

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Використання електропривода для насосних установок
водопостачання тваринницьких ферм»

КРБ.14ЕЕбд_31[3].05.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
спеціальності 141
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *141ЕЕбд_31[3]*
Керекелиця К.О.
Керівник: Харак Р.М.
Рецензент: Сусліч О.Г.

Полтава – 2026 року

ВСТУП

Україна належить до числа енергодефіцитних держав, тому питання раціонального використання енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних напрямів розвитку національної економіки [1, 2]. Особливої актуальності ця проблема набуває в агропромисловому комплексі, де значна частина виробничих процесів пов'язана зі споживанням електричної енергії. Одним із найбільш енергоємних процесів у тваринництві є водопостачання, яке забезпечує нормальне функціонування ферм та створення належних умов для утримання тварин.

Сучасне тваринництво неможливо уявити без надійної та ефективної системи водопостачання. Вода використовується для напування тварин, приготування кормів, миття технологічного обладнання, очищення виробничих приміщень, охолодження молока, забезпечення санітарно-гігієнічних заходів та протипожежного захисту. Недостатня кількість води або перебої в її подачі негативно впливають на продуктивність тварин, якість продукції та економічні показники роботи господарства.

Система водопостачання тваринницької ферми являє собою комплекс взаємопов'язаних технічних засобів, до складу якого входять водозабірні споруди, насосні установки, трубопроводи, резервуари, водонапірні споруди, електрообладнання та засоби автоматизації. Основною метою функціонування такої системи є забезпечення безперебійної подачі води необхідної якості та в потрібній кількості при мінімальних витратах електричної енергії й матеріальних ресурсів.

Особливістю роботи систем водопостачання тваринницьких ферм є нерівномірність водоспоживання протягом доби. Найбільші витрати води спостерігаються під час годівлі тварин, доїння, приготування кормів та санітарної обробки приміщень. У нічний час споживання води значно зменшується. У зв'язку з цим насосні установки працюють у змінних режимах навантаження, що вимагає застосування ефективних засобів регулювання їх продуктивності.

Основним елементом насосної установки є електропривод, який забезпечує перетворення електричної енергії в механічну енергію обертання робочого колеса насоса [3, 4]. Від правильного вибору електропривода та режимів його роботи значною мірою залежить ефективність функціонування всієї системи водопостачання. У більшості господарств для приводу насосів використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які характеризуються простотою конструкції, високою надійністю та відносно низькою вартістю. Разом з тим експлуатація насосних установок з нерегульованим електроприводом часто супроводжується перевитратами електроенергії, підвищеними пусковими струмами, гідравлічними ударами та прискореним зношуванням обладнання.

Одним із найбільш перспективних шляхів підвищення енергоефективності насосних установок є застосування частотно-регульованого електропривода [5, 6]. Використання частотних перетворювачів дозволяє плавно змінювати частоту обертання електродвигуна відповідно до фактичної потреби у воді, підтримувати стабільний тиск у системі, зменшувати споживання електроенергії та продовжувати термін служби насосного обладнання. Крім того, частотне регулювання забезпечує плавний пуск електродвигуна, що сприяє зменшенню навантаження на електричну мережу та механічні елементи насосного агрегату.

Підвищення ефективності використання електроприводів насосних установок є важливим завданням як з технічної, так і з економічної точки зору. У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів упровадження енергоощадних технологій дозволяє значно скоротити експлуатаційні витрати та підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарських підприємств.

Мета роботи – підвищення енергоефективності, надійності та стабільності роботи насосної установки водопостачання тваринницької ферми шляхом обґрунтування вибору електропривода, застосування частотного регулювання та автоматизації керування насосним обладнанням.

Об'єкт дослідження – система водопостачання тваринницької ферми, зокрема насосна установка з електроприводом.

Предмет дослідження – режими роботи електропривода насосної установки, процеси енергоспоживання насосного обладнання та засоби автоматизованого керування подачею води.

Методи дослідження – включають аналіз літературних джерел і нормативно-технічної документації з питань водопостачання тваринницьких ферм; визначення потреби ферми у воді; розрахунок подачі, напору та потужності насосної установки; вибір насоса та електродвигуна; аналіз режимів роботи нерегульованого і частотно-регульованого електропривода; оцінку енергетичної ефективності запропонованих технічних рішень; розробку заходів з охорони праці та екологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати особливості систем водопостачання тваринницьких ферм та роль електропривода у їх роботі;
- дослідити режими водоспоживання на тваринницькій фермі;
- виконати розрахунок необхідної подачі та напору насосної установки;
- обґрунтувати вибір насосного агрегату та електродвигуна;
- визначити потужність електропривода насосної установки;
- провести аналіз роботи насосної установки з нерегульованим електроприводом;
- розглянути можливість використання частотно-регульованого електропривода;
- оцінити енергетичну та економічну ефективність запропонованого технічного рішення;
- розробити заходи з охорони праці та екологічної безпеки під час експлуатації насосної установки.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів роботи під час проєктування та модернізації систем водопостачання тваринницьких ферм. Запропоновані технічні рішення дозволяють зменшити споживання електричної енергії, підвищити надійність роботи насосного обладнання, забезпечити стабільний тиск у водопровідній мережі та покращити умови експлуатації електропривода. Використання частотно-регульованих

електроприводів сприятиме підвищенню ефективності роботи тваринницьких підприємств та зниженню собівартості виробництва продукції тваринництва.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ ТА РОЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

1.1 Значення систем водопостачання у технологічних процесах тваринницьких ферм

Водопостачання є одним із найважливіших технологічних процесів у тваринництві, оскільки вода безпосередньо впливає на життєдіяльність тварин, їх продуктивність, санітарний стан приміщень та ефективність роботи всього господарства [7, 8]. На тваринницьких фермах вода використовується не лише для напування тварин, а й для виконання значної кількості допоміжних технологічних операцій.

До основних напрямів використання води на тваринницьких фермах належать напування тварин, приготування кормових сумішей, миття доїльного та іншого технологічного обладнання, очищення підлоги і виробничих приміщень, охолодження молока, забезпечення побутових потреб працівників та протипожежні заходи. Тому перебої у водопостачанні можуть призвести до порушення технологічного процесу, погіршення умов утримання тварин, зниження продуктивності та збільшення витрат на обслуговування ферми.

Система водопостачання тваринницької ферми повинна забезпечувати подачу води у необхідній кількості, з відповідним тиском і належною якістю. При цьому важливим завданням є не лише забезпечення надійності водопостачання, а й зменшення витрат електричної енергії, яка споживається насосними установками. У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів енергоефективність насосного обладнання є одним із ключових показників ефективності роботи ферми.

Особливістю водоспоживання на тваринницьких фермах є його нерівномірність протягом доби. У ранкові та вечірні години витрати води зазвичай зростають, оскільки саме в цей час здійснюються годівля, напування, доїння, миття обладнання та санітарна обробка приміщень. У нічний період споживання води значно зменшується. Така нерівномірність створює змінне

навантаження на насосні установки та потребує ефективного регулювання їх продуктивності.

Якщо насосна установка працює з постійною частотою обертання електродвигуна, її продуктивність не завжди відповідає фактичній потребі у воді. У періоди зниженого водоспоживання це призводить до створення надлишкового тиску, збільшення втрат у трубопроводах, підвищення навантаження на запірну арматуру та нераціонального використання електроенергії. Тому для систем водопостачання тваринницьких ферм важливим є впровадження сучасних електроприводів, які дозволяють змінювати режим роботи насоса відповідно до поточного навантаження.

1.2 Основні елементи системи водопостачання тваринницької ферми

Система водопостачання тваринницької ферми складається з комплексу споруд, машин, трубопроводів та електротехнічного обладнання, які забезпечують забір, піднімання, транспортування, накопичення і розподіл води між споживачами. Її структура залежить від типу ферми, кількості тварин, джерела водопостачання, рельєфу місцевості та прийнятої технологічної схеми.

До основних елементів системи водопостачання належать джерело води, водозабірна споруда, насосна установка, трубопровідна мережа, резервуари або водонапірна башта, запірно-регулювальна арматура, засоби контролю тиску і рівня води, а також шафа керування електроприводом [7, 9]. У разі використання свердловини до складу системи входить занурювальний насос, який забезпечує піднімання води з глибини та її подачу до резервуара або безпосередньо у водопровідну мережу.

Насосна установка є основним енергоспоживаючим елементом системи водопостачання. Вона складається з насоса, електродвигуна, з'єднувальної муфти або іншого передавального пристрою, основи або рами, трубопровідної обв'язки, зворотного клапана, засувки, манометрів і засобів захисту. Надійність роботи насосної установки залежить від правильного вибору її параметрів, якості монтажу, умов експлуатації та відповідності фактичним режимам водоспоживання.

Для водопостачання тваринницьких ферм найчастіше застосовують відцентрові насоси, оскільки вони мають просту конструкцію, достатню надійність, рівномірну подачу води та зручні в обслуговуванні. У разі забору води зі свердловин використовують занурювальні свердловинні насоси, які працюють безпосередньо у водному середовищі. Для подачі води з резервуарів або відкритих джерел можуть застосовуватися горизонтальні або вертикальні відцентрові насоси.

Важливим елементом насосної установки є електродвигун. Найбільшого поширення набули трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором [3, 4, 10]. Вони мають просту конструкцію, високу експлуатаційну надійність, порівняно невисоку вартість і можуть працювати в автоматизованих системах керування. Разом з тим такі електродвигуни при прямому пуску споживають значний пусковий струм, що може негативно впливати на електричну мережу та механічні елементи насосної установки.

Для забезпечення ефективної роботи системи водопостачання необхідно правильно узгодити параметри насоса, електродвигуна та трубопроводної мережі. Якщо насос має завищену продуктивність або напір, це призводить до перевитрат електроенергії та підвищеного зношування обладнання. Якщо ж параметри насоса недостатні, система не зможе забезпечити необхідну кількість води для всіх споживачів. Тому вибір насосного агрегату повинен виконуватися на основі розрахунку потреби у воді, необхідного напору та режимів роботи ферми.

1.3 Роль електропривода в роботі насосних установок

Електропривод насосної установки призначений для приведення в дію робочого органа насоса шляхом перетворення електричної енергії в механічну енергію обертання. Саме електропривод визначає характер пуску, зупинки, регулювання та захисту насосного агрегату. Від його технічного стану і способу керування залежить надійність усієї системи водопостачання.

У традиційних системах водопостачання насосні агрегати часто працюють із нерегульованим електроприводом. Це означає, що електродвигун після пуску

обертається з майже сталою частотою, а продуктивність насоса залишається практично постійною. Такий спосіб керування є простим, але не завжди економічно доцільним, оскільки фактичне водоспоживання на фермі змінюється протягом доби.

При використанні нерегульованого електропривода регулювання подачі води часто здійснюється за допомогою засувки або періодичного вмикання і вимикання насоса. Дроселювання потоку за допомогою засувки супроводжується додатковими гідравлічними втратами, а часті пуски та зупинки електродвигуна призводять до збільшення механічного й електричного навантаження. У результаті зростає споживання електроенергії, знижується строк служби обладнання та підвищується імовірність аварійних ситуацій.

Більш ефективним способом керування насосною установкою є використання регульованого електропривода. Найбільш поширеним технічним рішенням є застосування частотного перетворювача, який змінює частоту та напругу живлення електродвигуна. Завдяки цьому можна плавно регулювати частоту обертання вала двигуна, а відповідно і продуктивність насоса.

Перевага частотного регулювання полягає в тому, що насос подає саме ту кількість води, яка необхідна споживачам у певний момент часу. Якщо водоспоживання зменшується, частота обертання електродвигуна знижується, що призводить до зменшення подачі, напору та споживаної потужності. Якщо потреба у воді зростає, частота обертання збільшується, і насос забезпечує необхідну подачу.

Робота насосів при зміні частоти обертання описується законами подібності. Відповідно до них подача насоса змінюється пропорційно частоті обертання, напір змінюється пропорційно квадрату частоти обертання, а споживана потужність — пропорційно кубу частоти обертання. Це означає, що навіть незначне зменшення частоти обертання електродвигуна може забезпечити суттєве зменшення споживання електроенергії.

Крім економії електроенергії, частотно-регульований електропривод забезпечує плавний пуск насоса, зменшення пускових струмів, усунення гідравлічних ударів, зниження шуму і вібрації, підвищення надійності

трубопроводів та запірної арматури. Це особливо важливо для тваринницьких ферм, де стабільність водопостачання має прямий вплив на технологічний процес.

1.4 Напрями підвищення енергоефективності насосних установок

Підвищення енергоефективності насосних установок тваринницьких ферм може здійснюватися кількома шляхами. Найважливішими з них є правильний вибір насоса, використання енергоефективного електродвигуна, застосування частотного регулювання, автоматизація керування, своєчасне технічне обслуговування та зменшення втрат у трубопровідній мережі.

Першим напрямом є правильний вибір насосного обладнання. Насос повинен відповідати фактичній потребі ферми у воді та забезпечувати необхідний напір без значного запасу потужності. Завищення параметрів насоса призводить до роботи в неекономічних режимах, збільшення тиску в мережі та перевитрати електроенергії.

Другим напрямом є використання електродвигунів з високим коефіцієнтом корисної дії. Сучасні енергоефективні електродвигуни дозволяють зменшити втрати електроенергії в обмотках і магнітній системі. Хоча їх вартість може бути вищою, економія електроенергії протягом строку експлуатації компенсує початкові витрати.

Третім і найбільш ефективним напрямом є застосування частотного регулювання [5, 6, 11]. Частотний перетворювач дає змогу адаптувати роботу насоса до реального водоспоживання. Це дозволяє уникнути дроселювання, зменшити кількість пусків і зупинок, підтримувати стабільний тиск та знизити споживання електроенергії.

Четвертим напрямом є автоматизація системи керування насосною установкою. Автоматизована система може включати датчики тиску, рівня води, витрати, контролер, частотний перетворювач, захисну апаратуру та сигнальні пристрої. Така система забезпечує автоматичний пуск і зупинку насосів, підтримання заданого тиску, захист від сухого ходу, перевантаження, короткого замикання та аварійних режимів.

П'ятим напрямом є зниження втрат у трубопровідній мережі. Для цього необхідно підтримувати трубопроводи у справному стані, своєчасно усувати витоки, очищати фільтри, перевіряти справність запірної арматури та контролювати тиск у системі. Навіть незначні витоки води можуть призводити до додаткової роботи насосів і збільшення витрат електроенергії.

Комплексне впровадження зазначених заходів дозволяє підвищити ефективність системи водопостачання тваринницької ферми, зменшити експлуатаційні витрати, продовжити строк служби обладнання та забезпечити стабільну подачу води до всіх споживачів.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто значення систем водопостачання у технологічних процесах тваринницьких ферм. Встановлено, що вода використовується для напування тварин, приготування кормів, миття обладнання, санітарного очищення приміщень, охолодження молока, господарсько-побутових та протипожежних потреб. Надійне водопостачання є необхідною умовою стабільної роботи тваринницького господарства.

Проаналізовано основні елементи системи водопостачання, до яких належать джерело води, насосна установка, електродвигун, трубопроводи, резервуари, запірна арматура та засоби автоматичного керування. Встановлено, що насосна установка є одним із головних споживачів електричної енергії у системі водозабезпечення ферми.

Визначено роль електропривода у роботі насосної установки. Показано, що використання нерегульованого електропривода призводить до перевитрат електроенергії, підвищених пускових струмів, гідравлічних ударів і зношування обладнання. Обґрунтовано доцільність застосування частотно-регульованого електропривода, який забезпечує плавне регулювання подачі води, стабілізацію тиску та зменшення енергоспоживання.

Розглянуто основні напрями підвищення енергоефективності насосних установок тваринницьких ферм. До них належать правильний вибір насосного обладнання, застосування енергоефективних електродвигунів, використання частотного регулювання, автоматизація керування та зменшення втрат у трубопроводній мережі. Реалізація цих заходів дозволяє підвищити надійність системи водопостачання та знизити експлуатаційні витрати.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ

2.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є система водопостачання тваринницької ферми, призначена для забезпечення водою основних технологічних і господарсько-побутових процесів. Вода на фермі використовується для напування тварин, приготування кормів, миття технологічного обладнання, очищення приміщень, забезпечення санітарно-гігієнічних потреб персоналу та виконання протипожежних заходів.

Для дослідження приймається тваринницька ферма на 200 голів великої рогатої худоби [7, 8]. Джерелом водопостачання є артезіанська свердловина. Вода зі свердловини подається до накопичувального резервуара, після чого насосною установкою транспортується до внутрішньої водопровідної мережі ферми.

Загальну схему системи водопостачання тваринницької ферми наведено на рисунку 2.1.

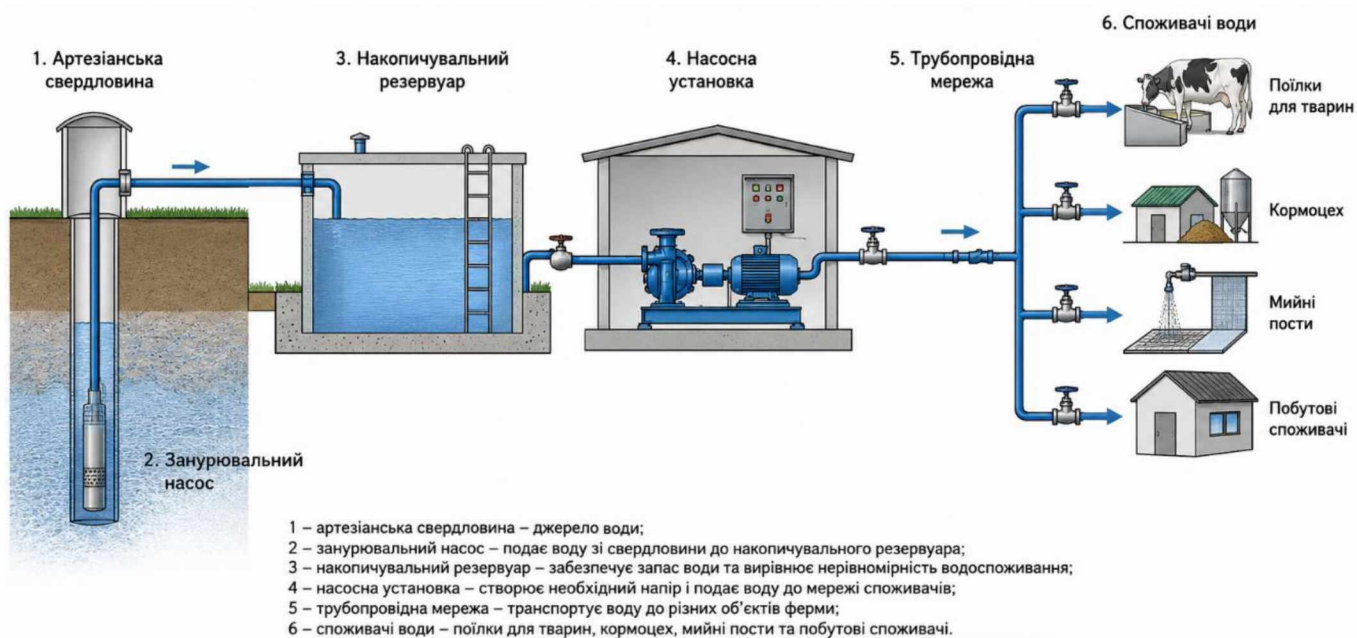


Рисунок 2.1 – Загальна схема системи водопостачання тваринницької ферми

Наведена схема відображає послідовність забору, накопичення, транспортування та розподілу води між основними споживачами ферми. Основним елементом цієї системи є насосна установка з електроприводом, яка створює необхідний напір і забезпечує подачу води до споживачів.

Система водопостачання повинна працювати надійно протягом доби та забезпечувати необхідну кількість води в години максимального водоспоживання. Особливо важливою є стабільність роботи насосної установки, оскільки припинення подачі води може порушити технологічний процес утримання тварин.

2.2 Технологічна схема роботи насосної установки

Насосна установка водопостачання тваринницької ферми включає насос, електродвигун, трубопровідну обв'язку, запірну арматуру, зворотний клапан, датчики тиску, датчики рівня води та шафу керування [9, 10]. Електродвигун приводить у дію насос, який забезпечує переміщення води з резервуара до водопровідної мережі ферми.

У традиційній схемі керування насосний агрегат вмикається і вимикається залежно від тиску в системі або рівня води в резервуарі. Такий спосіб керування є простим, але не забезпечує плавного регулювання продуктивності насоса. У разі зниження водоспоживання насос продовжує працювати з номінальною частотою обертання, що призводить до надлишкового тиску та перевитрати електроенергії.

Більш ефективною є схема з використанням частотно-регульованого електропривода. У такій системі датчик тиску передає сигнал до частотного перетворювача, який змінює частоту живлення електродвигуна. Завдяки цьому насос працює з такою продуктивністю, яка відповідає фактичній потребі у воді.

Структурну схему насосної установки з електроприводом наведено на рисунку 2.2.

У цій схемі частотний перетворювач виконує функцію регулювання частоти обертання електродвигуна. При зменшенні водоспоживання частота

обертання знижується, а при збільшенні потреби у воді — підвищується. Це дозволяє підтримувати стабільний тиск у системі та зменшувати витрати електроенергії.

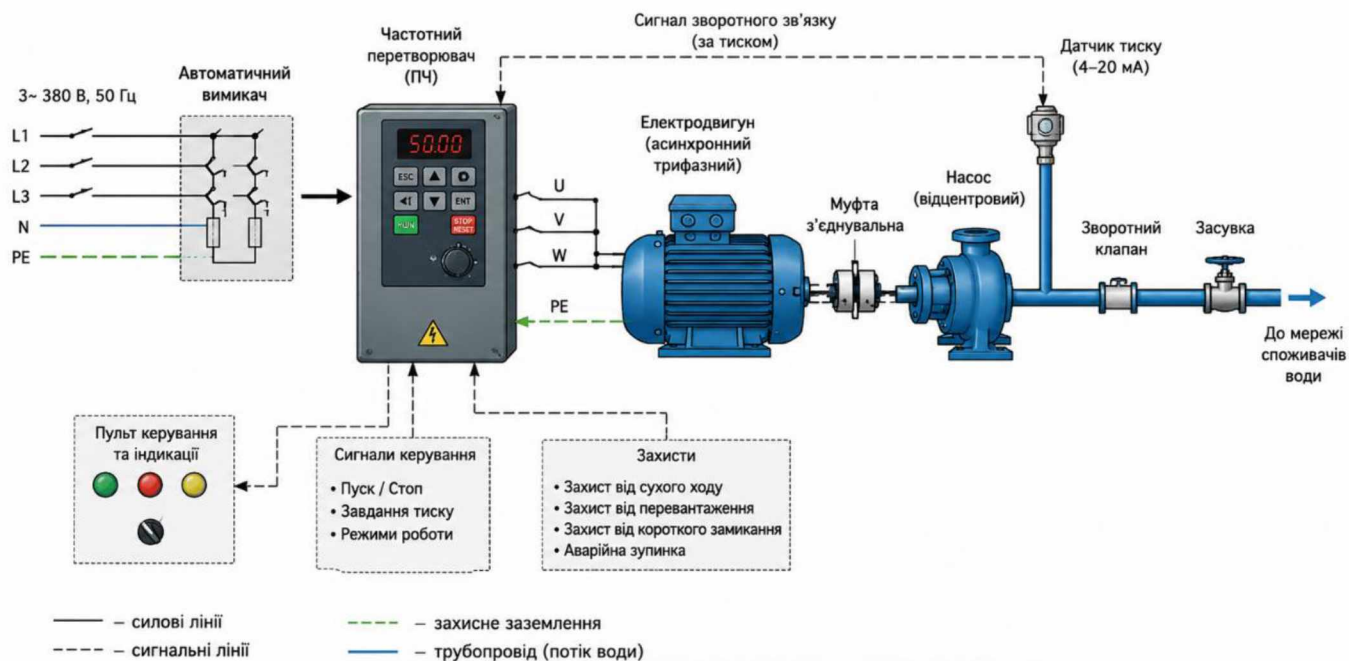


Рисунок 2.2 – Структурна схема насосної установки з електроприводом

2.3 Аналіз водоспоживання тваринницької ферми

Потреба тваринницької ферми у воді залежить від кількості тварин, їх виду, віку, продуктивності, способу утримання та технологічних потреб господарства. Для розрахунку приймаємо, що на фермі утримується 200 голів великої рогатої худоби.

Середню добову норму споживання води однією твариною приймаємо [7, 8]:

$$q = 80 \text{ л/добу}$$

Кількість тварин на фермі становить:

$$n = 200 \text{ голів}$$

Добову потребу у воді для напування тварин визначаємо за формулою:

$$Q_1 = n \cdot q,$$

де Q_1 – добова потреба у воді для напування тварин, л/добу; n – кількість тварин на фермі, голів; q – добова норма споживання води однією твариною, л/добу.

Підставляємо вихідні дані:

$$Q_1 = 200 \cdot 80 = 16000 \text{ л/добу.}$$

Переводимо літри у кубічні метри:

$$Q_1 = 16000/1000 = 16 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Отже, добова потреба у воді для напування тварин становить:
 $Q_1 = 16 \text{ м}^3/\text{добу}$

Додаткові витрати води на приготування кормів, миття технологічного обладнання, санітарне очищення приміщень і господарсько-побутові потреби приймаємо на рівні 40 % від витрат води на напування тварин.

Додаткову добову потребу у воді визначаємо за формулою:

$$Q_2 = 0,40 \cdot Q_1,$$

де Q_2 – додаткова добова потреба у воді, $\text{м}^3/\text{добу}$;
 Q_1 – добова потреба у воді для напування тварин, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Підставляємо значення:

$$Q_2 = 0,40 \cdot 16 = 6,4 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Загальну добову потребу ферми у воді визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = Q_1 + Q_2,$$

де $Q_{\text{доб}}$ – загальна добова потреба ферми у воді, м³/добу; Q_1 – добова потреба у воді для напування тварин, м³/добу; Q_2 – додаткова добова потреба у воді, м³/добу.

Підставляємо отримані значення:

$$Q_{\text{доб}} = 16 + 6,4 = 22,4 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Оскільки водоспоживання на фермі протягом доби є нерівномірним, для розрахунку насосної установки враховуємо коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання: $k_{\text{доб}} = 1,3$ [7, 8].

Розрахункову добову витрату води визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\text{доб}} \cdot k_{\text{доб}},$$

де $Q_{\text{розр}}$ – розрахункова добова витрата води, м³/добу; $Q_{\text{доб}}$ – загальна добова потреба ферми у воді, м³/добу; $k_{\text{доб}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{розр}} = 22,4 \cdot 1,3 = 29,12 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Для подальших розрахунків приймаємо округлене значення:

$$Q_{\text{розр}} \approx 30 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Це значення використовується для подальшого вибору насоса, визначення його продуктивності, напору та потужності електропривода.

2.4 Аналіз режимів роботи насосної установки

Режим роботи насосної установки визначається характером зміни водоспоживання протягом доби. Для тваринницьких ферм характерним є нерівномірне споживання води. Найбільша потреба у воді виникає в ранковий і вечірній періоди, коли здійснюється напування тварин, годівля, доїння, миття обладнання та санітарне очищення приміщень.

У нічний час водоспоживання значно зменшується, оскільки більшість технологічних операцій не виконується. У цей період насосна установка працює з неповним навантаженням, що за відсутності регулювання призводить до нерационального використання електроенергії.

Орієнтовну характеристику добового водоспоживання наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика добового водоспоживання тваринницької ферми

Період доби	Режим водоспоживання	Витрата води, м ³ /год
00:00– 05:00	Мінімальний	1–2
06:00– 09:00	Максимальний	5–7
10:00– 15:00	Середній	3–4
16:00– 20:00	Максимальний	5–7
21:00– 23:00	Знижений	2–3

Добовий графік водоспоживання тваринницької ферми наведено на рисунку 2.3.

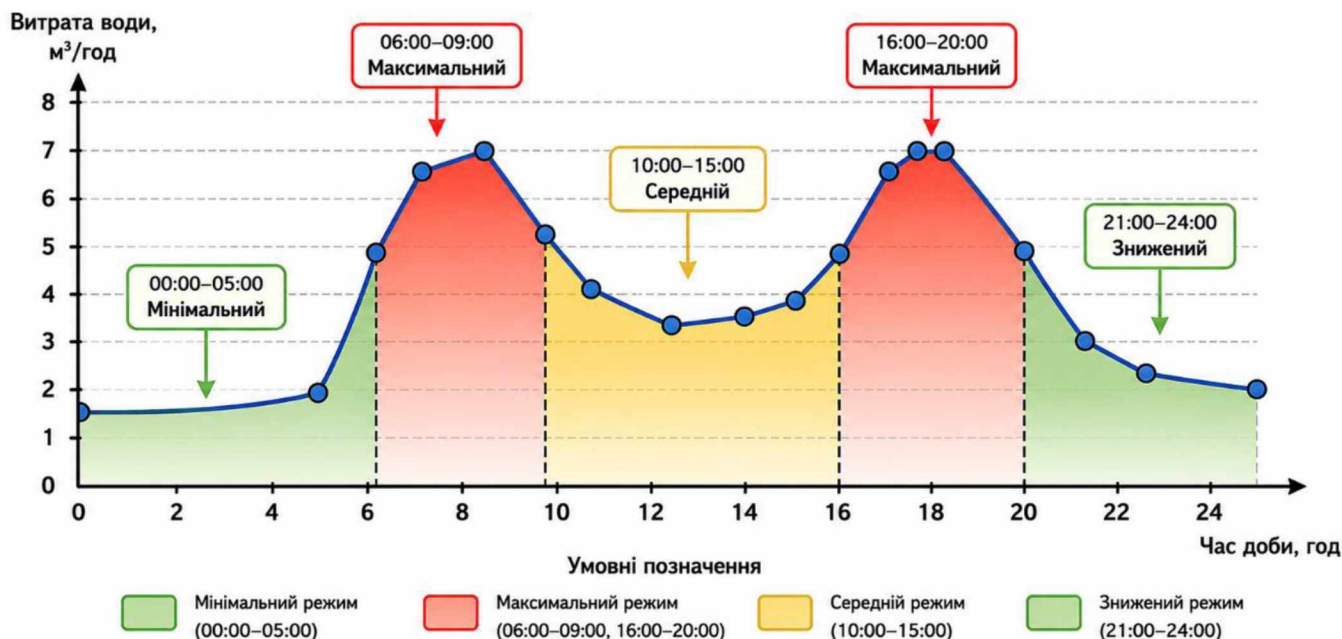


Рисунок 2.3 – Добовий графік водоспоживання тваринницької ферми

Графік водоспоживання має два виражені максимуми: у ранковий та вечірній періоди. У нічний час спостерігається мінімальне навантаження на насосну установку. Такий режим роботи підтверджує доцільність використання регульованого електропривода, який дозволяє змінювати продуктивність насоса відповідно до фактичної потреби у воді.

За умови використання нерегульованого електропривода насос працює з постійною частотою обертання. У періоди мінімального водоспоживання це призводить до створення надлишкового тиску в трубопроводах. Надлишковий тиск спричиняє додаткові втрати енергії, підвищує навантаження на запірну арматуру та прискорює зношування насосного обладнання.

Для усунення цих недоліків доцільно застосовувати частотно-регульований електропривод. Він забезпечує плавне регулювання частоти обертання електродвигуна, підтримання заданого тиску в мережі та зниження споживання електроенергії.

2.5 Аналіз існуючої системи керування насосною установкою

На більшості тваринницьких ферм насосні установки працюють за схемою прямого пуску асинхронного електродвигуна. У такій схемі електродвигун

підключається безпосередньо до електричної мережі напругою 380 В і після пуску працює з постійною частотою обертання [3, 4, 10].

Перевагою прямого пуску є простота конструкції та невисока вартість обладнання. Проте цей спосіб має суттєві недоліки, які знижують ефективність роботи насосної установки. До них належать високі пускові струми, механічні удари, гідравлічні удари в трубопроводах, відсутність плавного регулювання продуктивності, підвищене споживання електроенергії та прискорене зношування обладнання.

Схему прямого пуску насосної установки наведено на рисунку 2.4.

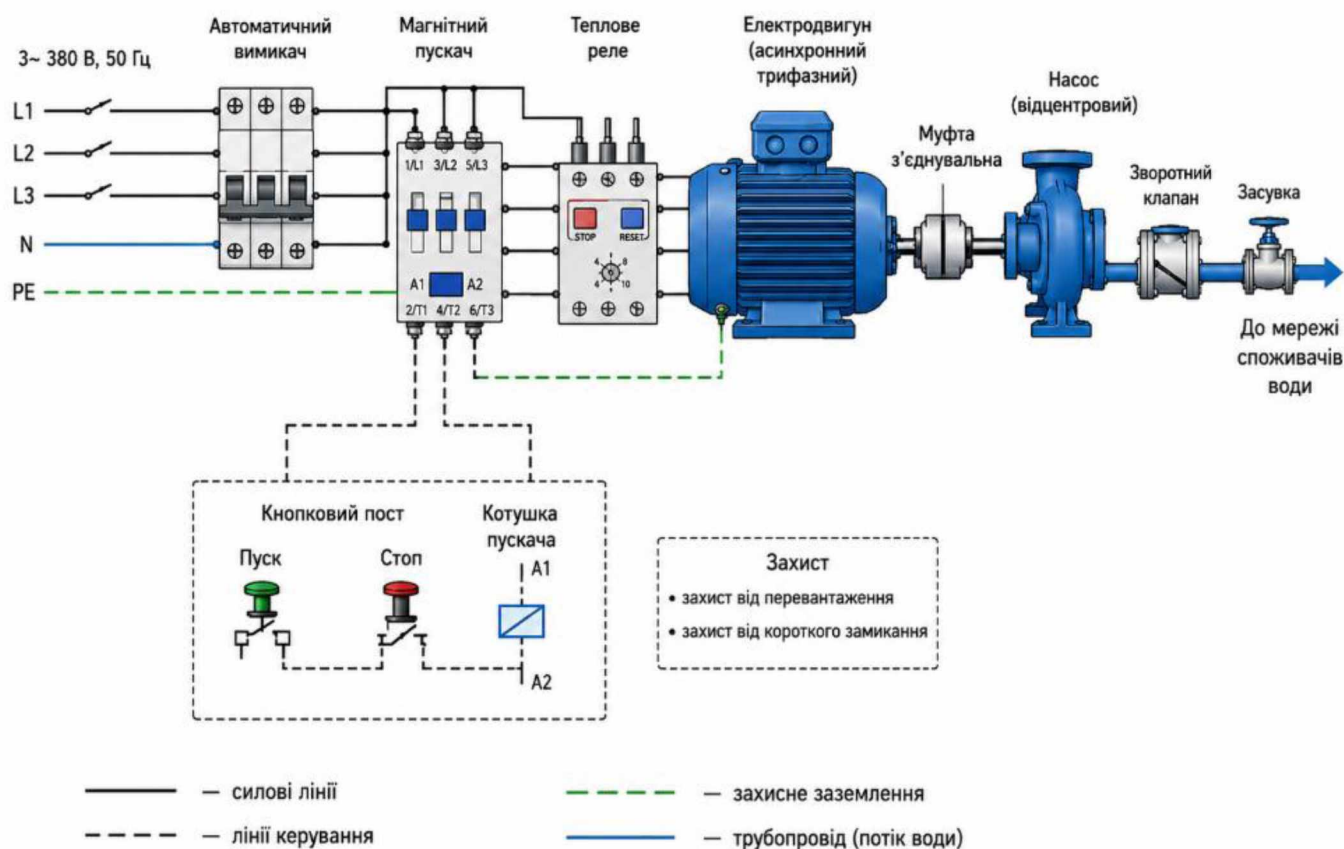


Рисунок 2.4 – Схема прямого пуску електродвигуна насосної установки

При прямому пуску електродвигун споживає підвищений струм, який у декілька разів перевищує номінальне значення. Це створює додаткове навантаження на електричну мережу та може призводити до зниження напруги.

Крім того, різкий пуск насоса викликає механічні навантаження на вал, муфту, підшипники та трубопровідну систему.

Удосконалена система керування передбачає використання частотного перетворювача, датчика тиску та автоматизованої шафи керування. У такому випадку насосна установка працює не за принципом простого вмикання і вимикання, а за принципом плавного регулювання продуктивності.

Схему керування насосною установкою з частотним перетворювачем наведено на рисунку 2.5.

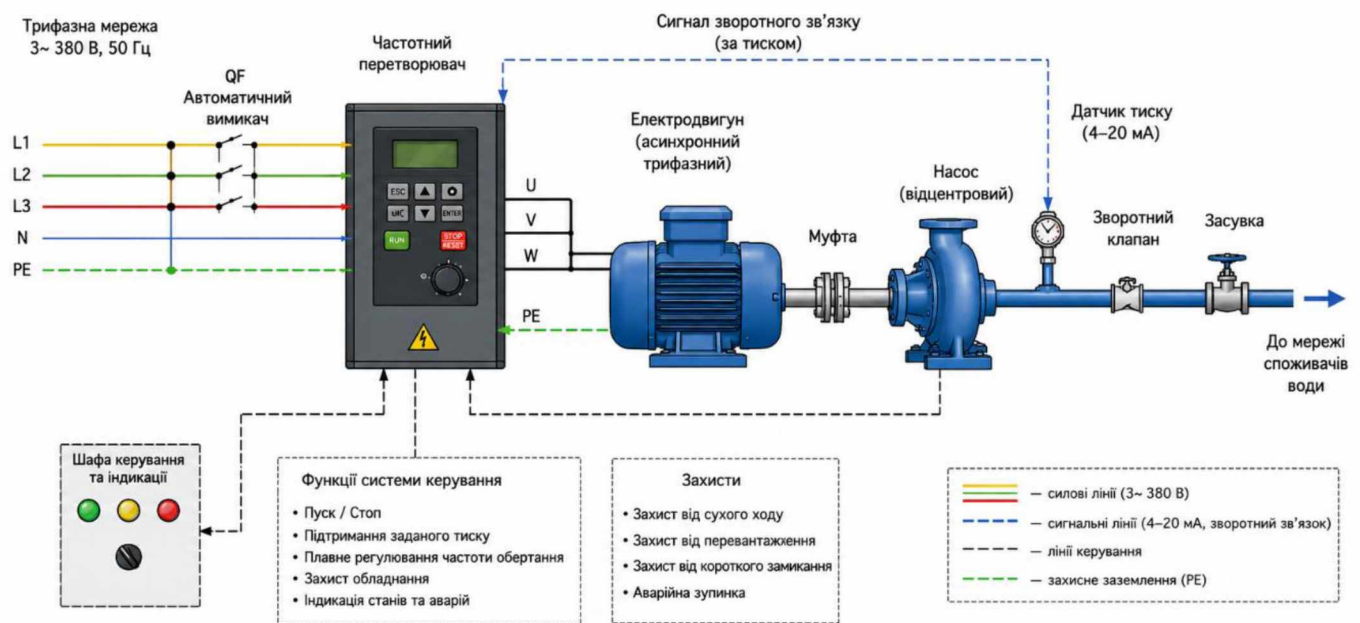


Рисунок 2.5 – Схема керування насосною установкою з частотним перетворювачем

У такій системі датчик тиску постійно контролює тиск у водопровідній мережі. Якщо тиск знижується, частотний перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна. Якщо тиск перевищує задане значення, частота обертання зменшується. Завдяки цьому насосна установка працює в оптимальному режимі.

Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено характеристику насосної установки водопостачання тваринницької ферми. Розглянуто загальну схему системи водопостачання, технологічну схему роботи насосної установки та особливості її електропривода.

Встановлено, що для ферми на 200 голів великої рогатої худоби розрахункова добова потреба у воді становить приблизно 30 м³. Така потреба формується за рахунок витрат води на напування тварин, приготування кормів, миття обладнання, санітарне очищення приміщень та господарсько-побутові потреби.

Проаналізовано добовий режим водоспоживання тваринницької ферми. Визначено, що водоспоживання має нерівномірний характер із найбільшими навантаженнями у ранковий та вечірній періоди. У нічний час потреба у воді зменшується, що створює умови для неефективної роботи нерегульованого електропривода.

Розглянуто недоліки існуючої системи керування насосною установкою з прямим пуском електродвигуна. Встановлено, що така система не забезпечує плавного регулювання продуктивності насоса, спричиняє високі пускові струми, гідравлічні удари та перевитрату електроенергії.

Обґрунтовано доцільність використання частотно-регульованого електропривода, який дозволяє підтримувати стабільний тиск у мережі, адаптувати подачу води до фактичного споживання, зменшити навантаження на обладнання та підвищити енергоефективність системи водопостачання тваринницької ферми.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Визначення подачі та напору насосної установки

Насосна установка системи водопостачання тваринницької ферми повинна забезпечувати подачу води до всіх технологічних і господарсько-побутових споживачів. До них належать поїлки для тварин, кормоцех, мийні пости, санітарно-побутові приміщення та протипожежні засоби.

У попередньому розділі було визначено, що розрахункова добова потреба ферми у воді становить: $Q_{\text{розр}}=30 \text{ м}^3/\text{добу}$

Для вибору насоса необхідно визначити його годинну подачу. Приймаємо, що насосна установка працює протягом: $t = 6 \text{ год/добу}$

Годинну подачу насоса визначаємо за формулою [9, 12]:

$$Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{розр}}}{t}$$

де $Q_{\text{н}}$ – необхідна подача насоса, $\text{м}^3/\text{год}$; $Q_{\text{розр}}$ – розрахункова добова витрата води, $\text{м}^3/\text{добу}$; t – тривалість роботи насоса протягом доби, год/добу .

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{н}}=30/6=5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, необхідна подача насоса становить: $Q_{\text{н}}=5 \text{ м}^3/\text{год}$

З урахуванням можливого збільшення водоспоживання та втрат у системі приймаємо насос із подачею:

$$Q_{\text{н}}=5\text{--}6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для забезпечення стабільної подачі води насос повинен створювати необхідний напір. Загальний напір насосної установки визначаємо за формулою [9, 12]:

$$H = H_{\Gamma} + H_{\text{вт}} + H_{\Pi},$$

де H – загальний напір насоса, м; H_{Γ} – геометрична висота піднімання води, м; $H_{\text{вт}}$ – втрати напору в трубопроводах і арматурі, м; H_{Π} – необхідний напір у споживачів, м.

Для розрахунку приймаємо: $H_{\Gamma}=12$ м, $H_{\text{вт}}=8$ м, $H_{\Pi}=15$ м.

Підставляємо значення:

$$H=12+8+15=35 \text{ м.}$$

Отже, необхідний напір насоса становить: $H=35$ м.

Для забезпечення надійної роботи системи приймаємо насос із напором: $H=35\text{--}40$ м.

3.2 Вибір насосного агрегату та електродвигуна

Для системи водопостачання тваринницької ферми доцільно застосувати відцентровий насос [9, 12]. Такий насос має просту конструкцію, забезпечує рівномірну подачу води, є надійним в експлуатації та добре поєднується з асинхронним електродвигуном.

За результатами розрахунків насос повинен мати такі основні параметри: $Q_{\text{н}}=5\text{--}6$ м³/год, $H=35\text{--}40$ м.

Для заданих умов можна прийняти відцентровий насос типу К 8/40 або інший насос з аналогічними технічними характеристиками.

Основні технічні характеристики вибраного насоса наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики вибраного насоса

Показник	Позначення	Значення
Тип насоса	—	відцентровий
Подача насоса	$Q_{\text{н}}$	5–6 м ³ /год

Напір насоса	H	35–40 м
Частота обертання	N	2900 об/хв
Коефіцієнт корисної дії насоса	η_n	0,60
Тип приводу	—	асинхронний електродвигун

Основні вимоги до електродвигуна насосної установки:

- відповідність потужності розрахунковому навантаженню;
- можливість тривалої роботи;
- достатній пусковий момент;
- надійна робота в умовах підвищеної вологості;
- можливість підключення до частотного перетворювача;
- наявність захисту від перевантаження та короткого замикання.

3.3 Розрахунок потужності електропривода насосної установки

Потужність електродвигуна насосної установки визначається за подачею насоса, створюваним напором, густиною води та коефіцієнтом корисної дії насоса.

Спочатку подачу насоса переводимо з м³/год у м³/с:

$$Q = \frac{Q_n}{3600}$$

де Q – подача насоса, м³/с; Q_n – подача насоса, м³/год.

Підставляємо значення:

$$Q = 5/3600 = 0,00139 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Гідравлічну потужність насоса визначаємо за формулою:

$$P_r = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H,$$

де P_{Γ} – гідравлічна потужність насоса, Вт; ρ – густина води, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір насоса, м.

Приймаємо:

$$\rho=1000 \text{ кг/м}^3,$$

$$g=9,81 \text{ м/с}^2,$$

$$Q=0,00139 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$H=35 \text{ м}.$$

Підставляємо значення:

$$P_{\Gamma}=1000 \cdot 9,81 \cdot 0,00139 \cdot 35=477,3 \text{ Вт}.$$

Переводимо у кіловати: $P_{\Gamma}=0,477 \text{ кВт}$.

Потужність на валу насоса визначаємо за формулою:

$$P_{\text{В}} = \frac{P_{\Gamma}}{\eta_{\text{Н}}}$$

де $P_{\text{В}}$ – потужність на валу насоса, кВт; P_{Γ} – гідравлічна потужність насоса, кВт; $\eta_{\text{Н}}$ – коефіцієнт корисної дії насоса.

Приймаємо: $\eta_{\text{Н}}=0,60$.

Підставляємо значення:

$$P_{\text{В}}=0,477/0,60=0,795 \text{ кВт}.$$

З урахуванням можливих перевантажень приймаємо коефіцієнт запасу: $k_3=1,3$.

Розрахункову потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$P_{\text{ДВ}}=P_{\text{В}} \cdot k_3,$$

де $P_{дв}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт; P_v – потужність на валу насоса, кВт; k_3 – коефіцієнт запасу потужності.

Підставляємо значення:

$$P_{дв}=0,795 \cdot 1,3=1,03 \text{ кВт.}$$

За стандартним рядом потужностей приймаємо найближче більше значення: $P_n=1,5$ кВт.

Отже, для приводу насосної установки приймаємо трифазний асинхронний електродвигун потужністю [3, 4, 10]: $P_n=1,5$ кВт.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики вибраного електродвигуна

Показник	Позначення	Значення
Тип електродвигуна	—	асинхронний, трифазний
Номінальна потужність	P_n	1,5 кВт
Номінальна напруга	U_n	380 В
Частота мережі	f	50 Гц
Частота обертання	n	2900 об/хв
Режим роботи	—	S1
Ступінь захисту	—	IP54 або IP55

3.4 Перевірка вибраного електродвигуна та обґрунтування частотного регулювання

Для перевірки правильності вибору електродвигуна необхідно порівняти його номінальну потужність із розрахунковою потужністю.

Умова правильного вибору електродвигуна має вигляд:

$$P_n \geq P_{дв},$$

де P_n – номінальна потужність вибраного електродвигуна, кВт; $P_{дв}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт.

Підставляємо значення:

$$1,5 \geq 1,03$$

Умова виконується, тому вибраний електродвигун потужністю 1,5 кВт відповідає умовам роботи насосної установки.

Запас потужності електродвигуна визначаємо за формулою:

$$\Delta P = P_n - P_{дв},$$

де ΔP – запас потужності електродвигуна, кВт.

Підставляємо значення:

$$\Delta P = 1,5 - 1,03 = 0,47 \text{ кВт.}$$

Відносний запас потужності визначаємо за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta P}{P_{дв}} \cdot 100\%$$

де δ – відносний запас потужності електродвигуна, %.

Підставляємо значення:

$$\delta = 0,47 / 1,03 \cdot 100\% = 45,6\%.$$

Отриманий запас потужності є достатнім для компенсації можливих перевантажень, коливань напору та зміни витрати води.

Оскільки водоспоживання на тваринницькій фермі протягом доби є нерівномірним, використання електродвигуна лише з прямим пуском не

забезпечує енергоефективної роботи насосної установки. У години зниженого водоспоживання насос може створювати надлишковий тиск, що призводить до перевитрати електроенергії.

Для підвищення ефективності роботи насосної установки доцільно застосувати частотний перетворювач [5, 6, 11]. Його потужність повинна бути не меншою за номінальну потужність електродвигуна:

$$P_{\text{чп}} \geq P_{\text{н}}$$

де $P_{\text{чп}}$ – потужність частотного перетворювача, кВт; $P_{\text{н}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт.

Оскільки номінальна потужність вибраного електродвигуна становить: $P_{\text{н}}=1,5$ кВт, то для даної насосної установки приймаємо частотний перетворювач потужністю: $P_{\text{чп}}=1,5$ кВт.

За умови складних режимів роботи або необхідності додаткового запасу можна прийняти частотний перетворювач потужністю: $P_{\text{чп}}=2,2$ кВт.

Застосування частотного перетворювача забезпечує плавний пуск електродвигуна, зниження пускових струмів, регулювання частоти обертання насоса, підтримання заданого тиску в системі та зменшення споживання електроенергії.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано розрахунок та вибір електропривода насосної установки водопостачання тваринницької ферми.

Визначено, що при розрахунковій добовій потребі ферми у воді $30 \text{ м}^3/\text{добу}$ та тривалості роботи насоса 6 годин на добу необхідна подача насосної установки становить $5 \text{ м}^3/\text{год}$. З урахуванням запасу прийнято насос із подачею $5\text{--}6 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розраховано необхідний напір насосної установки. З урахуванням геометричної висоти піднімання води, втрат у трубопроводах і необхідного тиску у споживачів загальний напір становить 35 м. Для стабільної роботи системи прийнято насос із напором $35\text{--}40 \text{ м}$.

Для заданих параметрів обґрунтовано вибір відцентрового насоса типу К 8/40 або насоса з аналогічними технічними характеристиками. Для його приводу прийнято трифазний асинхронний електродвигун.

Виконано розрахунок потужності електропривода. Гідравлічна потужність насоса становить $0,477 \text{ кВт}$, потужність на валу насоса – $0,795 \text{ кВт}$, а розрахункова потужність електродвигуна з урахуванням коефіцієнта запасу становить $1,03 \text{ кВт}$. За стандартним рядом потужностей прийнято електродвигун потужністю $1,5 \text{ кВт}$.

Перевірка показала, що вибраний електродвигун відповідає умовам роботи насосної установки та має достатній запас потужності. Обґрунтовано доцільність застосування частотного перетворювача потужністю $1,5 \text{ кВт}$ або $2,2 \text{ кВт}$ за умови необхідності додаткового запасу. Частотно-регульований електропривод дозволить підвищити енергоефективність насосної установки, забезпечити плавний пуск, стабілізувати тиск у мережі та зменшити експлуатаційні витрати.

РОЗДІЛ 4 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Аналіз недоліків роботи насосної установки з нерегульованим електроприводом

Насосні установки систем водопостачання тваринницьких ферм часто працюють із нерегульованим електроприводом [3, 4, 10]. У такій системі асинхронний електродвигун підключається безпосередньо до електричної мережі та після пуску працює з постійною частотою обертання. Відповідно, насос створює майже сталу подачу і напір незалежно від фактичної потреби ферми у воді.

Для тваринницьких ферм такий режим роботи не завжди є ефективним, оскільки водоспоживання протягом доби змінюється. Найбільша потреба у воді виникає в ранковий та вечірній періоди, коли здійснюється напування тварин, годівля, доїння, миття обладнання та санітарне очищення приміщень. У нічний час водоспоживання значно знижується. Проте за нерегульованого електропривода насос продовжує працювати з номінальною продуктивністю, що призводить до створення надлишкового тиску в трубопровідній мережі.

Основними недоліками роботи насосної установки з нерегульованим електроприводом є високі пускові струми електродвигуна, виникнення гідравлічних ударів у трубопроводах, надлишковий тиск у системі в періоди малого водоспоживання, підвищене зношування насоса, електродвигуна, муфти, клапанів і засувки, збільшення втрат електроенергії, неможливість плавного регулювання продуктивності насоса та збільшення експлуатаційних витрат.

При прямому пуску електродвигуна пусковий струм може в декілька разів перевищувати номінальне значення. Це створює додаткове навантаження на електричну мережу та може спричинити короткочасне зниження напруги. Крім того, різке вмикання насоса викликає механічні навантаження на вал, підшипники, муфту та трубопровідну систему.

У разі зменшення водоспоживання регулювання подачі часто здійснюється за допомогою часткового перекриття засувки [5, 6, 11]. Такий спосіб є технічно простим, але енергетично неефективним, оскільки насос продовжує працювати з номінальною частотою обертання, а надлишкова енергія витрачається на подолання додаткового гідравлічного опору. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії насосної установки та погіршення умов експлуатації обладнання.

Отже, робота насосної установки з нерегульованим електроприводом не забезпечує оптимального використання електричної енергії. Для підвищення ефективності системи водопостачання доцільно застосувати частотно-регульований електропривод, який дозволяє змінювати продуктивність насоса відповідно до фактичного водоспоживання.

4.2 Обґрунтування використання частотно-регульованого електропривода

Частотно-регульований електропривод є ефективним технічним рішенням для насосних установок, які працюють у змінних режимах навантаження [5, 6, 11]. Його основним елементом є частотний перетворювач, який змінює частоту та напругу живлення асинхронного електродвигуна. У результаті змінюється частота обертання вала електродвигуна, а отже і продуктивність насоса.

Принцип роботи частотно-регульованого електропривода полягає в тому, що насос подає лише ту кількість води, яка необхідна споживачам у певний момент часу. Якщо водоспоживання зменшується, частотний перетворювач знижує частоту обертання електродвигуна. Якщо потреба у воді зростає, частота обертання збільшується, і насос забезпечує необхідну подачу.

Залежність основних параметрів насоса від частоти обертання описується законами подібності [9, 12]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

де Q_1 – подача насоса при різних частотах обертання, м³/год;
 n_1 – частота обертання робочого колеса насоса, об/хв.

Напір насоса змінюється за залежністю:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

де H_1 – напір насоса при різних частотах обертання, м.

Потужність, споживана насосом, змінюється за залежністю:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

де P_1 – потужність насоса при різних частотах обертання, кВт.

З наведених залежностей видно, що при зменшенні частоти обертання робочого колеса зменшуються подача, напір і потужність насоса. Найбільш суттєво змінюється саме потужність, оскільки вона залежить від частоти обертання у третьому степені. Це є основною причиною високої енергетичної ефективності частотно-регульованого електропривода в насосних установках.

При використанні частотного регулювання насосна установка може працювати в режимі підтримання сталого тиску в мережі [13, 14]. Для цього на напірному трубопроводі встановлюється датчик тиску, сигнал від якого надходить до частотного перетворювача. Перетворювач порівнює фактичний тиск із заданим і відповідно змінює частоту обертання електродвигуна.

Якщо тиск у системі знижується, частотний перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна, унаслідок чого зростає подача насоса. Якщо тиск перевищує задане значення, частота обертання зменшується, що забезпечує зниження подачі та зменшення споживаної потужності.

Основними перевагами використання частотного перетворювача в насосній установці є плавний пуск електродвигуна, зниження пускових струмів, підтримання стабільного тиску у водопровідній мережі, зменшення споживання

електроенергії, зниження механічних навантажень на насос і трубопроводи, усунення гідравлічних ударів, зменшення шуму і вібрації, підвищення строку служби обладнання та можливість автоматизації роботи насосної установки.

Таким чином, застосування частотно-регульованого електропривода є технічно доцільним для систем водопостачання тваринницьких ферм, оскільки їх водоспоживання має нерівномірний характер протягом доби.

4.3 Автоматизація керування насосною установкою

Для ефективної роботи насосної установки доцільно застосувати автоматизовану систему керування на основі частотного перетворювача, датчика тиску, апаратури захисту та шафи керування. Така система забезпечує підтримання заданого тиску у трубопровідній мережі та автоматично змінює частоту обертання електродвигуна залежно від водоспоживання.

Основним регульованим параметром є тиск у водопровідній мережі. Датчик тиску встановлюється на напірному трубопроводі після насоса. Він вимірює фактичне значення тиску та передає сигнал до частотного перетворювача. Якщо тиск знижується нижче заданого рівня, частотний перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна. Якщо тиск перевищує задане значення, частота обертання зменшується.

Структура автоматизованої системи керування насосною установкою включає автоматичний вимикач, частотний перетворювач, асинхронний електродвигун, відцентровий насос, датчик тиску, зворотний клапан, запірну арматуру, шафу керування та індикації, а також апаратуру захисту.

Алгоритм роботи насосної установки з частотно-регульованим електроприводом можна описати таким чином. Після подачі живлення система переходить у режим очікування. Якщо тиск у мережі знижується нижче встановленого значення, частотний перетворювач плавно запускає електродвигун. Насос починає подавати воду до споживачів. Частота обертання електродвигуна змінюється залежно від сигналу датчика тиску. Після зменшення водоспоживання частота обертання знижується, а при відсутності потреби у воді насос зупиняється.

Для забезпечення безпечної роботи система повинна мати захист від короткого замикання, захист від перевантаження електродвигуна, захист від зниження або підвищення напруги, захист від сухого ходу насоса, захист від перегріву електродвигуна та можливість аварійного вимкнення установки.

Захист від сухого ходу є особливо важливим для насосної установки. Він запобігає роботі насоса без води, що може призвести до перегріву, пошкодження ущільнень і виходу насоса з ладу. Для цього можуть використовуватися датчики рівня води, реле тиску або спеціальні функції частотного перетворювача.

Підтримання тиску в системі можна описати умовою:

$$p_{\text{ф}} \rightarrow p_{\text{зад}},$$

де $p_{\text{ф}}$ – фактичний тиск у трубопроводній мережі, МПа; $p_{\text{зад}}$ – заданий тиск у системі, МПа.

Якщо фактичний тиск нижчий за заданий, тобто: $p_{\text{ф}} < p_{\text{зад}}$, частотний перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна.

Якщо фактичний тиск вищий за заданий, тобто: $p_{\text{ф}} > p_{\text{зад}}$, частотний перетворювач зменшує частоту обертання електродвигуна.

Таким чином, автоматизована система керування забезпечує стабільне водопостачання ферми, зменшує участь оператора в роботі насосної установки та підвищує надійність експлуатації обладнання.

4.4 Технічна оцінка ефективності частотного регулювання насосної установки

Технічна ефективність частотно-регульованого електропривода полягає у забезпеченні відповідності продуктивності насоса фактичному водоспоживанню. Це особливо важливо для тваринницьких ферм, де витрата води протягом доби змінюється залежно від технологічних операцій.

У періоди максимального водоспоживання насос працює з підвищеною частотою обертання та забезпечує необхідну подачу води до всіх споживачів. У періоди середнього або мінімального водоспоживання частота обертання

електродвигуна зменшується, що дозволяє уникнути створення надлишкового тиску в системі.

Зниження частоти обертання насоса позитивно впливає на роботу всієї системи водопостачання. Зменшуються механічні навантаження на вал електродвигуна, робоче колесо насоса, муфту, підшипники та трубопровідну арматуру. Крім того, знижується рівень шуму і вібрації, що покращує умови експлуатації обладнання.

Важливою перевагою частотного регулювання є плавний пуск насосного агрегату. На відміну від прямого пуску, при якому електродвигун одразу підключається до мережі, частотний перетворювач поступово збільшує частоту і напругу живлення. Завдяки цьому зменшуються пускові струми та механічні удари в системі.

Плавний пуск можна описати як поступове збільшення частоти живлення електродвигуна:

$$f = 0 \rightarrow f_n,$$

де f – поточна частота живлення електродвигуна, Гц; f_n – номінальна частота живлення електродвигуна, Гц.

Для стандартної трифазної мережі номінальна частота становить: $f_n=50$ Гц.

При частотному регулюванні частота живлення може змінюватися в певному діапазоні, наприклад: $f = 25\text{--}50$ Гц.

Це дозволяє змінювати частоту обертання електродвигуна і відповідно продуктивність насоса. Частоту обертання асинхронного електродвигуна орієнтовно можна визначити за формулою:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

де n – синхронна частота обертання магнітного поля, об/хв; f – частота живлення, Гц; p – кількість пар полюсів електродвигуна.

З цієї залежності видно, що зменшення частоти живлення призводить до зменшення частоти обертання електродвигуна. У насосних установках це дозволяє регулювати подачу води без застосування дроселювання засувками.

Технічний ефект від використання частотно-регульованого електропривода полягає в такому [5, 11, 15]:

- забезпечується плавний пуск і зупинка електродвигуна;
- зменшуються пускові струми;
- усуваються гідравлічні удари;
- підтримується стабільний тиск у системі;
- зменшується зношування насосного обладнання;
- підвищується надійність роботи трубопровідної мережі;
- забезпечується автоматичне керування роботою насосної установки;
- підвищується загальна енергоефективність системи водопостачання.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі розглянуто технічні напрями підвищення енергоефективності насосної установки водопостачання тваринницької ферми.

Встановлено, що робота насосної установки з нерегульованим електроприводом має низку суттєвих недоліків. До них належать високі пускові струми, гідравлічні удари, надлишковий тиск у трубопровідній мережі, підвищене зношування обладнання та неможливість плавного регулювання продуктивності насоса відповідно до фактичного водоспоживання.

Обґрунтовано доцільність використання частотно-регульованого електропривода. Застосування частотного перетворювача дозволяє змінювати частоту обертання електродвигуна, регулювати подачу насоса, підтримувати стабільний тиск у мережі, зменшити пускові струми, усунути гідравлічні удари та знизити механічне навантаження на обладнання.

Розглянуто принцип автоматизованого керування насосною установкою. Встановлено, що використання датчика тиску та частотного перетворювача забезпечує автоматичну зміну продуктивності насоса відповідно до фактичної потреби ферми у воді. Така система зменшує участь оператора в керуванні та підвищує надійність роботи водопостачання.

Проведено технічну оцінку ефективності частотного регулювання. Визначено, що частотний перетворювач забезпечує плавний пуск і зупинку електродвигуна, зменшує пускові струми, підтримує стабільний тиск у системі, знижує шум і вібрацію та покращує умови експлуатації насосного обладнання.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

5.1 Заходи з охорони праці при експлуатації насосної установки

Експлуатація насосної установки водопостачання тваринницької ферми пов'язана з використанням електричного, механічного та гідравлічного обладнання. Тому під час її роботи необхідно дотримуватися вимог охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та правил технічної експлуатації електроустановок [16, 17].

Насосна установка включає асинхронний електродвигун, відцентровий насос, трубопровідну арматуру, шафу керування, автоматичний вимикач, частотний перетворювач, датчики тиску та елементи захисту. У процесі роботи обладнання на обслуговуючий персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

До основних небезпечних факторів належать:

- наявність електричної напруги в електрообладнанні;
- можливість ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції;
- рухомі та обертові частини електродвигуна і насоса;
- підвищений тиск у трубопровідній мережі;
- можливість виникнення гідравлічного удару;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- підвищена вологість у приміщенні насосної установки;
- небезпека ковзання на вологій підлозі;
- можливість перегріву електродвигуна або частотного перетворювача.

Для забезпечення безпечної експлуатації насосної установки необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів. Перед початком роботи персонал повинен пройти інструктаж з охорони праці, ознайомитися з будовою насосної установки, правилами її запуску, зупинки та аварійного вимкнення. До обслуговування електрообладнання допускаються лише працівники, які мають відповідну кваліфікацію та групу з електробезпеки.

Усі струмопровідні частини електрообладнання повинні бути закриті кожухами або розміщені в шафах керування. Корпуси електродвигуна, частотного перетворювача, металеві частини шафи керування та інші елементи, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, необхідно заземлити. Захисне заземлення є одним із основних засобів запобігання ураженню працівників електричним струмом [18, 19, 20].

Електрична схема насосної установки повинна містити автоматичний вимикач, захист від короткого замикання, захист від перевантаження електродвигуна, захист від зниження або підвищення напруги, а також аварійну кнопку вимкнення. Частотний перетворювач повинен мати вбудовані функції захисту електродвигуна від перевантаження, перегріву, перевищення струму та аварійних режимів.

Для запобігання травмуванню працівників обертові частини насосного агрегату, зокрема муфта між електродвигуном і насосом, повинні бути закриті захисним кожухом. Забороняється виконувати ремонт, очищення або регулювання обладнання під час його роботи. Усі ремонтні роботи необхідно проводити тільки після повного відключення установки від електричної мережі та перевірки відсутності напруги.

Приміщення насосної установки повинно мати достатнє природне або штучне освітлення, справну вентиляцію та суху неслизьку підлогу. Проходи до обладнання повинні бути вільними, не захарашченими сторонніми предметами. Біля шафи керування необхідно розмістити діелектричний килимок, а також попереджувальні знаки з електробезпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти захисту насоса від роботи без води. Робота насоса в режимі сухого ходу може призвести до перегріву, пошкодження ущільнень і виходу обладнання з ладу. Для запобігання цьому слід використовувати датчики рівня води, реле тиску або вбудовану функцію захисту частотного перетворювача.

Пожежна безпека насосної установки забезпечується правильним вибором електрообладнання [21, 22], справністю ізоляції проводів, недопущенням перевантаження електродвигуна, наявністю автоматичного захисту та

первинних засобів пожежогасіння. У приміщенні насосної установки доцільно розмістити вогнегасник, ящик із піском та інструкцію з дій персоналу у разі виникнення пожежі [22, 23].

Отже, дотримання вимог охорони праці під час експлуатації насосної установки забезпечує безпеку працівників, знижує ризик аварійних ситуацій і сприяє надійній роботі системи водопостачання тваринницької ферми.

5.2 Екологічна безпека при роботі системи водопостачання

Система водопостачання тваринницької ферми має важливе значення не лише для технологічного процесу, а й для екологічної безпеки господарства. Рациональне використання водних ресурсів, зменшення втрат води та скорочення споживання електроенергії є важливими складовими екологічно відповідального ведення тваринництва.

Під час експлуатації насосної установки прямого забруднення навколишнього середовища, як правило, не відбувається. Проте нераціональна робота системи водопостачання може призводити до зайвого споживання електроенергії, надмірного використання води, аварійних витоків у трубопроводах та збільшення навантаження на інженерну інфраструктуру ферми.

Основними екологічними ризиками при експлуатації системи водопостачання є [24]:

- нераціональне використання водних ресурсів;
- витoki води через пошкодження трубопроводів або несправну арматуру;
- перевитрата електроенергії насосним обладнанням;
- можливе підтоплення приміщень у разі аварії трубопроводу;
- погіршення санітарного стану території ферми при несправності системи водопостачання;
- збільшення непрямих викидів забруднювальних речовин через надмірне споживання електроенергії.

Використання частотно-регульованого електропривода позитивно впливає на екологічні показники роботи системи водопостачання. Завдяки підтриманню

стабільного тиску зменшується імовірність пошкодження трубопроводів, витоків води та гідравлічних ударів. Плавна зміна продуктивності насоса дозволяє подавати воду відповідно до фактичної потреби ферми, що сприяє раціональному використанню водних ресурсів.

Зниження споживання електроенергії також має екологічне значення. Чим менше електроенергії споживає насосна установка, тим меншим є опосередкований вплив на довкілля, пов'язаний із виробництвом електричної енергії. Тому впровадження частотно-регульованого електропривода можна розглядати як енергоощадний та екологічно доцільний захід.

Для підвищення екологічної безпеки системи водопостачання необхідно виконувати такі заходи:

- регулярно перевіряти герметичність трубопроводів;
- своєчасно усувати витoki води;
- контролювати технічний стан запірної та регульовальної арматури;
- не допускати роботи насоса в аварійних режимах;
- забезпечувати автоматичний контроль тиску в системі;
- використовувати енергоефективне насосне обладнання;
- проводити планове технічне обслуговування електродвигуна, насоса та частотного перетворювача;
- запобігати підтопленню виробничих приміщень;
- забезпечувати санітарний стан приміщення насосної установки.

Таким чином, екологічна безпека системи водопостачання тваринницької ферми забезпечується раціональним використанням води, зменшенням втрат у трубопроводній мережі, підвищенням енергоефективності насосного обладнання та своєчасним технічним обслуговуванням установки.

5.3 Економічна доцільність використання частотно-регульованого електропривода

Економічна доцільність модернізації насосної установки визначається зменшенням споживання електроенергії [5, 6, 15], скороченням витрат на ремонт обладнання, зниженням аварійності та підвищенням надійності системи

водопостачання. Основним джерелом економії при застосуванні частотно-регульованого електропривода є зменшення споживання електроенергії у періоди зниженого водоспоживання.

У розділі 3 було прийнято асинхронний електродвигун потужністю: $P_n=1,5\text{кВт}$.

Тривалість роботи насосної установки протягом доби приймаємо: $t=6$ год/добу.

Добове споживання електроенергії при роботі насосної установки з нерегульованим електроприводом визначаємо за формулою:

$$W_1=P_n \cdot t,$$

де W_1 – добове споживання електроенергії при нерегульованому електроприводі, кВт·год/добу; P_n – номінальна потужність електродвигуна, кВт; t – тривалість роботи насоса протягом доби, год/добу.

Підставляємо значення:

$$W_1=1,5 \cdot 6=9 \text{ кВт·год/добу.}$$

При використанні частотно-регульованого електропривода насос працює зі змінною частотою обертання. У періоди зменшеного водоспоживання частота обертання електродвигуна знижується, що зменшує споживану потужність. Для орієнтовного розрахунку приймаємо, що середнє зниження споживання електроенергії становить 25 %.

Коефіцієнт споживання електроенергії після впровадження частотного регулювання становить: $k_e=0,75$.

Добове споживання електроенергії при частотно-регульованому електроприводі визначаємо за формулою:

$$W_2=W_1 \cdot k_e,$$

де W_2 – добове споживання електроенергії при частотно-регульованому електроприводі, кВт·год/добу; W_1 – добове споживання електроенергії при нерегульованому електроприводі, кВт·год/добу; k_e – коефіцієнт зменшення енергоспоживання.

Підставляємо значення:

$$W_2 = 9 \cdot 0,75 = 6,75 \text{ кВт·год/добу.}$$

Добову економію електроенергії визначаємо за формулою:

$$\Delta W_{\text{доб}} = W_1 - W_2,$$

де $\Delta W_{\text{доб}}$ – добова економія електроенергії, кВт·год/добу.

Підставляємо значення:

$$\Delta W_{\text{доб}} = 9 - 6,75 = 2,25 \text{ кВт·год/добу.}$$

Річну економію електроенергії визначаємо за формулою:

$$\Delta W_{\text{річ}} = \Delta W_{\text{доб}} \cdot 365,$$

де $\Delta W_{\text{річ}}$ – річна економія електроенергії, кВт·год/рік; $\Delta W_{\text{доб}}$ – добова економія електроенергії, кВт·год/добу.

Підставляємо значення:

$$\Delta W_{\text{річ}} = 2,25 \cdot 365 = 821,25 \text{ кВт·год/рік.}$$

Отже, застосування частотно-регульованого електропривода дозволяє зменшити річне споживання електроенергії приблизно на:

$$\Delta W_{\text{річ}} = 821,25 \text{ кВт·год/рік.}$$

Для визначення економії коштів необхідно врахувати тариф на електроенергію. У розрахунку приймаємо умовний тариф:

$$C_e = 6,0 \text{ грн/кВт.}$$

Річну економію коштів визначаємо за формулою:

$$E_{\text{річ}} = \Delta W_{\text{річ}} \cdot C_e,$$

де $E_{\text{річ}}$ – річна економія коштів, грн/рік; $\Delta W_{\text{річ}}$ – річна економія електроенергії, кВт·год/рік; C_e – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Підставляємо значення:

$$E_{\text{річ}} = 821,25 \cdot 6,0 = 4927,5 \text{ грн/рік.}$$

Округлюємо отримане значення:

$$E_{\text{річ}} \approx 4928 \text{ грн/рік.}$$

Окрім прямої економії електроенергії, впровадження частотно-регульованого електропривода забезпечує додатковий економічний ефект. Він полягає у зменшенні кількості аварійних зупинок, зниженні витрат на ремонт насосного обладнання, підвищенні строку служби електродвигуна, насоса, запірної арматури та трубопроводів. Для узагальнення результатів розрахунку економії електроенергії складаємо таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок економії електроенергії при використанні частотно-регульованого електропривода

Показник	Позначення	Значення
----------	------------	----------

Потужність електродвигуна	P_H	1,5 кВт
Тривалість роботи насоса	t	6 год/добу
Добове споживання без частотного регулювання	W_1	9 кВт·год/добу
Коефіцієнт енергоспоживання після регулювання	k_e	0,75
Добове споживання з частотним регулюванням	W_2	6,75 кВт·год/добу
Добова економія електроенергії	$\Delta W_{\text{доб}}$	2,25 кВт·год/добу
Річна економія електроенергії	$\Delta W_{\text{річ}}$	821,25 кВт·год/рік
Умовний тариф на електроенергію	C_e	6,0 грн/кВт·год
Річна економія коштів	$E_{\text{річ}}$	4928 грн/рік

Отже, впровадження частотно-регульованого електропривода є економічно доцільним, оскільки дозволяє зменшити споживання електроенергії, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи насосної установки.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної безпеки та економічної доцільності використання електропривода насосної установки водопостачання тваринницької ферми.

Встановлено, що під час експлуатації насосної установки на працівників можуть впливати електричні, механічні, гідравлічні та виробничі фактори. До основних небезпек належать ураження електричним струмом, рухомі частини обладнання, підвищений тиск у трубопроводах, шум, вібрація та підвищена вологість. Для зменшення ризиків передбачено захисне заземлення, автоматичний захист, аварійне вимкнення, захисні кожухи, контроль стану електрообладнання та дотримання правил безпечної експлуатації.

Проаналізовано екологічні аспекти роботи системи водопостачання. Визначено, що застосування частотно-регульованого електропривода сприяє раціональному використанню водних ресурсів, зменшенню втрат води, зниженню споживання електроенергії та підвищенню надійності трубопровідної мережі. Це позитивно впливає на екологічну безпеку тваринницької ферми.

Виконано орієнтовний розрахунок економії електроенергії. Встановлено, що добове споживання електроенергії при роботі насосної установки з нерегульованим електроприводом становить 9 кВт·год/добу. Після впровадження частотного регулювання воно зменшується до 6,75 кВт·год/добу. Добова економія електроенергії становить 2,25 кВт·год, а річна економія – 821,25 кВт·год.

За умовного тарифу 6,0 грн/кВт·год річна економія коштів становить приблизно 4928 грн. Крім прямої економії електроенергії, частотно-регульований електропривод забезпечує додатковий ефект за рахунок зменшення зношування обладнання, скорочення витрат на ремонт і підвищення стабільності роботи системи водопостачання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено аналіз систем водопостачання тваринницьких ферм, який підтвердив їх важливе значення для забезпечення технологічних, санітарно-гігієнічних, господарсько-побутових і протипожежних потреб. Встановлено, що надійне водопостачання є необхідною умовою стабільної роботи ферми та підтримання належних умов утримання тварин.

2. Визначено, що основним енергоспоживаючим елементом системи водопостачання є насосна установка з електроприводом. Найчастіше для приводу насосів застосовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які мають високу надійність, однак при роботі без регулювання швидкості не забезпечують оптимального використання електроенергії.

3. Об'єктом розробки обрано систему водопостачання тваринницької ферми, зокрема насосну установку з електроприводом, яка забезпечує забір, піднімання, транспортування, накопичення та подачу води до технологічних і господарських споживачів. Для розрахунків прийнято ферму на 200 голів великої рогатої худоби.

4. Проведено розрахунок водоспоживання тваринницької ферми. Встановлено, що добова потреба у воді для напування 200 голів великої рогатої худоби становить $16 \text{ м}^3/\text{добу}$. З урахуванням додаткових витрат і коефіцієнта добової нерівномірності розрахункова добова витрата води прийнята на рівні $30 \text{ м}^3/\text{добу}$.

5. Встановлено, що водоспоживання на тваринницькій фермі має нерівномірний характер протягом доби. Найбільші витрати води спостерігаються в ранковий і вечірній періоди, а в нічний час потреба у воді зменшується. Це підтверджує необхідність застосування регульованого електропривода насосної установки.

6. Виконано розрахунок основних параметрів насосної установки. За умови добової потреби у воді 30 м^3 і тривалості роботи насоса 6 годин на добу

необхідна подача становить 5 м³/год. З урахуванням запасу прийнято насос із подачею 5–6 м³/год і напором 35–40 м.

7. Обґрунтовано вибір відцентрового насоса типу К 8/40 або насоса з аналогічними технічними характеристиками. Для його приводу прийнято трифазний асинхронний електродвигун потужністю 1,5 кВт, який відповідає умовам роботи насосної установки та має достатній запас потужності.

8. Розглянуто недоліки роботи насосної установки з нерегульованим електроприводом. Встановлено, що прямий пуск електродвигуна спричиняє високі пускові струми, гідравлічні удари, надлишковий тиск у трубопровідній мережі, підвищене зношування обладнання та перевитрату електроенергії.

9. Обґрунтовано доцільність використання частотно-регульованого електропривода. Застосування частотного перетворювача дозволяє плавно змінювати частоту обертання електродвигуна, регулювати подачу насоса, підтримувати стабільний тиск у системі, зменшувати пускові струми, усувати гідравлічні удари, знижувати шум і вібрацію та підвищувати надійність роботи установки.

10. Розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки при експлуатації насосної установки. Встановлено, що для безпечної роботи необхідно передбачити захисне заземлення, автоматичний захист, аварійне вимкнення, захисні кожухи, контроль стану електрообладнання та захист від сухого ходу. Екологічна оцінка показала, що частотно-регульований електропривод сприяє раціональному використанню води та зменшенню споживання електроенергії.

11. Виконано орієнтовне економічне обґрунтування запропонованого технічного рішення. Встановлено, що добове споживання електроенергії після впровадження частотного регулювання зменшується з 9 до 6,75 кВт·год, добова економія становить 2,25 кВт·год, а річна економія – 821,25 кВт·год. За умовного тарифу 6,0 грн/кВт·год річна економія коштів становить приблизно 4928 грн. Практична значимість роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень для модернізації систем водопостачання тваринницьких ферм.