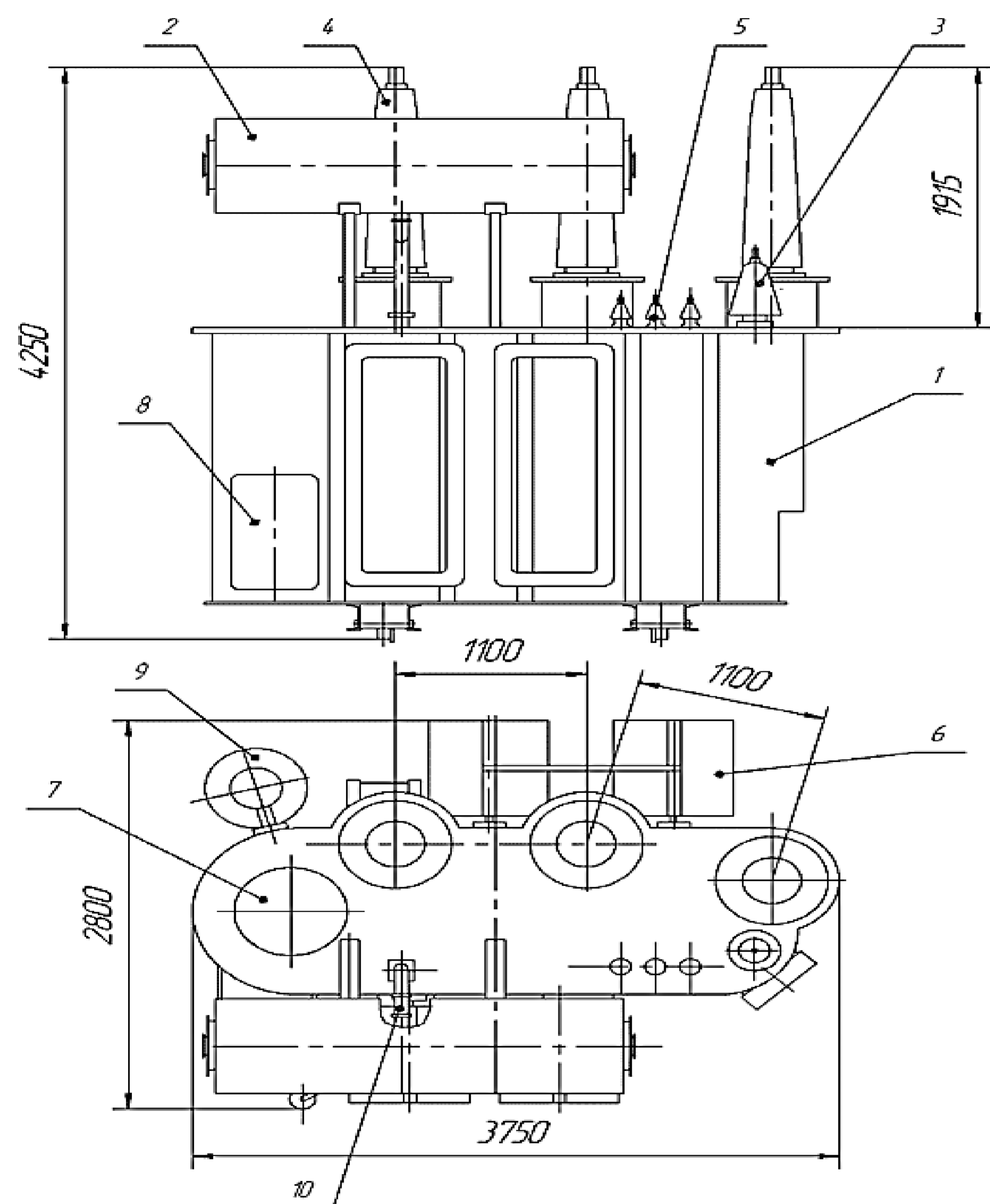
СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНА



- Умовні позначення**
- ☒ - засувка
 - ▣ - витратомір
 - ⊖ - насосний агрегат

ЗАПРОПОНОВАНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

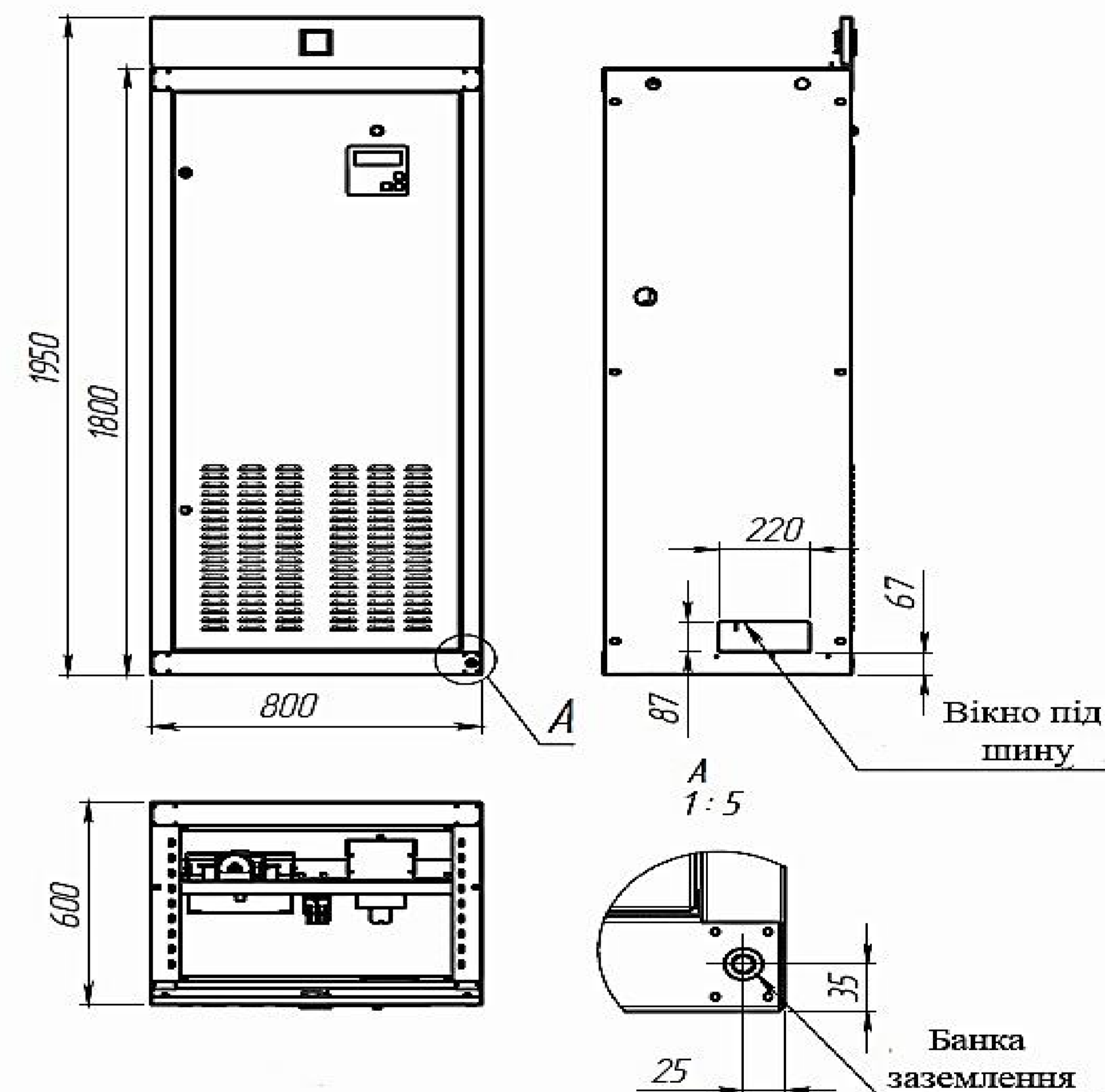
ТМН-2500/10/0,4



1-бак трансформатора; 2-розширювач; 3-введення «0» ВН;
4- введення ВН; 5-введення НН; 6-радіатор; 7-пристрій регулювання напруги;
8- шафа; 9-фільтр термосифонний; 10-реле Бухгольца;

Технічні параметри трансформатора ТМН-2500								
Тип трансформатора та позначення	Номинальна потужність, кВа	Номинальна напруга обмоток, кВ		Схема з'єднання обмоток	Напруга короткого замикання, %	Струм холостого ходу, %	Втрати, кВт	
		ВН	НН				ХХ	КЗ
ТМН 2500/10/0,4	2500	10	0,4	УН	6,5	1,1	7,5	23,5

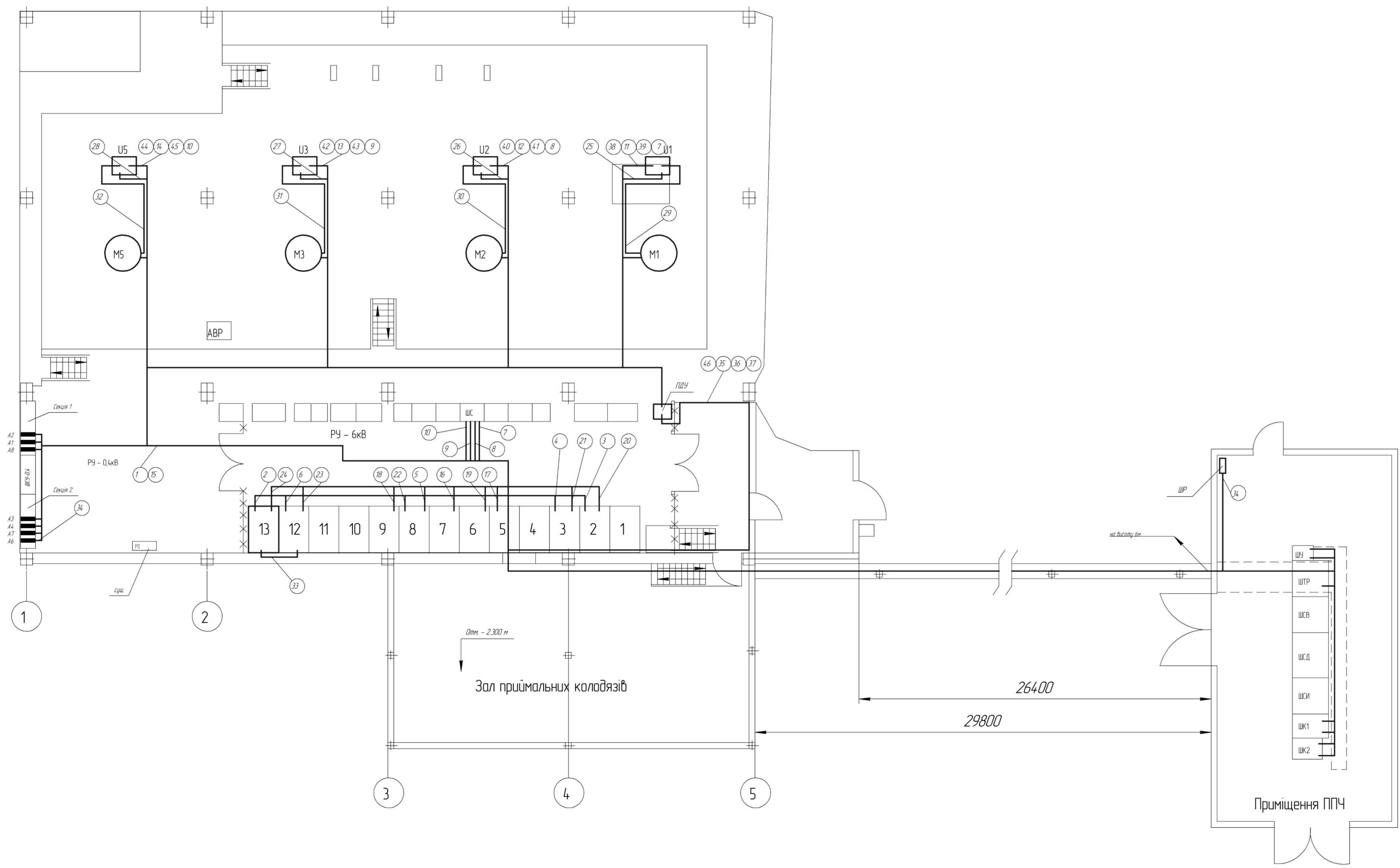
КРП-10,5-150-6-25-У3



Технічні параметри КРП-6,3-150-6-25-У3

Вхідні параметри	
Тип мережі	трьохфазна 4-х провідна
Номинальна вхідна напруга (лінійна), В	10500
Частота вхідної напруги, Гц	50±2
cos Φ	0,6-0,9
Вихідні параметри	
Номинальна потужність, кВАр	150 кВАр
cos Φ	0,8-0,98
Діапазон системи регулювання, %	0-100
Принцип регулювання	конденсатори
Тип ключів	тиристорний
Ступені регулювання	6
Крок регулювання, кВАр	25
Швидкодія системи регулювання, сек	1-250

ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ



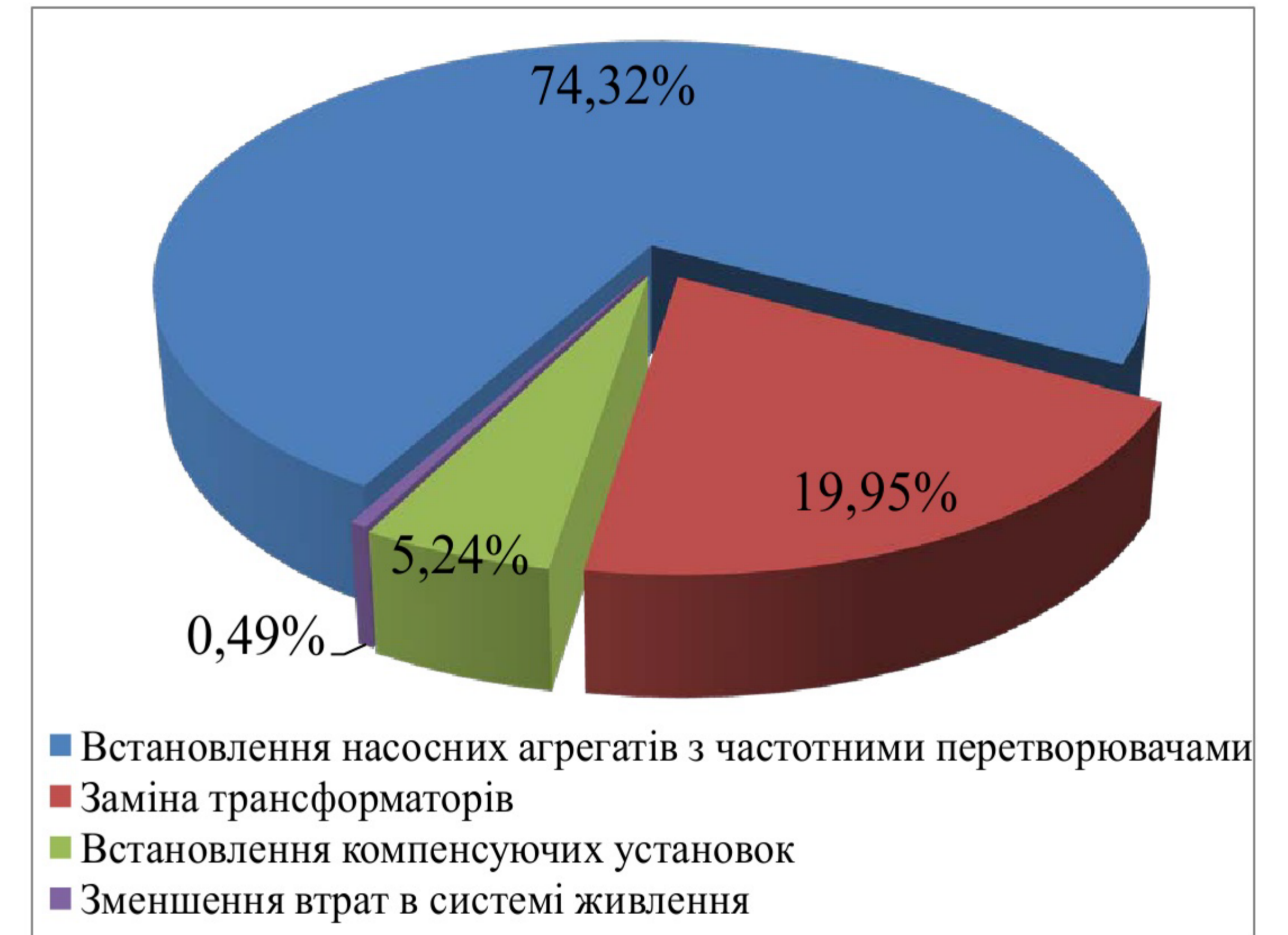
№	Звідки	Куди	Марка проводу	Повжина, м	Спосіб проведення
1	РЧ-0,4кВ автомат проект А6	ШУ (ХТ19) перетворювач частоти (ПЧ)	ВВГ 4x4,0	50/30	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
2	РЧ-6кВ секція 2 комірка 13	ШТР (А, В, С) (ПЧ)	2ААШВ-6 3x150	50/22	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
3	ШК1 (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 1	ААШВ-6 3x70	63/32	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
4	ШК2 (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 2	ААШВ-6 3x70	63/30	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
5	ШК2 (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 3	ААШВ-6 3x70	63/30	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
6	ШК2 (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 12	ААШВ-6 3x70	63/35	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
7	ШУ (ХТ1) (ПЧ)	Тристорний збірник U1	2xUTP Orbit	50/37	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
8	ШУ (ХТ1) (ПЧ)	Тристорний збірник U2	2xUTP Orbit	50/30	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
9	ШУ (ХТ1) (ПЧ)	Тристорний збірник U3	2xUTP Orbit	50/43	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
10	ШУ (ХТ1) (ПЧ)	Тристорний збірник U5	2xUTP Orbit	50/25	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
11	ШУ (ХТ21) (ПЧ)	Тристорний збірник U1	КВВГ 19x1,0	50/25/10	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку/125, в відстані L = 300
12	ШУ (ХТ22) (ПЧ)	Тристорний збірник U2	КВВГ 19x1,0	50/18/10	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку/125, в відстані L = 300
13	ШУ (ХТ22) (ПЧ)	Тристорний збірник U3	КВВГ 19x1,0	50/26/11	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку/125, в відстані L = 300
14	ШУ (ХТ22) (ПЧ)	Тристорний збірник U5	КВВГ 19x1,0	50/31/10	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку/125, в відстані L = 300
15	РЧ-0,4кВ, авт. проект А7	ШУ (ХТ11) (ПЧ)	ВВГ 4x2,5	50/35	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
16	ШУ (ХТ4) (ПЧ)	РЧ-6кВ, TV-2, Комірка 7	ВВГ 4x2,5	50/35	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
17	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 5	2xКВВГ 5x1,0	50/15	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
18	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 9	2xКВВГ 5x1,0	50/19	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
19	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 6	2xКВВГ 5x1,0	50/16	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
20	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 2	КВВГ 19x1,0	50/18	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
21	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 3	КВВГ 19x1,0	63/36	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
22	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 8	2xКВВГ 5x1,0	50/18	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
23	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 12	2xКВВГ 5x1,0	50/22	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
24	ШУ (ХТ10) (ПЧ)	РЧ-6кВ, Комірка 13	КВВГ 14x1,0	50/24	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
25	РЧ-0,4кВ, А1	Тур. збірн. U1	ВВГ 5x25	35/10	в панелі/в Т50 в відстані h=100
26	РЧ-0,4кВ, А2	Тур. збірн. U2	ВВГ 4x25	29/10	в панелі/в Т50 в відстані h=100
27	РЧ-0,4кВ, А3	Тур. збірн. U3	ВВГ 4x25	23/10	в панелі/в Т50 в відстані h=100
28	РЧ-0,4кВ, А5	Тур. збірн. U5	ВВГ 4x25	17/10	в панелі/в Т50 в відстані h=100
29	Тур. збірн. U1	М1 одн. збірження	2ПВ3- 150	2/9	в Т80 в відстані h=100
30	Тур. збірн. U2	М2 одн. збірження	2ПВ3- 150	2/9	в Т80 в відстані h=100
31	Тур. збірн. U3	М3 одн. збірження	2ПВ3- 150	2/9	в Т80 в відстані h=100
32	Тур. збірн. U5	М5 одн. збірження	2ПВ3- 150	2/9	в Т80 в відстані h=100
33	РЧ-6кВ, Комірка 12	РЧ-6кВ, Комірка 13	шнур алюмінієвий 6x6	5	нахрестякомбіє сполучення
34	РЧ-0,4кВ, авт. проект А8	ШР приміщення ППЧ	ВВГ 5x25	50/27	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
35	ШУ (ХТ12) (ПЧ)	ПДУ	КВВГ 19x1,0	50/23	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
36	ШУ (ХТ13) (ПЧ)	ПДУ	КВВГ 14x1,0	50/23	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку
37	РЧ-6кВ секція 2 комірка 13 ТА	ПДУ Амперметр	ВВГ 2x2,5	30	в панелі по іст. лотку
38	РЧ-6кВ секція 1 комірка 2	Тур. збірн. U1	ВВГ 4x4	10/25	в трубі/по полицям
39	РЧ-6кВ секція 1 комірка 2	Тур. збірн. U1	КВВГ 14x1	10/25	в трубі/по полицям
40	РЧ-6кВ секція 1 комірка 3	Тур. збірн. U2	ВВГ 2x2,5	10/22	в трубі/по полицям
41	РЧ-6кВ секція 1 комірка 3	Тур. збірн. U2	КВВГ 14x1,0	10/22	в трубі/по полицям
42	РЧ-6кВ секція 1 комірка 2	Тур. збірн. U3	ВВГ 4x2,5	10/22	в трубі/по полицям
43	РЧ-6кВ секція 2 комірка 8	Тур. збірн. U3	КВВГ 14x1,0	10/22	в трубі/по полицям
44	РЧ-6кВ секція 2 комірка 12	Тур. збірн. U5	ВВГ 2x2,5	10/28	в трубі/по полицям
45	РЧ-6кВ секція 2 комірка 12	Тур. збірн. U5	КВВГ 14x1	10/28	в трубі/по полицям
46	ШУ (ПЧ)	Пультом оператора	2xUTP Orbit	50/25	по металоконструкціям/в панелі по іст. лотку

ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ

Заходи з енергозбереження

Заходи зі зменшення споживання електроенергії	Вартість устаткування, грн.	Економія електроенергії, грн.	Термін окупності, років
Встановлення насосних агрегатів з частотними перетворювачами	929 376,00	250 344,0	4,64
Заміна трансформаторів	132 000,00	67 195,8	2,46
Встановлення компенсуючих установок	21 174,00	17 660,2	1,50
Зменшення втрат в системі живлення	2 500,0	1 654,9	1,89
Всього	1 082 550,0	336 854,8	4,03

Економічний ефект від впровадження заходів



Порівняння показників споживання електроенергії після енергозбереження

