

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 2023_ р.

Зав. кафедри, к.т.н., доцент

Войтік А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(назва освітнього рівня)

тема роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА
ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ІСНУЮЧОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ
ПОТРЕБ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-3-ім
спеціальності 208«Агроінженерія»

Боднар В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кравченко В.В.

(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Войтік А.В.

“ ____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Боднару Володимиру Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження технологічних параметрів та збільшення продуктивності існуючої насосної станції для потреб сільського господарства»

керівник роботи _____ Кравченко В.В., к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“09” листопада 2023 р. № 01-06/256

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: Режими роботи автоматизованого електропривода водонасосної станції. Набір бібліотек програми Simulink.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

актуальність контексту енергозбереження у сільському господарстві, аналіз роботи асинхронного електроприводу в режимі динамічної роботи, аналіз роботи системи водопостачання через моделювання насосної станції, обґрунтування застосування насосних установок із регульованим електроприводом для забезпечення водопостачання сільськогосподарських господарств з техніко-економічного погляду.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Економічне обґрунтування проекту	Кравченко В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.12.22 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.03.23 р.	
3.	Розділ 2. Аналіз роботи асинхронного електроприводу в режимі динамічної роботи.	04.06.23 р.	
4.	Розділ 3. Аналіз роботи системи водопостачання через моделювання насосної станції	03.09.23 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.23 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.11.23 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	20.11.23 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.23 р.	

Студент

(підпис)

Боднар В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кравченко В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Боднар В.І. Дослідження технологічних параметрів та збільшення продуктивності існуючої насосної станції для потреб сільського господарства. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 46 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 12 рисунків, 2 таблиці, 15 джерел).

Об'єкт дослідження – процес контролю потужності в насосних установках.

Мета роботи – покращення енергоефективності електричного приводу насосної станції в системі водопостачання, завдяки впровадженню автоматизованої системи управління електричними приводами.

У роботі були розроблені математичні моделі для статичних режимів роботи електроприводу та побудовані механічні характеристики для векторного керування асинхронним електродвигуном. Для вивчення перехідних процесів моменту у функції часу при запуску та навантаженні були використані пакети програмування MATLAB.

Крім того, було проведено моделювання системи керування насосною установкою з використанням програми SIMULINK, яка входить до складу пакету прикладного програмного забезпечення MATLAB 7.1.

Дослідження показало, що використання системи керування, яка реагує на сигнали від датчика тиску, призводить до економії витрат на електроенергію. Оцінка цієї економії становить 23695 гривень на рік для насосної установки номінальною потужністю 2,2 кВт.

НАСОСНИЙ КОМПЛЕКС, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Поточна ситуація з енергозбереженням у сільському секторі	7
1.2. Критерії для насосного комплексу	10
1.3. Оцінка використання електроенергії та можливостей зменшення енергетичних витрат в аграрному секторі	11
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	15
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОЇ РОБОТИ	16
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЮВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ	22
3.1. Створення структурної схеми управління насосною станцією	22
3.2. Визначення характеристик об'єкта управління для насосної станції ..	23
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	30
4.1. Загальні положення	30
4.2. Аварійні ситуації які можуть трапитись на насосній станції	30
4.3. Виробничий шум та вібрації на насосній станції	30
4.4. Вимоги охорони праці до початку роботи на насосній станції	31
4.5. Вимоги охорони праці під час роботи на насосній станції	32
4.6. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях на насосній станції	32
4.7. Вимоги охорони праці після виконання роботи на насосній станції	33
4.8. Пропозиції щодо покращення умов охорони праці на насосній станції	33
4.9. Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	35
ВИСНОВКИ.....	44
Список використаних джерел.....	45

ВСТУП

Водопостачання сільського господарства полягає в доставці відповідної маси води з точки водозабору у місце, де знаходяться споживачі. При цьому споживачі розташовані на різній відстані та різних рівнях. Споживання води є випадковою функцією часу протягом доби (день, вечір, ранок) та залежить від пори року (літо, зима чи весна). Різна відстань розташування споживачів обумовлена дискретним розташуванням споживачів та великою площею. Різниця розташування споживачів визначається як рельєфом місцевості (вона досягати сотень метрів), так і різницею у висоті їх розташування. Витрати води особливо різко змінюються у денний та вечірній час. При цьому необхідно забезпечити безперебійну подачу води споживачу з мінімальною витратою електроенергії. Ефективність та економічність роботи водопостачання, опалення, водовідведення і водоочищення сільських районів може бути істотно підвищена за рахунок автоматизації та впровадження регульованих електроприводів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Поточна ситуація з енергозбереженням у сільському секторі.

Аналіз виробництва сільськогосподарської продукції в фермерських і особистих присадибних господарствах, а також оцінка соціально-побутових умов, призначених для підвищення рівня життя населення, вказує на те, що в найближчі роки буде зростати потреба в енергоресурсах. Останній період свідчить, що зростання споживання енергії та електроенергії в присадибних господарствах, побуті та послугах виявляється набагато швидшим, ніж в сільському господарстві. Ситуацію погіршило вплив війни та енергетичних відключень, що спричинили суттєве зниження виробництва та постачання електроенергії. Тому необхідно активно впроваджувати енергоефективні технології для сільськогосподарських об'єктів, зберігаючи добробут сільського населення.

На сьогоднішній день виробництво практично всіх видів сільськогосподарської продукції характеризується великими енерговитратами, і в Україні рівень енергоємності на цю продукцію вищий в 2-3 рази, ніж у розвинених країнах. Використання електричної енергії ефективність в Україні в 5 разів нижча, ніж в Японії, в 4 рази нижча, ніж в США, і в 2 рази нижча, ніж в Німеччині. Існує багато причин (об'єктивних та суб'єктивних), однією з яких є тривалий період низьких тарифів на енергоносії. Державна політика з пониженням цін на енергоресурси спричинила низьку ефективність їх використання. При цьому частка витрат на енергоресурси в собівартості промислової продукції становила кілька відсотків, а для комунального сектора та потреб сільського господарства паливно-енергетичні ресурси витрачалися нижче їх вартості.

Незважаючи на загальне зниження споживання енергії в сільському господарстві через зменшення виробництва та платоспроможності сільськогосподарських підприємств, енергоємність продукції не лише не зменшилася, але навіть зросла. Наразі, при зростанні тарифів і цін на

енергоресурси, порівняно зі зростанням цін на сільськогосподарську продукцію, частка витрат на енергію в її собівартості зростає від 4-8% до 25-50%.

Порівняльний аналіз ефективності використання електричної енергії, включаючи середні показники питомих витрат енергії в різних сферах сільського господарства, показує, що витрати на утримання тварин та виробництво сільськогосподарської продукції в Україні значно вищі, ніж у країнах Західної Європи. Робочі умови електричних установок в сільському господарстві мають свої особливості. Наприклад, на фермах, що займаються тваринництвом, багато механізмів працюють всього кілька годин на добу і мають низький коефіцієнт використання. Це стосується, наприклад, кормороздавачів, доїльних установок, кормонавантажувачів, транспортерів для складання яєць на птахофермах, гноєприбиральних транспортерів і так далі. Установки транспортерного типу мають велику довжину, яка часто сягає десятків або навіть сотень метрів. Вони не завжди надійні, оскільки їхній знос та поломки є поширеними, і вони можуть створити аварійні ситуації. Крім того, взимку похила частина гноєприбиральних транспортерів часто замерзає. Для таких установок важливо правильно обирати систему приводу та налагоджувати захист електрообладнання. На деяких машинах амплітуда вібрацій електродвигунів перевищує норми. Затушення робочих органів (ножів) призводить до збільшення споживаної потужності електродвигунів і часто приводить до спрацювання автоматичних вимикачів або перегорання плавких запобіжників.

Хімічно активні речовини та висока вологість в тваринницьких спорудах і теплицях створюють значні проблеми для надійності електрообладнання. Робота електрообладнання на відкритому повітрі, що впливає на його ізоляцію та відсутність можливості висихання, спричиняє поступовий руйнування, обмоток та ізоляції. Корозія металевих частин електрообладнання також є проблемою і призводить до підвищеного опору контактів. В результаті цього збільшуються втрати енергії та скорочується термін служби електричної апаратури. Втрати енергії в електричних споживачах та мережах дуже великі і можуть становити до 30%, при цьому загальний коефіцієнт корисного використання паливно-

енергетичних ресурсів у сільському господарстві не перевищує 35%, що нижче, ніж в промислових секторах. Головним застосуванням електроенергії в сільському господарстві є її використання для електроприводу машин та механізмів, тому саме тут слід шукати можливості збереження енергії.

Аналіз витрат енергії дозволяє виділити ключові напрямки, де енергозберігаючі заходи можуть мати найбільший вплив у сільському господарстві. До них можна віднести:

- зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання та при її використанні, включаючи зниження втрат у мережах, впровадження регульованих електроприводів, використання економічних електротехнологій та освітлення, а також належне технічне обслуговування та облік;
- застосування енергоефективних теплових процесів та теплоенергетичного обладнання;
- використання відходів деревини та рослин у якості альтернативи традиційним видам палива, такі як газогенератори;
- впровадження нових технологій та енергоощадних систем у тваринництві та рослинництві, таких як регульований мікроклімат з утилізацією теплової енергії та комбіновані технології;
- використання поновлюваних джерел енергії, вторинних енергоресурсів та альтернативних видів палива;
- забезпечення ефективної експлуатації та обслуговування на підприємствах.

Цей аналіз свідчить про значний потенціал для збереження енергії в сільському господарстві, що може призвести до покращення ефективності та стійкості сільськогосподарського виробництва, а також покращення умов життя населення в сільських районах.

Для забезпечення сталого соціально-економічного розвитку сільських територій і ефективного функціонування сільського господарства країни важливе поліпшення інфраструктури в сільській місцевості. Це поліпшення в кінцевому підсумку позитивно вплине на підвищення життєвого рівня мешканців сільських районів.

З метою зменшення продовольчої залежності, необхідно збільшувати обсяги власного виробництва сільськогосподарської продукції, що, зрозуміло, призведе до збільшення витрат енергії. Однак одночасно зростання тарифів на енергоресурси і обмежена наявність фінансових і матеріальних ресурсів змушують сільськогосподарських виробників скорочувати обсяги виробництва. Ці протиріччя можуть бути вирішені шляхом розробки та впровадження енергоефективних технологій і заходів з енергозбереження в сільському господарстві. При сучасних умовах у сільському господарстві важливо впроваджувати заходи з енергозбереження в тих галузях, де можна досягти позитивного впливу при обмежених фінансових витратах та швидкому відшкодуванні витрат. Проблема енергозбереження у перехідний період до ринкових відносин особливо актуальна через значний розрив між цінами на продукцію сільського господарства і вартістю сільськогосподарської техніки, а також через високі ціни на енергоресурси.

1.2. Критерії для насосного комплексу

Сучасні насосні установки для водопостачання складаються з комплексу обладнання, яке включає в себе один або декілька насосних агрегатів, що працюють паралельно для перекачування рідини через спільний колектор. Крім того, вони включають в себе трубопроводи, запірну та регулюючу арматуру, контрольно-вимірювальну апаратуру, а також обладнання для управління і захисту. Окрім насосного обладнання, до такого комплексу також входять будівлі і споруди, які забезпечують нормальне функціонування системи в цілому і визначаються як насосна станція.

Багато насосних агрегатів працюють в умовах недостатнього завантаження і без можливості регулювання свого робочого режиму. Це призводить до низької ефективності роботи, вираженої в низькому коефіцієнті корисної дії (ККД) (від 30% до 60%) та низькому коефіцієнту завантаження (до 50%). Особливо це стосується тих агрегатів, які перекачують рідину. Результатом є великі втрати електроенергії і потреба в зменшенні потужності двигунів. При цьому до 95%

усього споживання електроенергії припадає на роботу основних насосних агрегатів.

Загалом, насосні установки для водопостачання є складними енергоємними системами, які мають великий робочий діапазон, різноманітні умови експлуатації та специфічні вимоги до ефективності і надійності.

В таких умовах значний економічний результат може бути досягнутий завдяки впровадженню системи регульованого електроприводу, що дозволяє ефективно зменшити витрату споживаної електроенергії, плавно регулюючи тиск і продуктивність насосних станцій до необхідних значень. Проте, використання регульованого електроприводу для насосів має кілька особливостей:

Зазвичай сучасні технологічні установки включаються паралельно або послідовно до загальної системи трубопроводів з протитиском.

Доцільно встановлювати регульований електропривід на одному з працюючих насосних агрегатів, оскільки діапазон регулювання частоти обертання регульованого насоса є обмеженим, особливо при роботі групи насосних агрегатів.

Вибір потужності перетворювача частоти, які забезпечують плавний запуск двигуна і регулювання швидкості, робиться на підставі встановленої потужності насосного агрегату і може вимагати великих фінансових витрат.

Решта методів є менш ефективними, дорогими і менше підходять для оптимізації енергетичних режимів. З урахуванням цих обставин, для досягнення ефективної роботи насосних станцій, необхідно розробити та впровадити енергозберігаючі пристрої та системи регулювання режимів роботи насосних установок, які б з урахуванням перерахованих факторів сприяли підвищенню керованості, енергетичної та економічної ефективності і надійності насосного обладнання.

1.3. Оцінка використання електроенергії та можливостей зменшення енергетичних витрат в аграрному секторі.

Дослідження, проведені з використанням інформації із наукових джерел [1, 13], показують, що в сільському господарстві електропривід є важливою частиною,

займаючи близько 60% від загального споживання електроенергії. Зазвичай, 60% від загального обсягу використовуваної електроенергії в сільському господарстві споживається в електроприводах для виробництва та в побуті населення, при цьому 55% цієї енергії використовуються для живлення асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Виробництво сільськогосподарської продукції вимагає 34% загального обсягу використовуваної електроенергії в галузі, з яких 33% витрачаються на живлення систем, що створюють мікроклімат в приміщеннях, які, як відомо, мають високий споживання електроенергії, в основному в асинхронних електродвигунах з короткозамкненим ротором, таких як насоси, вентилятори та компресори.

Згідно з даними європейських експертів, вартість електроенергії, що витрачається щорічно на електродвигуни середньої потужності у промисловості та сільському господарстві, в 5 разів перевищує вартість самого електродвигуна. Експерти також вказують, що регульований електропривід є економічно ефективним для близько 50-75% технологічного обладнання, хоча на сьогоднішній день він використовується лише на 7-10%.

З урахуванням сказаного, з якості можливих шляхів зниження енерговитрат і оптимізації використання енергії, особливий потенціал перспективний у сфері сільського господарства, і зокрема у сфері асинхронних електроприводів.

В системах частотного регулювання для електроприводів використовуються різні типи перетворювачів, включаючи наступні:

- безпосередні перетворювачі частоти, які перетворюють змінну трифазну напругу з мережі в змінну трифазну напругу з регульованою частотою та амплітудою. Однак їх використання обмежене через складність силових схем, обмежений діапазон частоти зміни вихідної напруги, чутливість до якості мережі та значне спотворення форми вихідної напруги.

- двоступеневі перетворювачі частоти, які використовують випрямляч трифазної змінної напруги з мережі та автономний інвертор для перетворення випрямленої напруги в змінну трифазну напругу з регульованою частотою та

амплітудою. Ці перетворювачі знайшли широке застосування в різних електричних установках, хоча мають втрати через дворазове перетворення енергії.

У системах частотно-регульованого електроприводу змінного струму використовуються автономні інвертори струму (АІС) і напруги (АІН). Автономний інвертор струму формує криву вихідного струму в навантаженні і використовується разом з керованим тиристорним випрямлячем для регулювання струму інвертора, контролюючи тим самим його амплітуду. Популярність отримали перетворювачі другого типу на основі АІН, які включають в себе індуктивність і ємність на вході для формування напруги на навантаженні методом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи використовують перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму, яка включає випрямляч, індуктивність або ємнісний фільтр для стабілізації постійної напруги та автономний інвертор напруги (АІН), зроблений на силових транзисторах типу IGBT. АІН використовує метод ШІМ для формування основної гармоніки вихідної напруги. Управління перетворювачем частоти базується на мікропроцесорній техніці, яка дозволяє контролювати та аналізувати параметри системи.

Споживач вимагає різних діапазонів швидкостей та типів навантаження. Характер навантаження впливає на залежність між швидкістю обертання і моментом опору. Насоси та вентилятори, які поширено використовуються в АПК, мають механічні характеристики, які описуються рівнянням параболи, де момент пропорційний квадрату швидкості, а спожита потужність пропорційна кубу швидкості обертання. Отже, зниження швидкості приводу може суттєво зменшити споживання потужності.

Система частотно-регульованого асинхронного електроприводу, яка використовує векторне керування, надає найкращі технологічні та техніко-економічні показники для таких пристроїв, як насоси та вентилятори.

Результати використання частотних перетворювачів для живлення насосів і вентиляторів підтверджують доцільність не просто підключення перетворювача для живлення електроприводу, але і створення спеціальних систем управління

технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє досягти економічного результату, який полягає не лише в зменшенні споживаної електричної потужності з мережі, але і в істотному зниженні витрат на обслуговування, поліпшенні умов праці та подовженні терміну служби обладнання. Крім того, обробка отриманих параметрів дозволяє проводити глибоку діагностику як обладнання системи, так і процесів, що відбуваються. Це дає змогу не тільки реагувати на виниклі аварійні ситуації, але й запобігати їх виникненню, що є вкрай важливим для енергетичних об'єктів.

Для визначення можливостей ефективного використання частотно-регульованого електроприводу в аграрному секторі необхідно виявити і аргументувати галузі, де можна реалізувати питання енергозбереження за допомогою цього підходу, при цьому зазначені інвестиції можуть бути невеликими. До таких галузей належать системи водопостачання та вентиляції у тваринництві, сільському господарстві, а також в системах водопостачання сільських населених пунктів. Однак слід врахувати особливості функціонування електроприводів в аграрному секторі: діапазон потужностей асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором коливається від 0,6 до 30 кВт, і вони працюють у важких умовах зі сезонним та добовим навантаженням. Більшість механізмів функціонують з недоліками (дослідження показують, що потужність електродвигунів вибирається з максимального навантаження, без врахування нерівномірності навантаження протягом доби та сезону, що на 1,5-2,5 рази більше ніж номінальна потужність).

Зменшення ручної праці для витягування води з різних джерел в аграрному водопостачанні може внести значний вклад в покращення якості та надійності постачання води для споживачів. Це може підвищити продуктивність тварин у фермах та на пасовищах, а також покращити рівень життя сільського населення до рівня жителів міста. Існують регулятивні норми для водоспоживання для підприємств та населення залежно від ступеня забудови та облаштування поливу біля житлових будинків. Норми визначають мінімальний напір у водорозбірних колонках (не менше 10 метрів) та максимальний гідростатичний напір у зовнішній

мережі господарського водопроводу у споживачів (не більше 25 метрів), що залежить від поверховості забудови. Використання води в житловому та виробничому секторі неоднакове протягом доби та року, що різко відрізняється від сектора міст та комунальних послуг.

Попередня оцінка можливостей використання векторного керування частотно-регульованим електроприводом в зазначених системах показує, що при впровадженні цього управління можливо зменшити споживану електроенергію на 50% та витрати води на 25-30%.

1.4. Висновки та завдання досліджень.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є покращення енергоефективності електричного приводу насосної станції в системі водопостачання, завдяки впровадженню автоматизованої системи управління електричними приводами. Для досягнення цієї цілі передбачено вирішення наступних завдань:

1. Аналіз можливих методів регулювання подачі води в системах водопостачання для населених пунктів.

2. Розробка функціональних та електричних схем управління насосною станцією з використанням каскадного регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.

3. Моделювання системи керування насосною станцією в програмі SIMULINK для оцінки основних показників якості перехідних процесів у електричному приводі.

4. Економічне обґрунтування вигідності застосування регульованих електричних приводів у системі водопостачання.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОЇ РОБОТИ

Система перетворювача частоти - асинхронний електропривід, яка розглядається з точки зору наукового експерименту, представляє собою складну технічну систему, вивчення та аналіз якої найбільш доцільно проводити за допомогою математичних моделей. При дослідженні таких складних технічних систем важливо враховувати різні аспекти їх роботи та взаємодії між компонентами. Однією з ключових проблем є динамічний аналіз електромагнітних процесів, що відбуваються в асинхронному електродвигуні та перетворювачах частоти.

Аналіз електромагнітних процесів можна проводити різними методами [11], включаючи математичне моделювання. Математична модель є потужним інструментом, який надає можливість вивчати широкий спектр питань, пов'язаних з асинхронним електроприводом. Вона базується на розрахунках миттєвих значень струмів та напруг на різних ділянках та елементах системи. Завдяки цим математичним моделям можна відтворити різні режими роботи, такі як номінальний, перехідні та аварійні процеси.

Основна перевага математичних моделей полягає в можливості аналізу системи в різних режимах та умовах. Вони дозволяють проводити розрахунки середніх значень струмів і напруг, аналізувати енергетичні характеристики та проводити гармонійний аналіз. Ці дані є важливими для оцінки ефективності та надійності роботи електроприводу.

Функціональна схема синтезованої системи векторного керування асинхронним електроприводом представлена на рисунку 2.1. Вона включає двоканальний контур регулювання вектора вихідних змінних та локальний контур регулювання фазних струмів статора асинхронного двигуна. На цій основі побудовано регульоване джерело струмів з розривним керуванням. Важливо

відзначити, що ця функціональна схема містить додаткові ланки, які відповідають за раціональні динамічні режими роботи асинхронного електроприводу.

Все це дозволяє вивчати та аналізувати різні аспекти роботи асинхронного електроприводу в різних режимах та умовах, що є ключовим для подальшого вдосконалення та оптимізації цих систем. Використання математичних моделей у дослідженнях асинхронного електроприводу є потужним інструментом для зрозуміння його роботи та вдосконалення ефективності, надійності та енергоефективності даної технічної системи.

На рисунку 2.1 наведені символи та позначення, які використовуються для ідентифікації ключових компонентів системи векторного керування асинхронним електроприводом. Для зручності аналізу та розуміння принципів роботи системи важливо розглянути кожен елемент окремо:

- регулятори: РП і РС відповідають П - регулятору потоку і ПП-регулятору швидкості. Вони використовуються для керування потоком та швидкістю в асинхронному електродвигуні.

- проміжний перетворювач координат (ПК1): Цей елемент виконує перетворення з обертової системи координат в полярну систему r, φ . Це необхідно для подальшого обмеження вектора шляхом виділення його евклідової норми і фази.

- ланка обмеження амплітуди (ОБМ): ОБМ відповідає за обмеження амплітуди вектора керуючих впливів. Це може бути важливим для збереження стійкості системи та запобігання перевищенню допустимих меж.

- перетворювач координат (ПК2): Цей елемент виконує перетворення з полярної системи координат r, φ в трифазну систему А, В, С, що зручно для подальшого аналізу та керування системою.

- трифазний релейний регулятор струмів (РРТ): РРТ відповідає за керування транзисторними ключами силового перетворювача і регулювання струмів статора.

- перетворювач частоти (ПЧ): ПЧ включає в себе некерований випрямляч, ємнісний фільтр та трифазний мостовий АІН на повністю керованих ключах. Він відповідає за зміну частоти живлення електродвигуна.

- спостерігач (СП): СП визначає напрямні косинуси, які використовуються для орієнтації магнітного поля асинхронної машини [18]. Крім того, він використовується для оцінки поточних координат вектора вихідних змінних, що використовуються як сигнали зворотного зв'язку. Ці позначення та елементи є важливими компонентами системи векторного керування асинхронним електроприводом і визначають її функціональні можливості та робочі параметри.

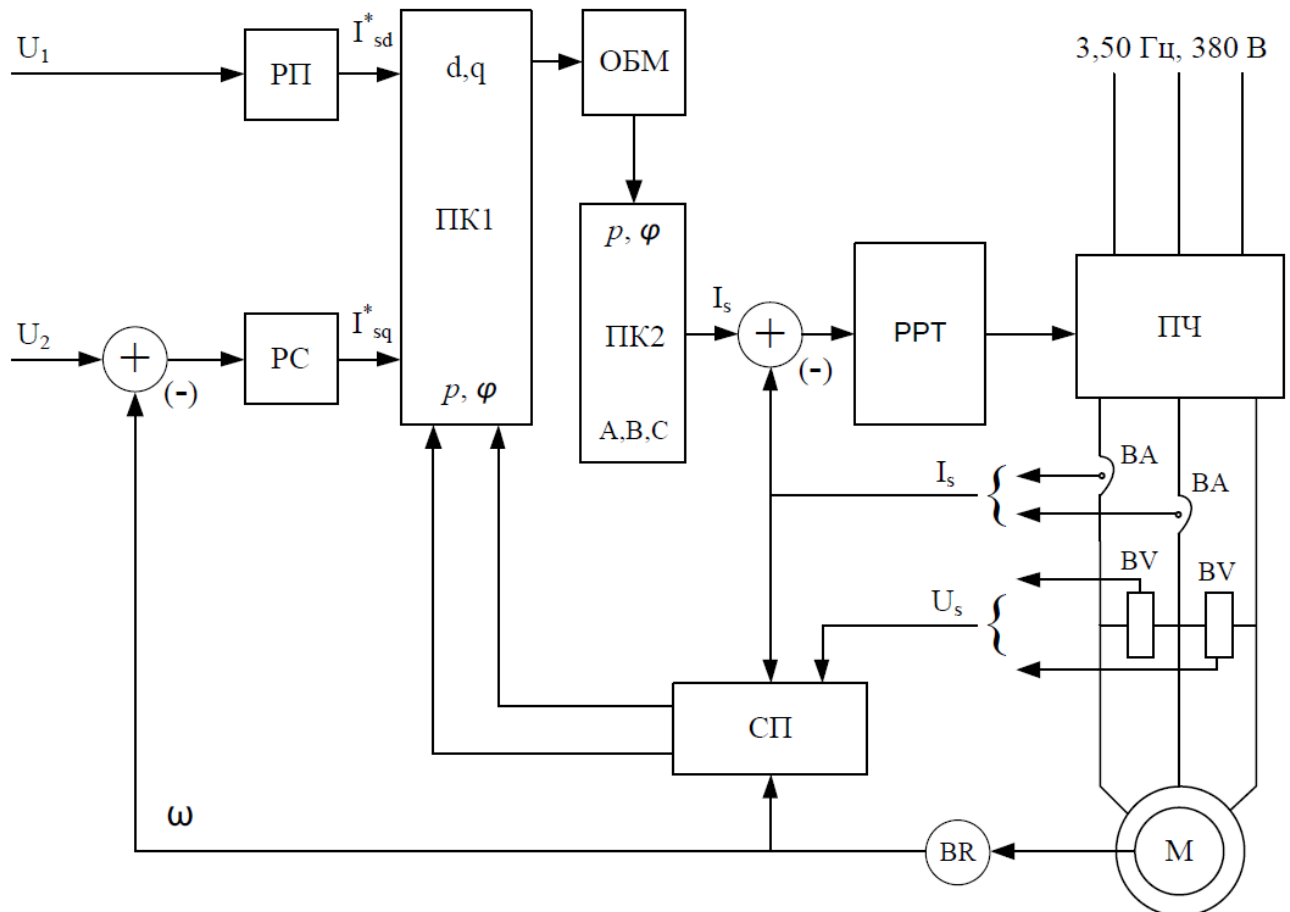


Рисунок 2.1. Блок-схема узагальненої системи автоматичного регулювання швидкості асинхронного двигуна.

Для створення комп'ютерної моделі даної системи автоматичного керування асинхронним двигуном, рекомендовано використовувати одну з сучасних систем програмування, таку як Matlab 6.0. Matlab є потужним інструментом, який надає можливість розробки та аналізу моделей систем автоматичного керування з великою кількістю прикладних програм [11].

Однією зі структурних схем, яка була створена за допомогою Matlab 6.0, є та, яку можна побачити на рисунку 2.2. У даній структурній схемі використовується

двоканальна система регулювання струмів статора в декартовій системі координат. На цій схемі можна відзначити наступні компоненти та позначення:

- РС (двоканальний регулятор струму): Цей компонент відповідає за керування струмами статора двигуна. Він використовується для досягнення бажаних значень струмів і забезпечення стабільності роботи системи.

- d_1 (коефіцієнт передачі по струму в каналі зворотного зв'язку): Цей параметр визначає коефіцієнт передачі струму в каналі зворотного зв'язку і може бути налаштований за допомогою різних методів відповідно до теорії автоматичного керування, включаючи метод стандартних лінійних форм.

Використання Matlab 6.0 дозволяє створити комп'ютерну модель системи автоматичного керування асинхронним двигуном та провести детальний аналіз її характеристик у різних режимах та умовах. Такий підхід є досить ефективним для досліджень та оптимізації роботи таких систем.

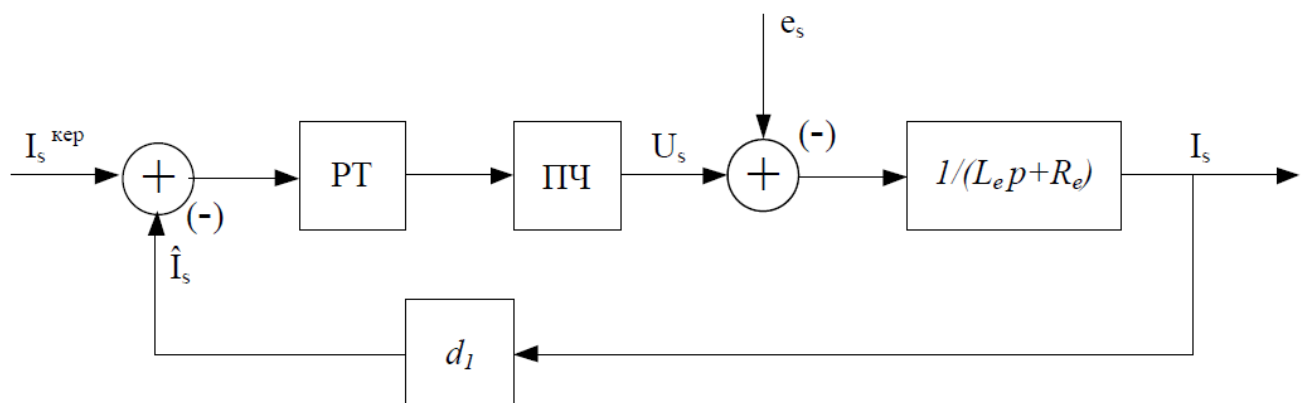


Рисунок 2.2. Схема, що відображає структуру системи керування струмами статора, представлена в декартовій системі координат.

У випадку з двоканальним замкнутим контуром автоматичного регулювання струмів, постійні часу визначаються з врахуванням умови, пов'язаної із частотним розділом:

$$T_{i\,kpt}^* \geq \frac{(2 \dots 3)}{f_0},$$

А щодо постійних часу зовнішнього контуру регулювання вектора вихідних змінних, вони визначаються з рівнянь рівності:

$$T_i^* = 2\pi(2 \dots 3)T_{i\,kpt}^*,$$

Це забезпечує розподіл рухів у системі з багатьма контурами та можливість використовувати математичну модель без врахування інерційних ефектів для керованого джерела струму.

На рисунку 2.3 наведено перехідні процеси моменту відносно часу: пуск приводу при прямому включенні двигуна на номінальну напругу живлення та відкидання моменту навантаження.

З рисунку 2.3 видно, що під час прямого пуску спостерігаються початкові коливання моменту, які стабілізуються протягом 0,25 секунд. У випадку накидання навантаження, схожі коливання моменту відзначаються, але вони менш виразні, ніж під час пуску, і також стабілізуються протягом 0,1 секунди.

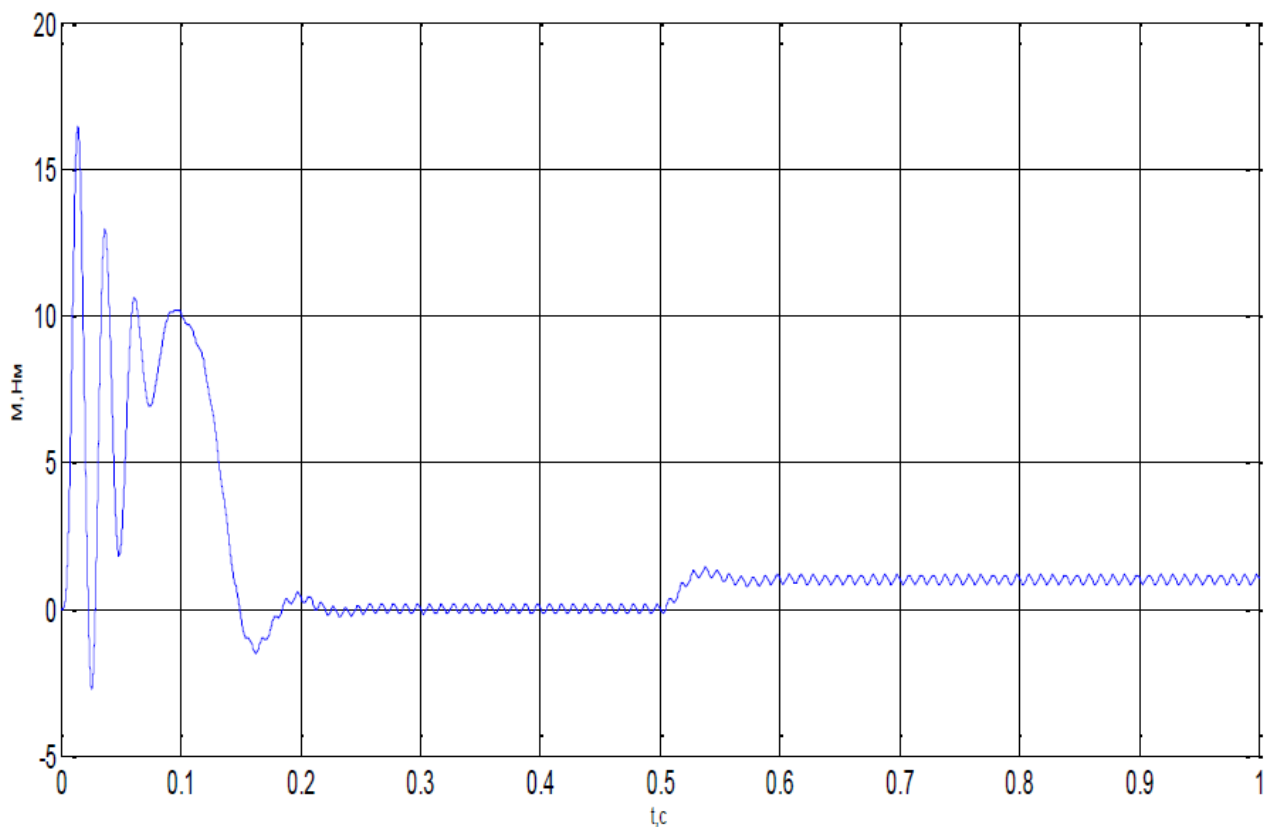


Рисунок 2.3. Динаміка моменту у часі при запуску без навантаження та при додаванні навантаження.

Перед початком пуску двигуна всі змінні параметри були встановлені на нульові значення, що означає нульові початкові умови. На момент $t = 0.1$ с відбувся

різкий скачок у номінальному моменті, що викликало другий перехідний процес. До цього моменту швидкість двигуна, струми та потокозв'язування вже досягли сталих значень, і ці значення визначили ненульові початкові умови для другого перехідного процесу.

Якби розглядати другий процес як окреме завдання, то для визначення ненульових початкових умов, які існували перед початком цього процесу, потрібно було б проводити розрахунки. Однак в даному випадку ці умови визначилися автоматично. Проте, в разі необхідності визначити ці початкові умови, потрібно було б мати інформацію про початкове значення напруги на статорі, кутову частоту цієї напруги і початкову частоту роторної електрорушійної сили (ЕРС). Останню величину можна було б визначити на основі механічних характеристик двигуна.

Ця ситуація дозволяє легше аналізувати і керувати системою, оскільки вже відомі початкові умови для другого перехідного процесу. Важливо враховувати, що такий підхід спрощує розв'язання завдань, пов'язаних з динамікою двигуна і системою керування, забезпечуючи більшу точність та ефективність в роботі двигуна.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЮВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

3.1. Створення структурної схеми управління насосною станцією.

У системі водопостачання, основними активними регулюючими пристроями є насосні агрегати, які обладнані асинхронними двигунами. Керування роботою цих насосних агрегатів здійснюється за допомогою частотних перетворювачів, що відкриває перед нами можливість побудувати досить надійну та ефективну систему регулювання водопостачання.

Запропонована система керування є одноконтурною, з одним зовнішнім контуром - контуром тиску в системі водопостачання. Цей контур відіграє важливу роль у підтриманні сталого тиску в системі та забезпечує нормальний режим функціонування насосних агрегатів та інших компонентів.

На рисунку 3.1 представлена структурна схема цієї розробленої системи. Завдяки цій системі, можливо досягти високої надійності та ефективності у керуванні процесами водопостачання. Разом з тим, вона відкриває можливість для подальшого розвитку та удосконалення системи з метою забезпечення більш якісного та надійного водопостачання.

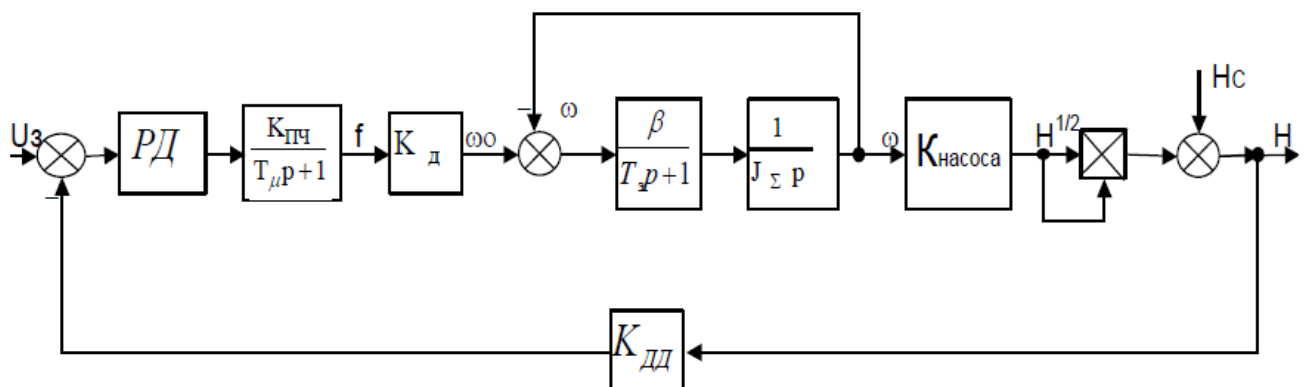


Рисунок 3.1. Схема внутрішнього пристрою електромеханічної системи управління.

На рис. 3.1 РД – регулятор тиску; КД – коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_D = \frac{2\pi}{p}, \quad (3.1)$$

КДТ - коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску:

$$K_{\Delta p} = \frac{U_c}{\dot{I}_i} \quad (3.2)$$

3.2. Визначення характеристик об'єкта управління для насосної станції.

3.2.1. Експертний огляд характеристик об'єкту управління

Узагальнено, об'єкт управління може бути представлений за допомогою наступної функціональної схеми (див. рис. 3.2).

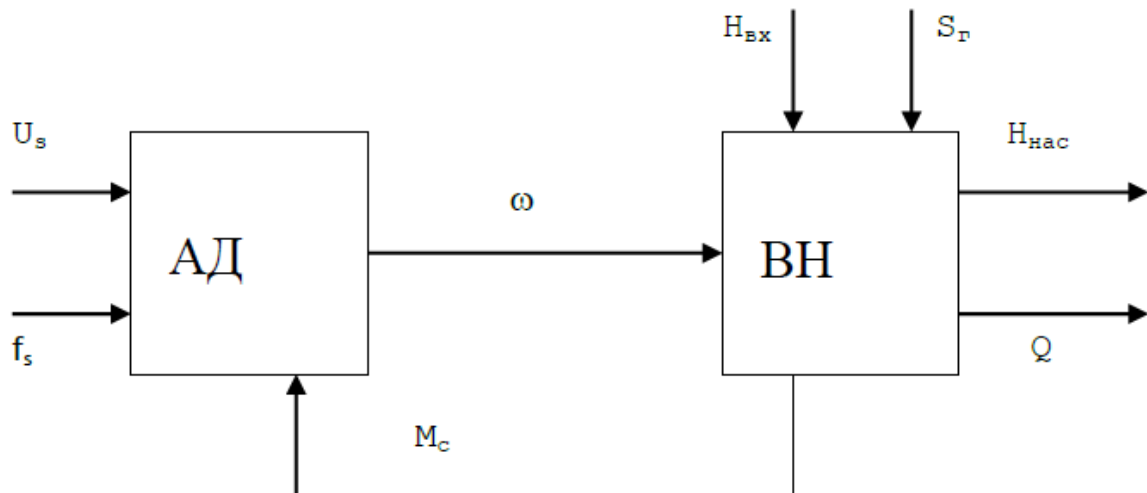


Рисунок 3.2. Об'єкт управління: АД – асинхронний двигун; ВН – відцентровий насос; U_s – напруга статора, В; f_s – частота напруги статора, Гц; ω – кутова швидкість обертання ротора і робочого колеса насоса, рад/с; M_c – статичний момент навантаження на валу двигуна, Нм; $H_{нас}$ – тиск на виході насоса, м; $H_{вх}$ – тиск на вході насоса, м; Q – продуктивність насоса, м³/с; S_r – гідравлічний опір магістралі.

Як відомо, навантаження, яке виникає від вентиляторів, відцентрових і осьових насосів, а також подібних механізмів, часто отримує назву вентиляторного навантаження. Статичний момент, що генерується в таких механізмах, є функцією швидкості обертання робочого колеса в другому ступені. Для отримання залежності моменту опору на валу двигуна від його швидкості обертання, необхідно мати математичні вирази, які описують характеристики як самого насоса, так і характеристики трубопроводу, в якому він працює.

Основними параметрами насоса є його напір та подача. Подачу Q визначаємо як об'єм рідини, який насос постачає в одиницю часу. Напір H обчислюється як

різниця енергії, яка міститься в 1 кг рідини (питома енергія) між входом і виходом насоса.

Диференціальне рівняння, що описує роботу насоса [14], може бути представлене наступним чином: вентиляторне навантаження, властиве вентиляторам, відцентровим і осьовим насосам та подібним механізмам, може бути описане як статичний момент, що залежить від швидкості обертання робочого колеса в другому ступені. Для виведення виразу, який визначає момент опору на валу двигуна в залежності від його обертової швидкості, необхідно мати математичні моделі, які описують характеристики самого насоса та характеристики трубопроводу, через який проходить рідина.

На перший план виходять такі основні параметри насоса, як напір і подача. Подачу Q визначаємо як об'єм рідини, який насос постачає за одиницю часу. Напір H розраховується як різниця енергії, що міститься в 1 кг рідини (питома енергія) між входом та виходом насоса.

Диференціальне рівняння, що описує роботу насоса [14], може бути представлене у такому форматі:

$$\frac{m}{\rho g} \dot{Q} + s^2(a + a_{\phi})Q^2 = s^2 \frac{H_{0H}}{\omega_H^2} \omega^2 + s^2 H_{ст}, \quad (3.3)$$

де m - маса води в насосі і трубопроводах;

g - прискорення вільного падіння;

ρ - щільність рідини.

Згідно з цим рівнянням можна скласти наступну структурну схему насосної установки (рис 3.3).

Отже, лінеаризація схеми насосної установки є корисним інструментом для спрощення аналізу та керування системою, але варто бути обережними при її використанні та ретельно перевіряти її точність та обмеження.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.4)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}.$$

Прийmemo $Q_2 = Q_H$, $H_2 = H_H$, $\omega_2 = \omega_H$; $Q_1 = Q^*$, $H_1 = H^*$, $\omega_1 = \omega^*$;

де Q_H , H_H , ω_H – номінальні значення параметрів насосної установки;

Q^* , H^* , ω^* – поточні значення параметрів насосної установки.

Тоді рівняння (3.4) прийме вид (3.5) :

$$\frac{Q^*}{Q_H} = \frac{\omega^*}{\omega_H} \quad (3.5)$$

$$\frac{H^*}{H_H} = \frac{\omega^{*2}}{\omega_H^2}$$

Виразимо значення тиску і подачу насоса через швидкість на валу двигуна (3.6) і (3.7) :

$$Q^* = \frac{Q_H}{\omega_H} \omega^* = k_1 \omega^*, \quad (3.6)$$

$$H^* = \frac{H_H}{\omega_H^2} \omega^{*2} = k_2 \omega^{*2}, \quad (3.7)$$

де k_1 , k_2 – постійні величини.

Якщо не враховувати інерційність перетворювача частоти та електромагнітних ланцюгів двигуна, припускаючи, що вони на порядок нижче за постійну часу технологічного об'єкту, і виразити взаємозв'язок між технологічним об'єктом та електроприводом через константу M_s , яка вважається, що жорсткість механічної характеристики двигуна є досить високою, то можна лінеаризувати структурну схему керування H біля номінальної точки і спростити її.

Для цього візьмемо корінь з рівняння (3.7) і зробимо наступні припущення: інерційність перетворювача частоти і електромагнітних ланцюгів досить низька порівняно з постійною часу технологічного об'єкту, і зв'язок між ними може бути виражений через константу M_s . Також, припускається, що жорсткість механічної характеристики двигуна висока.

Лінеаризація навколо номінальної точки дозволить спростити аналіз та керування системою, зокрема, можливо отримати лінійну модель системи близько до цієї точки, що спростує розробку та аналіз керуючих алгоритмів.

Проте важливо зауважити, що лінеаризація - це наближена модель, і її точність залежить від обраної номінальної точки і обмежень у вищезазначених припущеннях. Також, лінеаризація не враховує нелінійності та динамічні ефекти, які можуть бути важливими в певних ситуаціях.

$$\sqrt{H_*} = k_{\text{насоса}} \omega_* \quad (3.8)$$

де $k_{\text{насоса}}$ – постійний коефіцієнт.

Оскільки насос є складною нелінійною системою, ми плануємо працювати в малих відхиленнях, тому лінеаризуємо коефіцієнт передачі насоса. При синтезі системи в малих відхиленнях допустимо нехтувати малою сталою часу, що дозволяє вважати насос безінерційною ланкою. Отже, модель насоса матиме спрощений вигляд, який показаний на рисунку 3.4.

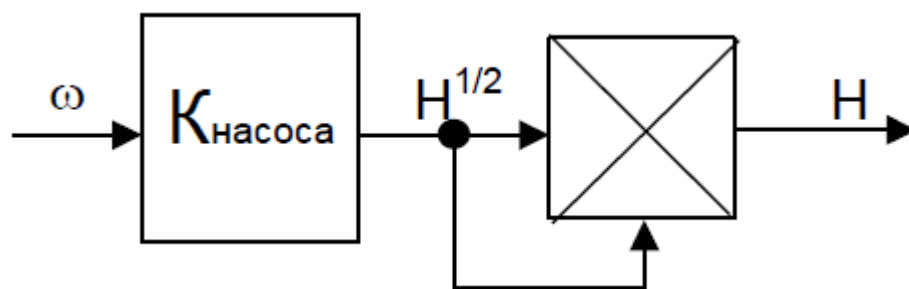


Рисунок 3.4. Модель управління для насоса.

Отже, структурна схема системи автоматичного керування для насосної установки буде виглядати, як показано на рисунку 3.5.

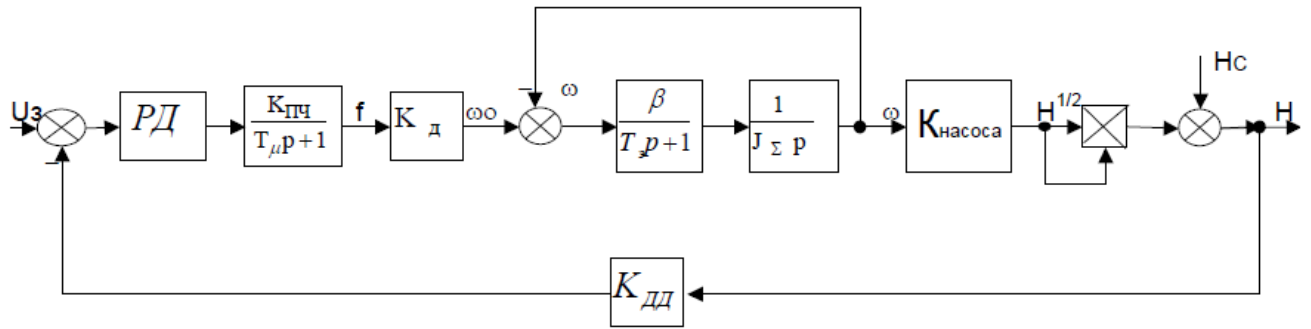


Рис. 3.5. Структурна схема системи автоматичного керування для насосної установки.

На рис. 3.5 РТ – регулятор тиску; КД - коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_{\text{д}} = \frac{2\pi}{p}, \quad (3.10)$$

КДД – коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску:

$$K_{\text{дд}} = \frac{U_3}{H_H}. \quad (3.11)$$

Вплив сталої часу насоса на параметри перехідних процесів в системі буде ретельно вивчений та врахований під час моделювання системи автоматичного керування для насосної установки. Стала часу є однією зважливих характеристик насоса, яка визначає його динамічні властивості та впливає на реакцію системи під час зміни вхідних сигналів.

У процесі моделювання буде проведено детальний аналіз, спрямований на вивчення впливу сталої часу насоса на різноманітні параметри перехідних процесів, такі як час на встановлення, перевищення, коливання та інші характеристики. Врахування цієї сталої дозволить нам краще розуміти та прогнозувати реакцію системи на зовнішні зміни та динаміку процесів у насосній установці.

Під час моделювання також буде вивчено можливі способи оптимізації та підвищення продуктивності системи керування з урахуванням сталої часу насоса.

Особлива увага буде приділена вибору оптимальних параметрів регуляторів та налаштуванню системи з метою досягнення бажаних динамічних характеристик та високої надійності роботи насосної установки.

Таким чином, вивчення та врахування впливу сталої часу насоса в системі автоматичного керування є важливою складовою роботи над оптимізацією та покращенням функціонування насосної установки, що сприятиме підвищенню її продуктивності та надійності.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення.

Охорона праці розглядає питання безпеки на підприємствах насосних станцій на основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблені заходи, спрямовані на створення здорових і безпечних умов праці на проектованому об'єкті.

Насосна станція (НС) є найбільш ефективним, універсальним і широко поширеним способом транспорту рідини як на вітчизняних, так і зарубіжних підприємствах різних галузей промисловості. Насосна станція характеризується як складний електрогідравлічний технічний комплекс споруд та обладнання, в якому здійснюються процеси перетворення електричної енергії в механічну енергію потоку рідини та відповідно управління параметрами рідини, що транспортується.

4.2. Аварійні ситуації які можуть трапитись на насосній станції.

На будь-яких підприємствах трапляються аварійні ситуації, від яких ніхто не застрахований. І тому робітники повинні знати, як треба себе поводити в таких ситуаціях. Особливо на насосній станції трапляються такі аварійні випадки:

- прорив труби;
- коротке замкнення насосу;
- проривання клапану;
- засмічення труби;
- затоплення керуючої апаратури в наслідок протікання труби;
- не дотримання температурного режиму в наслідок якого виникає конденсат.

4.3. Виробничий шум та вібрації на насосній станції.

Джерелами вібрації є устаткування і машини, які спеціально створюють вібрацію для технологічних процесів (вібростенди, вібросита, вібротрамбівки, вібродробарки та інші), а також устаткування і машини, в яких вібрація є небажаним супутнім чинником (вентилятори, компресори, насоси, верстати,

автомобілі тощо). Причиною шуму та вібрації на насосній станції є насоси. Згідно ДСН 3.3.6.037-99, допустиме значення рівня звуку не повинно виходити за межі 80 дБА. Фактичне значення шуму за результатами вимірювання в тепловому пункті складає 70 дБА, що відповідає нормам. Заходи, які передбачені для забезпечення необхідних умов та захисту працівників від шкідливих акустичних факторів:

- для кожного працівника виділено навушники і беруші;
- відстань від стіни до обладнання відповідає нормам;
- присутні перегородки і кожухи, які запобігають поширенню шуму

Також рівень шуму і вібрації контролюється за допомогою приладу ИШВ-003.

4.4. Вимоги охорони праці до початку роботи на насосній станції.

1. Працівник зобов'язаний отримати завдання від безпосереднього керівника на виконання певного виду робіт або певних видів робіт, ознайомитися зі змістом завдання по журналу щоденного обліку видачі завдань служби, підпис і пройти цільовий інструктаж, щодо заходів безпеки, що передбачає вказівки на конкретні особливості даної роботи. Перед початком роботи працівники зобов'язані надіти спецодяг, спец. взуття та каску. Спецодяг повинен бути справним, чистим і відповідати вимогам виконуваної роботи.

2. Перед початком виконання робота повинна бути оформлена нарядом, розпорядженням або переліком робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації.

3. Після отримання завдання на виконання робіт з обслуговування мереж і споруд водопостачання у керівника працівники зобов'язані: - Перевірити місце виконання робіт, звільнити його при необхідності від сторонніх предметів, встановити тимчасове огороження. - Перевірити надійність відключення устаткування, що ремонтується, стан запірної арматури, наявність заборонних плакатів, наявність засобів пожежогасіння та засобів індивідуального захисту.

4.5. Вимоги охорони праці під час роботи на насосній станції.

1. Обхід і огляд трас мереж водопостачання та каналізації здійснюється однією людиною. Під час огляду не допускається відкривати кришки люків колодязів.

2. Огляд трас мереж з поверхні землі шляхом відкривання люків виконується бригадою (ланкою), що складається з двох працівників. Бригада повинна бути оснащена гачком для відкривання люків, переносними знаками огороження та іншими необхідними інструментами. Спуск в колодязі при огляді трас забороняється. Під час огляду не допускається виконувати будь-які ремонтні та відновлювальні роботи. Користуватися відкритим вогнем і курити у відкритих колодязів і камер забороняється.

3. При виробництві земляних робіт на мережах і спорудах водопостачання і каналізації керуватися "Інструкцією з охорони праці при виробництві земляних робіт".

4. Роботи, пов'язані зі спуском працівників у колодязі, камери, резервуари, насосні станції без примусової вентиляції, порожні напірні водоводи і каналізаційні колектори відносяться до розряду небезпечних, до яких пред'являються додаткові (підвищені) вимоги безпеки праці та повинні проводитися за нарядом-допуском на виконання робіт підвищеної небезпеки.

4.6. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях на насосній станції.

1. При виникненні на робочому місці небезпечних умов праці, ремонтний персонал повинен негайно припинити роботу, відійти на безпечну відстань, про те, що трапилося доповісти керівнику робіт. До усунення небезпечних факторів до роботи не приступати.

2. При виникненні пожежі, оповістити оточуючих будь-якими доступними засобами, вжити заходів щодо виклику пожежного підрозділу і приступити до ліквідації вогнища загоряння підручними засобами пожежогасіння.

3. При неполадках, що спричинили травмування робітника, необхідно перш за все звільнити потерпілого від травмуючого фактора, надати йому першу допомогу і вжити заходів для виклику медпрацівника або відправці його до лікувального

закладу.

4. При звільненні потерпілого від дії електричного струму необхідно стежити за тим щоб самому не опинитися в контактi з струмоведучими частинами. Про те, що сталося доповісти своєму керівникові, по можливості зберегти обстановку події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю людей.

4.7. Вимоги охорони праці після виконання роботи на насосній станції.

1. Після закінчення робіт працівники зобов'язані:

а) очистити робоче місце від відходів використовуваних матеріалів і сміття, що утворилися при виконанні роботи;

б) у разі необхідності люки колодязів (камер, резервуарів і т.п.), прибрати загороди;

в) зібрати ручний інструмент, пристосування, оснащення, невикористані матеріалу і засоби індивідуального захисту, що застосовувалися в процесі роботи, і помістити їх у відведене для зберігання місце;

г) виконати вимоги особистої гігієни;

д) повідомити керівника робіт про всі неполадки, що мали місце під час роботи.

4.8. Пропозиції щодо покращення умов охорони праці на насосній станції.

В цілому в підприємстві приділяється належна увага організації охорони праці, однак для підвищення безпеки працівників та умов праці пропонуємо[15]:

- інженерній службі підприємства покращити контроль за технічним станом експлуатованих насосних установок;

- зобов'язати керівників виробничих підрозділів посилити контроль за протипожежним станом та дообладнати пожежні щити;

- дотримуватися виконання плану проведення інструктажів з охорони праці і більше уваги приділити проведенню повторних інструктажів;

- щорічно збільшувати кількість коштів, що виділяються підприємством на потреби охорони праці;

- після проведення інструктажів на робочому місці обов'язково проводити перевірку знань по питанням охорони праці.

Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дає можливість уникнути випадків травматизму, зберегти здоров'я та життя працюючих, що є основним завданням в системі заходів охорони праці.

4.9. Висновки до розділу.

Аналіз умов праці свідчить про наявність та можливий вплив наступних шкідливих та небезпечних чинників: шуму; несприятливому мікроклімату; можливих травм при виконанні роботи.

З метою вдосконалення питань охорони праці фахівців з сучасних підприємств були розроблені системні заходи з правової оптимізації, соціального захисту працівників, діагностики їх професійної придатності, необхідності норм праці при роботі з новою технікою в залежності від віку, статі, режимів праці та відпочинку.

А також були розглянуті пропозиції, щодо покращення умов охорони праці. Збільшення коштів, що виділяються на підприємство для дотримання потреб охорони праці. Основною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, повна або зменшена нейтралізація дії небезпечних виробничих і шкідливих факторів на організм людини, зниження професійних захворювань та виробничого травматизму.

Варто прийняти до уваги, що охорона праці є найголовнішим питанням в галузі трудового права України. Як система правових норм охорона праці формує інститут Особливої частини трудового права України. Основні норми цього інституту зосереджені в таких нормативних актах, як Кодекс законів про працю України, Закон України «Про охорону праці», Основи законодавства України про охорону здоров'я, спеціальні положення, правила, стандарти, інструкції щодо охорони праці тощо.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Перед впровадженням насосних установок з регульованим електроприводом для забезпечення водопостачання фермерських господарств, важливим завданням є оцінка їх економічної ефективності та технічної доцільності. Системи водопостачання є складними об'єктами автоматизації, складаючись з трубопровідних мереж та насосних установок. Гідравлічне та електротехнічне обладнання насосних станцій зазвичай підбирається на основі максимальних технічних параметрів системи водопостачання, таких як подача та напір. Однак під час експлуатації насосні установки можуть відхилятися від проектних параметрів щодо подачі та напору протягом кількох років. Це призводить до того, що існуючі насосні установки працюють в режимах, відмінних від розрахункових. Додатково, виникають добові, тижневі та сезонні зміни витрат та напорів, що призводить до робочих режимів насосів поза їх розрахунковими характеристиками, такими як напор та витрата.

У традиційних методах регулювання подачі насосних установок, які включають дроселювання напірних трубопроводів та зміну числа працюючих агрегатів відповідно до технологічних параметрів, спрямовані на вирішення технологічних завдань та мало уваги приділяють енергетичним аспектам транспортування води. При такому регулюванні до 30% спожитої електроенергії може витрачатися нераціонально через втрати енергії в дроселюючому органі, надмірний напір в трубопровідній мережі та витоки води в мережі та у споживача. Однак введення регульованого електроприводу для насосних установок може вирішити ці проблеми. Для досягнення економії необхідно:

- впевнитися у можливості їх застосування на об'єкті з урахуванням технологічних, гідравлічних та режимних характеристик;
- розробити оптимальні технічні рішення з урахуванням додаткових капітальних витрат на їх впровадження;

- впровадити ефективний алгоритм керування насосною установкою, що сприяє потенційній економії електроенергії.

Для аналізу енергетичних режимів роботи насосної установки з регульованим електроприводом необхідно ідентифікувати об'єкт управління через систему рівнянь, що описують всі його елементи та параметри стану. Представлення насосної установки як об'єкта управління може бути спрощене до двох взаємопов'язаних елементів - насосного електроприводу та еквівалентної водопостачальної мережі. Це дозволяє розглянути різні параметри режимів роботи та допустимі області функціонування насосного обладнання під час експлуатації. У наступних розділах роботи надані математичні моделі та алгоритми для вирішення цих завдань, що дає можливість визначити параметри режимів та допустимі області роботи насосного обладнання під керуванням асинхронних електроприводів.

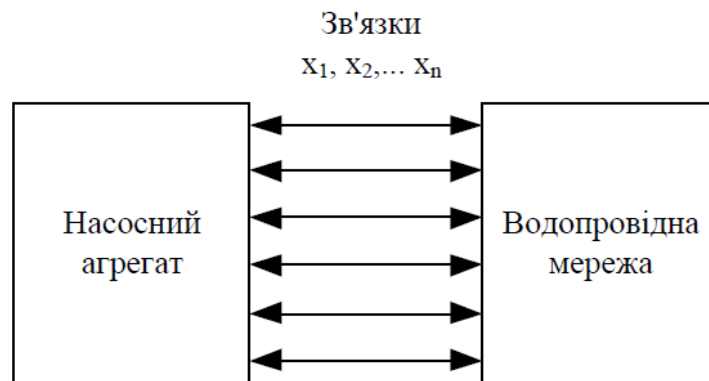


Рисунок 5.1. Структура насосної установки як об'єкта управління.

Потужність, яка споживається насосом, визначається за формулою:

$$P = \frac{QHg\rho}{\eta}, \quad (5.1)$$

де P – потужність, кВт;

Q – подача (витрата), м³/с;

H – напір, м;

ρ – щільність рідкого середовища, кг/ м³;

η – ККД насоса.

На рисунку 5.2 наведено порівняльні результати функціонування насоса при використанні векторного управління асинхронним електроприводом і регулювання витрати води у магістралі через застосування дросельної заслінки. Крива 1 представляє характеристику насоса, крива 2 - характеристику магістралі. На графіку відображені відносні одиниці для напору та витрати насоса. У номінальному режимі роботи насос розташований в точці А, де відповідають номінальні значення напору та витрати для даного насосного агрегату. Проте, при зменшенні витрат води при використанні нерегульованого електроприводу та дросельної заслінки, виникають зміни в опорі магістралі. У такому випадку насос може почати працювати в інших точках, наприклад, в точці В, що призводить до збільшення напору [13].

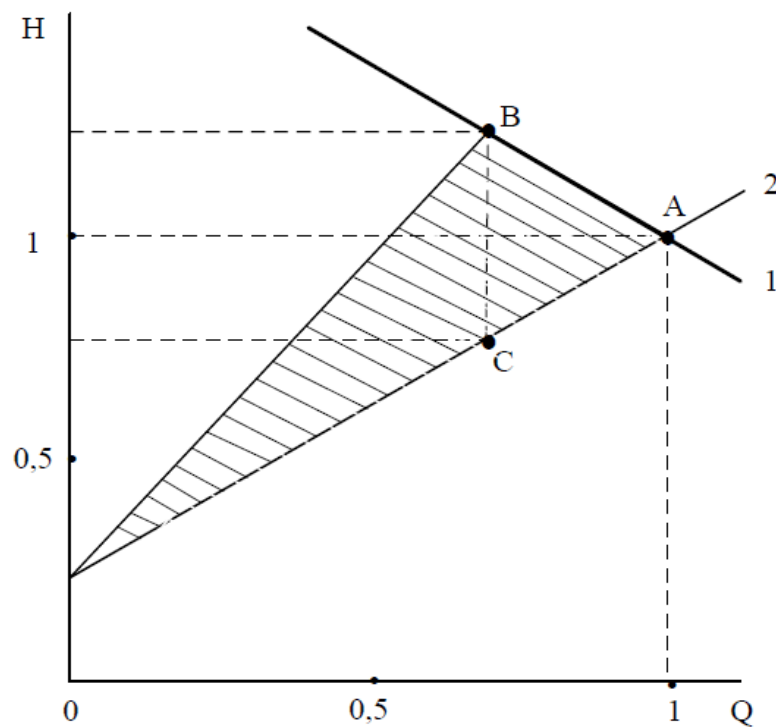


Рисунок 5.2. Характеристики насосного агрегату (позначені як 1) і магістралі (позначені як 2) представлені на графіку.

Використання регульованого електропривода при зниженні витрат магістралі призводить до того, що насос працює в точці С. З рисунку 5.2 видно, що

потужність, яка споживається в цьому випадку, набагато менша, ніж при дроселюванні магістралі, і ця економія позначена заштрихованою площею.

Система водозабору включає свердловину, обладнану занурювальним насосом типу ЕЦВ із 2,2 кВт асинхронним електродвигуном. Ця система призначена для неперервної подачі води до споживчого водопроводу. Перед впровадженням автоматизаційної системи управління, включення насосів проводилося вручну. Це призводило до різних витрат води протягом доби, що спричиняло різкі коливання тиску в водопроводі, а, в свою чергу, приводило до перебоїв водопостачання та частих ремонтів водопроводу.

Система управління водозабором, зображена на рисунку 5.3, має на меті: підтримувати сталу тиск у трубопроводі, надавати сигнали про режими роботи та попереджати про можливі аварії.

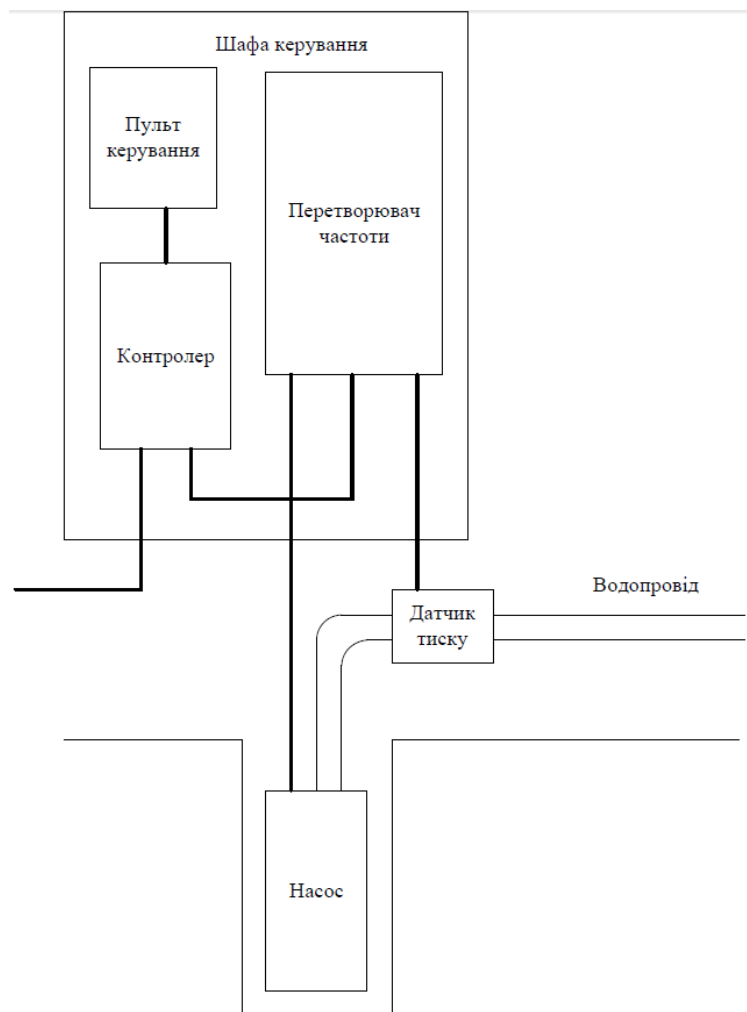


Рисунок 5.3. Схема функціонування насосної станції описує послідовність процесів та взаємодію обладнання, яке задіяно в її роботі.

Система автоматизації складається із таких компонентів: контролера, частотного перетворювача, силової шафи керування, пульта керування та датчика тиску води. Розроблена система автоматизації використовує мікропроцесорний контролер, силову шафу керування з пультом управління, частотний перетворювач в режимі ПД-регулювання та датчик тиску води в зворотному зв'язку. Ця система регулювання забезпечує неперервний постачання води споживачам, підтримує сталість тиску у водопровідній мережі, попереджає гідроудари, і при цьому важливо, забезпечує значну економію електроенергії.

Техніко-економічна оцінка розробленої технології була проведена шляхом порівняння економічних показників ефективності двох варіантів проектних рішень. Цей аналіз передбачав зіставлення техніко-економічних та виробничо-технологічних параметрів для двох технічних рішень. Обидва технічних рішень повинні були мати аналогічні характеристики, які включають у себе можливості енергозбереження, період окупності інвестицій, витрати на обслуговування, рівень шуму, надійність системи, і поліпшення умов праці [12].

Техніко-економічна оцінка технології була проведена за допомогою порівняння двох можливих варіантів проектних рішень. Під час цього аналізу враховувалися такі аспекти:

Потенційна можливість та доцільність застосування регульованого електроприводу на конкретному об'єкті, з урахуванням технологічних, гідравлічних та режимних параметрів.

Розробка оптимальних технічних рішень з врахуванням додаткових капітальних витрат на впровадження технології.

Розробка алгоритму керування, який би забезпечував потенційні можливості зменшення споживаної електроенергії. Отже, техніко-економічний аналіз дав можливість оцінити доцільність та переваги запропонованого методу та визначити його вплив на витрати та роботу системи водопостачання. Розрахунок виконаємо для добової витрати води за графіком, наведеним на рис. 5.4. У години максимального водоспоживання напір H , м, на вході $H_{вх}$ і виході $H_{вих}$ насоса має

бути максимальним, що відповідає номінальному напору, оскільки вибір обладнання здійснюється за максимальним напором.

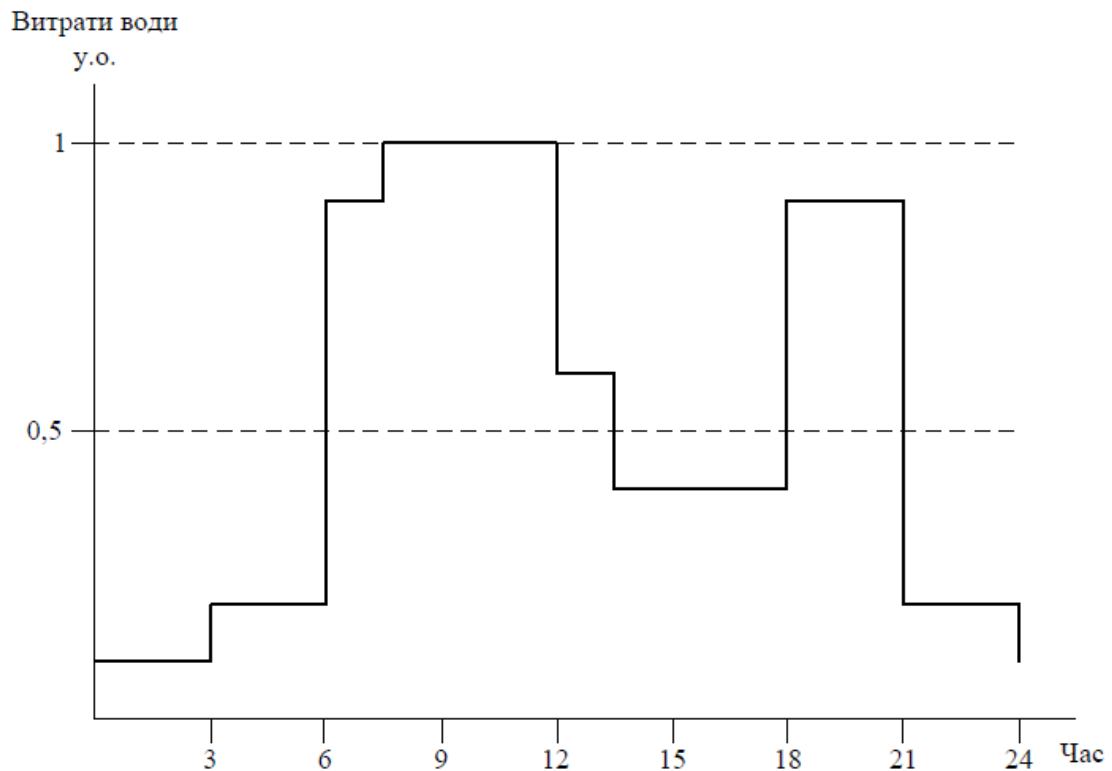


Рисунок 5.4. Графік вживання води протягом доби сільськогосподарським підприємством.

Розглядаються дві передові станції керування електроприводами насосів: КАСКАД-ПП та КАСКАД-ПЧ.

Таблиця 5.1 – Особливості та технічні параметри станцій керування електроприводами насосів.

Електропривод		Складові частини	ККД	
1	КАСКАД-ПП	Електродвигун	0,85	η_d
		Пристрій плавного пуску	0,98	$\eta_{пп}$
2	КАСКАД-ПЧ	Електродвигун	0,85	η_d
		Перетворювач частоти	0,98	$\eta_{пч}$

Вихідні дані:

1. Вартість обладнання:

Станція керування «КАСКАД-ПП» – 12600 грн.

Станція керування «КАСКАД-ПЧ» – 28200 грн.

2. Річне завантаження обладнання: (t_p) = 5475 год.

3. Коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю:

1-й варіант $K_{31} = 0,85$;

2-й варіант $K_{32} = 0,45$ (при застосуванні регульованого електропривода в системі водопостачання, якщо зменшується продуктивність насоса на 40 %, то знижується споживання електроенергії електроприводом до 45%).

4. Потужність електродвигуна: $(P_n) = 2,2$ кВт.

5. Річна норма відрахування на амортизацію $(a) = 14,2\%$ від $K_{вл}$;

на ТО і ПР $(z) = 5,6\%$ від $K_{вл}$.

6. Тариф на електроенергію $(T_{ee}) = 5$ грн. за кВт·год.

В двох варіантах чисельність персоналу та фонд заробітної плати однакові, тому ними можна знехтувати.

Порядок розрахунку:

1. Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_1 = \eta_d \cdot \eta_{пп} = 0,85 \cdot 0,98 = 0,833. \quad (5.2)$$

$$\eta_2 = \eta_d \cdot \eta_{пч} = 0,85 \cdot 0,98 = 0,833. \quad (5.3)$$

2. Річний об'єм споживання електроенергії. Як видно з графіку (на рисунку 5.4) 70% часу споживання води складає $0,3 \div 0,6 Q_{ном}$ і, відповідно, у другому варіанті потужність, яка споживається з мережі в цей час зменшується до $35 \div 45\%$ від номінальної:

$$Q_{E1} = \frac{P_n}{\eta_1} \cdot K_{31} \cdot t_r = \frac{2,2}{0,833} \cdot 0,85 \cdot 5475 = 12290 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5.4)$$

$$Q_{E2} = \frac{P_n}{\eta_2} \cdot K_{32} \cdot t_r = \frac{2,2}{0,833} \cdot (0,85 \cdot 1660 + 0,35 \cdot 3815) = 7551 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5.5)$$

3. Капітальні вкладення:

$$K_{B1} = C_p + D + HM = 12600 + 1890 + 3150 = 17640 \text{ грн}. \quad (5.6)$$

$$K_{B2} = C_p + D + HM = 28200 + 4230 + 7050 = 39480 \text{ грн}. \quad (5.7)$$

де D – затрати на доставку = 15% ;

HM – затрати на монтаж = 25% ;

4. Річні експлуатаційні затрати:

$$И_3 = A_O + P_{TO} + C_E + \Pi_{\Pi}, \quad (5.8)$$

де A_O – затрати на амортизацію:

$$A_{O1} = K_{B1} \frac{\alpha}{100} = 17640 \cdot 0,142 = 2504 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

$$A_{O2} = K_{B2} \frac{\alpha}{100} = 39480 \cdot 0,142 = 5606 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Втрати на ТО та ПР:

$$P_{TO1} = K_{B1} \frac{Z}{100} = 17640 \cdot 0,056 = 987 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

$$P_{TO2} = K_{B2} \frac{Z}{100} = 39480 \cdot 0,056 = 2210 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Вартість спожитої електроенергії за рік:

$$C_{E1} = Q_{E1} \cdot T_{ee} = 12290 \cdot 5 = 61450 \text{ грн} \quad (5.13)$$

$$C_{E2} = Q_{E2} \cdot T_{ee} = 7551 \cdot 5 = 37755 \text{ грн} \quad (5.14)$$

$$\Pi_{\Pi1} = 0,01 \cdot K_{B1} = 0,01 \cdot 17640 = 176 \text{ грн.} \quad (5.15)$$

$$\Pi_{\Pi2} = 0,01 \cdot K_2 = 0,01 \cdot 39480 = 394 \text{ грн.} \quad (5.16)$$

$$I_{31} = 2504 + 987 + 61450 + 176 = 65117 \text{ грн}$$

$$I_{32} = 5606 + 2210 + 37755 + 394 = 45965 \text{ грн}$$

Економія електроенергії:

$$E_E = C_{E1} - C_{E2} = 61450 - 37755 = 23695 \text{ грн} \quad (5.17)$$

Критерій вибору:

$$ЗП_1 = K_{B1} + I_{31} = 17640 + 65117 = 82757 \text{ грн} \quad (5.18)$$

$$ЗП_2 = K_{B2} + I_{32} = 39480 + 45965 = 85445 \text{ грн} \quad (5.19)$$

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники по варіантах

Показники	Варіанти		Різниця
	1	2	
Вартість спожитої електроенергії, грн/рік.	61450	37755	-23695
Капітальні вкладення, грн.	17640	39480	+21840
Експлуатаційні затрати, грн.	65117	45965	-19152
Приведені затрати, грн.	82757	85445	+2698

Згідно з результатами проведених розрахунків, видно, що другий варіант вимагає більших капітальних вкладень та приведених затрат, які перевищують перший варіант на 21840 грн і 2698 грн відповідно. Однак, варто врахувати, що вартість спожитої електроенергії протягом року та експлуатаційні витрати значно менше у другому варіанті, на 23965 грн та 19152 грн відповідно. Це свідчить про обґрунтованість та цілеспрямованість застосування станції керування "КАСКАД-ПЧ" для автоматичного управління насосним агрегатом з частотним регулюванням обертів двигуна на основі сигналу від датчика тиску.

Проведене економічне обґрунтування системи водопостачання сільського населеного пункту з використанням різних станцій керування електроприводами насосів показало, що система керування, яка використовує частотне регулювання обертів двигуна на основі сигналу від датчика тиску, є економічно доцільною. Це дозволяє зекономити витрати на електроенергію, що становлять 23695 грн щорічно для насосної установки потужністю 2,2 кВт.

Розроблена технологічна схема роботи насосної станції забезпечує неперервну постачання води споживачам, підтримує сталість тиску в трубопроводі, мінімізує витрати на ремонт водогону завдяки усуненню гідроударів та приводить до значних економічних заощаджень електроенергії.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання завдання була розроблена механічна характеристика для векторного керування асинхронним електродвигуном. За допомогою інструменту MATLAB були виконані числові моделі для аналізу перехідних процесів моменту у функції часу при пуску на холостому ході й накиданні навантаження. Використовуючи цей підхід, вдалося отримати глибоке розуміння роботи електроприводу та докладно проаналізувати його характеристики при векторному керуванні асинхронним електродвигуном.

Виконане моделювання системи керування насосною станцією в пакеті SIMULINK, який є частиною програмного забезпечення MATLAB 7.1, підтвердило правильність обраної структурної схеми для насосної установки. Використання регулятора інтенсивності на вході системи дозволило досягти пуску насосної установки за визначений час, уникнути значних коливань моменту на валу двигуна та тиску в трубопроводі. Ця модель дозволила врахувати важливі деталі системи та підтвердити її правильну роботу.

Подвійне застосування каскадно-частотного регулювання продуктивності в електроприводах на насосних станціях в поєднанні з автоматизацією можливо значно зменшити неефективну витрату води, різко скоротити споживання електроенергії електроприводами насосів і великою мірою продовжити термін служби привідних механізмів. Ця методика дозволяє підвищити продуктивність систем водопостачання і зменшити споживання ресурсів.

Оцінка ефективності системи водопостачання для сільського населеного пункту із використанням різних станцій керування електроприводами насосів показала, що система керування з використанням частотного регулювання обертів двигуна за сигналом від датчика тиску є економічно доцільною. Це призвело до значних знижень витрат на електроенергію, що складають 23695 грн щорічно для насосної установки потужністю 2,2 кВт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптивні електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками з векторно-керованими асинхронними двигунами / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського № 3 / М. Г. Попович, О. І. Кіселичник, С. О. Бур'ян, К. І. Бабаскін, 2008 (50). Ч. 1. С. 72-78.

2. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 388 с.

3. Герман-Галкін С. Г. Matlab & Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК / Герман-Галкін С. Г. – СПб.: Видавництво “Корона. Век”, 2011. – 368 с.

4. Давиденко Л. В. Багатокритерійна оптимізація режиму електроспоживання підприємств комунального водопостачання.// Підвищення енергоефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах. – Матеріали II-ї міжнар. наук.-технічн. конф. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2008. – 212 с.

5. Експериментальні дослідження роботи інтерактивного енергозберігаючого контролера на гібридній моделі насосної установки / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 3. / М. Г. Попович, О. І. Кіселичник, С. О. Бур'ян, О. Ф. Соколовський / 2007 (44). – Ч. 1. С. 72-75.

6. Енергозберігаючі інтерактивні електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками / Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск: проблеми автоматизованого електропривода. Випуск 66 / М. Г. Попович, М. В. Печеник, О. І. Кіселичник, О. Ф. Соколовський. – Київ: «Техніка», 2006. – С. 311-314.

7. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [підручник за ред. Жулая Е. Л.]. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

10. Електропривод і автоматизація: Навчальний посібник / О.Ю.Синявський, П.І Савченко, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.Ю.Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.

8. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.

9. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 140 с.

10. Матвійчук В.А. Технології наукових досліджень. Навч. посібник / Матвійчук В.А., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. - Вінниця: ВНАУ, Л 49 2015. 190 с.

11. Петергеря Ю. С. Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків / Петергеря Ю. С., Жуйков В. Я., Терещенко Т. О. – К.: Медія – ПРЕС, 2008. – 256 с.

12. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.

13. Частотно-струмовий перетворювач з релейним управлінням / Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність» / Ю. В. Скурятин, Ю. П. Самчелев, И. С. Шевченко, Д. И. Морозов / – Київ: ІЕДНАУ, 2003. – Ч.3. – С. 5-8.

14. Червінський Л.С. Регульований електропривод/ І.М. Голодний, Лавріненко Ю.М., Червінський Л.С../Підручник.- Київ. Тов. «ЦМ КОМПРИНТ», 2015.509 с.

15. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний [та ін.] ; за ред. К. Н. Ткачука. - 2-ге вид., допов. і перероб. – К. : Основа, 2006. – 444 с.