

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

«Підвищення ефективності насосної станції для потреб сільського господарства»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІз-23
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Музика Євген Олександрович

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: "Магістр"
208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
тракторів і СГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„_____” _____ 2024 р.

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

Музика Євген Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1. Тема роботи :** Підвищення ефективності насосної станції для потреб сільського господарства

керівник роботи к.т.н., доцент Золотовська Олена Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” 11 2024 року №3769

- 2. Строк подання студентом роботи** _____

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

- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (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.

5 Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і предмет досліджень. (2 аркуш, А4).
2. Огляд і аналіз конструкцій (1 аркуші, А4). 3. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Експериментальні дослідження (3 аркушів А4)
5. Економічна частина. (1 аркуш 4А)
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Золотовська О.В., доцент		
2.	Золотовська О.В., доцент		
3.	Золотовська О.В., доцент		
4.	Золотовська О.В., доцент		
5.	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Теслюк Г.В., завідувач кафедри		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	до 28.05.24 р	
2.	Розділ 2. Аналіз роботи асинхронного електроприводу в режимі динамічної роботи.	до 30.06.24 р	
3.	Розділ 3. Аналіз роботи системи водопостачання через моделювання насосної станції	до 6.09.24 р.	
4.	Розділ 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища	до 07.11.24 р.	
5.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	до 11.11.24 р.	

Студент _____
(підпис)

Музика Є.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Золотовська О.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Музика Є.О. Підвищення ефективності насосної станції для потреб сільського господарства / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

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.

Ключові слова: насосний комплекс, енергоспоживання, регульований електропривод.

Публікація статті в збірнику тез «ІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» 15 листопада 2024 року «МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПІДГРІВУ ВОДИ В РЕГЕНЕРАТИВНОМУ ЦИКЛІ». Ч.1.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ. ЗАВДАННЯ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	8
1.1. Поточна ситуація з енергозбереженням у сільському секторі	8
1.2. Основні критерії для насосного комплексу	11
1.2.1 Класифікація і основні характеристики систем насосних агрегатів	12
1.3 Електродвигун насосних установок	17
1.4 Оцінка використання електроенергії та можливостей зменшення енергетичних витрат в аграрному секторі	19
2 АНАЛІЗ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОЇ РОБОТИ	24
3 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЮВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ	30
3.1. Створення структурної схеми управління насосною станцією	30
3.2. Визначення характеристик об'єкта управління для насосної станції.	31
3.2.1. Експертний огляд характеристик об'єкту управління	31
3.2 Моделювання технологічних режимів НУ	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	43
4.1 Загальні положення	43
4.2 Аварійні ситуації які можуть трапитись на насосній станції	43
4.3 Виробничий шум та вібрації на насосній станції	43
4.4. Вимоги з охорони праці перед початком роботи на насосній станції	44
4.5. Вимоги з охорони праці під час роботи на насосній станції	45
4.6. Вимоги з охорони праці в аварійних ситуаціях	45
4.7 Вимоги з охорони праці після виконання робіт	46
4.8 Пропозиції щодо покращення умов охорони праці	46
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	48
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Насосні станції є одним з найважливіших елементів системи водопостачання і широко використовуються в системах водопостачання. Насосна станція - це складна система будівель та обладнання, що використовується для перекачування рідини з одного місця в інше, наприклад, насосні агрегати (робочі та резервні), насоси, трубопроводи та допоміжне обладнання (наприклад, трубопровідна арматура). Вони слугують інфраструктурою для водопроводів, каналізацій, нафтових свердловин тощо. Вони також використовуються для відкачування води з низинних територій, які затоплюються або підтоплюються паводковими водами. Насосні станції споживають багато електроенергії, тому їхня несправність впливає на якість потоку. Від якості монтажу, експлуатації та ремонту насосних станцій залежить якість і надійність системи водопостачання. Електричні водяні насоси є важливим елементом систем водопостачання, зрошення, перекачування і циркуляції. Робота водяного насоса визначає продуктивність всієї системи. Якщо насос не має достатнього приводу або неправильно підібраний під конкретну функцію, вихід з ладу неминучий. В такому випадку доведеться купувати додаткове обладнання або електронасос іншої моделі. Щоб правильно підібрати електронасос для дачі, будинку або іншого підприємства, необхідно правильно підібрати електронасос для потрібної роботи.

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.

Умови експлуатації насосів характеризуються великими перевантаженнями при досить високих частотах комутації, високою вологістю і змінними температурами навколишнього середовища.

Враховуючи природні та експлуатаційні умови роботи на відкритому повітрі, електрообладнання насосних станцій повинно бути простим, зручним у використанні, безпечним в експлуатації та обслуговуванні, а також мати високий ступінь надійності.

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.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ. ЗАВДАННЯ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

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. Основні 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.

1.2.1 Класифікація і основні характеристики систем насосних агрегатів

Насоси [1-5] - це гідравлічні машини, призначені для переміщення рідин. Відцентрові лопатеві насоси є найбільш широко використовуваними насосами в промисловості.

Відцентровий насос (рис. 1.1) складається з корпусу 1 (спірального) робочого колеса з лопатями 2, вала 3, всмоктувального патрубку 4, нагнітального патрубку 5

Коли робоче колесо обертається, частинки рідини, що міститься в робочому колесі, під дією відцентрової сили виштовхуються до зовнішнього кола робочого колеса. Це призводить до падіння тиску на вході в робоче колесо.

Під впливом атмосферного тиску нова порція рідини надходить у насос через всмоктувальний трубопровід. Нова рідина потрапляє в насос. При обертанні крильчатки насоса діють відцентрові сили. Дія відцентрової сили є безперервною.

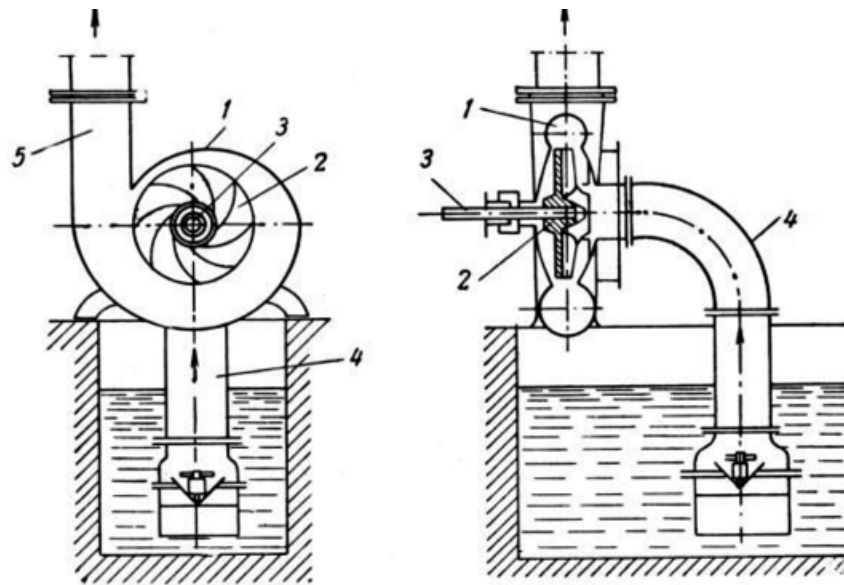


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема відцентрового насоса

Головними показниками, які визначають ефективність роботи насоса, є продуктивність (витрата) Q , число обертів n , потужність P , напір H , обертовий момент M , ККД.

Робоче колесо осьового насоса (рис. 1.2) обертається в сферичній камері. Коли лопаті робочого колеса змінюють швидкість і вдаряються об рідину, тиск над лопатями збільшується, а тиск під ними зменшується. Завдяки цій різниці тиску змушує рідину рухатися вздовж осі насоса. Існує два типи осьових насосів. Обидва типи доступні в двох виконаннях.

Виконання Г - з горизонтальним розташуванням вала і В - з вертикальним розташуванням вала.

Якщо насосна установка складається з декількох агрегатів, напірний і всмоктувальний трубопроводи кожного насоса з'єднуються між собою напірним і всмоктувальним трубопроводами.

Якщо насосний агрегат складається з декількох агрегатів, напірні та всмоктувальні лінії насосів з'єднуються між собою напірним та всмоктувальним колектором відповідно.

При побудові робочих характеристик турбомеханізму подача є незалежним змінним параметром, а коефіцієнт корисної дії - залежним. Змінним параметром є подача насоса. Інші гідравлічні параметри насоса залежать від зміни подачі.

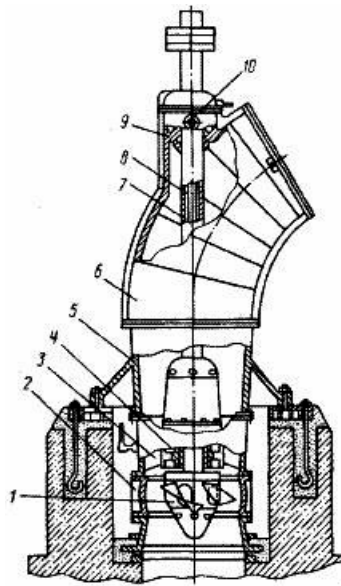


Рисунок 1.2 - Осьовий насос типу ОП

1 – робоче колесо з поворотними лопатями; 2 – сферична камера; 3 – напрямний апарат; 4 – нижня опора вала; 5 – дифузор з лапами для кріплення до фундаменту; 6 – корпус насоса; 7 – вал; 8 – шток привода механізму розвертання лопатей; 9 – верхній напрямний підшипник; 10 – механізм повороту лопатей

З рисунку 1.3; 1.4 видно, що крива ефективності насоса має яскраво виражений максимум. Визначено область найбільш раціонального використання насоса, тобто область значень Q і H . При сталому числі обертів ККД насоса залишається достатньо високим [1].

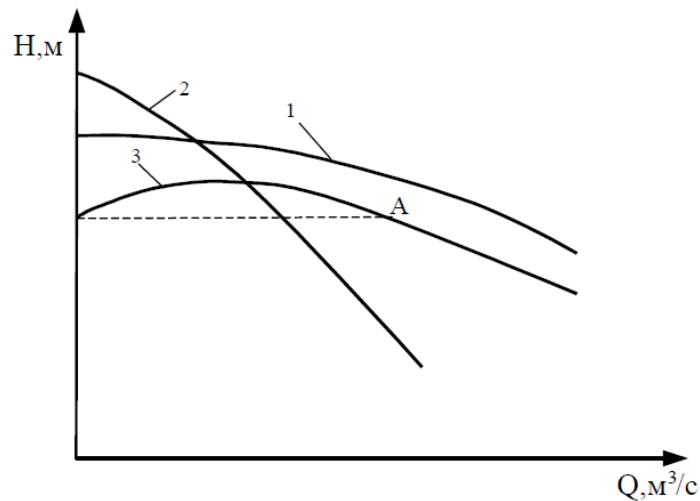


Рисунок 1.3 - Напірно-витратні характеристики насосів

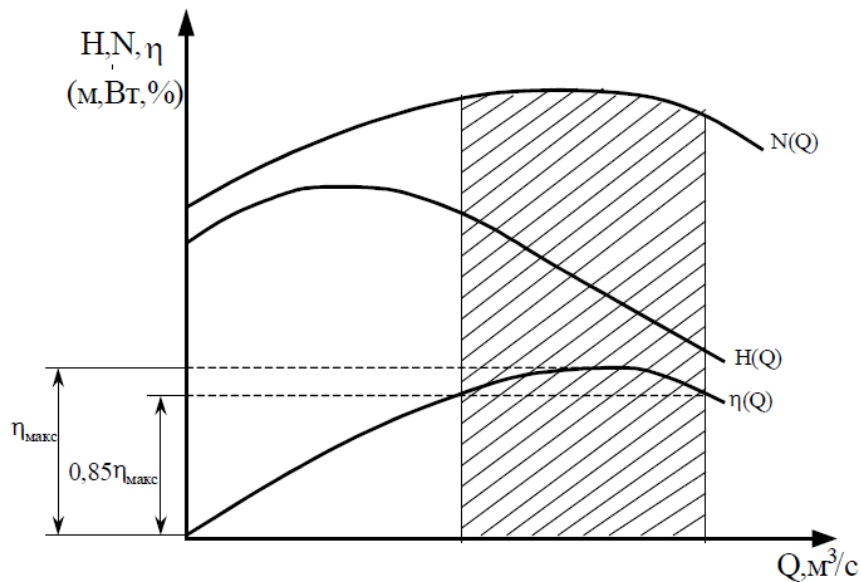


Рисунок 1.4 - Область раціонального використання відцентрового насоса при сталій швидкості обертання

Для аналізу режиму роботи насосної установки з декількома паралельно працюючими насосами використовують загальну характеристику насоса (рис. 1.5).

Сумарна $H-Q$ характеристика, паралельно працюючого насоса будується додаванням по осі X (подача) при тому ж значенні осі Y (рис.1.5б), де H_1, H_2, Q_1, Q_2, N_1 і N_2 - напір, втрата і потужність першого і другого насосів відповідно.

H_1, H_2, Q_1, Q_2, N_1 і N_2 - відповідно подача N_U

При спільній паралельній роботі насосів подача і напір збільшуються. При цьому ефект від збільшення витрати є більшим і тим більш позитивним. Послідовне вмикання насосів використовується для збільшення напору.

При послідовній роботі перший насос подає рідину в напірну трубу другого насоса, який в свою чергу подає рідину в напірну трубу другого насоса, який в свою чергу подає рідину в напірну трубу другого насоса (рис.1.5а). Кожен послідовно з'єднаний насос забезпечує однакову швидкість потоку. Таким чином, загальна характеристика насоса формується сумою координат (напорів) кожної характеристики.

Таким чином, загальна характеристика насоса утворюється сумою вертикальних осей (напор) характеристик при однаковому значенні горизонтальної осі (витрата). Тому точка Е загальної характеристики (рис. 1.6, б) утворюється додаванням значень напору H_1 першого насоса (рис. 1.6, б).

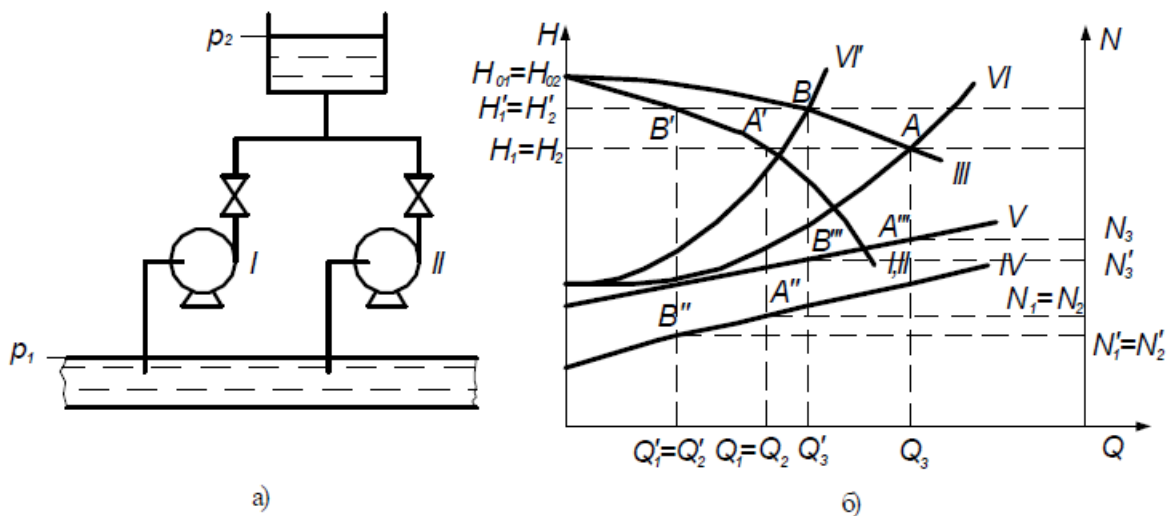


Рисунок 1.5 – Паралельне з'єднання відцентрових насосів

а) технологічна схема; б) графік спільної роботи двох однакових насосів

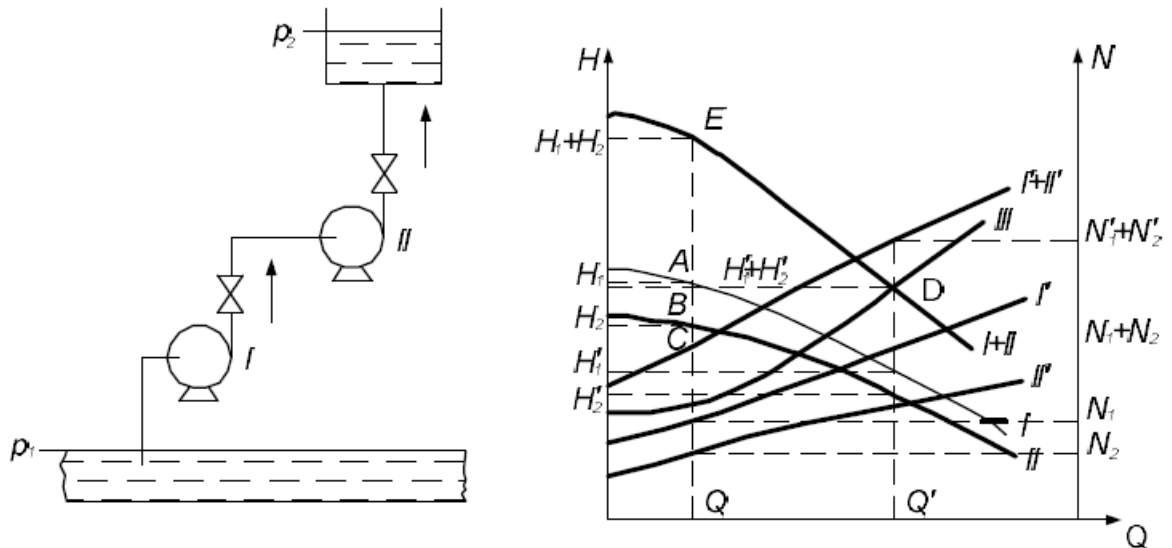


Рисунок 1.6 – Послідовне з'єднання відцентрових насосів
 а) технологічна схема; б) графік спільної роботи двох однакових насосів

1.3 Електродвигун насосних установок

Насосний агрегат (НА) - насос з комбінованим приводом і передавальним механізмом. Передавальний механізм. У багатьох випадках в якості приводних агрегатів для насосних установок використовуються. Електродвигуни (ЕД), до яких пред'являється ряд спеціальних вимог [1, 3]. Однією з них є необхідність запуску двигуна під навантаженням. Повинна бути забезпечена можливість обертання ротора в зворотному напрямку зі швидкістю, визначеною характеристиками насоса, протягом достатнього часу (не менше 5 хв).

Це може бути викликано відключенням ЕД від електромережі під час нормальної роботи або аварійного відключення.

Можливість частих перезапусків на насосних станціях (НС) пред'являє підвищені вимоги до конструкції обмоток статора і пускових обмоток ЕД.

Для насосів малої потужності (до 200-250 кВт) і насосів з частими пусками важливе значення має конструкція пускової обмотки. Для режимів частих пусків рекомендуються наступні асинхронні електродвигуни.

Асинхронні двигуни серії А: до 100 кВт - серії А2 і АТ2; 100 кВт - серії А і АК; 400 кВт - серії А і АК (з контактними кільцями).

Серія АКЗ із замкнутими та короткозамкненими роторами.

Серія AZ з короткозамкненим ротором і серія АKN з фазним ротором.

Електроприводи з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором є найбільш поширеними завдяки своїй простоті.

Вони найбільш поширені через свою простоту і низьку вартість. Цей привід найбільш найпростіший в експлуатації, не вимагає постійного контролю і може надійно працювати протягом тривалого часу. Забезпечує надійну роботу. Для автоматичного керування потрібне відносно просте обладнання.

Асинхронні електродвигуни з розщепленим ротором для приводів насосів.

Рідко використовуються для приводів насосів. Конструкція складна, а ціна на 40-50% вища. Для загальнопромислового застосування вони використовуються в різних типорозмірах і в широкому діапазоні потужностей (80-10000 кВт).

Доступний широкий діапазон потужностей (80-10000 кВт) і частот обертання (100-1500 об/хв) Напруга становить 380-10000 В. Для збудження синхронних двигунів рекомендуються наступні способи. Рекомендується використовувати статичний тиристорний збудник. Зниження експлуатаційних витрат на технічне обслуговування і ремонт, а також дозволяє керувати подачею та напором насоса, покращуючи техніко-економічні показники роботи НС.

Для покращення техніко-економічних показників НС в цілому, насоси повинні бути обладнані двошвидкісними ЕД

Привід повинен бути двошвидкісним ЕП з різницею в швидкості обертання 25-35 %. Перехід з однієї швидкості на іншу здійснюється відключенням однієї обмотки статора і включенням іншої обмотки статора. Генераторні двигуни - це особливі електричні машини, які використовуються в реверсивних насосних системах. Він призначений для обертання в протилежних один одному напрямках в режимі роботи насоса і турбіни. Конструктивні особливості таких реверсивних машин полягають в наступному. Необхідність роботи в трьох режимах: двигун, генератор і синхронний компенсатор; часті пуски; напрямок обертання насоса і турбіни протилежний.

Сюди відносяться синхронні компенсатори, часті пуски і зупинки, швидкий набір навантаження і відключення навантаження, багаторазові перемикання протягом доби тощо.

1.4 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%.

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.

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 ПІ-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.

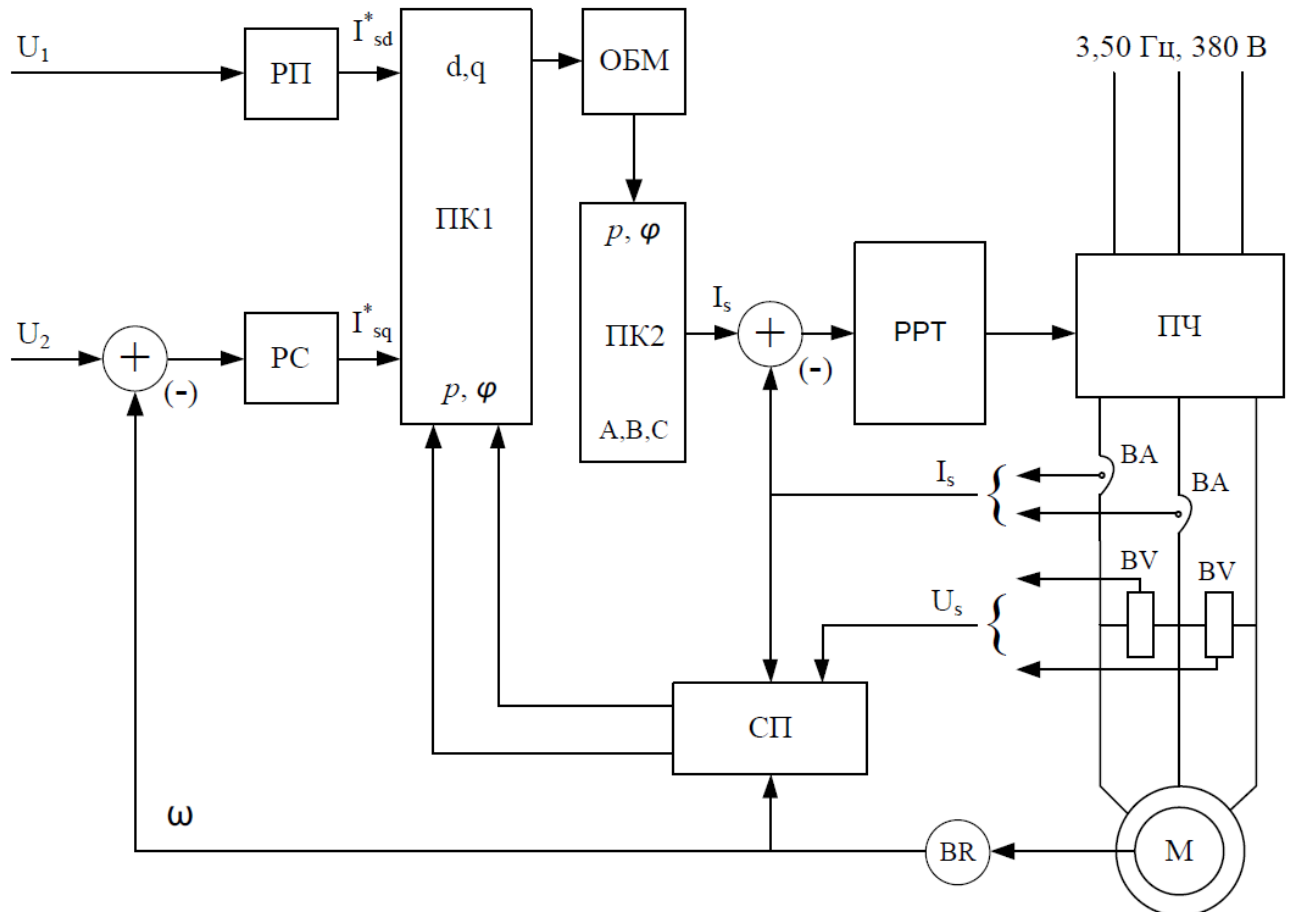


Рисунок 2.1. Блок-схема узагальненої системи автоматичного регулювання швидкості асинхронного двигуна.

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.

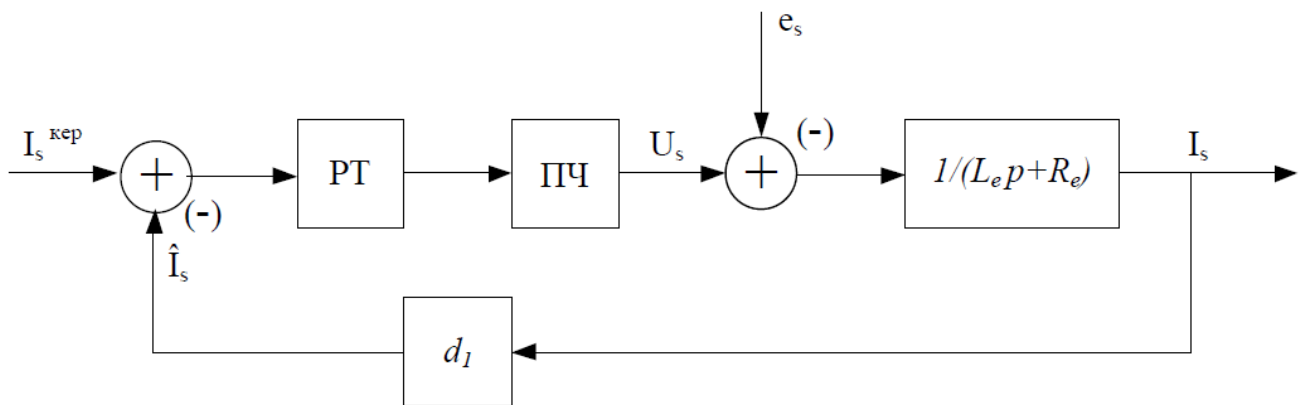


Рисунок 2.2. Схема, що відображає структуру системи керування струмами статора, представлена в декартовій системі координат.

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.

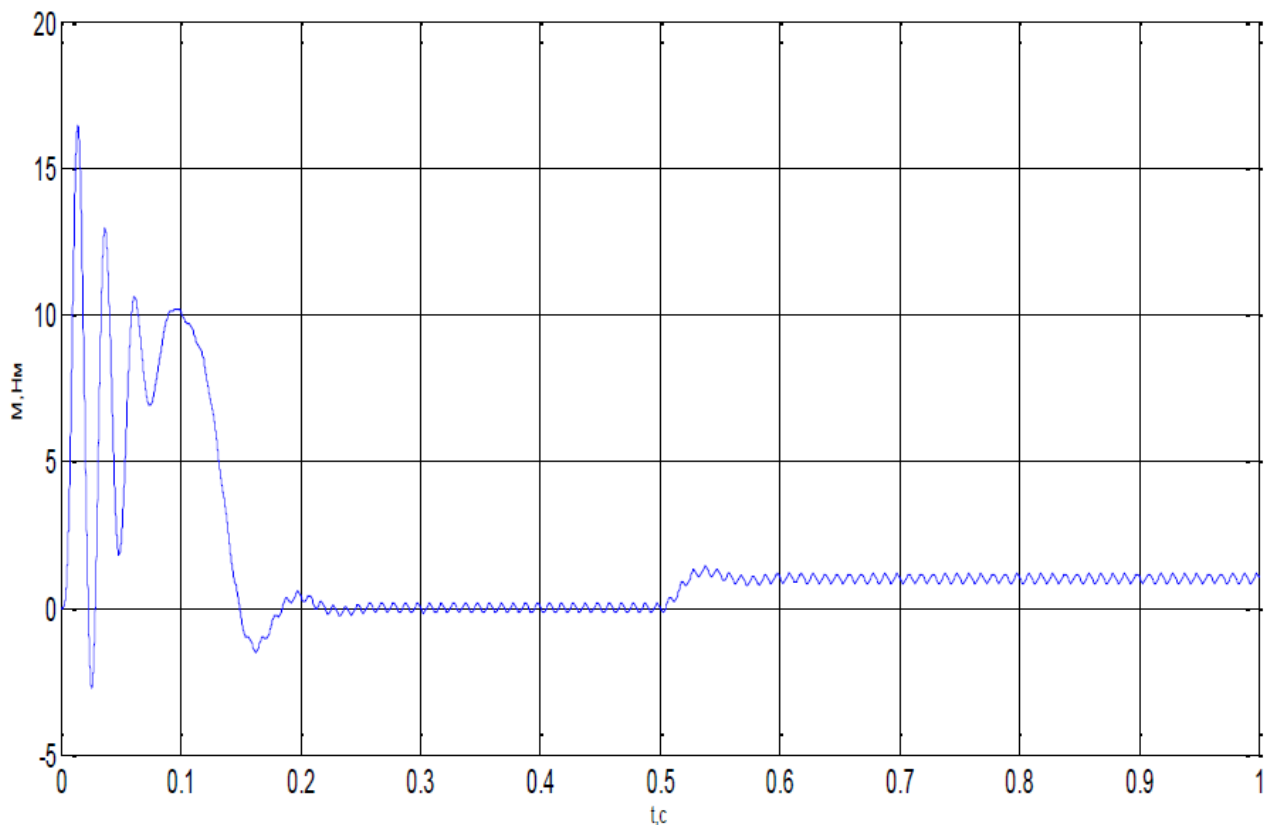


Рисунок 2.3. Динаміка моменту у часі при запуску без навантаження та при додаванні навантаження.

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.

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.

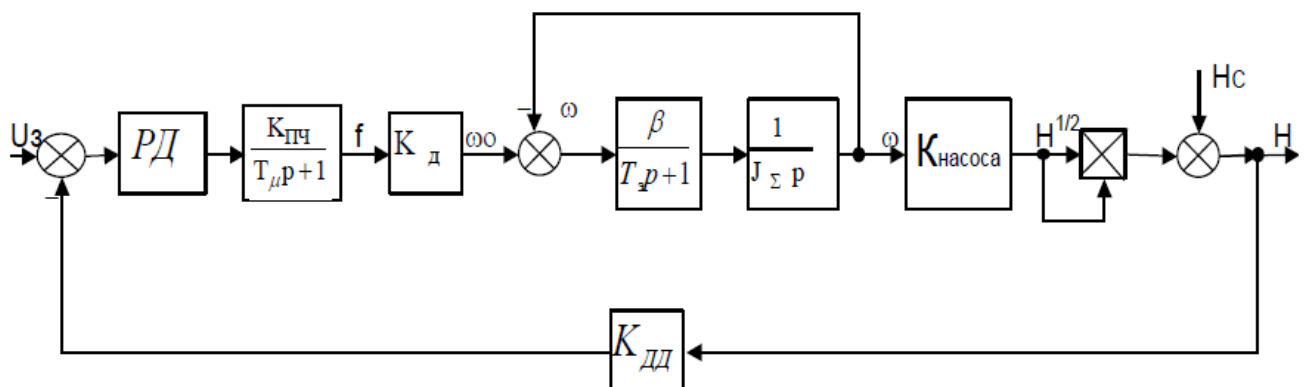


Рисунок 3.1. Схема внутрішнього пристрою електромеханічної системи управління.

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:

$$K_{\Delta p} = \frac{U_c}{I_i} \quad (3.2)$$

3.2. Визначення характеристик об'єкта управління для насосної станції

3.2.1. Експертний огляд характеристик об'єкта управління

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

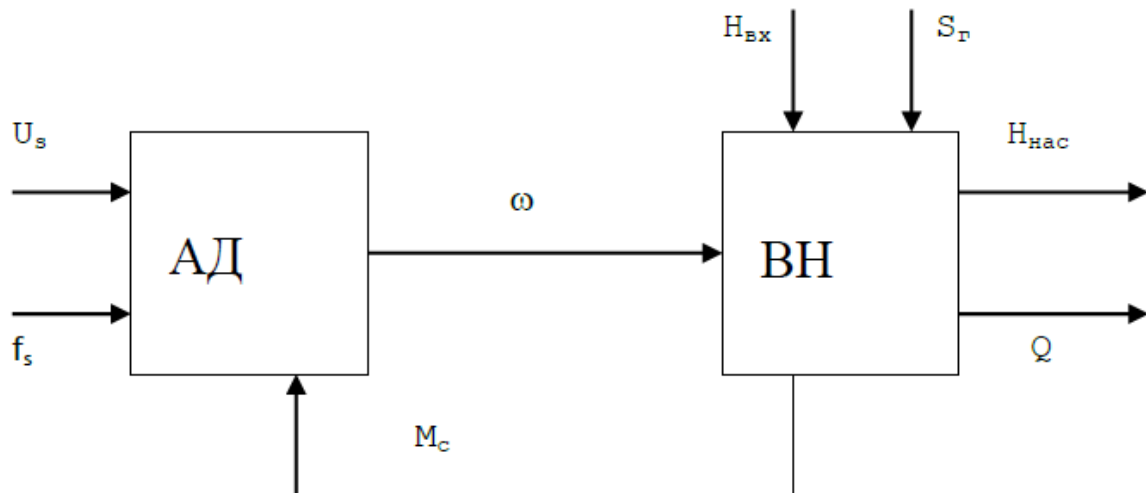


Рисунок 3.2. Об'єкт управління: АД – асинхронний двигун; ВН – відцентровий насос; U_s – напруга статора, В; f_s – частота напруги статора, Гц; ω – кутова швидкість обертання ротора і робочого колеса насоса, рад/с; M_c – статичний момент навантаження на валу двигуна, Нм; $H_{нас}$ – тиск на виході насоса, м; $H_{вх}$ – тиск на вході насоса, м; Q – продуктивність насоса, m^3/c ; 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 представлено 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 представлено 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).

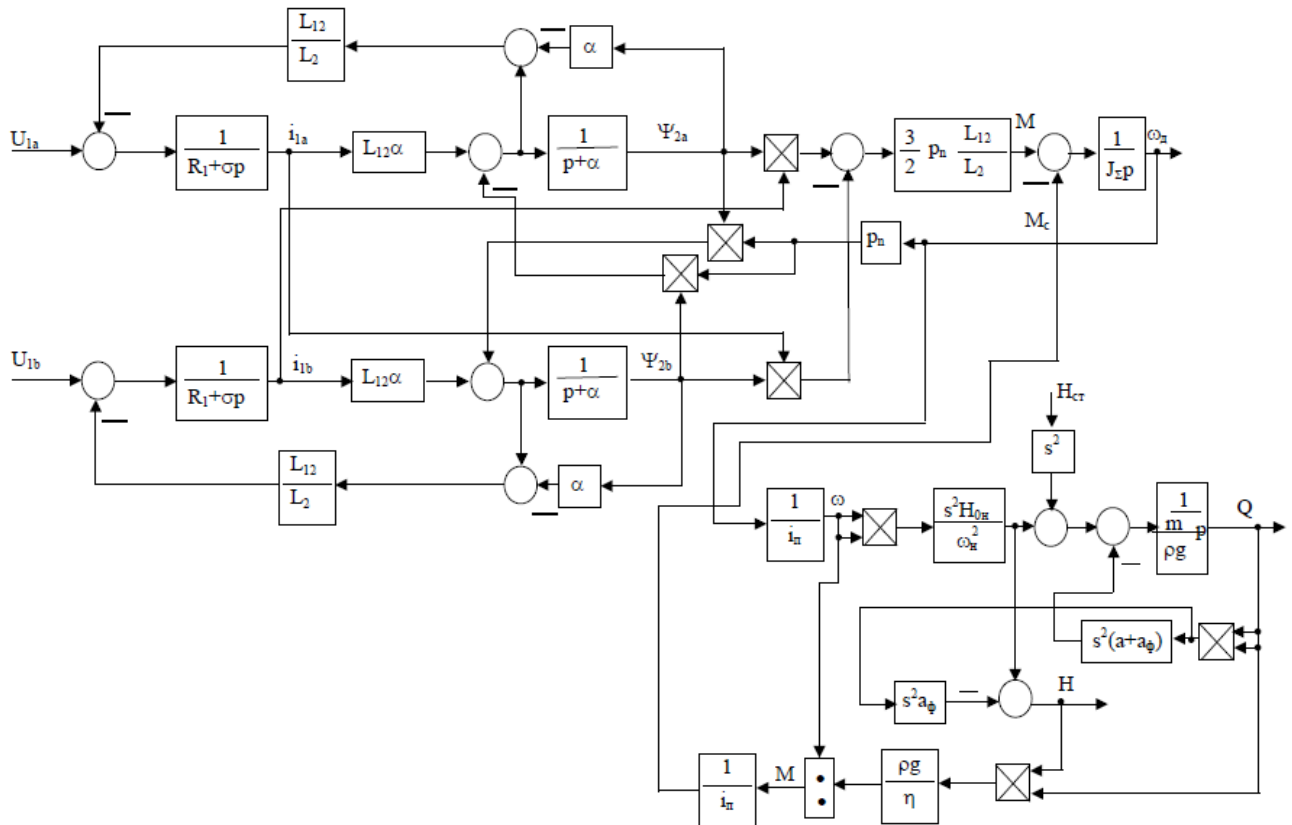


Рисунок 3.3. Структура системи насосної установки.

Для досягнення ефективної автоматизації та спрощення розрахунків роботи насосної установки може бути корисним зменшити громіздкість та складність схеми, що була представлена раніше. Ця схема враховує велику кількість параметрів рідини, які можуть змінюватися в процесі динамічної роботи системи. Для досягнення цієї мети можливо використати метод лінеаризації схеми, враховуючи подібності, використовуючи вигляд рівнянь (3.4).

Лінеаризація схеми може спростити аналіз та керування системою. Вона передбачає наближене представлення системи в околі робочої точки, коли зміни параметрів рідини вважаються малими. В цьому випадку можна розглядати систему як лінійну, що спрощує процес моделювання та розробки керуючих алгоритмів.

Однак важливо враховувати, що лінеаризація є лише наближеною моделлю та діє в обмеженому діапазоні робочих параметрів. При дуже великих змінах параметрів рідини або інших небажаних умовах, лінеаризована модель може бути недостатньо точною.

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 спрощує 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.

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

де $k_{насоса}$ – 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.

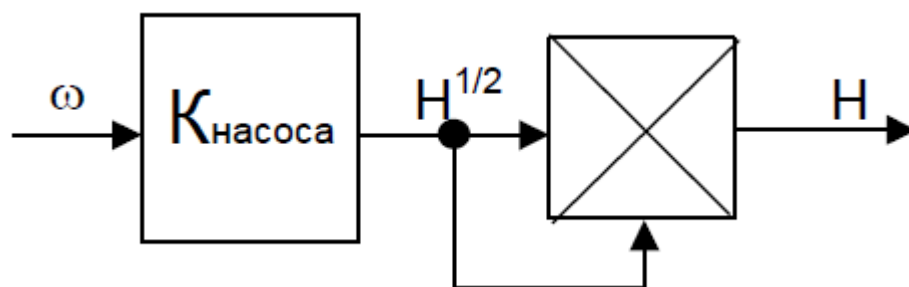


Рисунок 3.4. Модель управління для насоса.

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

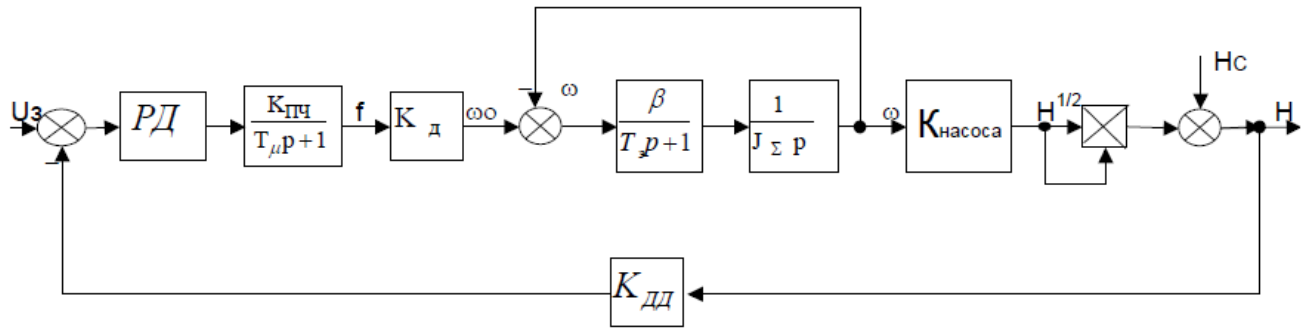


Рис. 3.5. Структурна схема системи автоматичного керування для насосної установки.

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

$$K_D = \frac{2\pi}{p}, \quad (3.10)$$

КДД – коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску:

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

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 з важливих характеристик насоса, яка визначає його динамічні властивості та впливає на реакцію системи під час зміни вхідних сигналів.

3.2 Моделювання технологічних режимів НУ

Для моделювання використовували пакт програмного забезпечення MATLAB в додатку SIMULINK.

На вхід системи подається сигнал, що задає натиск, який змінюється поетапно. Система є одноконтурною, основним регульованим параметром є натиск, з негативним зворотним зв'язком. В ролі регулятора натиску

використовується пропорціонально-інтегрально-диференційний (ПІД) регулятор, налаштований за методом Зіглера-Нікольса. Система складається з блоку, що задає значення, ПІД регулятора, моделей перетворювача частоти, асинхронного двигуна та відцентрового насоса. У моделі враховуються втрати в трубопроводі, а також втрати, спричинені різницею висот між насосним обладнанням та найвищою точкою системи для двоповерхового будинку. На осцилограф виводиться вихідний сигнал системи (натиск) та масштабований сигнал завдання (безпосередньо помножений на зворотний коефіцієнт). Вихід з перетворювача обмежений в діапазоні від 0 до 50 Гц. М-файл зібраної моделі наведено рис. 3.6.

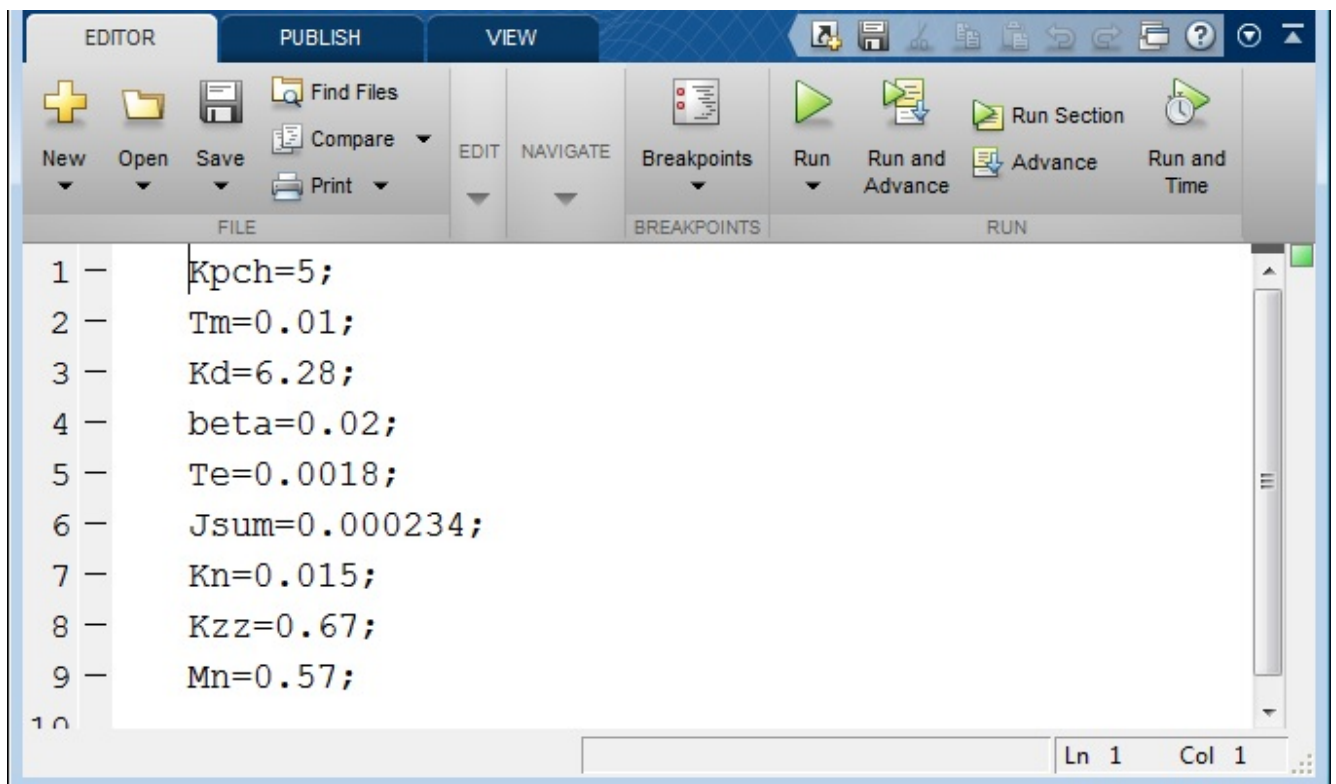


Рисунок 3.6 - М-файл моделі

Натиск є регульованою величиною, з датчика натиску в трубопроводі отримується вихідний сигнал системи, а ступінчаста напруга завдання натиску подається на вхід.

Вихідні дані:

q - витрата $0,5\text{л/с}=1,8\text{ м}^3/\text{год}=0,0005\text{ м}^3/\text{с}$. Довжина трубопроводу приймається 25 метрів.

$$q = \frac{25 \cdot 1,77}{100} = 0,4425 = 0,45\text{м}$$

Звідси

$$H = 0,45 + 6 + 15 = 21,45 \text{ м}$$

Отримуємо основні характеристики насосу

$$H = 21.45 \text{ м}, Q = 1.8 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Корисна потужність насосу $N_n = 115$ Вт, потужність двигуна $P_d = 165$ Вт

Отже, вибираємо насос АИР56А2 (0.18 кВт)

$$\omega_0 = 314 \text{ рад} / \text{с}, \omega_n = 282 \text{ рад} / \text{с}$$

$$M_n = \frac{P_d}{\omega_n} = 282 \text{ рад} / \text{с}$$

Жорсткість визначається з формули

$$\beta = \left| \frac{M_n}{\omega_n - \omega_0} \right| = 0,02$$

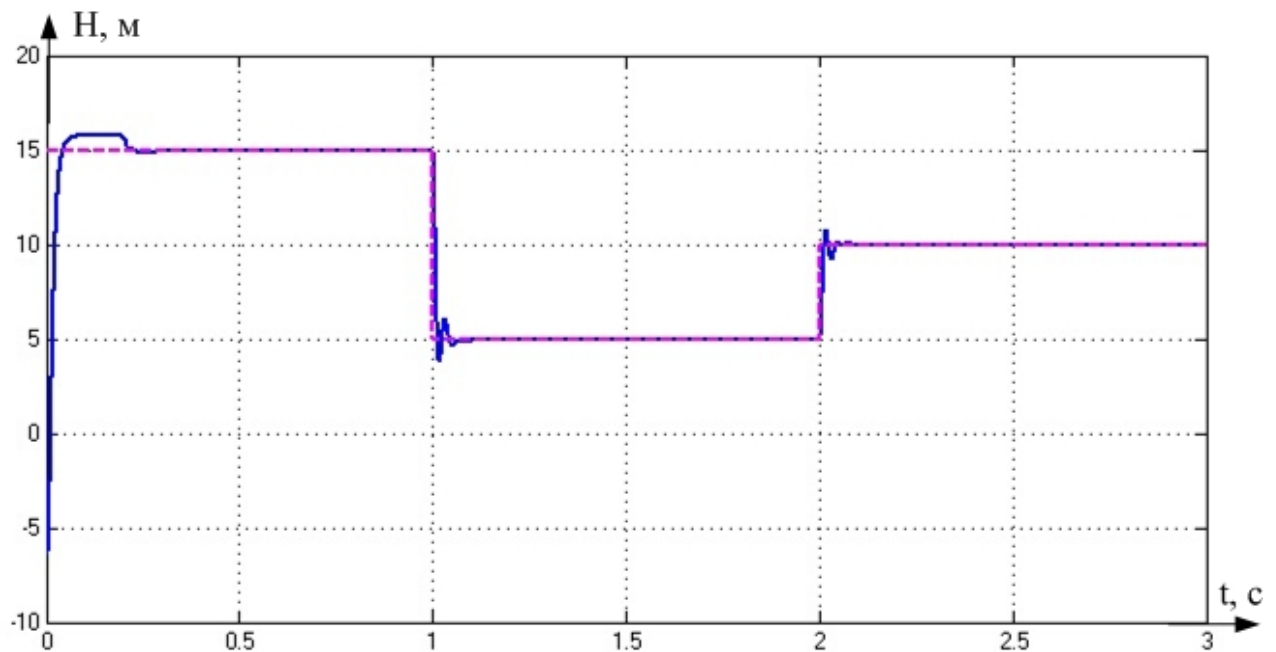


Рисунок 3.7 – Динамічне визначення напору

Як видно з графіку, отриманого в результаті моделювання, натиск має від'ємне значення. Дана похибка може бути пов'язана з втратами напору. Оскільки, в реальному часі запуск насосу виконується з залитою в нього водою відповідно через заливний отвір, а далі зворотний клапан забезпечує в трубопроводі залишок

води. Цей процес в практиці не може відбуватись. Перехідні процеси наведені на другій секунди зображений на рис. 3.12.

На рисунку 3.8 представлено похибку регулювання – різниця між сигналом завдання та зворотним зв'язком, та вихідна напруга ПД регулятора.

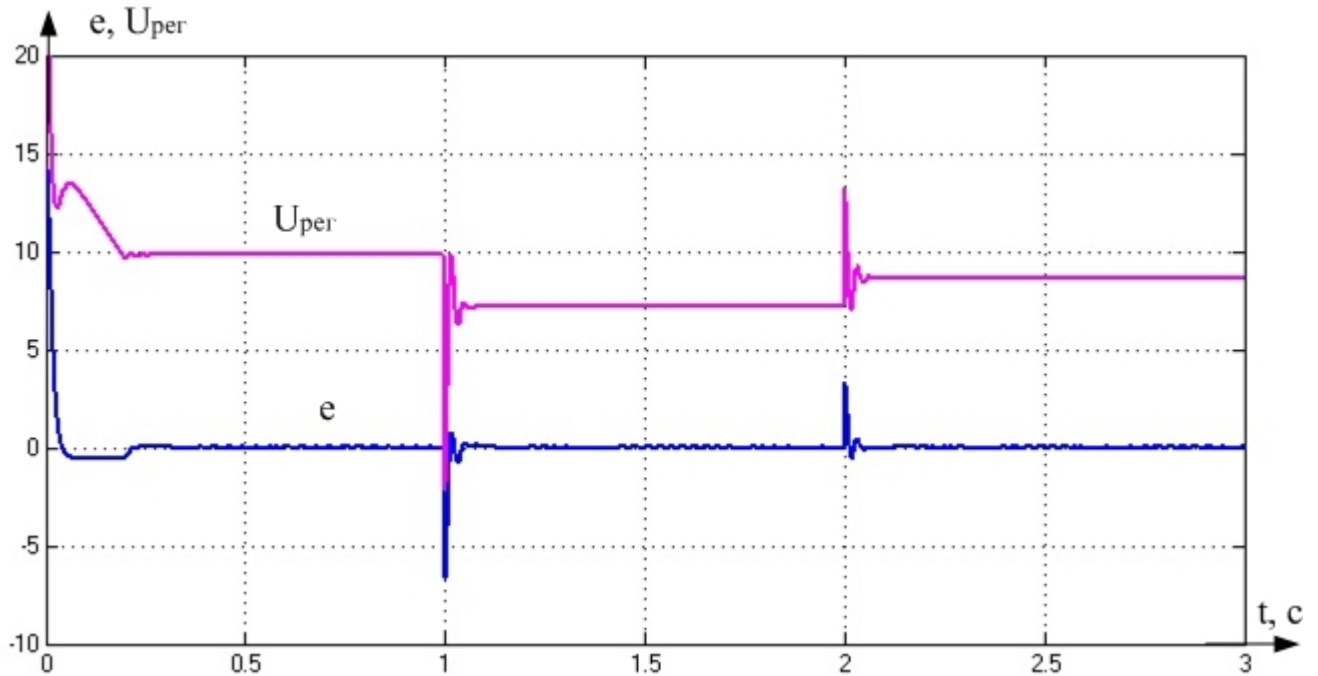


Рисунок 3.8 – Зміна похибки e та напруги управління на виході регулятора U_{per} в часі.

На рис. 3.9 представлено значення частоти напруги на виході перетворювача частоти.

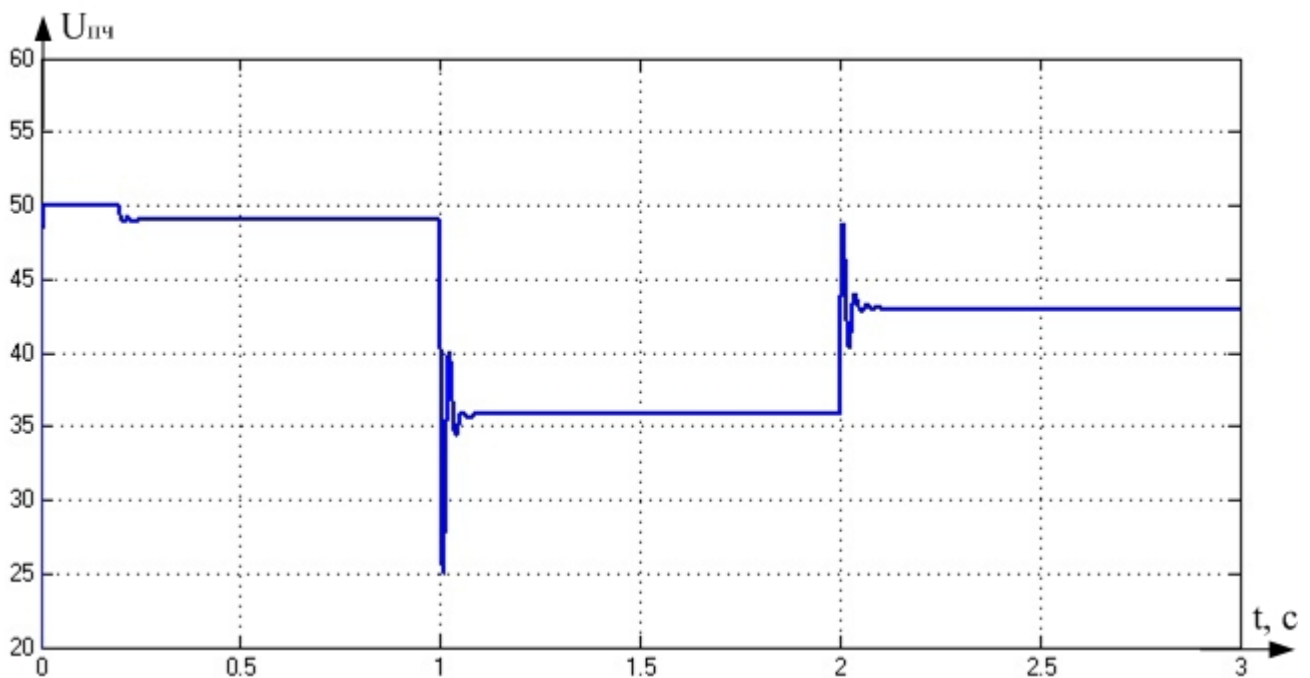


Рисунок 3.9. Частота напруги на виході перетворювача частоти

На рисунку 3.10 знаведено зміну в часі кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна, а відповідно і робочого колеса відцентрового насосу.

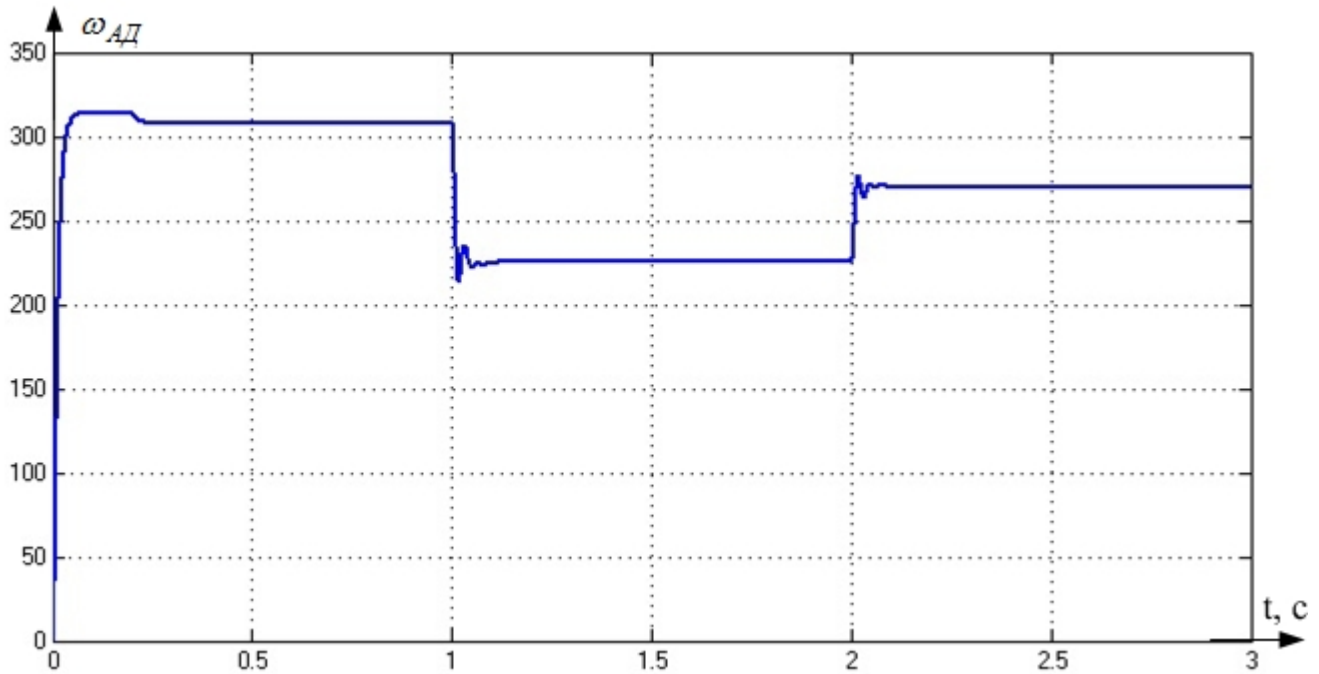


Рисунок 3.10 – Зміна кутової швидкості обертання валу двигуна в часі

На рис. 3.11 зображена значення необхідного напору в трубопроводі системи водопостачання.

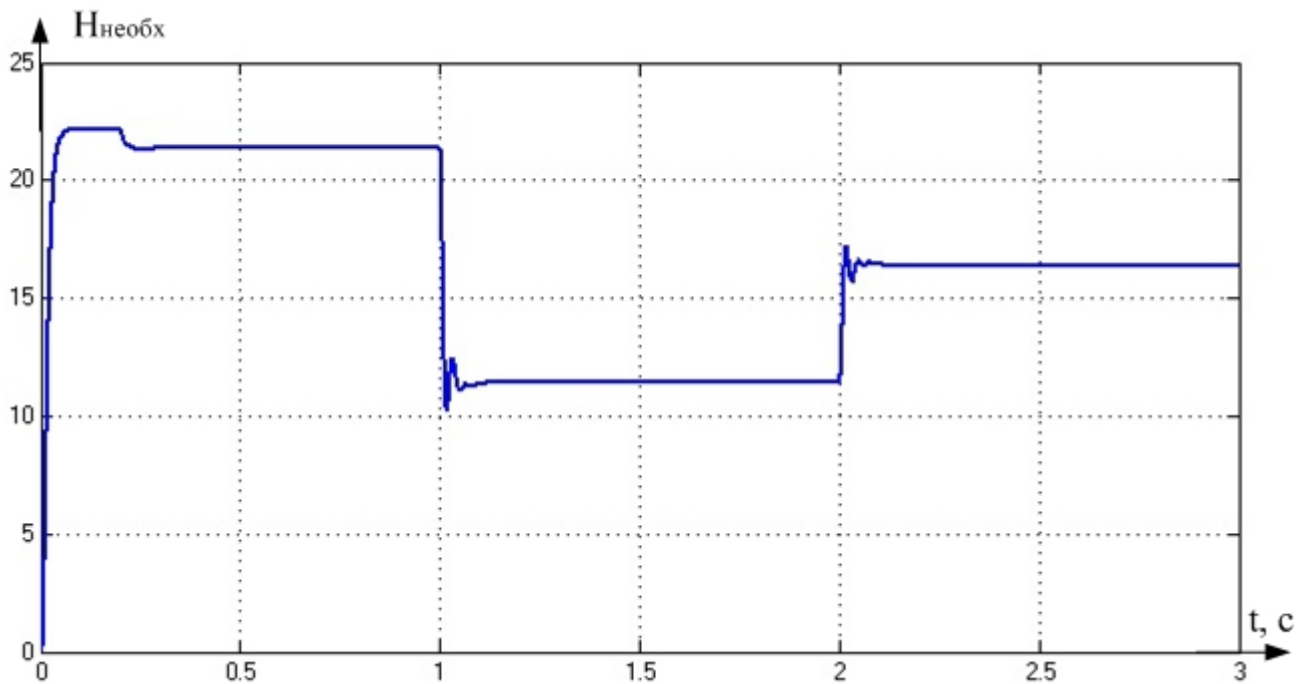


Рисунок 3.11 – Необхідний напор в системі живлення

На рис. 3.12. зображений перехідний процес, завдяки якому оцінюється якість управління.

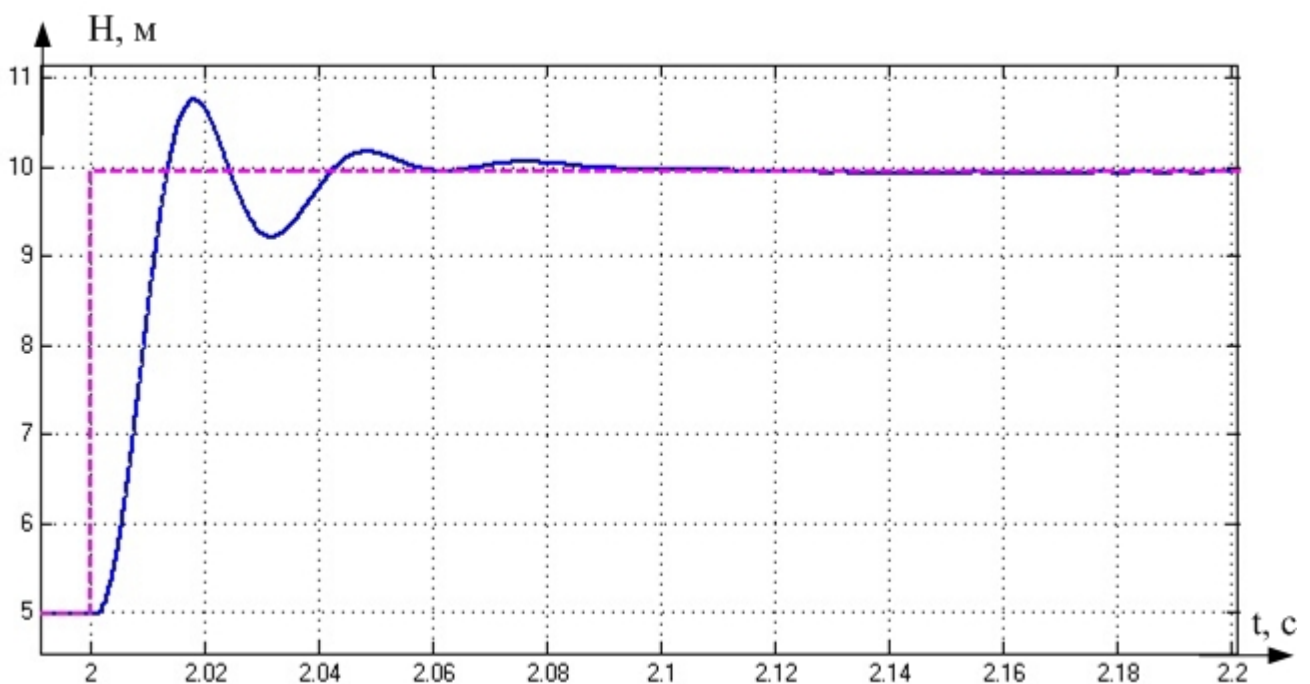


Рисунок 3.12 – Перехідний процес – реакція системи на ступінчатий вплив
Затухаючі коливання присутні в перехідному процесі, в той час перегулювання складає 14%, а час регулювання складатиме 0,05 секунд. За допомогою методу Зіглера-Нікольса проводиться налаштування ПІД регулятора. Оскільки в системі

водопостачання критично важливо уникати гідравлічного удару, а отже, й різких піків натиску, можна пожертвувати тривалістю перехідного процесу для досягнення аперіодичного характеру цього процесу. Для досягнення цього потрібно знизити коефіцієнт пропорційності ПІД-регулятора.

Висновки

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.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

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 проєктованому 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 з охорони праці перед початком роботи на насосній станції

1. Перед початком роботи працівник зобов'язаний отримати завдання від безпосереднього керівника, ознайомитися зі змістом завдання у журналі щоденного обліку видачі завдань служби, поставити підпис та пройти цільовий інструктаж з охорони праці, у якому враховуються особливості конкретної роботи. Працівник повинен надіти спецодяг, спецвзуття та каску. Усі засоби індивідуального захисту повинні бути справними, чистими та відповідати характеру виконуваних робіт.

2. Виконання робіт можливе лише після оформлення відповідного наряду, розпорядження або включення до переліку робіт, які виконуються у рамках поточної експлуатації.

3. Отримавши завдання, працівники зобов'язані:

- Оглянути місце проведення робіт, прибрати сторонні предмети, встановити тимчасові огорожі;

- Перевірити надійність відключення обладнання, стан запірної арматури, наявність заборонних плакатів, засобів пожежогасіння та засобів індивідуального захисту.

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

1. Огляд і обхід водопостачальних та каналізаційних мереж виконується однією особою. Забороняється відкривати кришки люків під час огляду.

2. Відкриття люків для огляду трас мереж здійснюється лише бригадою з двох працівників. Бригада має бути оснащена необхідними інструментами, включаючи гачок для відкривання люків, та переносними огороженнями. Забороняється спуск у колодязі, виконання ремонтних робіт, використання відкритого вогню та куріння поблизу відкритих колодязів.

3. Земляні роботи на мережах і спорудах водопостачання повинні проводитися відповідно до "Інструкції з охорони праці при виконанні земляних робіт".

4. Роботи, пов'язані зі спуском у колодязі, камери, резервуари, порожні водоводи чи каналізаційні колектори, належать до небезпечних та виконуються виключно за нарядом-допуском із додатковими вимогами безпеки.

4.6. Вимоги з охорони праці в аварійних ситуаціях

1. У разі виникнення небезпечних умов праці працівник повинен негайно припинити роботу, відійти у безпечне місце та повідомити керівника робіт. Роботи можуть бути відновлені лише після усунення небезпечних факторів.

2. У випадку пожежі необхідно оповістити оточуючих, викликати пожежну службу та вжити заходів для гасіння пожежі за допомогою підручних засобів.

3. У разі травмування працівника необхідно усунути травмуючий фактор, надати першу допомогу потерпілому та викликати медичну допомогу.

4. При звільненні потерпілого від дії електроструму важливо уникати контакту з струмопровідними частинами. Подію слід негайно повідомити керівнику, а місце події зберегти у незмінному стані, якщо це не загрожує життю людей.

4.7 Вимоги з охорони праці після виконання робіт

1. По завершенні роботи працівники зобов'язані:
 - Очистити робоче місце від сміття та відходів;
 - Закрити люки, прибрати тимчасові огороження;
 - Зібрати інструменти, матеріали та засоби індивідуального захисту й помістити їх у відповідні місця;
 - Дотриматися правил особистої гігієни;
 - Повідомити керівника про виявлені неполадки.

4.8 Пропозиції щодо покращення умов охорони праці

Для підвищення рівня безпеки та створення комфортних умов праці рекомендується:

- Підвищити контроль за технічним станом насосних установок;
- Посилити контроль за протипожежним станом і вдосконалити оснащення пожежних щитів;
- Регулярно проводити та фіксувати повторні інструктажі з охорони праці;
- Щороку збільшувати фінансування заходів з охорони праці;
- Проводити перевірку знань працівників з питань безпеки після кожного інструктажу.

Дотримання вимог охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму, забезпечити безпеку працівників і зберегти їхнє здоров'я.

Висновки

Аналіз умов праці свідчить про наявність та можливий вплив таких шкідливих і небезпечних факторів, як підвищений рівень шуму, несприятливий мікроклімат і ризик травмування під час виконання робіт.

Для вдосконалення охорони праці на сучасних підприємствах було розроблено системні заходи, спрямовані на правову оптимізацію, соціальний захист працівників, оцінку їхньої професійної придатності та встановлення трудових норм

з урахуванням віку, статі, особливостей роботи з новою технікою, а також режимів праці та відпочинку.

Окрім цього, розроблено пропозиції щодо покращення умов праці, включаючи збільшення фінансування заходів із забезпечення охорони праці на підприємствах. Основною метою є створення безпечних умов праці на кожному робочому місці, мінімізація впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також зниження рівня професійних захворювань і травматизму.

Важливо зазначити, що охорона праці є ключовим аспектом у сфері трудового права України. Як окрема система правових норм, вона формує інститут Особливої частини трудового права. Основні положення цього інституту викладено у таких нормативних актах, як Кодекс законів про працю України, Закон України «Про охорону праці», Основи законодавства України про охорону здоров'я, а також у спеціальних положеннях, правилах, стандартах і інструкціях з охорони праці.

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 води, яка транспортується. Регулювання до 30% спожитої електроенергії може витратитися 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 в їх застосуванні на об'єкті з урахуванням технологічних, гідравлічних та режимних характеристик;
- розробити оптимальні технічні рішення з урахуванням додаткових інвестицій у їх реалізацію;

запровадити дієвий алгоритм управління насосною станцією, що забезпечить можливість 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.

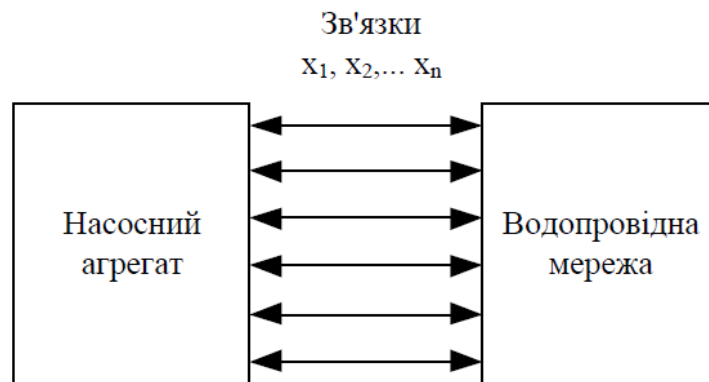


Рисунок 5.1. Структура насосної установки як об'єкта управління.

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].

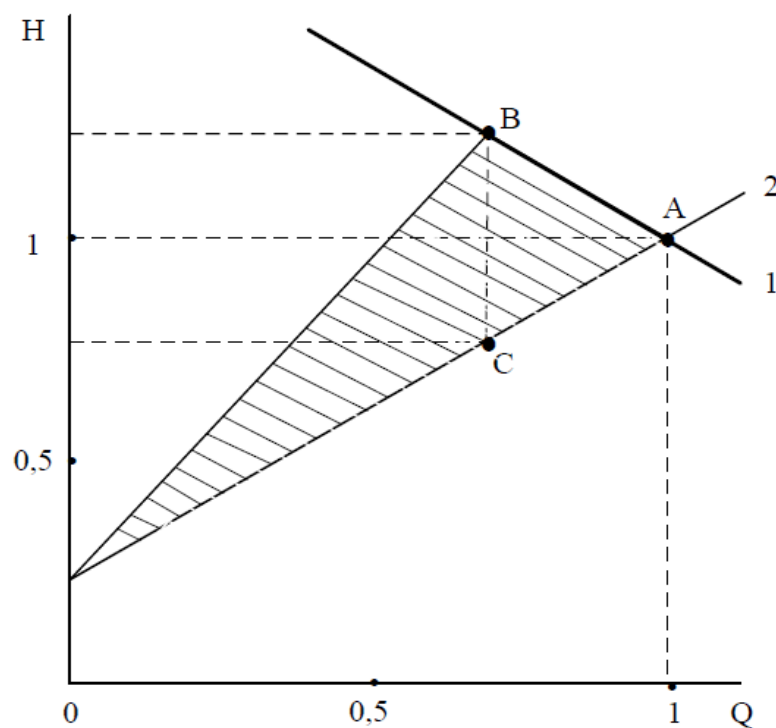


Рисунок 5.2. Характеристики насосного агрегату (позначені як 1) і магістралі (позначені як 2) представлені на графіку.

Використання регульованого електроприводу 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.

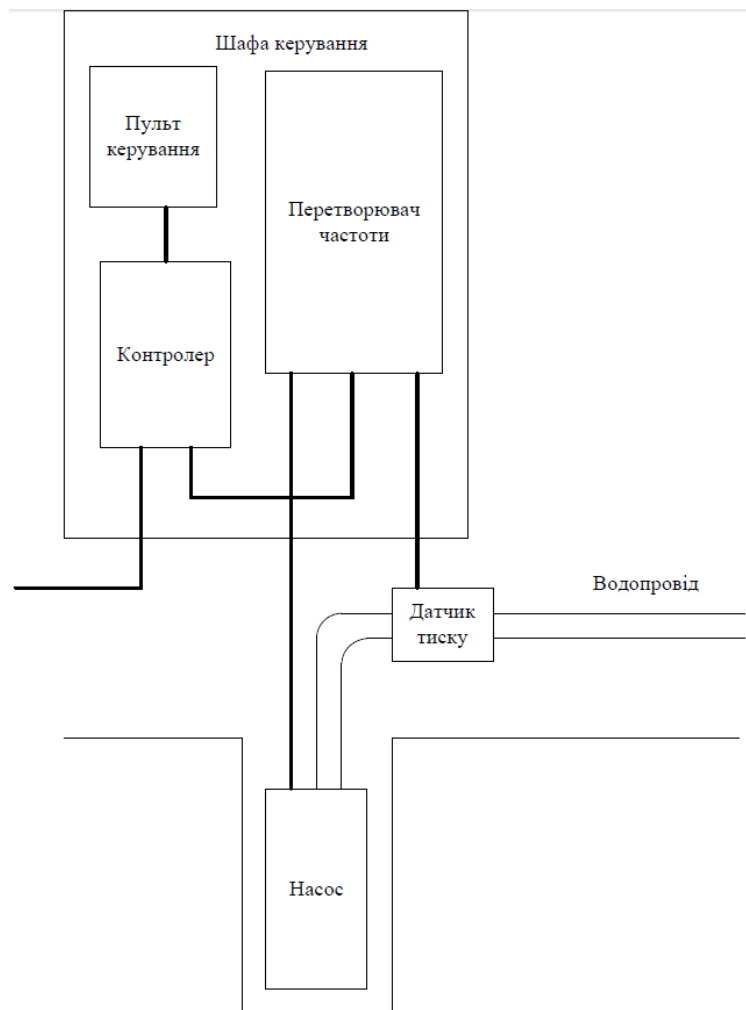


Рисунок 5.3. Схема функціонування насосної станції описує послідовність процесів та взаємодію обладнання, яке задіяно в її роботі.

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 ПІД-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_{ex} і виході $H_{вих}$ насоса має бути максимальним, що відповідає номінальному напору, оскільки вибір обладнання здійснюється за максимальним напором.

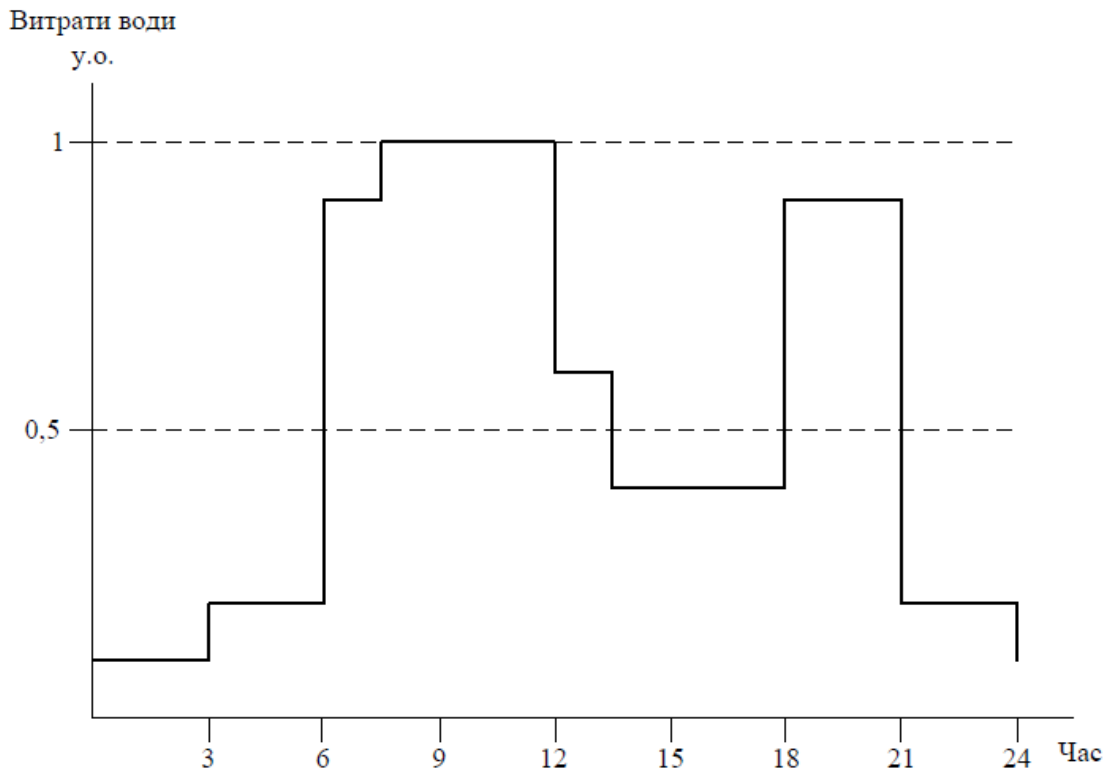


Рисунок 5.4. Графік вживання води протягом доби сільськогосподарським підприємством.

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: $(P_H) = 2,2$ 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:

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

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

3. Капітальні вкладення:

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

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

де D – затрати на доставку = 15% ;

NM – затрати на монтаж = 25% ;

4. Річні експлуатаційні затрати:

$$I_3 = A_0 + P_{ТО} + C_E + П_{П}, \quad (5.8)$$

де A_0 – затрати на амортизацію:

$$A_{01} = K_{B1} \frac{\alpha}{100} = 17640 \cdot 0,142 = 2504 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

$$A_{02} = K_{B2} \frac{\alpha}{100} = 39480 \cdot 0,142 = 5606 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

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:

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

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

$$П_{П1} = 0,01 \cdot K_{B1} = 0,01 \cdot 17640 = 176 \text{ грн.} \quad (5.15)$$

$$П_{П2} = 0,01 \cdot K_2 = 0,01 \cdot 39480 = 394 \text{ грн.} \quad (5.16)$$

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

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

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.