

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему: **«ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ СИСТЕМИ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА»**

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Н. В. Венгрин

Виконав: студент групи Ен-61

Спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Венгрин Назар Володимирович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Бабич Михайло Іванович
(Прізвище та ініціали)

Рецензент Баранович Сергій Миколайович
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – другий «магістерський» рівень.

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____

доцент, к. т. н. С. В. Сиротюк

“ ____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Венгрину Назару Володимировичу

1. Тема роботи: «Зниження витрат електричної енергії при експлуатації насосних агрегатів системи водопостачання підприємства»

Керівник роботи: Бабич Михайло Іванович, кандидат технічних наук, доцент затверджені наказом по університету від 28 квітня 2023 року № 133/к-с.

2. Термін подання студентом роботи 30.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: *матеріали літературного огляду, патентного пошуку і аналізу існуючих типів насосних агрегатів та схем водопостачання, довідкова та спеціальна література, аналіз останніх досягнень науки і техніки в галузі водозабезпечення.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ

1. Аналіз стану питання в теорії та практиці

2. Науково-методичні підстави підвищення енергоефективності насосних агрегатів системи водопостачання підприємства

3. Методика обґрунтування системи водопостачання підприємства з використанням насосної станції з частотним перетворювачем

4. Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання насосного агрегату з перетворювачем частоти для регулювання електроприводу насоса

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Графічний матеріал представлено у вигляді презентації.

6. Консультанти з розділів:

Розділ, №_	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4	<i>Городецький І. М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>	<i>28.04.23р.</i>	<i>28.04.23р.</i>

7. Дата видачі завдання

28 квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>28.04.23-27.05.23</i>	
2	<i>Виконання другого розділу</i>	<i>28.05.23-05.07.23</i>	
3	<i>Виконання третього розділу</i>	<i>06.07.23-15.08.23</i>	
5	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>16.08.23-10.09.23</i>	
6	<i>Розрахунок економічної ефективності розробок кваліфікаційної роботи</i>	<i>11.09.23-29.09.23</i>	
7	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки та ілюстративної частини</i>	<i>30.09.23-26.10.23</i>	
8	<i>Завершення кваліфікаційної роботи в цілому</i>	<i>27.10.23-30.12.23</i>	

Студент _____ Венгрин Н. В.
(підпис)

Керівник роботи _____ Бабич М. І.
(підпис)

Кваліфікаційна робота: 52 ст. текстової частини, 5 табл., 17 рис., 32 найменувань бібліографічних джерел.

Зниження витрат електричної енергії при експлуатації насосних агрегатів системи водопостачання підприємства. Венгрин Назар Володимирович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Здійснено аналіз системи водопостачання ТЗОВ «Стрийський хлібокомбінат», та встановлено, що вона є застарілою і неенергоефективною.

Проаналізовано методи підвищення енергоефективності насосних агрегатів, і встановлено доцільність застосування насосної установки з вико-ристанням частотного перетворювача для керування електроприводом насоса.

Удосконалено схему водопостачання підприємства, обґрунтовано її елементи і здійснено гідравлічний розрахунок мережі. Підбрано відцентровий трифазний глибинний насос з асинхронним двигуном Aquatica 7771663 для подачі води в резервуари чистої води. Обґрунтовано насосну установку з частотним перетворювачем Saer CB 50 з максимальним напором $H = 50$ м та витратою води $Q_{\max} = 15$ м³/год.,

Розглянуто питання охорони праці.

Для річного економічно ефекту у розмірі 113017 грн від модернізації системи водопостачання окупність вкладених коштів складатиме один рік.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ	8
1.1. Аналіз причин низької енергоефективності насосних агрегатів системи водопостачання підприємства.....	8
1.2. Характеристика досліджуваного підприємства і його системи водопостачання.....	11
1.3. Обґрунтування теми, мети та об'єкту досліджень.....	13
2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДСТАВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	15
2.1 Обґрунтування методу підвищення енергоефективності насосних агрегатів системи водопостачання підприємства	15
2.2 Удосконалення схеми водопостачання хлібокомбінату	21
3. МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ З ЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ	24
3.1. Визначення розрахункових витрат води в ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат».....	24
3.2. Розрахунок та підбір насосів першого підйому	27
3.3. Розрахунок резервуарів для зберігання чистої води	29
3.4. Визначення діаметрів водоводів і втрат напору в мережі	32
3.5. Обґрунтування параметрів насосного агрегату другого підйому з перетворювачем частоти для регулювання електроприводу насоса	35
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	39
4.1. Аналіз стану охорони праці на хлібокомбінаті.....	39

4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації водопровідних насосних станцій, резервуарів та водонапірних башт.....	41
4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	42
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСА.....	44
ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	50

ВСТУП

Ефективне і раціональне використання енергії має важливе значення для сталого розвитку. Оскільки електрична енергія в системах водопостачання підприємства є основним джерелом енергії, тому актуальним є дослідження з метою підвищення ефективності використання електроенергії.

Одним із варіантів досягнення такої мети є оптимізація роботи насосної станції. Оптимізація насосної станції (насосних агрегатів) вирішує одночасно багато задач, зокрема дозволяє досягти економії споживання електроенергії, зменшити аварійність, обмежити відтік води через мережеві витоки, забезпечити водопостачання споживачів [16].

На жаль сьогодні більшість насосних станцій підприємств не працюють з оптимальною ефективністю. Встановлено, що поліпшення роботи і продуктивності насосних установок може зменшити споживання енергії на 30–50%. Такого ефекту можна досягнути за рахунок: відновлення або заміна зношеного обладнання; планування систем з декількома насосами для забезпечення мінімальних експлуатаційних витрат; мінімізації гідравлічних витрат; застосування високоефективних двигунів підвищеної ефективності; постійного моніторингу насосної установки з високим енергоспоживанням; ефективнішого узгодження продуктивності насоса з водоспоживанням об'єкта за рахунок покращення вибору насоса, налаштуванням робочого колеса чи застосування приводів зі змінною швидкістю [29].

Означені заходи сприяють енергозбереженню у системах водопостачання, і їх безперечно необхідно здійснювати, але спочатку необхідно проаналізувати систему водопостачання об'єкта. З огляду на це, робота в якій розглядається питання зниження витрат електричної енергії при експлуатації насосних агрегатів системи водопостачання підприємства є важливою і актуальною.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Аналіз причин низької енергоефективності насосних агрегатів системи водопостачання підприємства

Унаслідок постійного підвищення цін на електроенергію значно підвищується сумарні витрати коштів на експлуатацію насосного обладнання систем водопостачання. Тому керівники підприємств ставлять задачу енергозбереження, тобто зниження витрат на електроенергію на виконання процесів системи водопостачання. Згідно досліджень [29], таку задачу можна вирішити двома шляхами, а саме організаційно-технічними заходами для виключення непотрібних витрат електроенергії, або за допомогою використання енергоефективного обладнання і технологій, для забезпечення споживачів необхідними витратами води з найменшими витратами електроенергії.

Розглянемо детальніше поширені недоліки наявних систем водопостачання промислових підприємств. Характерною їх особливістю є те, що системи водопостачання переважної більшості промислових підприємств були спроектовані понад двадцять років тому, в часи, коли в нашій країні енергозбереженню не приділяли необхідної уваги. І в основному насосні станції таких систем облаштовані насосами застарілими, які вичерпали свій ресурс. Але перш ніж прийняти рішення, що саме потрібно змінювати в системі водопостачання, потрібно здійснити комплексне обстеження не лише насосного обладнання а і всієї системи в цілому. Зокрема необхідно здійснити наступні дії:

- встановити характеристики гідравлічної мережі;
- визначити режими роботи насосних станцій підприємства;
- визначити, чи відповідає наявне гідравлічне та насосне устаткування встановленим характеристикам гідравлічної мережі;

- встановити елементи системи водопостачання, які необхідно модернізувати чи замінити з метою зменшення споживання енергії;
- для виконаних попередніх кроків, оцінити енергоефективність, зокрема зменшення як споживання електроенергії так і вкладених коштів;
- розробити рекомендації з енергоефективності.

Основною функцією насоса є забезпечення витрат води та напору, розрахованих для конкретного споживача та гідравлічної мережі. Для визначення витрат води застосовують витратоміри, а для визначення напору – манометри. Маючи діапазони робочих режимів і напірних характеристик насосів, можна встановити чи відповідає наявне насосне обладнання потребам мережі. Насоси можна змінити на енергоефективніші, застосувати керування електроприводу насоса, змінити діаметр робочого колеса, і порівнявши енергоспоживання з тим що використовується обладнанням, можливо оцінити розмір економії коштів і доцільність робіт з модернізації.

На рисунку 1 наведено характеристики роботи насосів [10].

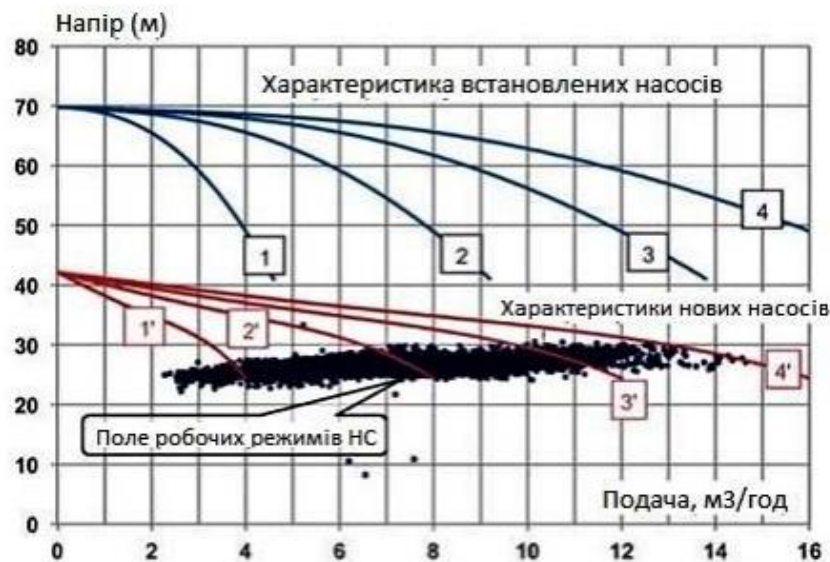


Рисунок 1 – Характеристики роботи насосів системи водопостачання

Зокрема криві 1– 4 – це напірні характеристики одного, двох, трьох або чотирьох встановлених працюючих насосів. Потрібний напір мережі (на рисунку – поле робочих режимів НС) знаходиться нижче встановленого

напору насосів, а різниця затрачається на засувках для регулювання витрат води, що спричиняє додаткове (дармове) споживання електроенергії. Тому в даному випадку ефективніше використовувати насоси з меншими напорами, характеристики яких наведено на рисунку позначеннями 1' – 4'.

За результатами досліджень насосів систем водопостачання встановлено, що їх коефіцієнт корисної дії в середньому становив біля 40 %. Такі занижені показники ККД сприяють високому споживанню електроенергії насосного обладнання [27].

Також встановлено що біля 60 % насосів працюють поза допустимими робочими межами. На це є декілька причин. Насамперед насоси спроектовані з запасом (на перспективу) напору та витрат води, і виходить так, що він не працює в робочому діапазоні, напір знижується, використовується регулювання дросельною заслінкою що зменшує ефективність його роботи і підвищує витрати електроенергії. По друге, внаслідок корозії та спрацювання труб, з часом міняються параметри самої мережі. Також спрацьовуються самі насоси, і допоміжне обладнання, а замінені нові елементи, вже не відповідають характеристикам мережі. Також суттєвим недоліком систем водопостачання спроектованим за часів союзу (а таких багато), є їх невідповідність сучасним умовам водоспоживання, залежним від росту або скорочення виробництва [27].

Враховуючи що на понад 70 % систем водопостачання напір встановлених насосів значно перевищує необхідні напори мережі, через скорочення виробництв і відповідно зменшення кількості перекачуваної води, для забезпечення необхідних показників витрати і напору, регулюють роботу насосів дроселюванням, що спричиняє втрати напору на засувці у межах 20 – 60 % [21].

Часто в наявних системах водопостачання поширеною є проблема, пов'язана з зменшенням напірних характеристик насоса а відповідно і зниження його коефіцієнта корисної дії. Це насамперед пов'язано внаслідок зносу робочих коліс, через що збільшується зазор в ущільненнях і вода з

напірної камери перетікає у всмоктувальну, що спричиняє зменшення витрати води і напору насоса. Така проблема притаманна насосам, які довго працюють без належного обслуговування і ремонту, що спричиняє пониження ККД від 10 %.

Насоси, які експлуатують в режимі «недовантаження» за показниками витрат, що характерно для деяких об'єктів, призводять до виникнення кавітації, що знижує термін експлуатації ущільнень, підшипників і робочого колеса насоса.

1.2 Характеристика досліджуваного підприємства і його системи водопостачання

Дане дослідження було здійснено на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Стрийський хлібокомбінат» [23].

Підприємство спеціалізується на виробництві: хліба, хлібобулочних виробів, борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок нетривалого зберігання. Згідно проекту, потужність хлібобулочного цеху становить 63 т/добу, а кондитерського – 0,75 т/добу. Загалом виготовляється понад 60 найменувань різної продукції. На підприємстві задіяно 170 людей [23].

Стрийський хлібокомбінат веде свою діяльність з 1988 року, зареєстрований в селі Слобідка Стрийського району Львівської області і до теперішнього дня є одними з провідних виробників хлібобулочних і кондитерських виробів, які реалізовується в багатьох районах Західної України [23].

Для збору сировини і розвезення готової продукції підприємство має власний автопарк.

На території підприємства є трансформаторна підстанція потужністю 630 кВА і напругою 10 кВ. Загальна споживана потужність складає 936 кВт, річні потреби в електроенергії 2,1 млн кВт-год. Для забезпечення потреби

підприємства в парі та гарячій воді є котельня з двома паровими котлами Е-1,0/9Г-3.

Оскільки в даному дослідженні розглядається питання підвищення ефективності насосних агрегатів, розглянемо детальніше систему водопостачання підприємства. Як бачимо з рисунка 2 на підприємстві застосовано прямоточну схеми з частковим повторним використанням води. Зокрема підприємство забезпечено автономною системою водопостачання, а саме є трубчастий колодязь глибиною 120м, де розміщено глибинний насос типу ЕЦВ.

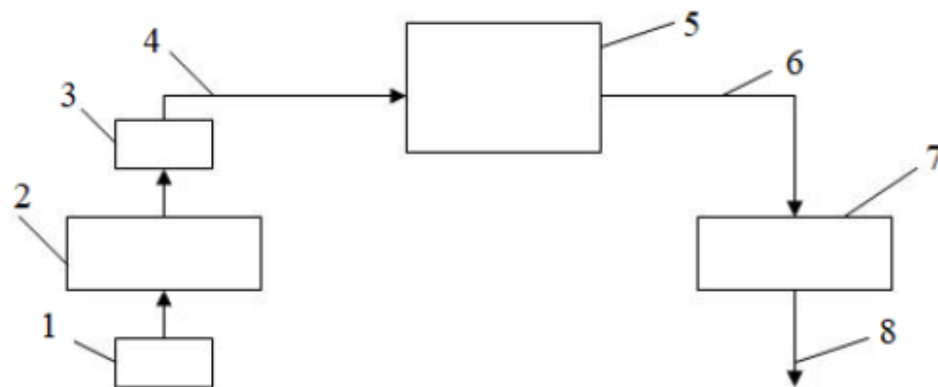


Рисунок 2 – Схема водопостачання хлібокомбінату з частковим повторним використанням води: 1 – водозабірна споруда з глибинним насосом; 2 – очисні споруди; 3 – насосна станція другого підйому; 4 – водопроводи; 5 – промислове підприємство; 6 – скидання відпрацьованої води; 7 – очистка стічних вод; 8 – скидання очищеної води в каналізаційну мережу.

Вода глибинним насосом подається у два залізобетонні резервуари об'ємом по 200 м³. З резервуарів, насосною станцією, зокрема насосом КМ 65-50-160 [13] вода подається в напірний резервуар, який розташований на п'ятому поверсі будівлі і самопливом поступає на різноманітні потреби. А потреби є значними, зважаючи на обсяги виробництва, зокрема на виробничі потреби – в середньому витрачається 250 м³/добу, з яких повторного використання 41 м³/добу), та на господарсько-побутові потреби – 50 м³/добу.

На виробничі та питні потреби використовується вода високої якості, яка відповідає стандартам. Також на миття обладнання, інших технологічних потреб застосовується зворотна вода, попередньо охолоджена за допомогою градирні, розміщеної на одному з виробничих цехів. Для очистки стічних вод на підприємстві передбачені очисні споруди, де передбачено процеси аерації, відстоювання і очистки води. Очищена стічна вода потрапляє в каналізаційну насосну станцію підприємства і перекачуються до міської каналізаційної мережі.

1.3 Обґрунтування теми, мети та об'єкту досліджень

За результатами аналізу системи водопостачання ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат», яка виконана за прямоочною схемою з частковим повторним використанням води, встановлено, що вона є неенергоєфективною і застарілою. А зважаючи на значне використання води на виробничі і господарсько-питні потреби – біля 250 м³/добу, підприємство затрачає великі кошти за електроенергію на роботу насосних установок системи водопостачання. Для підвищення енергоєфективності системи водопостачання хлібокомбінату доцільно замінити насосне устаткування на сучасніше, зокрема з застосуванням частотних перетворювачів для керування насосними агрегатами, для зниження споживання електроенергії і збільшення ресурсу їх роботи. Виходячи з цього, кваліфікаційна робота на тему «Зниження витрат електричної енергії при експлуатації насосних агрегатів системи водопостачання підприємства» є важливою і актуальною.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності системи водопостачання хлібокомбінату за рахунок застосування насосної станції з частотним перетворювачем для керування насосним агрегатом.

Об'єкт дослідження – система водопостачання підприємства, насосні агрегати, частотні перетворювачі.

Предмет дослідження – є залежність функціональних показників насосних агрегатів від характеристик водоспоживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати стан системи водопостачання хлібокомбінату;
- проаналізувати доступні методи та способи підвищення енергоефективності системи водопостачання підприємства;
- обґрунтувати схему водопостачання підприємства;
- визначити розрахункові витрати води підприємства;
- обґрунтувати структуру і здійснити розрахунок елементів системи водопостачання підприємства;
- здійснити гідравлічний розрахунок мережі;
- здійснити підбір та розрахунок насосної станції з частотним перетворювачем;
- обґрунтувати оптимальний режим роботи насосної станції другого підйому з частотним перетворювачем;
- розробити заходи щодо охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях;
- здійснити техніко-економічне обґрунтування ефективності використання частотного перетворювача для керування насосним агрегатом.

2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДСТАВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Обґрунтування методу підвищення енергоефективності насосних агрегатів системи водопостачання підприємства

На сьогоднішній день підвищення енергоефективності насосних агрегатів систем водопостачання, є чи не найважливішою задачею щодо зниження енергоспоживання і затрат на експлуатацію обладнання. Головним завданням підвищення ефективності насосних агрегатів є зменшення втрат енергії в процесі перекачування води з джерела до споживача. Виконання даного завдання дає змогу зменшити витрати електроенергії, збільшити ресурс насосного обладнання, зменшити екологічну шкоду.

Насамперед важливо визначити, які фактори впливають на ефективність насосних агрегатів і визначити шляхи їх оптимізації, зокрема основними причинами зниження втрат енергії є:

- застосування декількох малих насосів замість одного або двох великих;
- нездатність врахувати зміни умов роботи (часті зміни параметрів насосів), в яких використовується насосний агрегат;
- технічний стан насосів не відповідає умовам (вимогам);
- застосування занадто потужних електродвигунів насосних агрегатів;
- занадто великі витрати енергії в процесі регулювання потужності;
- неправильний підбір насосів, коли спостерігається занадто великий напір та/або запас потужності;
- помилки в процесі проектування системи водопостачання.

Для того щоб досягти ефективності насосних агрегатів, треба відповідально і обґрунтовано відноситись до самого вибору насосного

устаткування, його компоновки і встановлення, експлуатації та технічного обслуговування. Розглянемо ці етапи детальніше.

Вибір насоса. Для конкретної системи водопостачання правильний вибір насоса дає можливість забезпечити ефективність його роботи. Насос має не лише відповідати вимогам по визначеним показникам витрати води і напору, але враховувати часті зміни цих показників протягом доби.

Встановлення насоса. Це питання теж є дуже важливим, від якого залежить ефективність роботи насоса, адже якщо насос встановлений неправильно то це може обмежити його ресурс. Тому треба слідкувати за герметичністю трубопроводів, надійним закріпленням насоса і його елементів, правильним підключенням до мережі.

Технічне обслуговування насоса. Регулярне технічне обслуговування продовжує термін служби насоса і дозволяє уникати різних несправностей. Тому важливо постійно слідкувати за ущільнювачами, підшипниками, трубопроводами та арматурою тощо.

Регулювання насоса в системі. Для досягнення максимальної ефективності насосних агрегатів цей етап є найважливішим, адже водоспоживання є мінливим, тому насос має бути до цього адаптованим. Змінювати режим роботи насоса можливо за допомогою регулювання за рахунок зміни характеристики насоса, або зміни характеристики системи. Розглянемо детальніше доступні способи регулювання.

1. *Регулювання дроселюванням.* Найбільш поширений спосіб регулювання, який виконується за рахунок рівня відкриття засувки, що встановлена після насоса. За рахунок цього гідравлічні втрати збільшуються/зменшуються і як наслідок зміщується робоча точка насоса, тобто міняються характеристики системи (рис. 3).

Як видно з рисунка, коли засувка закрита, то гідравлічні втрати збільшується, змінюються характеристики системи і робоча точка з 2 (Q2, H2) зміщується до 3 (Q3, H3).

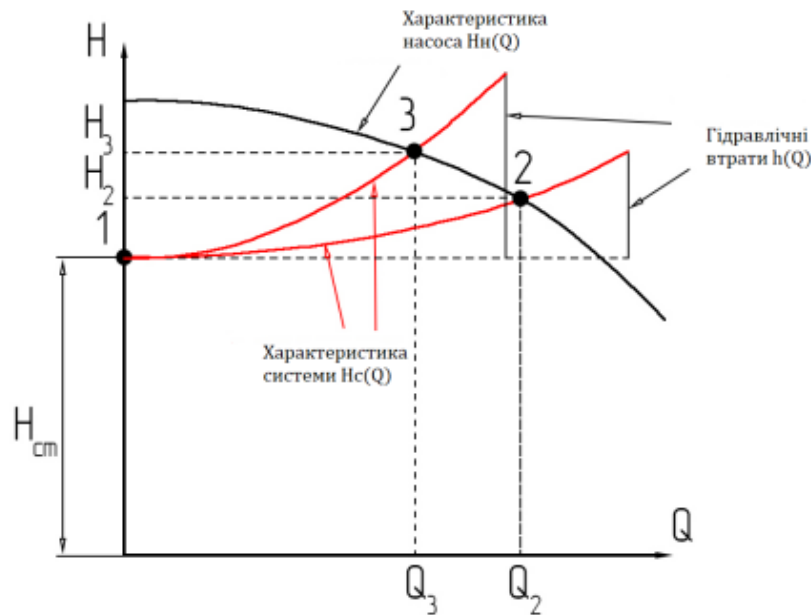


Рисунок 3 – Характеристика насоса з дроселюванням

Описаний метод є найпростішим і найменш затратним по капіталовкладенням, часто застосовується у системах водопостачання, проте є економічно не вигідним. Адже збільшуються втрати, і відповідно зменшується коефіцієнт корисної дії, створюється надлишковий тиск, що призводить до витрачання непотрібної енергії.

2. *Регулювання байпасом.* Даний спосіб виконується за рахунок перепуску частини рідини, що подається насосом, з напірного трубопроводу до всмоктувального трубопроводу, на якому встановлена засувка. За рахунок регулювання відкриття засувки, змінюється витрата рідини яка перепускається.

На характеристику лінії байпаса (рис. 4) впливає відкриття чи закриття даної засувки. На рисунку точка 2, яка є робочою точкою насоса, знаходиться на перетині кривих – характеристики насоса та характеристики системи. Для побудови загальної характеристики трубу просумувати характеристику лінії байпаса і характеристику системи за витратою води. Відповідно до поданої схеми витрата води, що йде в систему, характеризується точкою 4, а витрата води, що попадає в лінію байпаса точкою 3.

Як і дросельне регулювання, регулювання байпасом теж є економічно не вигідним, оскільки втрачається енергія рідини, яка проходить по обвідному трубопроводу.

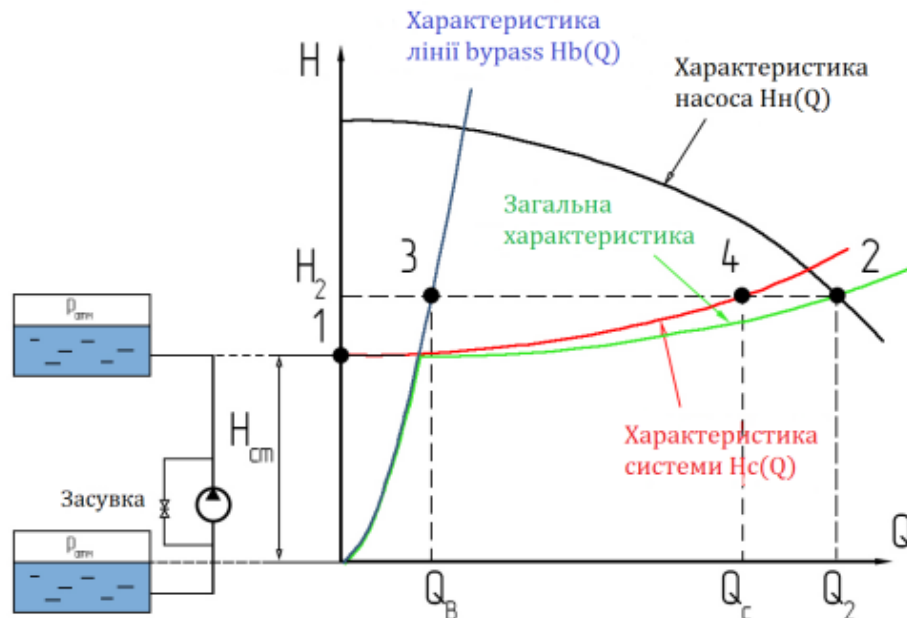


Рисунок 4 – Характеристика насоса з байпасом

3. Регулювання зміною частоти обертання вала насоса реалізується з допомогою контролерів з функцією частотного перетворення, так званих перетворювачів частоти. Дані пристрої дають можливість керувати насосом ефективніше. Зокрема для утворення і утримання необхідного рівня напору в системі, перетворювачі частоти забезпечують електродвигун насосного агрегату відповідною енергією, і це дає можливість скоротити споживання електричної енергії на роботу насоса до 35 % [21].

Загалом застосування регулювання електроприводу насоса з перетворювачем частоти, дозволяє змінити характеристику насоса (рис. 5) адаптувавши її до характеристики системи шляхом зниження частоти обертів двигуна і як наслідок зменшується споживання електричної енергії.

Зміна частоти обертання призводить до зміни робочої точки насоса. Якщо збільшується частота обертання з n_2 до n_3 , тоді характеристика насоса зміщується вгору і новою робочою точкою стає точка 3. Якщо відбувається

зменшення частоти з n_2 до n_4 , тоді характеристика насоса зміщується вниз і точка 4 стає робочою точкою насоса.

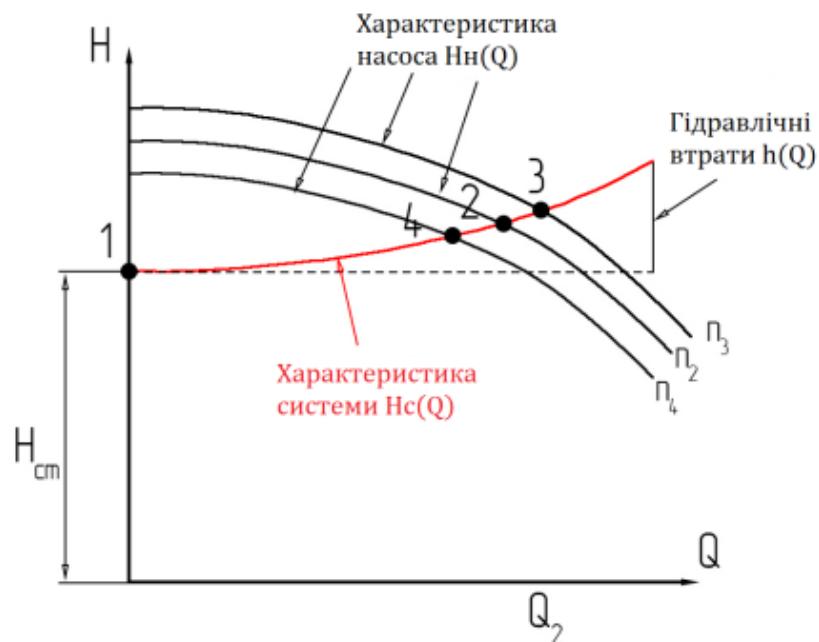


Рисунок 5 – Характеристика насоса з регульованим електроприводом

Даний спосіб регулювання є найбільш оптимальним і економічним, а його застосування у системі водопостачання дає можливість [21]:

- забезпечити плавний пуск електродвигуна, за відсутності навантажень механічних на двигун та скачків струму в електромережі;
- виключити гідравлічні удари;
- створити умови для ефективного використання споживаної потужності агрегатом у діапазоні регулювання;
- знизити шум при запуску та роботі насосного агрегату;
- забезпечити близьке до 1,0 значення коефіцієнта потужності двигуна;
- безпечної роботи і автономності та насосного агрегату.

Насосна станція системи водопостачання підприємства, як правило включає декілька насосних агрегатів, а часто є один робочий а один резервний. Спрощену електричну схему насосної станції з використанням перетворювача частоти подано на рисунку 6. На схемі, для унеможливлення одночасного підключення електродвигуна насоса до перетворювача частоти і до

електромережі, позначено механічне взаємне блокування контактних апаратів штриховою лінією з зірочкою.

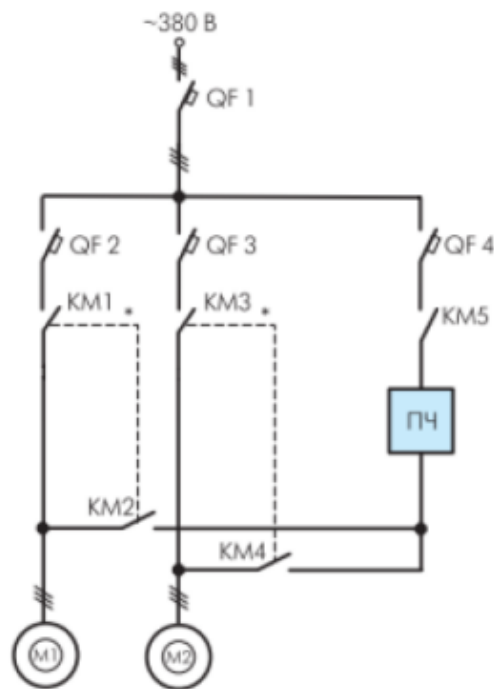


Рисунок 6 – Спрощена електрична схема силових ланцюгів насосної станції з використанням перетворювача частоти

Для використання насосних агрегатів з перетворювачами частоти, важливими елементами є датчики вихідного параметра. В залежності від системи водопостачання, це може бути датчик тиску в трубопроводів, або датчик рівня води в резервуарі насосної станції другого підйому. На підставі даних приладів приймається рішення про зміну частоти обертання. На даний час ефективним є регулювання за стабільним тиском, що дозволяє утримувати сталий тиск системи водопостачання підприємства, без впливу мінливості витрати води.

Оскільки не зовсім ефективно застосовувати перетворювачі частоти на старих спрацьованих насосних агрегатах, тому для системи водопостачання хлібокомбінату спочатку підберемо ефективний насосний агрегат обґрунтуємо його параметри.

2.2 Удосконалення схеми водопостачання хлібокомбінату

На досліджуваному підприємстві вода використовується в більшості виробничих процесів, а також для господарсько-питних і протипожежних потреб. Загалом використання води можна поділити на такі групи: миття технологічного обладнання, охолодження, виготовлення пари, виготовлення продукції. Для означених груп, як правило використовується питна вода, особливо на виробничі і питні потреби вода має бути хорошої якості і відповідати документу ДСанПіНу 2.2.4-171-10.

Схема водопостачання підприємства залежить від багатьох факторів, а саме джерела водопостачання та його дебіту, виробничих вимог до якості води, коштів які, підприємство готове вкласти в систему водопостачання тощо. Також особливістю промислових підприємств є те, що вони можуть використовувати воду різної якості, і вимоги по напору є теж різними для процесів, об'єктів підприємства. Переважно вода використовується повторно після охолодження, це притаманно для оборотних схем з охолодженням і очисткою води і прямоточних з повторним використанням води (рис. 7) [17].

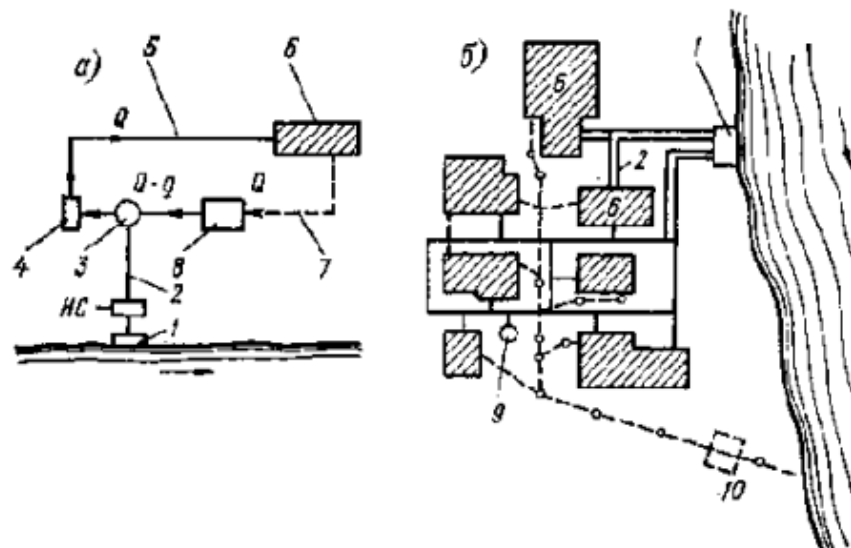


Рисунок 7 – Схеми промислового водопостачання: а – оборотна; б – прямоточна; 1 – водозабір, з насосною станцією I підйому; 2 – водоводи; 3 – збірний колодязь; 4 – циркуляційна насосна станція; 5 внутрішній

водовід; 6 – цех, де вода використовується для охолодження; 7 – скидний трубопровід; 8 – охолоджувач; 9 – водонапірна вежа; 10 – очисні споруди

За прямої схеми (рис. 7, а) воду забирають з джерела водопостачання, а потім відпрацьовану скидають у водойму чи каналізацію. У прямої схемі з повторним використанням вода повторно застосовується у другому виробничому процесі після проходження першого і очистки. Та чи не найпоширенішими на промислових підприємствах є саме оборотні схеми водопостачання (рис. 7, б), в яких вода використана в якомусь технологічному чи виробничому процесі, охолоджується (зокрема для цього на досліджуваному підприємстві застосовується градирня) і повторно використовується, зокрема для охолодження чи миття обладнання.

Для харчових виробництв переважно використовують підземні джерела водопостачання через високі вимоги до води. Як відомо з розділу 1.2, забір води для хлібокомбінату відбувається з підземного джерела глибиною 120м, а схема водопостачання передбачає повторне часткове використання води з використанням градирні для охолодження. Оскільки води з таких глибин мають значний вміст марганцю, заліза, вуглекислоти та розчинених газів передбачено систему очистки води (рис. 2), зокрема для знезалізнення та дегазації води використовують безреагентні і біохімічні методи. Очищена стічна вода потрапляє в каналізаційну насосну станцію підприємства і перекачуються до міської каналізаційної мережі.

Відповідно до схеми, передбачено що вода з резервуарів чистої води, насосною станцією другого підйому подається у напірні резервуари, розміщені на п'ятому поверсі, а звідти самопливом на виробничі процеси. Але, як показує досвід, напору з висоти п'ятого поверху, не достатньо для повноцінного виконання технологічних процесів. Тому пропонується використати насосну станцію з перетворювачем частоти, для подачі води безпосередньо у внутрішню мережу хлібокомбінату. На рисунку 8 подано удосконалену схему водопостачання хлібокомбінату.

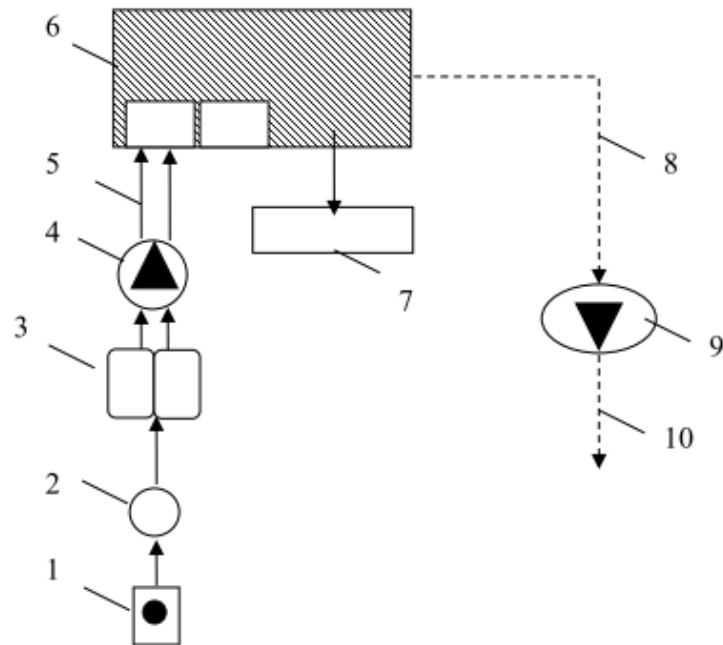


Рисунок 8 – Схема водопостачання ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат» з повторним використанням води: 1– водозабір з глибинним насосом; 2 – очисна споруда; 3 – резервуари чистої води; 4 – насосна станція другого підйому; 5 – трубопроводи подачі води; 6 – виробничі цехи; 7 – автократорний парк; 9 – відпрацьовані стічні води; 10 – каналізаційно-насосна станція з очисткою; 11 – скидання очищених стічних вод в каналізацію

Оскільки перетворювачі частоти ефективніше ставити на нових насосних агрегатах, важливо обґрунтувати обладнання насосних станцій – зокрема глибинний насос першого підйому, і відцентровий насос другого підйому з регульованим електроприводом. Також треба здійснити реконструкцію зовнішньої мережі.

Отже, для підвищення енергоефективності системи водопостачання хлібокомбінату необхідно: здійснити розрахунки та обґрунтувати параметри і режими роботи глибинного насоса, та насосної станції другого підйому з регульованим електроприводом, водоводів і водопровідної мережі до автотракторного парку.

3 МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ З ЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

3.1 Визначення розрахункових витрат води в ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат»

Щоб обґрунтувати параметри насосних агрегатів, мережі, резервуарів для зберігання води необхідно визначити обсяги та режим споживання води.

На хлібокомбінаті, процес виготовлення хлібобулочних та кондитерських виробів може тривати 9-10 годин, що вимагає значної кількості води. Підприємство працює без вихідних у дві зміни [7; 9].

На підприємстві воду застосовують для виготовлення продукції, миття обладнання, живлення котлів. Вода подається до резервуарів підготовки водосольного розчину, солерозчинників, заварювальних машини, станцій дозування рідких компонентів, установок для приготування цукрового розчину, машин для мийки лотків, циркуляційної мийки танків і молокопроводів, холодильників для закисання заварки, ємностей водогрійних хлібопекарських печей і для дріжджового концентрату і молочних продуктів [7; 9].

Розрахункові добові витрати води, на виробничі потреби підприємства

$$Q_{\partial}^{np} = q_{нит}^{np} \cdot N_{np}, \quad (1)$$

де $q_{нит}^{np}$ – питомі витрати води на одиницю продукції (згідно норм 4,3 м³/т [9]), м³/т; N_{np} – кількість продукції що випускається на підприємстві, т/добу.

$$Q_{\partial}^{np} = q_{нит}^{np} \cdot N_{np} = 4,3 \cdot 60 = 258 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Добові витрати води, на господарсько-питні потреби визначимо [11]:

$$Q_{\partial}^n = 0,045 \cdot N_{гар} + 0,025 \cdot N_{хол} \quad (2)$$

де 0,045 і 0,025 - норми водоспоживання на 1 робітника відповідно в гарячих і холодних цехах, м³/добу; $N_{хол}$, $N_{гар}$ – загальна кількість робітників на підприємстві відповідно в гарячих і холодних цехах.

$$Q_{\delta}^n = 0.045 \cdot 50 + 0,025 \cdot 70 = 4 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Для потреб автопарку, вода застосовується для миття автомобілів і догляд за ними, а її обсяги залежать від їх конструкції і потужності. Згідно норм ВБН 46/33/2.5/5/96, для потреб однієї автомашини вантажопідйомністю до 20 т приймають 300-400 л/добу води, а норму споживання на одного працівника автопарку 25 л/добу [17]. Для автопарку, що налічує 20 автомобілів і 20 робіників, визначимо добову витрату води, м³/добу [17]:

$$Q_{\delta}^a = \frac{20 \cdot 300 + 20 \cdot 25}{1000} = 6,5 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (3)$$

Витрату води в годину найбільшого водоспоживання визначимо, м³/год:

$$Q_{h,max} = \frac{Q_{\delta} \cdot K_{h,max}}{24}, \quad (4)$$

де $K_{h,max}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання (для автопарку 3, для підприємства 1,1) [16].

Для господарсько питних потреб:

$$Q_{h,max}^n = \frac{1,2 \cdot 4}{24} = 0,2 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для автопарку:

$$Q_{h,max}^a = \frac{3 \cdot 6,5}{24} = 0,81 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для виробничих потреб підприємства:

$$Q_{h,max}^{пр} = \frac{1,1 \cdot 258}{24} = 11,8 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Використовуючи максимальні витрати підбирають обладнання насосних станції, об'єм напірних резервуарів параметри мережі.

Протипожежний водопровід об'єднаний з господарсько-питним, тоді витрату води на пожежегасіння розрахуємо:

$$Q_{п} = Q_{п. \text{зовн.}} + Q_{п. \text{внутр.}}, \quad (5)$$

де $Q_{п. \text{зовн.}}$ – витрата води на зовнішнє гасіння пожежі (для багатопверхових будівель $Q_{п. \text{зовн.}} = 3 \text{ л/с}$); $Q_{п. \text{внутр.}}$ – витрата води на внутрішнє гасіння пожежі (для приміщення підприємств, складів $Q_{п. \text{внутр.}} = 2,5 \text{ л/с}$) [17].

$$Q_{п} = 3 + 2,5 = 5,5 \text{ л/с}.$$

Приймаємо час на гасіння пожежі 3 години, а для відновлення пожежного об'єму води для підприємства до 72 годин. Об'єднаний водопроводів повинен враховувати пропуск розрахункової кількості води на гасіння при максимальній годинній витраті води.

Порахувавши добові витрати, можемо визначити години максимального водопостачання споживачами господарства (таблиця 1).

Таблиця 1 – Розподіл добової витрати води на підприємстві

Години доби	Автопарк		Господарсько-питні потреби		Виробничі потреби		Всього за годину		Ординат а інтегр. Кривої
	%	м ³ /год	%	м ³ /год	%	м ³ /год	м ³ /год	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-1	-	-	2,1	0,084	3,55	9,16	9,24	3,44	3,44
1-2	-	-	2,1	0,084	3,48	8,98	9,06	3,38	6,82
2-3	-	-	2,1	0,084	3,77	9,73	9,81	3,65	10,47
3-4	-	-	2,1	0,084	3,77	9,73	9,81	3,65	14,12
4-5	-	-	2,1	0,084	4,22	10,89	10,97	4,09	18,21
5-6	-	-	2,1	0,084	4,7	12,13	12,21	4,55	22,76
6-7	3,947	0,26	8,1	0,324	3,26	8,44	9,02	3,36	26,12
7-8	5,263	0,34	6	0,24	3,11	8,12	8,71	3,24	29,36
8-9	7,894	0,51	5	0,2	4,92	12,69	13,41	4,99	34,35
9-10	7,894	0,51	3,1	0,124	4,98	12,85	13,49	5,02	39,37
10-11	7,894	0,51	3,1	0,124	5,26	13,57	14,21	5,29	44,67
11-12	5,263	0,34	3,1	0,124	4,92	12,69	13,16	4,90	49,57
12-13	5,263	0,34	3,1	0,124	4,66	12,12	12,59	4,69	54,26
13-14	5,263	0,34	3,1	0,124	4,6	11,87	12,33	4,59	58,85
14-15	6,578	0,43	3,1	0,124	3,77	9,73	10,28	3,83	62,68
15-16	7,894	0,51	3,1	0,124	3,77	9,73	10,36	3,86	66,54
16-17	7,894	0,51	8	0,32	4,22	10,89	11,72	4,37	70,90
17-18	7,894	0,51	8	0,32	4,7	12,13	12,96	4,83	75,73
18-19	6,578	0,43	8,1	0,324	4,92	12,69	13,45	5,01	80,74
19-20	6,578	0,43	8,1	0,324	4,98	12,85	13,60	5,07	85,80
20-21	3,947	0,26	8,1	0,324	5,26	13,57	14,15	5,27	91,07
21-22	3,947	0,26	2,1	0,084	4,92	12,69	13,03	4,85	95,93
22-23	-	-	2,1	0,084	2,17	5,60	5,68	2,12	98,05
23-24	-	-	2,1	0,084	2	5,16	5,24	1,95	100
Σ	100	6,5	100	4	100	258	268,5	100	

Також за отриманими результатами побудовано ступеневий графік (рис.9) добового споживання води у ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат».

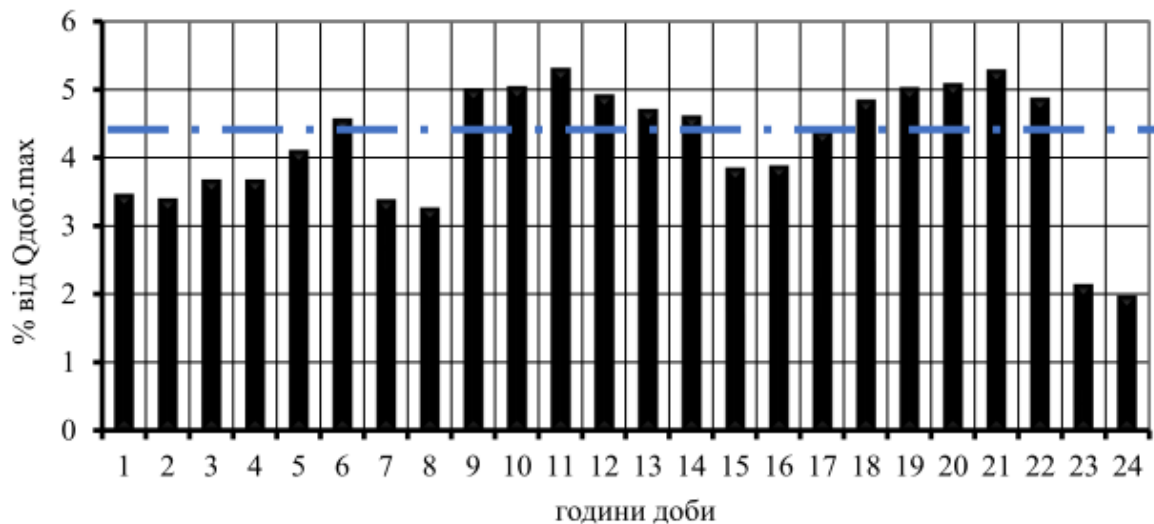


Рисунок 9 – Ступеневий графік водоспоживання підприємства

Таким чином, отримані значення розрахункових витрат води, а також їх розподіл протягом доби, є вихідними даними для обґрунтування параметрів обладнання системи водопостачання хлібокомбінату.

3.2 Розрахунок та підбір насосів першого підйому

Для забору води з підземного джерела використовують глибинний насос, який подає воду через очисну споруду у резервуари чистої води. Насоси першого підйому рівномірно подають витрату води Q_p , тобто $100/24 = 4,17\%$ витрати води кожної години (на рисунку 9 показано пунктирною лінією). Під час пожежі режим роботи насосу не міняється [17].

Розрахункові витрати для насосів першого підйому визначимо

$$Q_{НС-1} = \frac{4,17 \cdot \alpha \cdot Q_p}{100}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (6)$$

де α – коефіцієнт, що враховує витрати води на власні потреби станції очистки $\alpha = 1,03 - 1,1$; 4,17 – годинна подача води, % [11].

$$Q_{НС-1} = \frac{4,17 \cdot 1,03 \cdot 268,5}{100} = 11,5 \text{ м}^3/\text{год}.$$

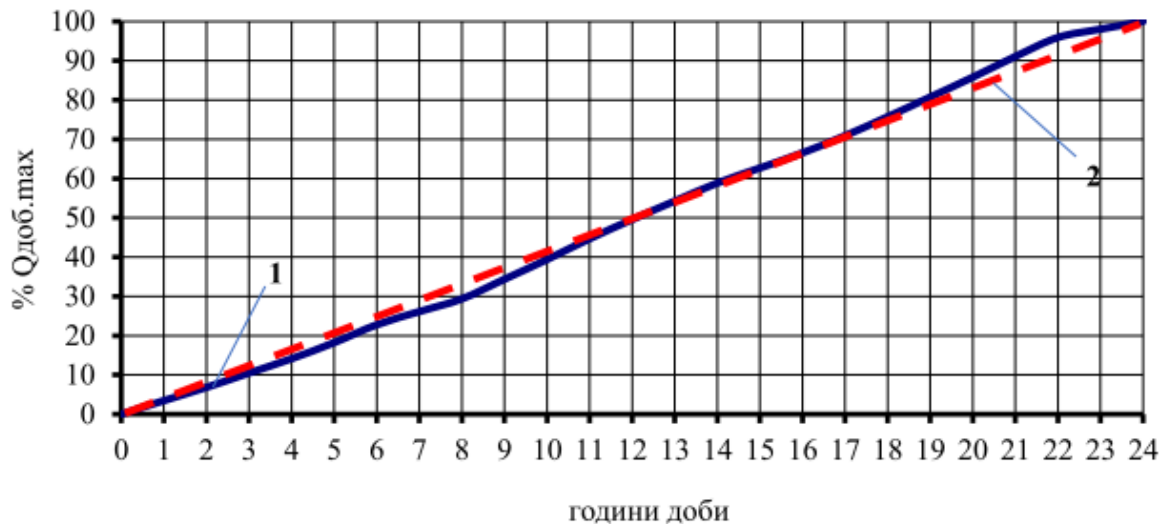


Рисунок 10 – Інтегральний графік водоспоживання підприємства:

1 – водоспоживання; 2 – подача води насосом першого підйому

Розрахунковий напір насосів першого підйому $H_{НС-1}$ визначимо

$$H_{НС-1} = h_t + h_v + h_o + (Z - Z_0), \text{ м} \quad (7)$$

де h_t , h_v , h_o – відповідно втрати напору, у трубопроводі всмоктувальному і напірному та очисній споруді, м; Z – відмітка максимального рівня води в резервуарі води, м; Z_0 – відмітка мінімального рівня води в джерелі, м.

Згідно аналізу системи водопостачання підприємства глибина свердловини 120 м, а висота вільної поверхні води $Z_0 = 60$ м. Максимальний рівень води в резервуарі чистої води $Z = 180$ м. Загальні втрати напору ц всмоктувальному та напірному трубопроводі і очисній споруді можна прийняти в межах 10 % від геометричної висоти подачі води [17].

$$H_{НС-1} = 0,1 \cdot (180 - 60) + 180 - 60 = 132 \text{ м.} \quad (8)$$

Розрахувавши напір і витрату води визначимо потужність насоса $N_{НС-1}$

$$N_{НС-1} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{НС-1} \cdot Q_{НС-1}}{\eta}, \text{ Вт} \quad (9)$$

де ρ – густина води, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; η – ККД насоса, $\eta = 0,65 \dots 0,8$.

$$N_{\eta} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 132 \cdot 0,0032}{0,8} = 4800 \text{ Вт} = 4,8 \text{ кВт.}$$

За розрахованими показниками QНС-I, ННС-I, ННС-I обираємо з каталогів відцентровий трифазний занурювальний насос з асинхронним двигуном Aquatica (Dongyin) 7771663 з максимальним напором $H=136$ м, робочими витратами води $Q=8-14,4$ м³/год та потужністю $N=4$ кВт [14].

3.3 Розрахунок резервуарів для зберігання чистої води

Для зберігання води на потреби підприємства передбачено резервуари. Оскільки до них попадає вода вже попередньо очищена їх називають резервуарами чистої води – РЧВ. Як правило використовують не менше двох резервуарів для ефективної роботи системи на випадок ремонту, миття тощо. На рисунку 11 подано принципову схему резервуара чистої води [6; 17].

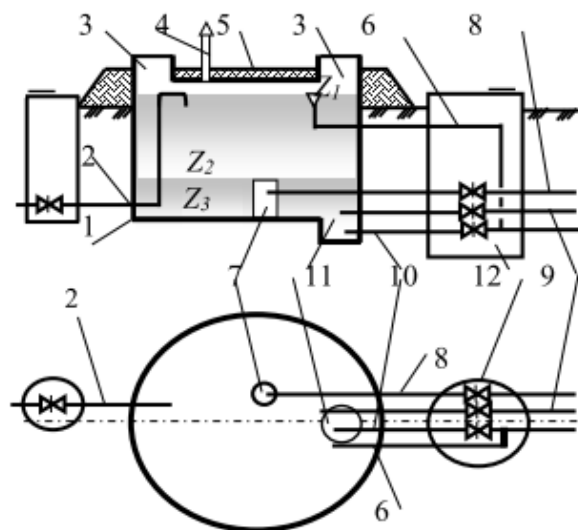


Рисунок 11 – Резервуар для зберігання чистої води: 1 – корпус резервуара; 2 – подавальний трубопровід; 3 – оглядові колодязі; 4 – вентиляційна труба; 5 – обвалування; 6 – переливна труба; 7 – колодязь для забезпечення непорушності пожежного запасу; 8 – трубопровід для відбору води для господарських потреб; 9 – трубо-провід для відбору води на пожежні потреби; 10 – труба відведення бруду; 11 – прямик; 12 – камера переключень

Для збереження високої якості води і забезпечення фільтрації з резервуара в ґрунт (а не навпаки) максимальний рівень води в резервуарі z_1 має

бути над землею на 0,5-1,0 м. Забір води здійснюється сифоном з дна резервуару і подається трубопроводом 8 [17].

В кожному резервуарі має зберігатись аварійний запас, недоторканий пожежний запас, об'єм регулювальний і на власні потреби станції, м³

$$W_{рез} = W_{рег} + W_{нпз} + W_{вл} + W_{ав}, \quad (10)$$

де $W_{рег}$ – регулювальний об'єм води, м³; $W_{нпз}$ – недоторканий пожежний запас, м³; $W_{вл}$ – об'єм води на власні потреби насосної станції і системи очистки, м³; $W_{ав}$ – аварійний запас (дві години безперебійної подачі води), м³.

Недоторканий протипожежний запас визначається, м³ [17]:

$$W_{нпз} = W_{год} + 10,8 \cdot (Q_{пож} - Q_{нс-1}) \quad (11)$$

де $W_{год}$ – об'єм води, що використовує споживач за три суміжних години максимальних витрат; $Q_{пож}$ – витрати води на пожежогасіння, л/с.

$$W_{нпз} = 41,19 + 10,8 (5,5 - 3,9) = 58,47 \text{ м}^3.$$

Об'єм води на власні потреби насосної станції і системи очистки приймаємо 2% від $Q_{доб.мах}$ [17].

$$W_{вл} = 0,05 \cdot Q_{доб.мах} = 0,02 \cdot 268,5 = 5,37 \text{ м}^3. \quad (12)$$

Регулювальний об'єм можемо визначити, користуючись інтегральним графіком водоспоживання (рис.10) за формулою, м³ [6]:

$$W_{рег} = \frac{(d_i + d_n)}{100} \cdot Q_{доб.мах} \quad (13)$$

де d_i , d_n – максимальна різниця відповідно між перевищенням ординати споживання над подаванням води та перевищенням ординати подавання над споживанням води.

$$W_{рег} = \frac{268,5 \cdot (5,5 + 3,9)}{100} = 25,23 \text{ м}^3.$$

Запас води $W_{ав}$ на випадок аварійного відключення електроенергії

$$W_{ав} = 2 \cdot Q_{h.мах} = 2 \cdot 12,81 = 25,62 \text{ м}^3. \quad (14)$$

Отже об'єм резервуарів складатиме, м³

$$W_{рез} = 5,37 + 58,47 + 25,23 + 25,62 = 114,69 \text{ м}^3.$$

Таким чином об'єм води в резервуарах для виконання усіх потреб у воді на підприємстві складає біля 115 м³. Резервуари, які наявні на підприємстві задовольняють цей об'єм з запасом, тому приймаємо їх. У напірні резервуари об'ємом 30 м³ на даху виробничого цеху теж можна запасати води.

У резервуарах важливо контролювати рівень води. Доречним буде використання контролера зображеного на рисунку 12, який дозволить підвищити енергоефективність системи водопостачання в цілому.



Рисунок 12 – Панель контролера ОРДИНАР.

За допомогою даного контролера можна слідкувати за рівнем води як в автоматичному так і в ручному режимах за допомогою датчиків, яких можна встановити до чотирьох. Цим контролером можна керувати в ручному та автоматичному режимах і підключити до 4 датчиків. Також доцільно підключити звуковий сигнал на випадок опускання води до найнижчого чи піднімання до найвищого рівнів. У таблиці 2 представлено технічні характеристики контролера.

Таблиця 2 – Технічні характеристики контролера

Параметр	Розмірність	Значення
Напруга живлення	В/Гц	~ 95–245 / 50-60
Споживана потужність	Вт	10
Кількість входів	Одиниць	4
Кількість вихідних реле	Одиниць	3
Навантажувальна здатність реле	В/А	~220 8 / =28 10
Додаткове джерело живлення	В/А	12 / 0,25
Вага пристрою	Кг	0,3

Як датчики рівня, використаємо поплавкові датчики типу ПДУ (рис. 13).



Рисунок 13 – Датчик поплавковий для рідин

Ці пристрої слідкують за рівнем води, і передають сигнал, зокрема щодо мінімального, максимального і поточного рівнів води в резервуарі [32].

3.4 Визначення діаметрів водоводів і втрат напору в мережі

Для того щоб обґрунтувати параметри насосної станції другого підйому необхідно обґрунтувати параметри мережі і визначити втрати напору. Зокрема визначимо параметри водоводів які з'єднують РЧВ з виробничим цехом, яких має бути не менше двох. Для хлібокомбінату приймемо водоводи з поліетиленових труб ПЕ SDR, які в порівнянні з металевими є легшими в декілька разів, мають більший гарантійний термін експлуатації, не піддаються корозії, можуть багаторазово застосовуватись, простіші в монтуванні [19; 20].

Діаметр трубопроводу d_j на ділянці визначимо, м [6]:

$$d_j = 1.13 \sqrt{\frac{Q_j}{v}}, \quad (15)$$

де Q_j – максимальна секундна витрата води на j -й ділянці, м³/с; v – рекомендована швидкість руху ($v = 0,75 \dots 1,25$ м/с).

$$d_{A1} = 1.13 \sqrt{\frac{0,0032}{1,2}} = 0.057 \text{ м.}$$

Приймаємо найближчий внутрішній діаметр трубопроводу за стандартом, яким є $d_{A1} = 0.058\text{м}$.

Визначимо середню швидкість руху води v_j , м/с:

$$v_j = \frac{4Q_j}{\pi d_{bj}^2} = \frac{4 \cdot 0.0032}{3.14 \cdot 0.058^2} = 1,21\text{м/с}. \quad (16)$$

Розрахуємо середню швидкість води у трубопроводі у випадку пропуску витрата води на гасіння пожежі $Q_d = 0,0055 \text{ м}^3/\text{с}$. Якщо $v_{nj} < 2,5 \text{ м/с}$, то на залишаємо прийнятий діаметр d_{bj} трубопроводу на ділянці.

$$v_{nj} = \frac{4(Q_j + Q_d)}{\pi d_{bj}^2} = \frac{4 \cdot (0.0032 + 0.0055)}{3.14 \cdot 0.058^2} = 3,31\text{м/с}. \quad (17)$$

Умова не виконується, тому приймаємо за стандартом більший діаметр $d_{A1} = 0.069\text{м}$.

Здійснимо перерахунок швидкості

$$v_n = \frac{4 \cdot (0.0032 + 0.0055)}{3.14 \cdot 0.069^2} = 2,32\text{м/с}.$$

Отримане значення швидкості $2,32 < 2,5$ тому умова виконується.

Також важливо визначити втрати напору за довжиною ділянки трубопроводу, м [28]:

$$h_{Lj} = A_j \cdot Q_j^2 \cdot L_j \cdot K_1, \quad (18)$$

де $A_j = 1/K^2$ – питомий опір трубопроводу; K – витратна характеристика; K_1 – поправочний коефіцієнт на швидкість.

$$h_{LA1} = 6700 \cdot 0.0032^2 \cdot 50 \cdot 1.41 = 4.84\text{м/с}.$$

Для визначення місцевих втрат, прийmemo що вони на ділянці становлять у розмірі 3 % від h_{Lj} , м:

$$h_{MA1} = 0,03 \cdot h_{LB-1}. \quad (19)$$

$$h_{MA1} = 0,03 \cdot 4,84 = 0,1452\text{м}.$$

Тоді сумарні втрати напору на ділянці Б-1 визначимо, м:

$$h_{wA1} = h_{LA1} + h_{MA1} \quad (20)$$

$$h_{wA1} = 4,84 + 0,1452 = 4,98 \text{ м.}$$

Отже для двох водоводів приймаємо діаметр $d=0,069$ м, а втрати напору складають $h_{wA1} = 4,98$ м.

За аналогією здійснюємо розрахунки водопровідної мережі на ділянці В для сполучення з автопарком. Результати розрахунків показано у таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок діаметрів водоводів і втрат напору в мережі

Позначення ділянки	Довжина ділянки L_j , м	Діаметр трубопроводу d_{ej} , м	Швидкість води в трубі v_j , м/с	Сумарні втрати напору h_{wj} , м
A1	50	0,069	2,32	4,98
A2	50	0,069	2,32	4,98
В	40	0,058	2,15	3,35

Визначивши параметри трубопроводів мережі, важливо також розрахувати глибину їх прокладання. Для того щоб визначити глибину, необхідно врахувати ряд факторів, а саме наявність ґрунтових вод, глибину промерзання місцевості, температуру води, матеріал труб і спосіб їх з'єднання тощо. Для зменшення капіталовкладень, глибина прокладання трубопроводів мережі має бути мінімально допустимою.

Також важливо врахувати, щоб вода не нагрівалась, трубопроводи необхідно прокладати на глибину не менше 0,5 м від поверхні землі. І якщо є інтенсивних рух транспорту в можливому місці прокладання мережі, то глибина має бути не менше 1 м [28].

Клімат Стрийського району, де розміщений хлібокомбінат, є помірно-континентальний. Мінімальна температура зимою складає -25°C , а температура промерзання ґрунту для Стрийського регіону становить $h_{\text{пм}}=60$ см.

Визначимо глибину прокладання трубопроводів $h_{\text{пр}}$ в землі за формулою:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{пм}} + 0,5 = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ м.} \quad (21)$$

Під час прокладання трубопроводів копіюють рельєф місцевості тримаючись паралельно поверхні землі, з необхідним мінімальним ухилом трубопроводу 0,001.

3.5 Обґрунтування параметрів насосного агрегату другого підйому з перетворювачем частоти для регулювання електроприводу насоса

Для розуміння принципу частотного регулювання режиму роботи двигуна приводу, розглянемо цей метод на прикладі управління роботою електроприводу насоса в системі водопостачання хлібокомбінату. Регулювання електроприводу насосних агрегатів дуже важливе з позиції економії електроенергії, адже тільки в масштабах України біля 50 % споживання електроенергії протягом року використовується для приводу насосних та інших перекачувальних агрегатів [21].

Для забезпечення потреб споживача, насосна станція другого підйому має забезпечувати відповідний рівень напору (тиску), який складається з статичної складової (сума різниці рівнів висот розміщення насосної станції і споживача розташування споживача і насосної станції та потрібного напору (тиску) в точці споживання) і динамічної (необхідну на подолання гідравлічного опору) [21].

Найпоширенішим є варіант виконання насосної станції другого підйому у складі одного насоса, який забезпечує потрібний напір, продуктивність та потужність. А коли в системі зменшується споживання води, продуктивність насоса регулюється за допомогою дроселювання, внаслідок чого створюється надлишковий тиск, для якого по суті затрачається дармова робота, і непотрібні

витрати електроенергії. Також надлишковий тиск призводить до швидкого зношування елементів насоса і підвищує ймовірність виникнення аварій.

Набагато ефективнішим виглядає метод частотного регулювання. Він по суті є протилежним до дроселювання, адже дозволяє регулювати не площу поперечного перерізу напірного трубопроводу а продуктивність насоса. Продуктивність залежить від швидкості обертання вала електродвигуна, яка залежна від характеристик напруги живлення. Якраз перетворювачі частоти і застосовують для формування необхідних значень напруги, струму і частоти напруги живлення двигуна. Також застосування перетворювача дає змогу [22]:

- забезпечити надійний захисту системи від аварійних ситуацій;
- захистити двигуна від стрибків напруги в мережі живлення та при пусках двигуна;
- автоматизувати процес управління та контролю режимів роботи насосної станції;
- знизити споживання води в систем;
- досягти значної економії електроенергії.

Для обґрунтування параметрів насосного агрегату з використанням перетворювача частоти розглянемо особливості роботи насосної станції другого підйому на підприємстві. Вода з резервуарів чистої води насосом подається до виробничих цехів. Використовувалась схема з подачею води в напірні резервуари на даху цеху, а потім самопливом до споживача. Нами запропоноване удосконалення схеми, яке передбачає подавати воду безпосередньо в мережу споживачу, а резервуари використовувати для запасу води.

Для обґрунтування параметрів насоса необхідно мати максимальне водоспоживання протягом доби, яке складає $14,21 \text{ м}^3/\text{год}$. Тому приймаємо що подача насоса $Q_n = 14,21 \text{ м}^3/\text{год}$.

Потрібний напір насоса визначимо з виразу [27]:

$$H_n = Z_1 - 0,5(Z_2 + Z_3) + h_k + h_b + h_w, \text{ м}, \quad (22)$$

де Z_1 – відмітка найвищої точки для забору води, м; Z_2, Z_3 – позначки максимальних рівнів регульовального і пожежного запасів РЧВ, м; h_k – втрати напору в насосній станції, м; h_w – втрати напору у водоводі, м; h_v – вільний напір, м.

$$H_n = 198 - 0,5 \cdot (181,13 + 180) + 3 + 10 + 4,98 = 35,33 \text{ м.}$$

Потужність насоса N_n визначимо за формулою (9):

$$N_n = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 35,33 \cdot 0,0032}{0,7} = 1582,78 \text{ Вт} = 1,58 \text{ кВт.}$$

Використовуючи каталоги виробників насосних агрегатів, на підставі розрахованих значень подачі, напору і потужності насоса, підібрано насосну установку з частотним перетворювачем Saer CB 50 (Sirio Entry 230) (рис.14) з наступними характеристиками : максимальний напір $H = 50$ м, максимальна витрата води $Q = 15 \text{ м}^3/\text{год}$, потужність $N = 1.5 \text{ кВт}$ [15].



Рисунок 14 – Загальний вигляд насосної установки з частотним перетворювачем Saer CB 50 (Sirio Entry 230)

Насосна установка Saer CB 50 (Sirio Entry 230) дозволить забезпечити стабільний тиск у водопровідній мережі системи водопостачання. Для цього використаємо регулювання за постійним тиском, що дає змогу підтримувати стабільний тиск для усіх споживачів системи незалежно від зміни витрати води (рис. 15).

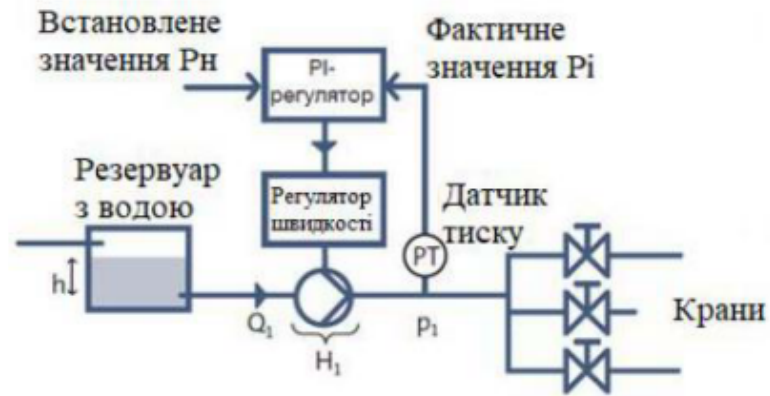


Рисунок 15 – Схема використання насосної установки з частотним перетворювачем в системі водопостачання

Обрана установка Saer CB 50 з функцією самовсмоктування може підіймати воду з глибини до 8 метрів, може монтуватись як на вулиці так і в приміщенні, що підходить для резервуарів чистої води.

Окремої уваги заслуговує частотний перетворювач Italtcnica Sirio-Entry 230. Пристрій є автоматикою глибинного насоса і сприяє плавному пуску і зупинці насоса, має захист від «сухого ходу», і захист від зниження або підвищення напруги в електромережі. Завдяки застосованій технології інвертора, можна регулювати частоту (Гц) струму електродвигуна у випадку падіння споживання води в системі, з метою відповідності швидкості обертання вала робочого колеса насоса з продуктивністю. Тиск в системі водопостачання хлібокомбінату підтримуватиметься на стабільному рівні, а енергоспоживання електродвигуна пропорційне миттєвій споживаній витраті води. Це сприяє значній економії електричної енергії затраченої на роботу насоса [22].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз стану охорони праці на хлібокомбінаті

Охорона праці – це сукупність законодавчих актів, різноманітних заходів та засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці [25].

Щодо хлібокомбінатів – організація охорони праці здійснюється за Законами України «Про охорону праці», «Про пожежну безпеку», Санітарними правилами та Правилами з техніки безпеки і виробничої санітарії для підприємств хлібопекарської промисловості.

Технологічне обладнання та процеси виробництва хлібобулочних та кондитерських виробів повинні відповідати вимогам ДСТУ 2583-94.

Керівники підприємства та структурних підрозділів повинні забезпечити навчання робітників з правил безпеки праці. Усі працівники при прийнятті на роботу та під час роботи повинні проходити навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці та пожежної безпеки у відповідності з розробленими і затвердженими керівником підприємства нормативними актами згідно з Типовим положенням про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, Типовим положенням про спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах і в установах.

Працівники мають бути забезпечені санітарним одягом і взуттям, спецодягом і спецвзуттям та засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм. Застосування засобів індивідуального захисту працівників забезпечує:

- зниження рівня шкідливих чинників до величини, встановленої діючими санітарними нормами, затвердженими в установленому порядку;
- захист від дії небезпечних або шкідливих виробничих чинників;
- захист від дії небезпечних або шкідливих виробничих чинників, що виникають при порушенні технологічного процесу.

Для створення безпечних умов праці виробничі приміщення повинні мати необхідні площу, висоту, освітленість, вентиляцію. Східці, драбини, площадки огорожують поручнями.

Всі частини обладнання, що рухаються, оснащують сітчастим або суцільним огороженням, гарячі поверхні апаратів, трубопроводів і баків термоізолюють. Машини, транспортери й огороження повинні мати механічне та електричне блокування, бути заземлені, а також обладнані сигналізацією, яка при пуску і зупинці машини автоматично приводиться у дію [18].

Між обладнанням мають бути проходи і проїзди, що забезпечують безпечне обслуговування і ремонт.

Особливу увагу слід приділяти охороні ізоляції електромереж від руйнування та вологи. На цих ділянках дозволяється користуватися лише низьковольтною напругою.

Основними несприятливими речовинами і виділеннями при виготовленні хлібних виробів є борошняний пил, диоксид вуглецю, тепло- і вологовиділення.

На робочих місцях біля печей та іншого тепловипромінюючого обладнання має бути створений необхідний мікроклімат за рахунок місцевої вентиляції.

У тарних і безтарних складах зберігання борошна мають бути встановлені засоби уловлювання пилу, забезпечена герметизація і максимальне ущільнення стиків і з'єднань у технологічному обладнанні, шнеках, трубопроводах для попередження запилювання, обладнання повинне бути заземлене. Нижня межа вибухонебезпечної концентрації борошняного пилу становить 10-35 г/м³.

Джерела світла і світильники повинні забезпечити необхідну освітленість робочих місць. Мають бути впроваджені заходи, що забезпечують загальнообмінну та місцеву вентиляцію, яка створила б комфортні параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях у холодну і теплу пори року.

Хлібозаводи за пожежною безпекою належать до категорії В. В їх виробничих приміщеннях мають бути передбачені заходи по попередженню вибухів, виникненню пожеж, засоби їх гасіння, сигналізації, питання пожежного водопостачання, шляхи евакуації людей.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації водопровідних насосних станцій, резервуарів та водонапірних башт

1. Агрегати і механізми розміщені у приміщеннях насосних станцій повинні забезпечуватись природним і штучним освітленням згідно норм.

2. У машинному приміщенні повинно бути передбачене аварійне освітлення електричними ліхтарями.

3. Температура повітря у машинному відділенні і в приміщенні решіток станцій з постійною присутністю персоналу в опалювальний період повинна бути не нижче +16 °С. Влітку температура в приміщенні станції не повинна перевищувати температуру зовнішнього повітря більш 5 °С, а в зоні встановлення насосних агрегатів дозволяється не більше +35 °С .

4. Не дозволяється припиняти роботу, вводити або виводити із резерву насосних станцій агрегати без відома керівництва цивільних споруд. Виняток, коли є загроза безпеці людей або збереженню устаткування.

5. Черговий машиніст водопостачання у випадку виникнення аварії незалежно від присутності осіб, старших за посадою (якщо старший за посадою не прийняв керівництво ліквідацією аварії на себе), одноосібно приймає рішення і здійснює необхідні заходи.

6. Для усунення небезпеки вибуху або отруєння працівників у разі потрапляння в приміщення насосної станції вибухонебезпечних і шкідливих газів, парів або рідин необхідно вживати такі заходи: а) освітлення резервуарів, решіток, двигуна та інших пристроїв здійснюють у вибухобезпечному виконанні; б) стан повітря в приміщеннях насосної станції контролюють з допомогою газоаналізаторів; в) застосовувати інструменти з кольорових металів, що не утворюють іскор.

7. Механізоване очищення решіток обов'язкове при кількості відходів 0,1 м³ і більше за добу. При невеликій кількості відходів дозволяється ручне очищення решіток. У разі механізованого очищення решіток передбачається встановлення дробарок для дроблення і спускання відходів у стічну воду.

8. Усі ходи і лази в підземні резервуари і водонапірні башти повинні бути закриті, замкнені й опломбовані.

9. Очищення, ремонт резервуарів і баків водонапірних башт виконуються за графіком, складеним дистанцією цивільних споруд і водопостачання та погодженим з СЕС. Роботи з очищення оформляються актом із зазначенням початку виконання робіт, часу зняття і постановки пломб, переліку виконаних робіт, включаючи дезінфекцію.

10. Очищати резервуари дозволяється тільки в продезінфікованих спецодязі і гумових чоботях. Після виходу з резервуара спецодяг знімають і зберігають у спеціальних шафах до наступного використання.

11. У разі фарбування внутрішніх поверхонь закритих резервуарів необхідно забезпечити подання в резервуар припливного повітря і забезпечити кожного працівника рятувальним поясом з мотузкою. Працівникам, які виконують роботу усередині резервуара, необхідно робити перерви на 10-15 хв. щогодини з виходом назовні.

12. Під час фарбування внутрішніх поверхонь баків водонапірних башт від отруєння парами застосовують шланговий протигаз. У разі фарбування гідроаккумуляторів, суцільнометалевих веж, веж-колон, цистерн і інших закритих резервуарів необхідно дотримуватись особливої обережності.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Одним з основних питань служб з охорони праці є забезпечення захисту працівників підприємства під час виникнення надзвичайних ситуацій (НС). Забезпечення безпеки в умовах НС реалізують в три етапи [26]:

- завчасна підготовка і накопичення засобів захисту від небезпечних і шкідливих чинників, забезпечення їхньої готовності для використання населенням, а також підготовка до проведення заходів щодо евакуації населення з небезпечних зон (зон ризику);

- диференційований підхід у забезпеченні повного обсягу захисних заходів в залежності від виду джерел небезпечних і шкідливих чинників.

- комплексне ефективне застосування засобів і способів, які забезпечують надійний захист від наслідків НС, узгоджене здійснення усіх заходів, що гарантують безпеку життєдіяльності.

Основний засіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях - це евакуація населення, його *укриття в захисних спорудах*, наприклад у бомбосховищах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики.

Крім цього, важливі засоби індивідуального захисту населення від потрапляння всередину організму, на шкірні покрови та одяг радіоактивних, отруюючих речовин і бактеріальних засобів. Зокрема медичні засоби індивідуального захисту, які призначені для профілактики і надання медичної допомоги населенню, постраждалому у НС. З їх допомогою можна зберегти життя, попередити або значно зменшити ступінь розвитку поразки людей, підвищити стійкість організму людини до впливу деяких небезпечних і шкідливих чинників (іонізуючих випромінювань, токсичних речовин і бактеріальних засобів). До них відносяться радіопротектори (наприклад, цистамін, що знижує ступінь впливу випромінювань), антидоти (речовини, що попереджують або послаблюють дію токсичних речовин), протибактеріальні засоби (антибіотики, вакцини, антитоксини), і засоби часткового санітарного опрацювання (індивідуальні перев'язувальний і протихімічний пакети).

Для забезпечення безпеки життєдіяльності населення у НС важливо навчити населення, робітників діям у НС, організувати своєчасне оповіщення про загрозу виникнення НС, проведення радіаційної, хімічної і бактеріологічної розвідки, а також дозиметричного і лабораторного (хімічного) контролю; проведення профілактичних протипожежних, протиепідемічних і санітарно-гігієнічних заходів, створення запасів матеріальних засобів для проведення рятувальних невідкладних аварійних робіт, які необхідно провести після аварії.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСА

У даному розділі здійснимо техніко-економічні розрахунки для визначення ефективності від впровадження насосного агрегату другого підйому з використанням частотного перетворювача для регулювання електроприводу насоса в системі водопостачання хлібокомбінату.

Ефективність будемо оцінювати на основі двох методів регулювання насоса а саме діючого на підприємстві – регулювання напору насоса за допомогою дроселювання, і запропонованого варіанту – регулювання електроприводу насоса за допомогою частотного перетворювача. Порівняємо споживання електричної енергії для діючого насоса КМ 65-50-160 [13] обґрунтованого Saer CB 50 (Sirio Entry 230) [15] .

Для регулювання дроселюванням визначимо споживану потужність N_d для діючого насоса КМ 65-50-160, кВт

$$N_d = N_{\min} + (N_{\max} - N_{\min}) \cdot (Q_i / Q_{\max}), \text{ кВт}, \quad (23)$$

де N_{\min} , N_{\max} – відповідно мінімальна і максимальна споживана потужність, кВт; Q_i , Q_{\max} – відповідно поточна і максимальна витрата води, м³/год.

Для регулювання електроприводу насоса за допомогою частотного перетворювача визначимо споживану потужність $N_{\text{чп}}$ насоса Saer CB 50, кВт

$$N_{\text{чп}} = N_{\max} \cdot (Q_i / Q_{\max})^3, \text{ кВт}. \quad (24)$$

Відповідно до графіка визначення споживаної потужності для різних способів регулювання насоса, який подано на рисунку 16, при дроселюванні, залежність споживаної потужності від відносної витрати $N_d = f(Q_i / Q_{\max})$ отримаємо з'єднавши прямою лінією точки N_{\max} і N_{\min} . Якщо застосовується перетворювач частоти для регулювання, тоді $N_{\text{чп}} = f(Q_i / Q_{\max})$ одержимо з виразу (24) підставивши N_{\max} і кілька значень Q_i / Q_{\max} (від 0 до 1).

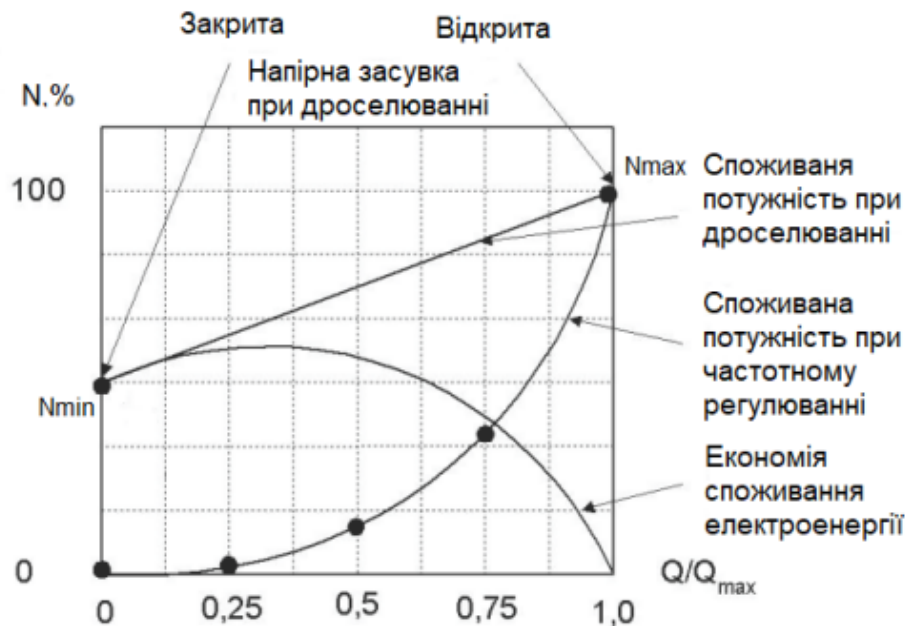


Рисунок 16 – Графік визначення споживаної потужності за різних способів регулювання насоса

Користуючись ступеневим графік водоспоживання підприємства (рис. 9) визначимо і порівняємо погодинне завантаження діючого насоса КМ 65-50-160 і обґрунтованого насоса Saer CB 50 (Sirio Entry 230).

Використавши формули (23) і (24) визначимо погодинну споживану потужність за використання частотного перетворювача $N_{\text{чп}}$ і за використання дросельного регулювання $N_{\text{д}}$ визначимо різницю споживання, а відповідно розрахуємо економію споживаної потужності ΔN_i

$$\Delta N_i = N_{\text{чп}} - N_{\text{д}}, \text{ кВт.} \quad (25)$$

Результати проведених розрахунків представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати споживання електроенергії для різних способів регулювання напору насоса

Година доби, t	Витрата води Q, м ³ /год	Максимальна витрата Q _{max} , м ³ /год	Споживана потужність КМ 65-50-160 N _д , кВт	Споживана потужність Saer CB 50 N _{чп} , кВт	Економія споживання ΔN , кВт	Економія ел.енергії ΔE , кВт·год
1	2	3	4	5	6	7
1	9,24	15	4,42	0,4	4,00	4,00
2	9,06	15	4,41	0,4	4,01	4,01

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
3	9,81	15	4,48	0,5	3,98	3,98
4	9,81	15	4,48	0,8	3,68	3,68
5	10,97	15	4,60	0,9	3,69	3,69
6	12,21	15	4,72	1,1	3,62	3,62
7	9,02	15	4,40	0,4	4,01	4,01
8	8,71	15	4,37	0,4	4,02	4,02
9	13,41	15	4,84	1,3	3,55	3,55
10	13,49	15	4,85	1,3	3,54	3,54
11	14,21	15	4,92	1,5	3,44	3,44
12	13,16	15	4,82	1,2	3,60	3,60
13	12,59	15	4,76	1,1	3,69	3,69
14	12,33	15	4,73	1,0	3,73	3,73
15	10,28	15	4,53	0,6	3,95	3,95
16	10,36	15	4,54	0,6	3,94	3,94
17	11,72	15	4,67	0,9	3,81	3,81
18	12,96	15	4,80	1,2	3,64	3,64
19	13,45	15	4,85	1,3	3,55	3,55
20	13,6	15	4,86	1,3	3,52	3,52
21	14,15	15	4,92	1,5	3,47	3,47
22	13,03	15	4,80	1,2	3,62	3,62
23	5,68	15	4,07	0,2	3,86	3,86
24	5,24	15	4,02	0,2	3,82	3,82

Використання запропонованого насоса дає суттєву економію (рис. 17).

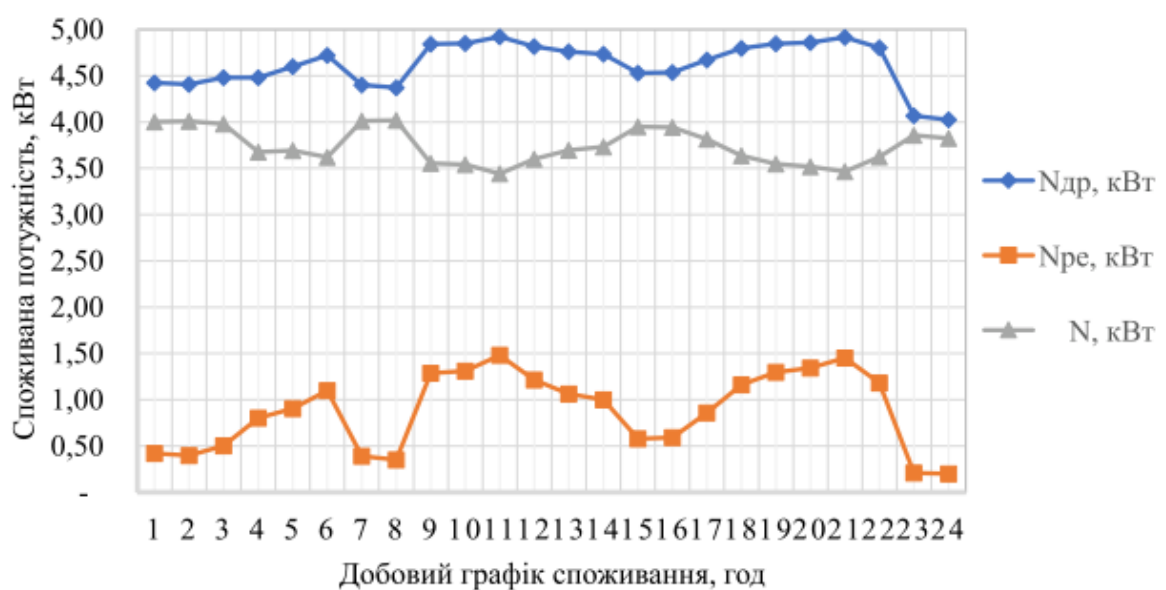


Рисунок 17 –Графік споживання електричної енергії

Потужність діючого насоса КМ 65-50-160 складає 5 кВт, а запропонованого насоса Saer CB 50 (Sirio Entry 230) – 1,5 кВт. Крім цього запропонований нас використовує частотний перетворювач, який споживає електроенергію пропорційно витраті. Це дозволяє зекономити 89,75 кВт·год електроенергії на добу. Тоді річна економія електроенергії складатиме

$$\Delta E_p = \Delta E \cdot 365 = 89,75 \cdot 365 = 32758,75 \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (26)$$

Якщо врахувати що закупівельна ціна на електроенергію складає 3,45 грн/кВт, тоді річний економічний ефект від впроваджень складатиме

$$E = \Delta E_p \cdot 3,45 = 32758,75 \cdot 3,45 = 113017,7 \text{ грн.} \quad (27)$$

Отримавши значення економічного ефекту від розробки, можемо розрахувати термін окупності T , років

$$T = \frac{K}{E}, \text{ років,} \quad (28)$$

де K – капіталовкладення у впровадження насосного агрегату з перетворювачем частоти, допоміжного обладнання, мережі з поліетиленових трубопроводів, грн.

Розмір капіталовкладень K розрахуємо, грн:

$$K = B_{nc-1} + B_{nc-2} + B_m + B_{дон} + B_{он}, \text{ грн,} \quad (29)$$

де B_{nc-1} , B_{nc-2} – відповідно вартість насосних агрегатів першого і другого підйому, грн; B_m – вартість трубопроводів та їх монтажу, грн; $B_{дон}$ – вартість допоміжного обладнання системи водопостачання (датчики рівня води, контролери, арматура тощо), грн; $B_{он}$ – оплата праці робітників з монтажу елементів системи водопостачання хлібокомбінату, грн.

Вартість відцентрового трифазного занурювального насоса з асинхронним двигуном Aquatica 7771663 складає $B_{nc-1} = 20900$ грн [14].

Вартість насосної установки з частотним перетворювачем Saer CB 50 (Sirio Entry 230) $B_{nc-2} = 27197$ грн [15].

Для підвищення енергоефективності доцільно замінити залізні труби на поліетиленові. В таблиці 5 подано розрахунок вартості самих труб та їх прокладання, а також з'єднувальних елементів. Як бачимо, загальна вартість водопроводу складає $B_m=25400$ грн. Вартість допоміжного обладнання, такого як датчики рівня води, контролери тощо приймаємо $B_{дон} = 2500$ грн [20].

Таблиця 5 – Загальна вартість зовнішньої мережі

Ділянка	Довжина, м	Діаметр (внутрішній), мм	Вартість прок- ладання 1 м, грн	Загальна вартість, грн
A1	50	0,069	170	8500
A2	50	0,069	170	8500
B	40	0,058	140	5600
З'єднання, муфти	-	-	-	2800
Всього	140	-	-	25400

Приймаємо, що оплата праці за модернізацію системи водопостачання хлібокомбінату складатиме $B_{он}=40000$ грн.

Отже загальна сума капіталовкладень становитиме

$$K = 20900 + 27197 + 25400 + 2500 + 40000 = 115997 \text{ грн.}$$

Таким чином за формулою (28) розрахуємо термін окупності

$$T = \frac{115997}{113017,7} = 1,01 \text{ років.}$$

Отже, проведені розрахунки свідчать про ефективність впровадження розробок в наявну систему водопостачання ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат. Вартість модернізації складатиме 115997 грн, а термін окупності 1 рік.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу системи водопостачання ТзОВ «Стрийський хлібокомбінат», яка виконана за прямоточною схемою з частковим повторним використанням води, встановлено, що вона є застарілою і неенергоєфективною. А зважаючи на значне використання води на виробничі і господарсько-питні потреби – біля 250 м³/добу, підприємство затрачає великі кошти за електроенергію на роботу насосних установок системи водопостачання.

Проаналізувавши існуючі методи підвищення енергоєфективності насосних агрегатів з метою зменшення витрат електроенергії на їх роботу, встановлено, доцільність застосування насосної установки з використанням частотного перетворювача для керування електроприводом насоса.

Обґрунтовано, що ефективність частотного перетворювача підвищується якщо його використовувати на нових насосних агрегатах. Удосконалено схему водопостачання підприємства, обґрунтовано її елементи і здійснено гідравлічний розрахунок мережі. Підбрано відцентровий трифазний глибинний насос з асинхронним двигуном Aquatica 7771663 для подачі води в резервуари чистої води. Для забору води з резервуарів та подачі у виробничі цехи, автопарк, обґрунтовано насосну установку з частотним перетворювачем Saer CB 50 з максимальним напором $H = 50$ м та витратою води $Q_{\max} = 15$ м³/год, що підтримуватиме тиск на стабільному рівні, а енергоспоживання електродвигуна пропорційне миттєвій споживаній витраті води.

Використання частотного перетворювача для керування електроприводом насоса сприяє економії електроенергії 32758 кВт·год/рік, або 113017 грн в грошовому еквіваленті, що дозволить повернути вкладені кошти 115997 грн за один рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабич М. І. Аналіз сучасного стану систем водопостачання в Україні та напрями його покращення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 55-60.
2. Бабенко Т. В., Почта Ю. В. Системи водопостачання населених пунктів в Україні. *Науковий вісник НГУ*. 2012. № 2. С. 105–108.
3. Василенков В. Є. Системи водопостачання в сільському господарстві і їх технологічне оснащення. *Енергетика і автоматика*. 2015. № 1. С. 55–63.
4. ВНБ 46 / 33-2.5-5-96. Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування. Київ. 1996. 152 с.
5. Герасимов Г. Г. Проектування автоматизованих насосних станцій підкачки : навч. посіб.–довідн. Рівне : НУВГП, 2007. 552 с. : іл.
6. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод [В. А. Дідур, О. Д. Савченко, С. І. Пастушенко, С. І. Мовчан]; за заг. ред. В. А. Дідура. Запоріжжя : Прем'єр, 2005. 464 с.
7. Дідик А. З. Облік виробничих витрат на хлібопекарських підприємствах України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2019, т. 29, № 8. С.93-96.
8. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. зовнішні мережі та споруди. Київ. 2013. 301 с.
9. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ : Логос, 2002. 365 с.
10. Енергозбереження у водопостачанні та каналізації : URL: <https://patriot-nrg.com/content/energozberezhennya-u-vodopostachanni-ta-kanalizaciyi> (дата звернення: 26.07.2023).
11. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
12. Мошноріз М., Горбань А. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс].

Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. Електрон. текст. дані. Вінниця : ВНТУ, 2018. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712>.

13. Насос відцентровий консольний КМ 65-50-160: URL: https://gidromash.ua/ru/prom/konsolnie_centrobejnie_nasos/nasosi_centr_km_km_m/nasos_km_65-50-160-chugun.html (дата звернення: 21.02.2023).

14. Насос відцентровий трифазний Aquatica (Dongyin) 7771663 : URL: <https://mir-bureniya.com.ua/ua/nasosi/aquatica-7771663.html> (дата звернення: 15.09.2023).

15. Насосна установка з частотним перетворювачем Saer CB 50 (Sirio Entry 230) : URL: <https://santehmaster.ua/ustanovka-s-chastotnym-preobrazovatelem/nasosnaja-ustanovka-s-chastotnym-preobrazovatelem-saer-cb-50-sirio-entry-230.html> (дата звернення: 25.08.2023).

16. Орлов В. О., Зошук А. М. Сільськогосподарське водопостачання та водовідведення : підручник. Рівне : УДУВГП, 2002. 203 с.

17. Орлов В. О., Зошук А. М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2005. 252 с., іл.

18. Пістун І. П. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Суми : Унів. кн., 1999. 301 с.

19. Проектування та монтаж водопостачання та каналізації з пластикових труб: ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 44 с.

20. Прокладка поліпропіленових труб-ціни : URL: <https://www.rabotniki.ua/uk/price/prokladka-polipropilenovyh-trub-vodosnabzheniya-1640> (дата звернення: 15.11.2023).

21. Регулювання приводу насоса за допомогою перетворювача частоти : URL: <https://chastotnik.ua/a-regulirovanie-privoda-nasosa-s-pomoshchyu-preobrazovatelya-chastoti> (дата звернення: 11.05.2023).

22. Соколовський О. Ф. Напрямки енергозбереження в насосних установках. Вісник ЖДТУ. 2008. № 3 (46). С. 39-47.
23. Стрийський хлібокомбінат : URL: <http://stryjhib.com.ua/> (дата звернення: 25.05.2023).
24. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води [Електронний ресурс]. Режим доступу : URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovidnuhmerezhuksraini> (26.07.2023).
25. Сторожук В. М., Джигерей В. С., Сторожук В. М. Практикум з охорони праці: навч. посібник. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
26. Сухарев С. М., Чудак С. Ю., Сухарева О. Ю. Техноекологія та охорона навколишнього середовища : навч. посібник. Львів: Новий світ, 2004. 280 с.
27. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання, 2009. 735 с.
28. Хоружий П. Д., Орлов В. О. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації. Київ : Урожай, 1992. 294 с.
29. How Europe can make its water sector energy neutral : URL: https://www.euractiv.com/section/energy-environment/opinion/how-europe-can-make-its-water-sector-energyneutral/?utm_term=Autofeed&utm_campaign=Echobox&utm_medium=Social&utm_source=Twitter#link_time=1518068979 (дата звернення: 26.09.2023).
30. Kalenik M., Wichowski P., Chalecki M., Koziol A., Babych M. Empirical formulas for calculation of submersion coefficient of vertical pipe in air lift pump. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 16, No. 3, 77–88.
31. Kalenik M. *Zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków*. Warszawa : Wydawnictwo SGGW, 2015. 282 p.
32. Chudzicki J., Sosnowski S. *Instalacje wodociągowe: projektowanie, wykonanie, eksploatacja*. Warszawa : Wydawnictwo «Seidel-Przywecki» Sp. z o.o., 2009. 376 p.