

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕНЕРГООЩАДНОГО ГРУПОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОМПОВОЇ СТАНЦІЇ»**

Виконав: студент VI курсу
групи Ен-62 спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ Дикий Т. З.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Чабан А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ Коробка С. В.

ДУБЛЯНИ 2024

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

Рівень вищої освіти – *другий (магістерський) рівень*
Спеціальність 141 «*Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Калахан О. С.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу студенту
Дикому Тарасу Зіновійовичу

Тема роботи: «Обґрунтування вибору енергоощадного групового електроприводу помпової станції»

Керівник роботи професор, д.т.н Чабан А. В.
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом по університету № 133 / к - с від 28.04.2023 р.

1. Строк подання студентом роботи 18.01.2024 р.
2. Вихідні дані до роботи
технічна документація, науково-технічна і довідкова література, законодавча та нормативна база України з питань охорони праці.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Характеристика об'єкту
2. Особливості використання асинхронних і синхронних двигунів для приводу насосів
3. Система регульованого електроприводу водонасосних установок
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
5. Ефективність прийнятих рішень

Висновки

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти з розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконан ня
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	<i>Дробот І. М., ст.викладач</i>			
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7 Дата видачі завдання 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Характеристика об'єкту</i>	<i>28.04.2023 – 19.05.2023</i>	
2	<i>Особливості використання асинхронних і синхронних двигунів для приводу насосів</i>	<i>22.05.2023 – 8.09.2023</i>	
3	<i>Система регульованого електроприводу водонасосних установок</i>	<i>11.09.2023 – 24.11.2023</i>	
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>27.11.2023 – 8.12.2023</i>	
5	<i>Ефективність прийнятих рішень</i>	<i>11.12.2023 – 22.12.2023</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>25.12.2023 – 5.01.2024</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>8.01.2023 – 18.01.2024</i>	

Студент Дикий Т. З.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи Чабан А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.313.3

Р Е Ф Е Р А Т

Дикий Т. З. «Обґрунтування вибору енергоощадного групового електроприводу помпової станції». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 63 с. текстової частини, 2 таблиці, 29 рисунків, 18 джерел посилання.

Об'єкт дослідження: системи автоматизованого електроприводу водонасосної станції.

Мета роботи: обґрунтування вибору системи автоматизованого електроприводу водонасосної станції.

Предмет дослідження: тип систем автоматизованого електроприводу водонасосних станцій та способи регулювання продуктивності.

Завдання дослідження: проаналізувати типи систем водопостачання, способи регулювання продуктивності водонасосних установок, обґрунтувати тему кваліфікаційної роботи, проаналізувати типи двигунів для приводу насосів та способів їх пуску, побудова моделі роботи системи водопостачання та дослідження її роботи, запропонувати схему електроприводу, розрахувати термін окупності.

У кваліфікаційній роботі: розглянуто питання вибору системи електроприводу водонасосних установок для господарств АПК, проаналізовано типи систем водопостачання, двигунів, способи їх пуску, змодельовано роботу системи «насосна станція-резервуар-споживач», запропоновано схему керування роботою насосів з використання пристрою плавного пуску двигуна, проаналізовано питання охорони праці, проведено розрахунок терміну окупності.

Ключові слова: водопостачання, регулювання продуктивності, насос, електродвигун, пуск електродвигуна, пристрій плавного пуску, модель, моделювання, графічні залежності.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ	7
1.1 Система водопостачання та регулювання продуктивності насосних установок	7
1.2 Обґрунтування теми роботи	11
РОЗДІЛ 2 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННИХ І СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ПРИВОДУ НАСОСІВ	13
2.1 Особливості вибору двигуна для приводу насосу	13
2.2 Визначення потужності двигуна і режиму його роботи	14
2.3 Аналіз типів двигунів для приводу насосів	17
2.4 Пуск двигунів	21
РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК	33
3.1 Особливості режимів роботи системи «насосна станція-резервуар-споживач»	33
3.2 Схема керування насосами	44
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ	49
4.1 Аналіз процесів виникнення травм під час експлуатації водонасосної установки	49
4.2 Моделювання процесів виникнення травм	49
4.3 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення	53
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	55
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62

ВСТУП

Переваги електричної енергії над іншими видами енергії полягають у простоті й економічності її передавання на великі відстані, легкій подільності між споживачами різної потужності .

Характерна особливість сучасної електрифікації – централізація електропостачання, тобто створення єдиної енергетичної системи країни. Енергосистеми забезпечують надійність електропостачання, маневрування розподілом навантаження між електростанціями для здійснення експлуатаційних заходів, дають змогу раціонально використовувати незбіг у часі максимуму навантаження в різних часових поясах, скоротити резерв потужностей, повніше завантажувати обладнання на електростанціях та ін.

На сьогоднішній день багато організацій та приватних споживачів для підвищення надійності електрозабезпечення встановлюють в себе резервні джерела електроенергії. Це можуть бути джерела на базі відновлюваних джерел енергії (сонце, вітер, річки), або дизель генератори.

Для приводу насосів частіше всього використовують асинхронні двигуни, для насосів великої потужності синхронні. Використання певного типу двигуна перебачає багато суміжних питань, таких як способи пуску, особливості експлуатації, забезпечення належного значення коефіцієнта потужності, методи регулювання продуктивності, кількість насосів та багато інших. Частина з цих питань ми розглядаємо в даній роботі.

При розгляді даних питань доцільно використовувати сучасні підходи до досліджень. Зокрема використання сучасного програмного забезпечення для проведення моделювання певних процесів, за допомогою математичного пакету MATLAB/Simulink.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

1.1 Системи водопостачання та регулювання продуктивності насосних установок

Серед багатьох галузей техніки, направлених на підвищення рівня життя людей, благоустрою населених пунктів і розвиток сільського господарства, збільшення продуктивності праці та якості продукції, а також зниження собівартості продукції, водопостачання – займає одне з провідних місць.

Системою водопостачання називають умовне графічне зображення системи водопостачання.

На схеми водопостачання впливають ряд факторів, важливішими з яких є наступні: загальний розхід води на об'єкти, вимоги до її кількості та якості зі сторони споживача; характер джерел водопостачання, їх віддаленість і розташування відносно споживачів; вимоги до надійності і життєздатності системи водопостачання; рел'єф та інші особливості місцевості.

Різні поєднання цих факторів обумовлюють велику різноманітність схем водопостачання, з яких найбільш часто використовують:

А) схема водопостачання з підмиканням до існуючого водопроводу (рис. 1.1) використовуються при розташуванні нового об'єкту на певній відстані від існуючого з достатньо потужною системою водопостачання або вимагає не великої реконструкції для можливості підмикання нового споживача.

Ця схема використовується при подачі води на об'єкт від віддаленого джерела водопостачання. Вода від існуючого водопроводу 1 підводиться до об'єкту по водопроводу 2 і поступає в водозбірний резервуар 3, звідки через насосну станцію 4 (якщо необхідно - обеззаражується) по водогону 5

подається в водонапірну башту 6 і водопровідну мережу 7. Пунктиром на рисунку показані лінії п'єзометричного тиску (напору).

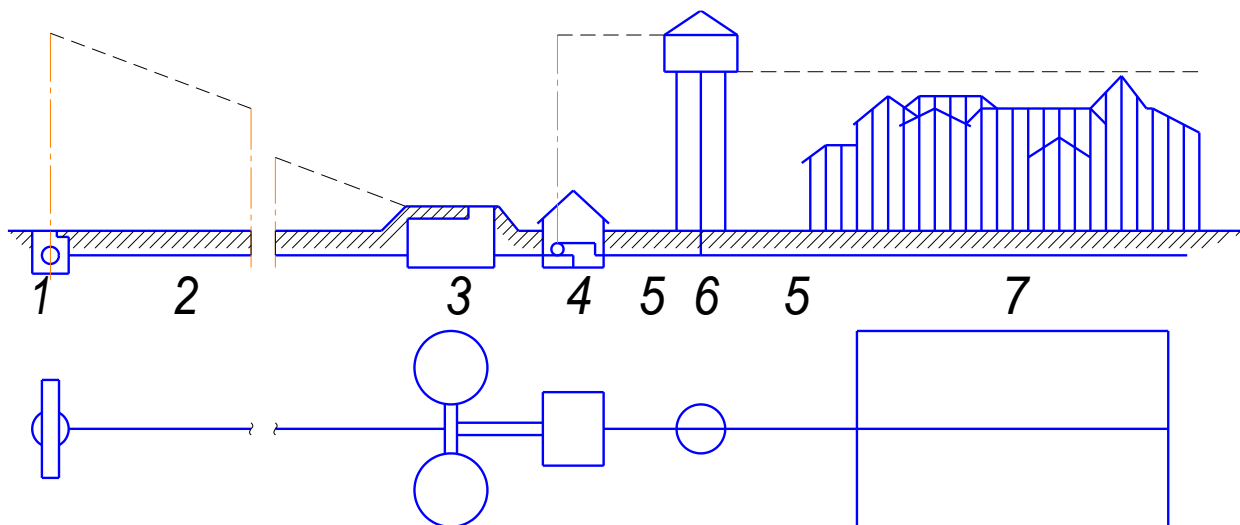


Рисунок 1.1 – Схема водопостачання з підключенням до існуючого водопроводу

Б) схема водопостачання з джерелом підземної води (рис. 1.2) і дає воду яка не потребує обробки.

Підземна вода з артезіанської свердловини 1 насосом 2 подає в водозбірний резервуар 3, звідки через насосну станцію 4 по водоводу 5 поступає в водонапірну башту 6 і в водогінну мережу 7.

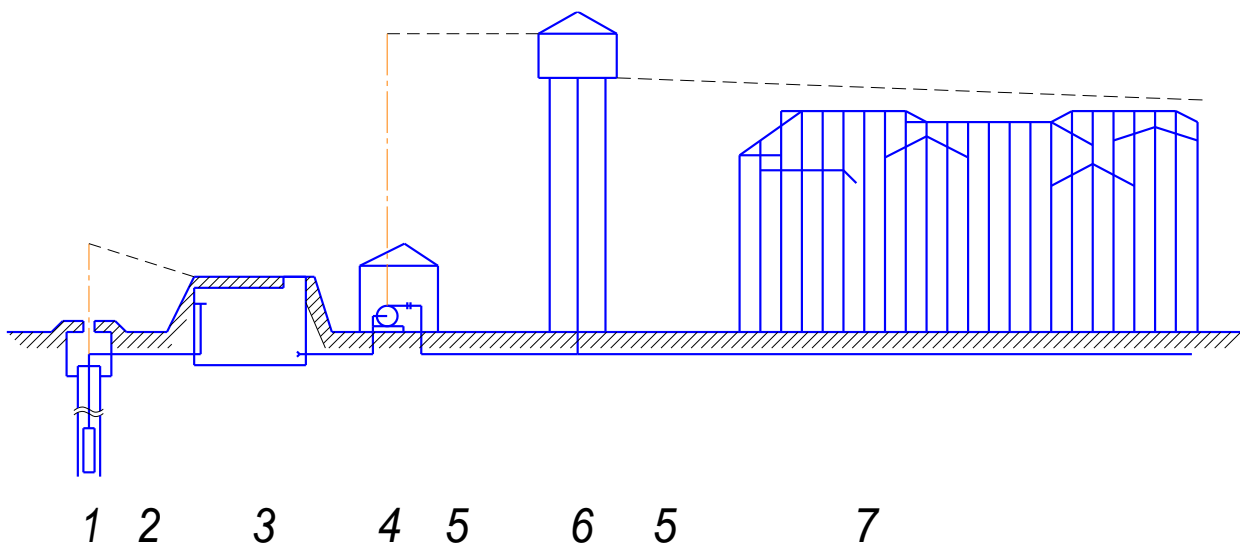


Рисунок 1.2 – Схема водопостачання з джерелом підземної води

В) схема без баштового водозабезпечення з джерелом підземної води (рис.1.3) відрізняється від попередньої тим, що замість водонапірної башти в якості начорно-регулюючої споруди використовується пневматична

напорна установка 5, розташована в будівлі насосної станції, яка складається з одного або декількох герметичних баків-котлів, в нижній частині заповнених водою, а верхніх (над дзеркалом води) – з тиснутим повітрям. Застосування таких установок в невеликих водопроводах дозволяє уникнути будівництва дорогих водонапірних башт і зкоротити будівельні витрати, а водопроводах з кругло добовою подачею води насосами і тупіковою мережею – знизити небезпеку виникнення аварій від гідравлічного удару.

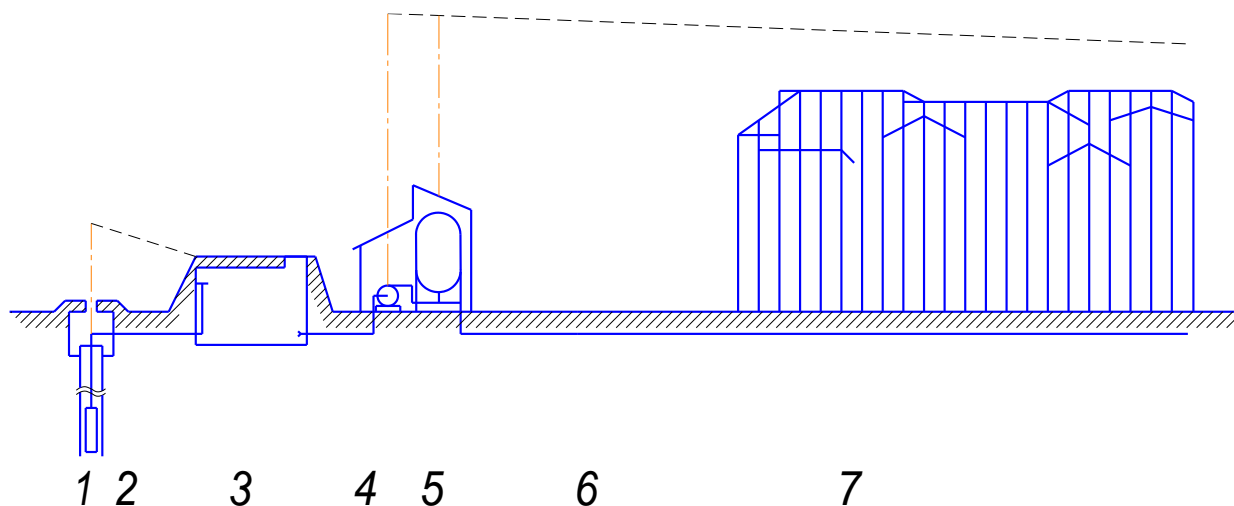


Рисунок 1.3 – Схема без баштового водопостачання з джерелом підземної води

Г) схема водопостачання з поверхневого джерела води (рис. 1.4) використовується при заборі води з річок, озер і водосховищ при відсутності підземних вод або недостатній продуктивності підземного джерела, причому вимагає обробки води, а її забір з водоймищ пов'язаний з будівництвом складних водозабірних споруд. Вода з водоймища через оголовок 1 і береговий колодезь 2 забирається насосами насосної станції I підйому 3 і подається на очисні споруди 4, звідки поступає в резервуар чистої води 5, далі насосами станції II підйому 6 вода подається по водопроводах 7 в водопровідну мережу 8 з водонапірною баштою 9.

В кожній з описаних систем є насосна станція, яка подає воду в водонапірну башту або в пневматичну напірну установку. Для не великих фермерських господарств рекомендують використовувати саме пневматичні установки, що здешевлює капітальні вкладення в будівництво системи

водопостачання. Хоча на сьогоднішній день дуже часто використовують саме водонапірні башти, це пов'язано перш за все з виникненням фермерських господарств на базі колишніх колгоспів. За кордоном широко розповсюдженні саме пневматичні установки з керованою продуктивністю насосних станцій.

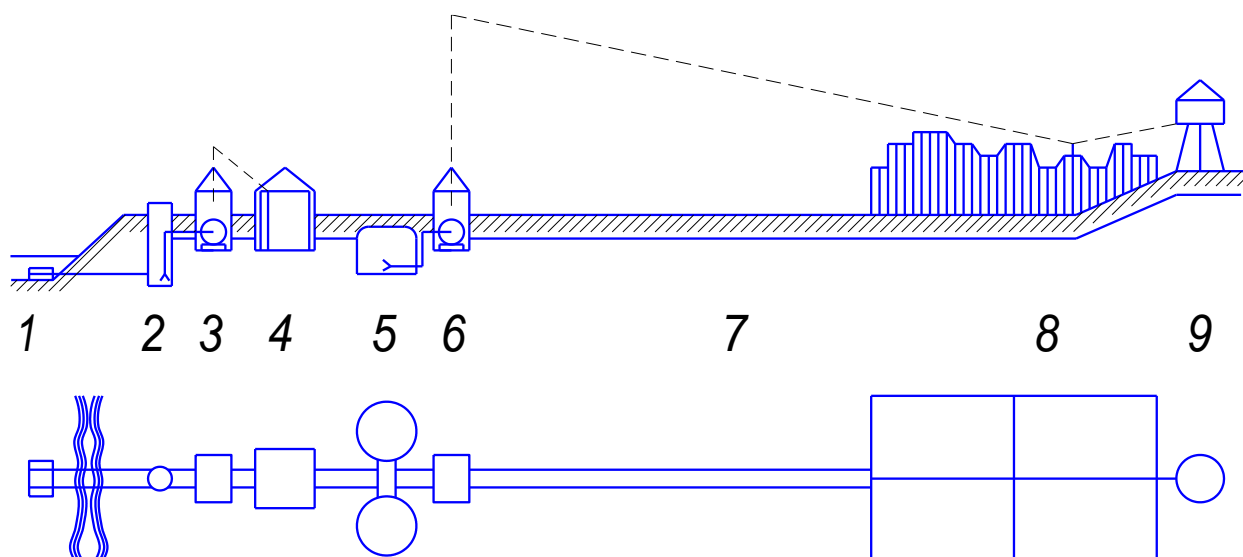


Рисунок 1.4 – Схема водопостачання з поверхневого джерела води

Найбільш поширені способи автоматичного керування водонасосних установок: за рівнем води в свердловині; за рівнем води у водонапірній башті за тиском стовпа води в гідроаккумуляторній споруді (режим водопідйому); за тиском у пневмогідроаккумуляторі; за програмою, водопостачання; за тиском води в системі зрошення.

Регулювання продуктивності і тиску подачі можна здійснювати наступним чином: регулюванням засувкою; зміною швидкості привідного двигуна; зміною кількості працюючих насосів.

Регулювання продуктивності засувкою призводить до додаткових втрат енергії.

Регулювання швидкості двигуна доцільно використовувати при необхідності плавного регулювання, оскільки пристрої плавного регулювання швидкості обертання значно збільшують вартість установки.

Зміна кількості працюючих насосів забезпечує роботу кожного двигуна у номінальному режимі, а значить із найвищими техніко-економічними показниками.

1.2 Обґрунтування теми роботи

Серед багатьох галузей сучасної техніки, напрямлених на підвищення рівня життя людей, благоустрою населених пунктів і розвитку промисловості, водозабезпечення – комплекс міроприємств по забезпеченню водою різних споживачів – займає одне із провідних місць.

Без води не обходиться ні один виробничий процес. Розхід води на одиницю продукції дуже значний. Забезпечення чистою і доброякісною водою різко знижує небезпеку поширення епідеміологічних захворювань, які передаються через воду (черевний тиф і т.д.), позитивно впливає на здоров'я людей і створює умови для покращення благоустрою міст і населених пунктів.

На виробничих підприємствах АПК особливо актуальним є питання надійного водопостачання. Це стосується як гідравлічної частини так і електричної. Оскільки перебої у подачі води призводять до значних матеріальних збитків. На підприємствах використовується велика кількість води і вона повинна бути високої якості, придатна для внутрішнього вживання.

Одним з основних елементів системи електроприводу водонасосних установок, так само як і інших об'єктів є електродвигун. В залежності від виду двигуна визначається тип системи керування електроприводом, а також системи електрозабезпечення, що стосується питання використання пристроїв компенсації реактивної потужності.

Система керування електроприводу повинна передбачати основні аварійні режими: короткого замикання, струмів перевантаження, неповнофазного режиму. На сьогоднішній день широко впроваджуються

напівпровідникові пристрої для полегшення пуску машин змінного струму, а також перетворювачів частоти для регулювання їх швидкості обертання. Дані системи широко впроваджуються. Дані пристрої мають багато позитивних якостей, проте їх використання не завжди є необхідним, а тому особливо актуальне питання для двигунів великої потужності, оскільки вартість даних пристроїв досить висока, що в загальному збільшує капітальні вкладення у виробничий процес, а відповідно і собівартість продукції.

Після проведених досліджень запропонувати типи систем електроприводу для господарств АПК, а також провести аналіз ефективності прийнятих рішень та проаналізувати питання охорони праці та захисту довкілля.

Актуальність роботи: на виробничих підприємствах АПК особливо актуальним є питання надійного водопостачання. Автоматизований електропривод водонасосної станції повинен забезпечувати надійну роботу приводу, по можливості мінімізувати капітальні вкладення, забезпечувати зменшення експлуатаційних витрат і зниження споживання електроенергії електроприводом.

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННИХ І СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ПРИВОДУ НАСОСІВ

2.1 Особливості вибору двигуна для приводу насосу

Електродвигуни підбирають, як правило, по каталогах. При виборі електродвигунів насосів необхідно перш за все керуватись положеннями, які є спільними, при виборі електроприводу будь-якого механізму. Ці положення в основному зводяться до наступного:

- вибраний електродвигун повинен якнайповніше підходити механізму, що приводиться, по механічних властивостях, тобто мати таку механічну характеристику, яка дозволяла б йому розвивати механізму необхідні швидкість і прискорення як при пуску, так і в процесі роботи;

- вибрана потужність двигуна повинна використовуватися в приводі як найповніше;

- конструктивне виконання двигуна повинне відповідати механізму, що приводиться, і умовам навколишнього середовища;

- параметри двигуна повинні відповідати параметрам мережі, що живить його.

Для вибору двигуна насоса по каталогу необхідно знати:

- а) найменування і тип механізму, що приводиться в рух;
- б) максимальну потужність на валу насоса (насос працює в тривалому режимі з постійним навантаженням);

- в) швидкість обертання приводного валу (оскільки швидкість обертання валу насоса, як правило, не регулюється, знати регульовальні властивості двигуна необов'язково);

- г) спосіб з'єднання валу двигуна з валом насоса (при наявності передач необхідно знати вид передачі, її передавальне число і коефіцієнт корисної дії);
- д) момент опору на валу приводу при пуску;
- е) частоту пусків або включень приводу (за обумовлений проміжок часу);
- ж) характеристику навколишнього середовища.

2.2 Визначення потужності двигуна і режиму його роботи

На великих водопровідних і інших насосних станціях великої потужності, як правило, встановлені відцентрові і пропелерні насоси. Тому розглядатимемо лише двигуни, що працюють в приводі цих насосів. Зазвичай використовують двигуни змінного струму, оскільки в порівнянні з двигунами постійного струму вони простіші по конструкції, дешевші і не потребують перетворення змінного струму в постійний.

Вибиратимемо двигун, припустивши, що параметри насоса відомі, отже, відомі: (Q — кількість води, що нагнітається, м³/с; H — повний напір (напір всмоктування плюс напір нагнітання плюс втрати напору у всмоктуючому і напірному трубопроводах), м; η — к.к.д. насоса (відповідний розрахунковому Q); $\eta_{пер}$ — к.к.д. передачі; γ — питома вага рідини (для води 1000 кг/м³); n — швидкість обертання валу насоса. Даний режим насоса і двигуна вважатимемо за номінальний. Тоді потужність (у кВт) двигуна, необхідного для даного насоса, може бути визначена по формулі

$$P = \frac{QH\gamma}{102\eta_u\eta_{пер}} K \quad (2.1)$$

Вхідний у формулу коефіцієнт K — коефіцієнт запасу, що враховує можливі перевантаження, що виникають, зокрема, унаслідок коливання рівнів верхнього і нижнього б'єсів, а отже, зміни натиску H . Коефіцієнт K залежить від потужності двигуна:

Потужність електродвигуна, кВт	К
До 1	1,3
2—5	1,2—1,15
5—50	1,15—1,1
Більше 50	1,10—1,05

Проте введення К достатньо лише при відносно невеликих коливаннях рівнів, наприклад, в меліоративній системі при роботі насоса, що подає воду з одного каналу в інший. Якщо ж коливання рівнів може бути значним, то введення коефіцієнта К вже недостатньо. В цьому випадку необхідно обчислити потужність двигуна при можливих напорах H_{\max} і H_{\min} і відповідних ним витратах, визначених по характеристиках насоса. Прикладом такого режиму роботи насоса є огорожа води з водосховища або річки і подача її в канал з постійною відміткою.

Зазвичай необхідна потужність двигуна указується заводом-виготовлювачем насоса, а сам двигун поставляється в комплекті з насосом.

Як вже вказувалось, двигуни насосів насосних станцій в більшості працюють із постійною швидкістю обертання і лише в дуже окремих випадках їх швидкість регулюють (наприклад, використовують електродвигуни з перемиканням числа пар полюсів, змінюють частоту живлячої напруги і т. д.). Проте швидкість будь-якого насосного агрегату при пуску змінюється від нульової до статичної.

Для вивчення пускового процесу необхідно знати залежність моменту опору насоса від швидкості його обертання. Ця залежність в першому наближенні може бути виражена формулою

$$M = M_0 + (M_{\text{ном}} - M_0) \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 \quad (2.2)$$

де $M_{\text{ном}}$ — номінальний момент опору на валу насоса при сталому режимі, Н·м; M_0 — пусковий момент, Н·м; n — швидкість обертання валу насоса, об/хв.

Якщо прийняти за одиницю швидкості номінальне число обертів насоса за хвилину, а за одиницю моментів — номінальний момент насоса, то написану вище формулу (у відносних одиницях) можна представити у вигляді:

$$\mu = \mu_0 + (1 - \mu_0) V^2 \quad (2.3)$$

Тут μ_0 — відносний момент рушання (зазвичай він дорівнює 0,1 — 0,3); μ — відносний момент опору на валу насоса; V — відносна швидкість обертання валу насоса.

Це вираз залежності моменту рушання від швидкості, як відомо, є механічною характеристикою насоса (теоретичною). Проте теоретична характеристика може досить значно (особливо при пуску) відхилятися від фактичної механічної характеристики. Тому для розрахунку приводів, особливо крупних насосів, слід використовувати механічну характеристику, побудовану на підставі заводських даних.

Як приклад розглянемо фактичну і теоретичну характеристики насоса 70В-36 (рис. 2.1). Як видно з фактичної характеристики, момент рушання (μ_0) більше моментів опору на валу насоса (μ) при малій швидкості обертання. Це пояснюється тим, що на момент рушання впливає момент опору тертю в підшипниках, який коли насос знаходиться в стані спокою більше, ніж коли він працює.

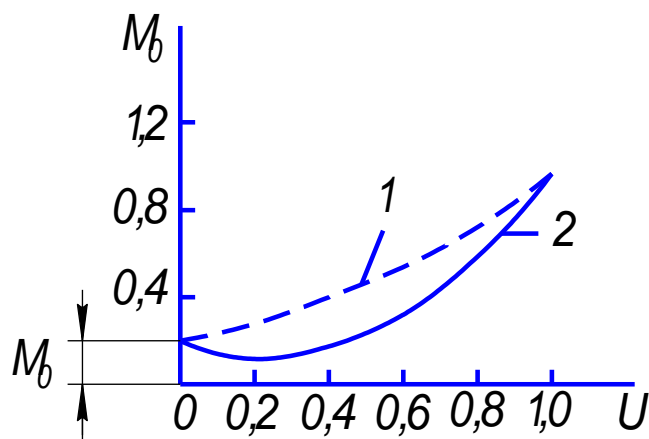


Рисунок 2.1 – Теоретична (1) і фактична характеристики насоса 70В-36;

$$\mu = f(V)$$

По теоретичній же характеристиці момент рушання виявляється менше будь-якого іншого моменту, узятого при швидкості більше нуля, внаслідок чого теоретична характеристика розходиться із фактичною. Для розгону двигуна від нульової швидкості до номінальної його момент, має при будь-якій швидкості обертання бути більше моменту опору насоса. Відповідно, у будь-який момент часу при пуску повинен існувати надлишковий момент двигуна, що обертає, рівний різниці між його моментом рушання і моментом опору насоса. Під впливом надлишкового моменту і відбувається розгін махових мас насосного агрегату.

Тривалість розгону насоса визначається його маховим моментом і надлишковим моментом двигуна. Надлишковий момент двигуна так само, як і момент опору насоса, залежить від швидкості обертання і змінюється в процесі пуску.

Визначення тривалості розгону агрегату має суттєве значення для розрахунку теплового режиму, пускової апаратури і двигуна насоса. Із збільшенням тривалості розгону тепловий режим погіршується, кількість тепла, що виділяється, збільшується. Оскільки пусковий струм може бути у декілька разів більше номінального, та кількість тепла, що виділяється, пропорційна квадрату цього струму і тривалості розгону, може бути настільки значною, що викликає підвищений нагрів двигуна і пускової апаратури. Це знижує термін її служби, оскільки веде до швидкого старіння ізоляції. Зазвичай за допустиму тривалість розгону вважається час до 15 с. У каталогах іноді приводяться максимальні значення махових моментів механізмів, допустимі для даного двигуна в залежності від умов пуску.

2.3 Аналіз типів двигунів для приводу насосів

Для електроприводів насосів приймаються асинхронні і синхронні двигуни. Ротор асинхронного двигуна, як відомо, обертається з меншою швидкістю, чим синхронного. Різниця між швидкістю обертання магнітного

поля статора (синхронною швидкістю) і швидкістю обертання ротора (ковзання) при повному навантаженні двигуна коливається в межах 0,012—0,06 від синхронної швидкості. Причому великі значення ковзання відповідають двигунам меншої потужності.

У каталогах асинхронних двигунів приведені значення ковзання s і синхронні швидкості n_c для кожного двигуна. Маючи в своєму розпорядженні ці дані, можна визначити швидкість обертання двигуна по формулі

$$n = n_c(1 - s) \quad (2.4)$$

Синхронна швидкість двигуна залежить від числа пар p , його полюсів і при стандартній частоті $f = 50$ Гц може бути визначена по формулі

$$n_c = \frac{3000}{p} \quad (2.5)$$

Таким чином, чим більше пар полюсів має асинхронний двигун, тим менше його синхронна і номінальна швидкості обертання. Тихохідні асинхронні двигуни характеризуються низькими значеннями к.к.д. і $\cos\phi$. Тому двигуни середніх і малих потужностей, як правило, виготовляють швидкохідними, швидкість їх обертання — не менше 750 об/мин. Двигуни спеціального призначення зазвичай великої потужності, швидкість їх обертання — 375—680 об/хв (наприклад, двигуни серії ВДД вертикального виконання). Всі асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором, якщо дозволяє потужність мережі живлення, можна пускати прямим ввімкненням на повну напругу.

Значення пускових моментів сучасних короткозамкнутих асинхронних двигунів складають (1-1,9) $M_{ном}$ залежно від потужності двигуна, що для приводу насосів достатнє.

Джерела живлення, як правило, мають великий запас потужності, що дозволяє здійснювати прямий пуск асинхронних короткозамкнутих двигунів. У разі потреби в коло статора можуть бути ввімкненні додаткові опори, які обмежують пусковий струм, при цьому для пуску короткозамкнутих двигунів

буде потрібно меншу потужність мережі живлення. У результаті перерахованих чинників, а також простого пуску асинхронні короткозамкнуті двигуни є одним з основних типів двигунів, широко вживаних для приводу насосів насосних станцій.

Асинхронні двигуни з фазним ротором для приводу насосів використовуються рідко. Вони складніші по конструкції, чим короткозамкнуті, дорожчі (на 40—50%), випускаються тільки в горизонтальному виконанні і тому не можуть бути використані для вертикального монтажу.

При потужності насосів від декількох сотень до 10 000 кВт і ширше застосовуються синхронні двигуни. Вони мають ряд важливих переваг в порівнянні з асинхронними. При застосуванні асинхронних двигунів великої потужності для приводу насосів з числом обертів за хвилину 600 і менше, енергетичні показники агрегату (к.к.д. і $\cos\phi$) виявляються сильно заниженими. Використання ж синхронних двигунів в цьому випадку дозволяє позбавитися від цих недоліків.

До переваг синхронних двигунів слід віднести також їх велику стійкість в роботі при випадкових коливаннях напруги в мережі живлення. Дійсно, момент синхронного двигуна пропорційний першому степеню напруги живлення, а асинхронного — його квадрату. Регулюючи силу струму в обмотках збудження, можна змусити синхронні двигуни працювати з випереджаючим $\cos\phi$, тобто використовувати їх одночасно і як джерело реактивної потужності для збільшення $\cos\phi$ системи. Проте це можливо лише при великій потужності двигунів і нестачі реактивної потужності в системі.

За наявності в системі інших типів компенсуючих установок, наприклад статичних конденсаторів, асинхронні двигуни можна застосовувати при потужностях до 1000 кВт.

Пуск сучасних синхронних двигунів, як правило, асинхронний. Для такого пуску в пази полюсних башмаків двигуна завод виготовлювач закладає спеціальну короткозамкнуту пускову обмотку. При включенні

статора двигуна в мережу живлення обмотка збудження розімкнена, і завдяки наявності пускової обмотки двигун розганяється як асинхронний до швидкості, близької до синхронної, і лише тоді струм подається в обмотку збудження двигуна. При цьому виникає синхронізуючий момент, який «втягує» ротор в синхронізм, тобто примушує його обертатися з синхронною швидкістю.

Для приводу насосів можуть використовуватися двигуни як синхронні загальнопромислового застосування, так і спеціально виготовлені. Більшість загальнопромислових синхронних двигунів мають горизонтальний вал. Промисловіст виготовляє, спеціально для приводу потужних насосів синхронні двигуни мають вертикальний вал, наприклад двигуни серії ВДС. Для швидкостей обертання 750 об/хв з вертикальним валом можуть бути виготовлені двигуни серії МС-320 і ін.

При рішенні питання, який з типів двигунів вибрати для приводу даного насоса — асинхронний короткозамкнутий або синхронний, необхідно, крім того, з'ясувати, чи випускаються двигуни потрібних параметрів, оскільки виготовлення двигунів по спеціальному замовленню обходиться дорого і пов'язано із значними труднощами.

Залежно від потужності двигуни розраховані на одну із стандартної напруги — 380, 500, 660, 3000, 6000, 10 000 В, причому напруга 500 В зустрічається значно рідше, ніж 380 В, і в нових установках не застосовується, оскільки за всіма показниками поступається напрузі 660 В. Необхідно врахувати, що к.к.д. електродвигунів, розрахованих на напругу до 1000 В, вище чим аналогічних електродвигунів, розрахованих на вищі значення напруги. Загальні втрати енергії при використанні цих двигунів, навіть з урахуванням втрат при проміжній трансформації, виявляються менші, ніж при використанні двигунів, що працюють з напругою більше 1000 В. Вартість двигунів, розрахованих на напругу до 1000 В, також нижче, ніж двигунів, які використовують вищу напругу. Практикою встановлені раціональні межі потужності для кожної із стандартних напруг.

Залежно від умов навколишнього середовища двигун повинен мати відповідну форму виконання, обмотку, що захищає його, від шкідливих дій, зокрема від вологи і пилу. На насосних станціях двигуни можуть бути встановлені в сухих приміщеннях (наприклад, в машинних залах, механічних майстернях і ін.) або в сирих. У сухих приміщеннях можна встановлювати двигуни найбільш простого і дешевого захисного виконання (у захисного виконання можуть бути виготовлені двигуни всіх типів).

На великих насосних станціях в сирих приміщеннях зазвичай встановлюють тільки допоміжні двигуни, наприклад для вакууму, дренажних насосів і ін. На станціях невеликої потужності насос і двигун розташовують в одному приміщенні. В цьому випадку двигуни основних насосів можна встановити в вогкому приміщенні, проте вони мають бути захищені від бризок і крапель (з вологостійкою ізоляцією або виконані такими, що обдуваються, причому при великих потужностях — з підведенням повітря, що охолоджує, по трубах ззовні).

2.4 Пуск двигунів

Оскільки пуск сучасних синхронних двигунів, які використовують для приводу насосів, здійснюється завжди як асинхронних, вся методика розрахунків втрат напруги в живлячому трансформаторі при пуску двигуна, а також значень пускових моментів, струмообмежувальних опорів і тому подібне однакова як для асинхронних, так і для синхронних двигунів. Особливо враховуються умови, виконання яких необхідне для «втягування» ротора синхронного двигуна в синхронізм.

При включенні обмотки статора двигуна на напругу живлення (рис.2.2) в колі статора виникає пусковий струм, в чотири-п'ять раз більший за номінальний. Значення пускового струму залежить від типу і синхронної швидкості двигуна. Він викликає значні втрати напруги в трансформаторі і проводах, що йдуть до двигуна, в порівнянні з відповідними втратами при

нормальному режимі. Оскільки двигуни насосних станцій отримують живлення від близько розташованих трансформаторів, втратами напруги в проводах між трансформаторами і двигунами можна нехтувати і вважати, що вони відбуваються тільки в трансформаторі.

Підвищені втрати напруги в трансформаторі негативно впливають як на процес пуску даного двигуна, так і на роботу інших двигунів, одержуючих живлення від цього ж трансформатора. Втрати напруги в трансформаторі (ΔU_T) в долях від номінального можна визначити по формулі

$$\Delta U_T = \frac{K_\phi I_D + S_{нагр}}{S_\kappa} \quad (2.6)$$

де K_ϕ – фактична кратність пускового струму двигуна, що пускається; S_D – потужність, що забирається двигуном із мережі живлення, кВА; $S_{нагр}$ – навантаження трансформатора до включення двигуна, кВА; S_κ — потужність короткого замикання трансформатора (за даними каталога), кВА|.

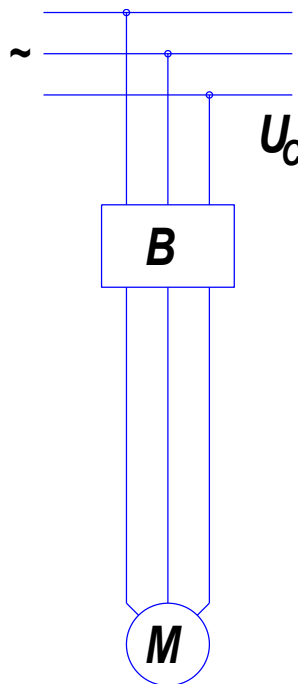


Рисунок 2.2 – Схема ввімкнення машини змінного струму при прямому пуску

Коефіцієнт K_ϕ , у свою чергу, можна визначити по виразу

$$K_\phi = \frac{100K_i}{1 + K_i m U_\kappa \%} \quad (2.7)$$

Тут K_i – кратність пускового струму двигуна (по каталогу).

Коефіцієнт

$$m = \frac{S_D}{S_{ном.Т}} \quad (2.8)$$

$$S_D = \frac{P_D}{\eta \cos \varphi} \quad (2.9)$$

де, P_D — потужність двигуна, що пускається, кВт; η — к.к.д. двигуна, що пускається (по каталогу); $\cos \varphi$ — коефіцієнт потужності двигуна, що пускається (по каталогу).

Величини, що допускаються ΔU_T даються відповідно до норм при рідкісних пусках $\Delta U_T \leq 15\%$ при частих — $\Delta U_T \leq 10\%$.

Підрахуємо, яка мінімальна напруга на обмотці статора двигуна, сполученого з насосом, необхідно для його пуску. Вважаємо, що двигун до насоса підібраний правильно, тоді його номінальний момент (момент при номінальній швидкості обертання) дуже близький до моменту опору насоса при тій же швидкості.

Позначимо: $M_{ном}$ — номінальний момент двигуна; K_M — кратність пускового моменту двигуна; μ_0 — кратність пускового моменту насоса; $U_{ном}$ — номінальна напруга двигуна; ($U_{мін}$ — допустима мінімальна напруга при пуску двигуна).

Для того, щоб при пуску двигун почав обертатись вал насоса, його пусковий момент має бути більше пускового моменту на валу насоса або дорівнювати йому. З урахуванням зниження значення пускового моменту асинхронного двигуна, пропорційного квадрату напруги можна написати:

$$K_M M_{ном} \left(\frac{U_{мін}}{U_{ном}} \right)^2 \geq \mu_0 M_{ном} \quad (2.10)$$

Тоді

$$K_M M_{ном} \left(\frac{U_{мін}}{U_{ном}} \right)^2 = \mu_0 M_{ном}$$

Звіси допустима мінімальна напруга при пуску в долях від номінального буде рівна

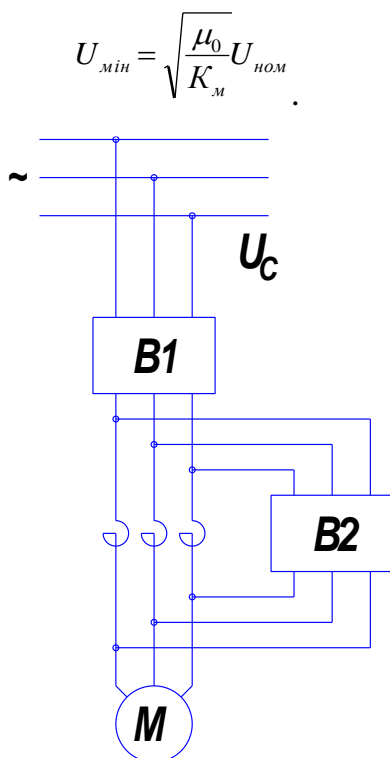


Рисунок 2.3 – Принципова схема реакторного пуску синхронного двигуна високої напруги

Необхідно відзначити, що тривалість пуску в першому наближенні може бути прийнята пропорційною квадрату напруги. Отже, при значних зниженнях напруги тривалість пуску значно збільшується. Це дуже небажано, оскільки в даному випадку для пускового струму буде характерне тривалий процес, що може викликати неприпустимий перегрів двигуна. Зазвичай, як вже указувалося ΔU_t не повинно перевищувати 0,1—0,15. Практично в більшості випадків прямий пуск виявляється можливим. Якщо ж розрахунок показує, що прямий пуск неможливий, то необхідно понизити пусковий струм, включивши в коло статора додаткові опори, або добитися цього іншим способом.

Обмеження пускового струму і зменшення падіння напруги в мережі можуть бути досягнуті шляхом автотрансформаторного пуску. В цьому випадку в початковий момент напруга, що підводиться до статора двигуна, знижується за допомогою автотрансформатора.

На рис. 2.4 показана принципова схема пуску синхронного двигуна високої напруги через реактор, а на рис. 2.5 — через автотрансформатор.

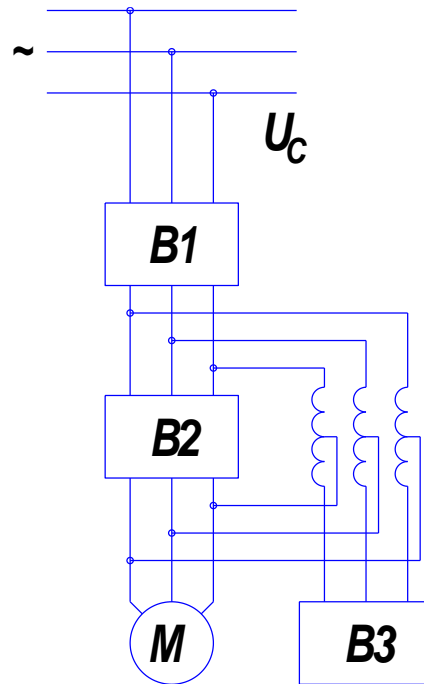


Рисунок 2.4 – Принципова схема автотрансформаторного пуску синхронного двигуна високої напруги

На (рис. 2.3) спочатку включається вимикач B1, а потім при $s \leq s_{кр}$ — вимикач B2, що шунтує реактор. У схемі (рис. 2.5) відбувається триступінчатий пуск: спочатку включаються вимикачі B3 і B1; потім, коли двигун досягне заданої швидкості обертання, вимикач B3 розмикається, і автотрансформатор перетворюється на реактивну котушку; нарешті, при ковзанні ($s \leq s_{кр}$) включають вимикач 2, що шунтує цю реактивну, котушку. Як і в схемі реакторного пуску, тут може бути здійснений так званий «важкий» і «легкий» пуск.

Вартість автотрансформаторного пуску вища, ніж реакторного, тому що автотрансформатор дорожчий за реактор, і схема має на один вимикач більше, ніж при реакторному пуску. Але разом з цим автотрансформаторний пуск має ряд переваг:

- можливість обмеження пускового струму більша, ніж при реакторному пуску;
- сила струму в мережі менша, ніж в двигуні ($I_c < I_d$), тоді як при реакторному пуску $I_c = I_d$. Дійсно, при автотрансформаторному пуску $I_c/I_d = U_d/U_c$, а оскільки $U_d/U_c < 1$, то $I_c < I_d$;

- при однаковому значенні пускового струму в мережі (I_c), при автотрансформаторному пуску, напруга, що підводиться до двигуна, може бути менше понижена, чим при реакторному, і тому початковий момент, що обертає, буде значно вищий (нагадаємо, що оскільки пуск синхронного двигуна здійснюється як асинхронного, його початковий момент, що обертає, пропорційний квадрату напруги на статорі).

При виборі схеми пуску (реакторний або автотрансформаторний) слід виходити з потужності джерела живлення. При достатній його потужності, коли допустимі великі пускові струми, можна рекомендувати схему реакторного пуску як простішу і дешевшу.

У практиці насосних станцій необхідність в зниженні пускового струму може зустрітися тільки за наявності потужних насосів, що приводяться від потужних високовольтних двигунів. В цьому випадку як додаткові опори можуть, як указувалося вище, використовуватися індуктивні опори — реактори. Зупинимося на визначенні їх опору.

де x_D — опір фази двигуна (активним опором фази двигуна нехтуємо, оскільки $x_D > r_D$), тоді

Опір реактора, необхідний для зниження пускового струму статора в p разів, може бути визначене по формулі (2.11), отриманій наступним шляхом: при пуску без струмообмежувальних пристроїв початковий пусковий струм ($I_{\text{пуск}}$) може бути визначений як

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}x_D}$$

$$x_D = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}I_{\text{пуск}}}$$

де K_i — кратність пускового струму, рівна $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$. Знаючи K_i , по каталогу легко вибрати необхідний реактор, який зможе витримати пусковий струм не перегріваючись.

Повний опір у фазі двигуна за наявності реактора, знижує пусковий струм в p разів, буде

$$x_D + x_P = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \frac{I_{пуск}}{p}},$$

тоді

$$x_P = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \frac{I_{пуск}}{p}} - x_D = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \frac{I_{пуск}}{p}} - \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{пуск}} = \frac{U_{ном} p}{\sqrt{3} I_{пуск}} - \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{пуск}} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{пуск}} (p-1),$$

або

$$x_P = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{пуск}} \cdot \frac{p-1}{K_i}. \quad (2.11)$$

Для переходу синхронного двигуна в синхронний режим після досягнення ним підсинхронної швидкості (0,95—0,98 синхронної) в обмотку збудження подається постійний струм (струм збудження). Розглянемо умови, необхідні для «втягування» двигуна в синхронізм.

Щоб двигун «втягнувся» в синхронізм, його швидкість в асинхронному режимі має бути такою, при якій його ковзання дорівнювало б критичному ($s_{кр}$) або менше його. Ця величина визначається по напівемпіричній формулі

$$s_{кр} = \frac{36}{n_0} \sqrt{\frac{P_{макс}}{GD^2 \cdot 10^3}} \quad (2.12)$$

де n_0 — синхронна швидкість обертання валу двигуна, об/хв; $P_{макс}$ — максимальна потужність двигуна в синхронному режимі, кВт; GD^2 — маховий момент насосного агрегату, т·м².

Для досягнення $s_{кр}$ момент двигуна, повинен протягом всього часу пуску перевищувати момент навантаження. У каталогах приводяться значення так званого вхідного моменту, тобто такого моменту, що розвивається двигуном в асинхронному режимі, при якому ковзання $s = 0,05$. Вважаючи, що в межах від $s = 0,05$ до $s=0$ (тобто синхронній швидкості) момент двигуна, що обертає, пропорційний ковзанню, можна написати

$$M = M_{вх} \frac{s}{0,05}. \quad (2.13)$$

Вхідний момент має бути таким, щоб момент, який визначається по формулі (2.13) при ковзанні, меншому, ніж критичне, дорівнював моменту насоса при швидкості, відповідній цьому ковзанню, або перевищував його. Для надійності необхідно, щоб

$$s_{кр} = 1,2s \quad (2.14)$$

При обмеженні пускового струму за допомогою реактора статор на повну напругу мережі (шунтування реактора) необхідно перемикає до включення постійного струму в ротор, тобто застосовувати схему «важкого» пуску.

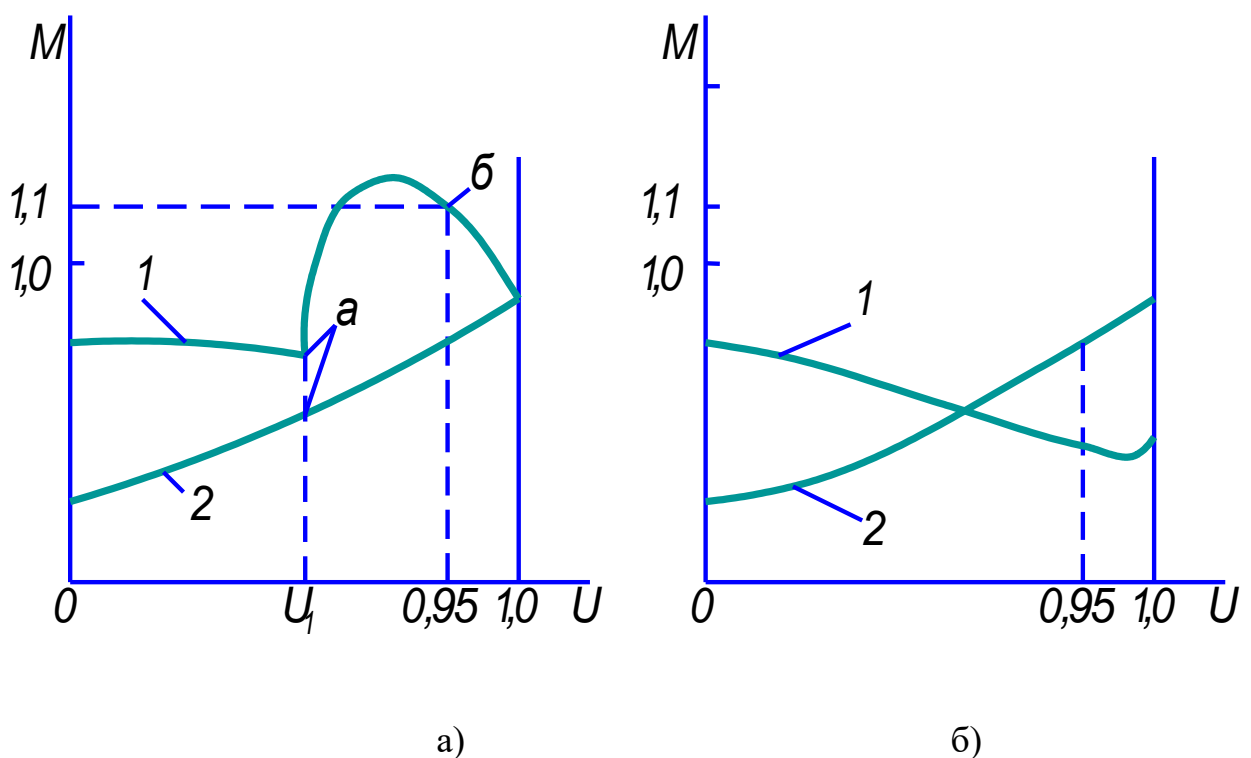


Рисунок 2.5 – Залежність моментів опору на валі двигуна і насоса від швидкості їх обертання:

а) при «важкому» пуску, б) при «легкому» пуску; 1 – двигун, 2 – насос

На рис. 2.5 видно різницю, яка виходить при подачі повної напруги на статор двигуна до подачі струму збудження в ротор («важкий» пуск) і після подачі струму в обмотку збудження («легкий» пуск).

У першому випадку (рис. 2.5, а) перемикає відбувається при порівняно низькій швидкості двигуна (V_1), що відповідає крапці а. Момент опору на валу насоса при цьому невеликий і менше моменту двигуна. При

подальшому збільшенні швидкості і наближенні її значення до синхронної ($V \geq 0,95$) включається збудження (крапка б). Момент на валу двигуна в цей час дещо-превищує номінальний і, не дивлячись на те, що момент опору насоса майже досяг номінального, двигун «втягується» в синхронізм, і починається нормальна робота агрегату.

У другому випадку (рис. 2.5, б) момент двигуна (при зниженій напрузі на статорі) після подачі збудження на ротор при деякому збільшенні швидкості (V_2) може стати рівним моменту опору на валу насоса. При цьому подальший розгін двигуна припиниться, необхідна підсинхронна швидкість не буде досягнута, і після подачі на статор повної напруги двигун в синхронізм не «втягнеться». Пуск виявиться невдалим.

При пуску асинхронного двигуна на холостому ході в активному опорі роторного кола виділяється теплова енергія, що дорівнює кінетичній енергії приводимій в обертання махових мас, а при пуску під навантаженням кількість виділеної енергії відповідно збільшується. Виділення енергії в колі статора звичайно трохи більше, ніж у роторній. При частих пусках, а також при дуже важких умовах пуску, коли махові маси що приводяться в рух великі, виникає небезпека перегріву обмоток двигуна. Число пусків асинхронного двигуна на годину, допустиме за умовами його нагрівання, тим більше, чим менше номінальна потужність двигуна і чим менше з'єднані з його валом махові маси.

При подачі напруги на статор асинхронної машини мають місце два несприятливих фактора, а саме:

- велика кратність початкового пускового струму, яка досягає (4-7) I_n ,
- коливальний затухаючий характер пускового моменту двигуна.

Наслідки дії цих факторів. Великий початковий пусковий струм викликає значні просадки напруги на живильних шинах підстанції, що порушує роботу, як інших споживачів, так і самого двигуна (затягування пуску). Великий пусковий струм викликає також значні термічні

перевантаження обмотки, наслідком чого може бути прискорене старіння ізоляції, її пошкодження і, як результат, можливе коротке замикання.

Значні коливання моменту двигуна на початковому етапі пуску, які можуть перевищувати 4-5 кратне значення номінального моменту, створюють несприятливі умови для роботи механіки (кінематичного кола).

Тому метод пуску асинхронних електродвигунів прямим підключенням до мережі має три серйозні недоліки - вплив на сам двигун, на мережу і на технологічний процес:

Вплив на сам двигун. Пікові кидки струму в перехідному процесі пуску (4-7 кратні по відношенню до номінального) призводять до значних навантажень на провідники, розташовані в лобових частинах обмотки електродвигуна, і як наслідок - до послаблення бандажування обмотки, поступового порушення (перетирання) ізоляції і передчасного виходу двигуна з ладу через коротке замикання витків обмотки.

Вплив на мережу. При живленні від автономних генераторів, особливо в кінці лінії електропередачі, падіння напруги на внутрішньому опорі джерела живлення і цієї лінії при протіканні великих пускових струмів призводить до просідання напруги в мережі, що негативно позначається на роботі іншого підключеного до неї обладнання (контролери, комп'ютери, зв'язок, термінали релейного захисту та ін), а сам двигун може не запуститися через зниження його моменту пропорційно квадрату осідання напруги.

Переваги плавного пуску.

Використання пристрою плавного пуску знижує ймовірність перегріву двигуна, зменшує пускові струми, усуває ривки в механічній частині приводу в момент пуску і зупинки двигуна, збільшує термін служби двигуна, знижує споживану активну та реактивну потужність, знижує шум, нагрів і вібрацію електродвигуна, захищає двигун.

Поява пристроїв плавного пуску на основі фазового методу регулювання та їх вдосконалення дедалі частіше призводить споживача до вибору такого пристрою саме тоді, коли немає гострої необхідності

регулювання швидкості обертання електроприводу або є можливість вирішити цю проблему кількістю паралельно включених механізмів і повторно-коротким часовим режимом роботи.

Переваги пристроїв плавного пуску на основі фазового методу, у порівнянні з частотними перетворювачами, коли не потрібно регулювання швидкості, також очевидні: значно менші вартість і втрати від прямого падіння напруги на силових елементах, простота схеми підключення і, як наслідок, більша надійність, наявність гармонійних складових тільки під час пуску, хоча при частих пусках виявляється необхідним застосування силових протизавадних фільтрів.

В основу роботи пристрою плавного пуску покладений принцип живлення трифазного асинхронного двигуна шляхом поступового збільшення напруги при пуску, забезпечуваного тиристорним перемикачем (ТП), складається із шести тиристорів включених по двох паралельно в кожній фазі живильної мережі.

На рис. 2.6 показано принцип регулювання кута відкриття тиристорів.

Тиристорний перемикач дозволяє плавно змінювати напругу при постійній частоті мережі за рахунок моменту відкриття тиристора. Керування швидкістю наростання вихідної напруги забезпечується мікропроцесорним блоком керування (МБУ).

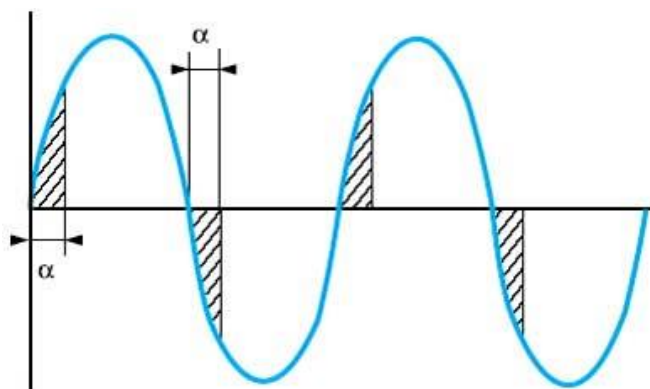


Рисунок 2.6 – Регулювання струму при пуску електродвигуна

Пусковий момент двигуна змінюється пропорційно квадрату напруги при фіксованій частоті. Плавне збільшення напруги виключає кидок струму в

момент включення, при цьому також виключається механічний удар у системі двигун-редуктор кормороздавальної машини.

Структурна схема пристрою наведена на рис.2.7.

У програму мікропроцесора МБУ закладена функція контролю струму навантаження. Ця функція виконує захист від обриву фази, захист від перевантаження двигуна та підтримує кратність обмеження пускового струму стосовно номінального, яка задається користувачем за допомогою перемикачів.

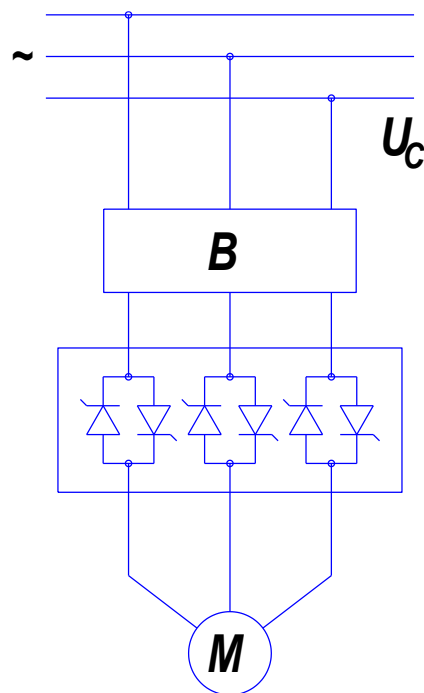


Рисунок 2.7 – Структурна схема пристрою плавного пуску

МБУ виконаний у металевому корпусі. На його передній стінці є рідиннокристалічний дисплей для відбиття основних налаштувань і параметрів. Програмування параметрів пуску здійснюється за допомогою багатопозиційних перемикачів, розташованих на задній стінці, за допомогою яких задаються наступні параметри: час пуску; номінальний струм; кратність пускового струму; стартова напруга (%).

Значення температури виводиться на дисплей. При нагріванні радіатора понад 80 °С МБУ відключає пристрій. У модулі є також плата трансформаторів, що забезпечують гальванічну розв'язку схеми керування

тиристорами від силової та плата синхронізації схеми керування з кожною фазою мережі.

Тиристорний перемикач виконаний у вигляді модуля, який складається із шести тиристорів, установлених на загальному радіаторі. Для примусового повітряного охолодження радіатор ТП комплектується вентилятором. Контроль температури радіатора здійснюється напівпровідниковим датчиком, сигнал від якого передається в МБУ.

У свою чергу, пристрій плавного пуску (УПП) не може виконати такі функції:

- регулювати частоту обертання двигуна в усталеному режимі;
- реверсувати напрямок обертання;
- збільшити пусковий момент щодо номінального;
- знизити пусковий струм до значень менших, ніж потрібно для обертання ротора у момент старту.

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМА РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

3.1 Особливості режимів роботи системи «насосна станція – резервуар - споживач»

Практично у всіх переробних господарствах АПК система водозабезпечення побудована за принципом «насосна станція – резервуар - споживач». В даному випадку слово «насосна станція» вміщує в собі значення насосної станції з усіма елементами необхідними для забезпечення її працездатності, а саме джерело води (відкрите водоймище, свердловина, колодязь, інша водопровідна мережа), водозабірна та водопровідна мережа, сам насос, привідний двигун, система його живлення та захисту. «Резервуар» - в залежності від виду системи водозабезпечення це може бути водонапірна башта чи пневматична водонапірна установка. «Споживач» - це підприємство у якому відбувається споживання води на різні технологічні та санітарно-гігієнічні потреби.

Як відзначалось раніше в залежності від типу підприємства, його потужності системи водозабезпечення відрізняються своїми особливостями, а саме джерело води:

- відкрите водоймище (ставок, водосховище, річка), в такому випадку вода потребує спеціального очищення та знезараження – в більшості випадків це великі підприємства на взірць цукрових заводів;
- артезіанські свердловини, місцеві віддаленої водопровідні мережі – це типові переробні підприємства: пекарні чи хлібозаводи, молочні комбінати, консервні заводи та ін.

Водонапірні башти – як резервуар води та водонапірна установка використовуються най частіше, оскільки за умов перебоїв у водопостачанні з різних причин вдається створити певний запас води для технологічних чи

екстренних потреб. Гідропневматичні установки використовують на невеликих водопроводах дозволяє уникнути будівництва дорогих водонапірних башт і зкоротити будівельні витрати, а водопроводах з круглодобовою подачею води насосами і тупіковою мережею – знизити небезпеку виникнення аварій від гідравлічного удару.

Для проведення аналізу режимів роботи даної системи ми пропонуємо побудувати модель даної системи, яка складається з трьох основних елементів: насос, резервуар, споживач. Моделювання зручно провести в математичному пакеті MATLAB/Simulink. Основні елементи для побудови моделі системи представлені на рис. 3.1.

Елемент «насосна станція» може складатись від одного до кількох (2,3,4 ...) насосів які ми будем моделювати за допомогою блока Ramp. Цей блок призначений для моделювання лінійно наростаючого чи спадаючого сигналу. Даний пристрій буде моделювати кількість перекачаної води з певною інтенсивністю. Вікно настройки його параметрів зображене на рис. 3.2.

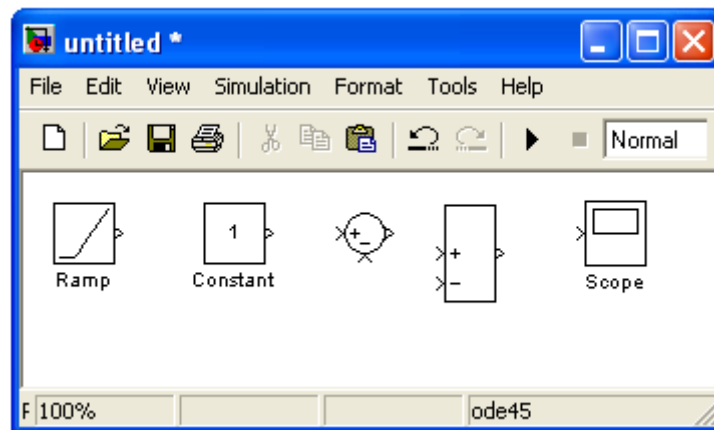


Рисунок 3.1 – Вікно математичного пакету MATLAB/Simulink з елементами необхідними для побудови моделі системи

В даному вікні в першому полі вводиться величина до якої повинен нарости сигнал протягом однієї секунди, це значення може бути як додатне так і від'ємне. При встановленні даного блоку з від'ємним сигналом можна компенсувати вплив іншого аналогічного блоку, або, в нашому випадку

змодельовати споживання води. У другому полі вводиться значення часу з якого повинен почати змінюватись сигнал на виході.

Споживання води моделюєм аналогічно до насосної станції тими ж блоками, але значення зміни сигналу матиме протилежний знак.

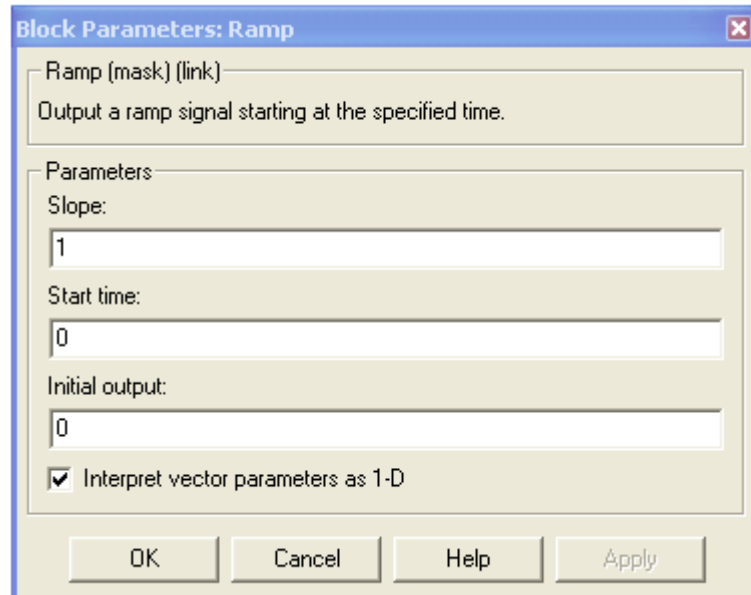


Рисунок 3.2 – Вікно налаштування параметрів блоку Ramp

Резервуар можна змодельовати за допомогою суматорів (рис. 3.1) третій і четвертий елементи. Кількість входів, а також знак з яким поступає сигнал можна змінювати (рис. 3.3), форма може бути вибрана як кругла так і прямокутна.

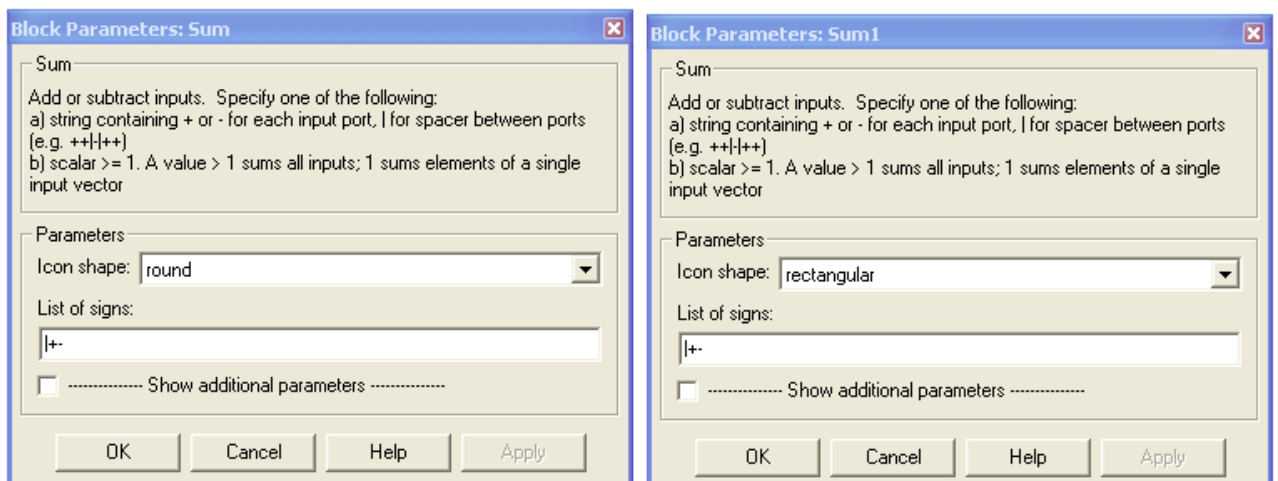


Рисунок 3.3 – Вікна налаштування суматорів круглого та прямокутного відповідно

Для спостереження за зміною сигналів різних значень призначений осцилоскоп Scope (рис. 3.1), п'ятий елемент. Вікно налаштування параметрів зображено на рис. 3.4 цікавим є перше поле налаштування в якому можна відзначити кількість входів даного пристрою.

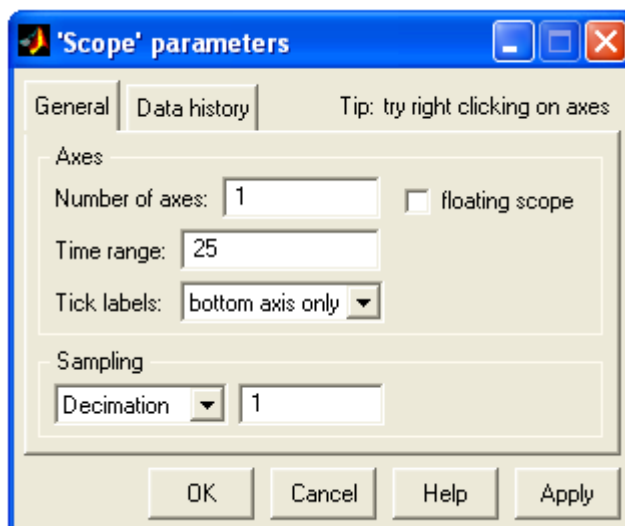


Рисунок 3.4 – Вікно налаштування параметрів осцилоскопа



Рисунок 3.5 – Добовий графік споживання води, в % від добового
СПОЖИВАННЯ

Якщо в резервуарі вже була певна кількість води то для цього встановлюємо додатковий блок Constant вихідний сигнал з якого подається на суматор. В вікні налаштування даного пристрою вводиться величина вихідного сигналу.

На нашу думку доцільно розглянути три варіанти системи водозабезпечення:

- з одним насосом робочим, який працює постійно, а другий резервний;
- з двома робочими, один з них в режимі ввімнення-вимкнення, а другий постійно працює, в резерві ще один насос;
- з трьома робочими насосами, два працюють постійно, третій в режимі ввімнення-вимкнення, в резерві ще один насос.

В усіх системах двигуни і насоси однотипні, щоб резервний насос міг здійснити повноцінну заміну.

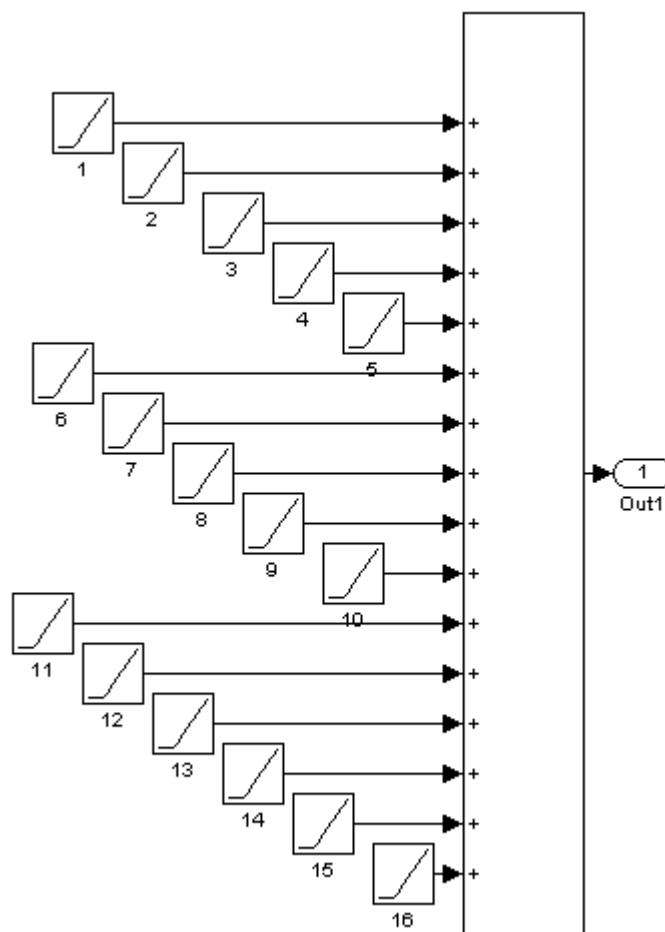


Рисунок 3.6 – Модель споживача

Аналіз доцільно проводити для системи з ідентичним графіком споживання води (рис. 3.5). Модель споживача придставлена на рис. 3.6, вона імітує зміну в часі інтенсивності споживання води, графік зміни інтенсивності споживання представлений на рис. 3.17. Усі значення представлені у % від добового споживання води. 100% графік досягає в момент коли закінчується доба, а саме через 24 години.

Загальна модель представлена на рис. 3.8 вона складається з насосної станції *Nasosna stancia*, резервуару – *Rezervuar*, та споживача – *Spozuvach*. Резервуар змодельований за допомогою суматора (рис. 3.9) на який подається два сигнали: один від насосної станції з плюсом, а другий від споживача з мінусом, вихідний сигнал подається на реєструючий прилад.

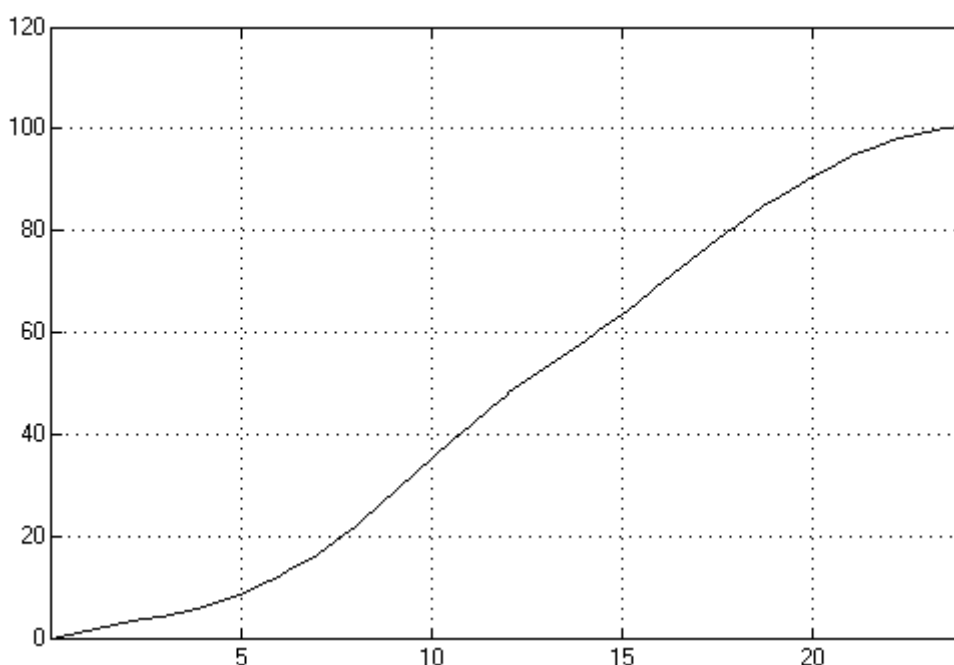


Рисунок 3.7 - Графік зміни інтенсивності споживання води

Як відзначалось раніше, при дослідженні даної системи ми розглянемо три випадки: з одним, двома, та трьома робочими насосами, при цьому в резерві є ще один насос. У кожному випадку всі насоси з однаковими параметрами, однотипні, для зменшення кількості резервного ремонтного фонду та уніфікації системи.

У першому випадку коли постійно працює один насос, а другий резервний (рис. 3.10), при проведенні моделювання ми отримали графіки

перехідних процесів (рис. 3.11) зміни кількості води в резервуарі та кількість перекачаної води насосною станцією. З даних перехідних процесів видно, що за умови коли насос підібраний таким чином щоб двигун працював безперервно, уникаючи частих пусків і зупинок, з продуктивністю 4,6% / год від добового споживання, регульований об'єм резервуару повинен становити приблизно 16% від добового споживання води.

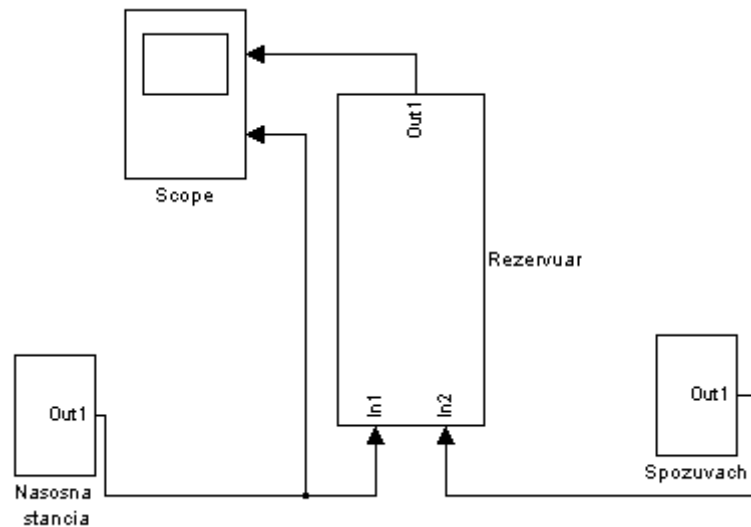


Рисунок 3.8 – Модель системи «насосна станція – резервуар - споживач»

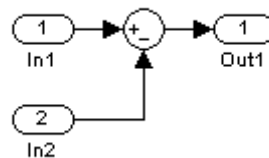


Рисунок 3.9 – Модель резервуару

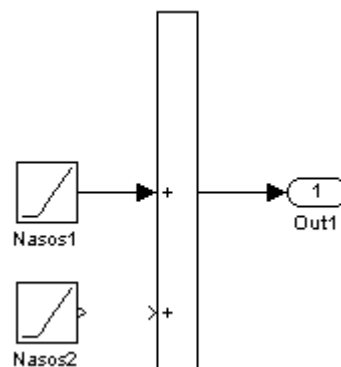


Рисунок 3.10 – Модель насосної станції з одним робочим та одним резервним насосом

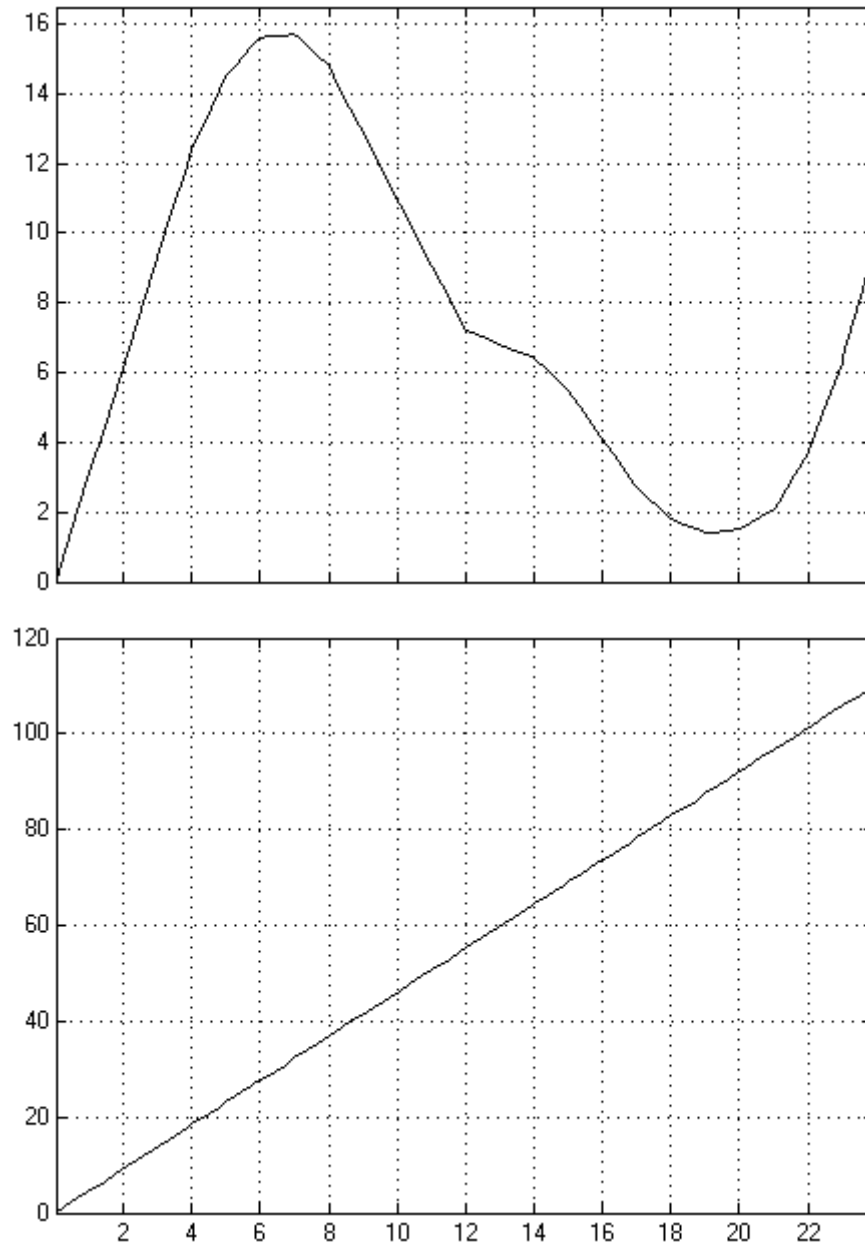


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу зміни кількості води в резервуарі продовж доби у % та графік продуктивності насосної станції при роботі з одним насосом

При побудові насосної станції з використанням двох робочих насосів (рис. 3.13), а третій резервний, доцільно зробити таким чином щоб їх сумарна потужність була більшою ніж у випадку використання одого насоса, при цьому, як видно з рис. 3.12, можна зменшити регульований об'єм резервуару, приблизно до 6,5 % від добового споживання води. В такій системі один насос працює постійно, а другий вмикається при збільшенні споживання води. З другого графіка перехідного процесу видно, що коли темп наростання

сигналу вищій – це означає, що в даний момент працює два насоси, у іншому випадку лише один. Продуктивність одного насосу становить 3% / год, отже сумарна продуктивність 6 % / год.

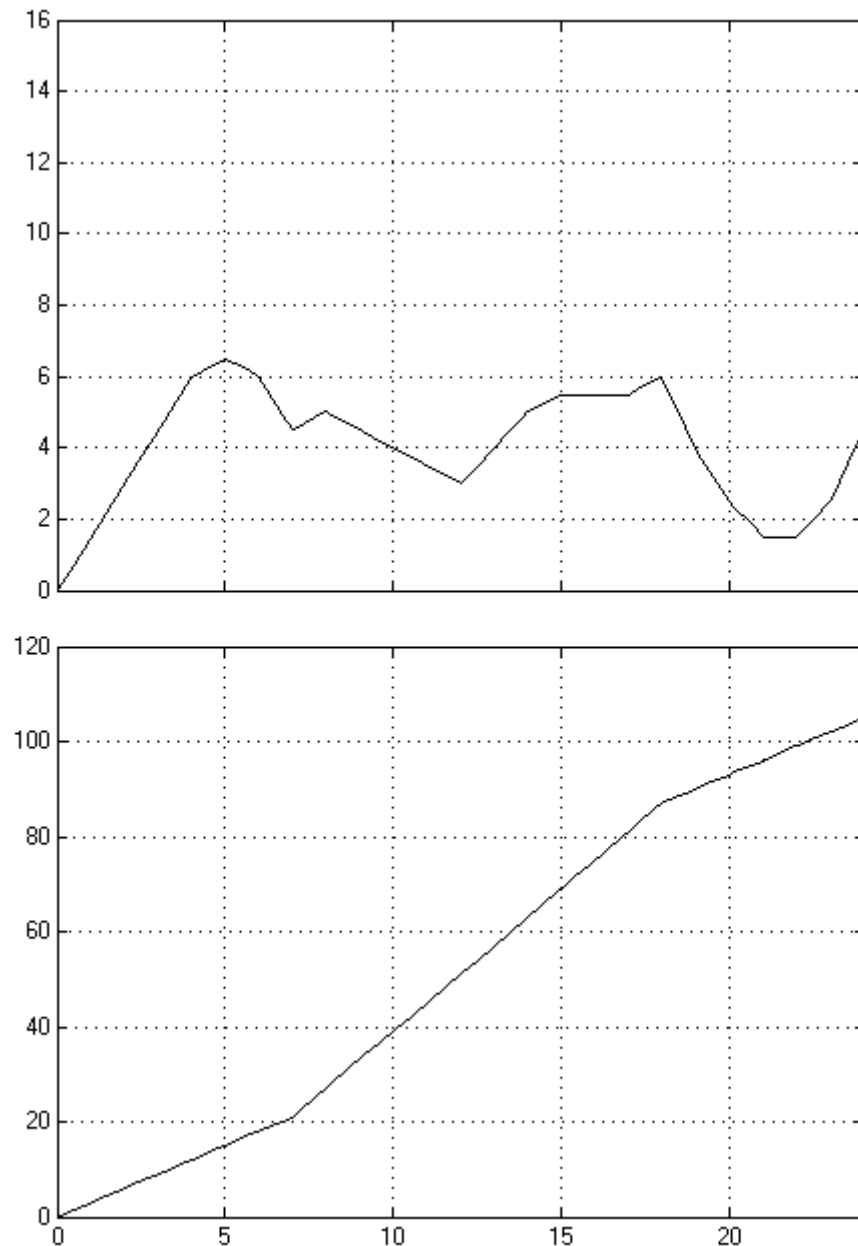


Рисунок 3.12 – Графік перехідного процесу зміни кількості води в резервуарі продовж доби у % та графік продуктивності насосної станції при роботі з двома насосами

У випадку використання трьох робочих насосів (рис. 3.14), для зменшення кількості пусків двигунів та зменшення регульованого об'єму резервуару можна збільшити сумарну потужність насосів таким чином, щоб сумарна продуктивність становила 7,5% / год від добового споживання води,

а це означає, що кожен насос по 2,5% / год. При цьому ми бачимо з рис. 3.15, що регульованого об'єму резервуару становить близько 4%.

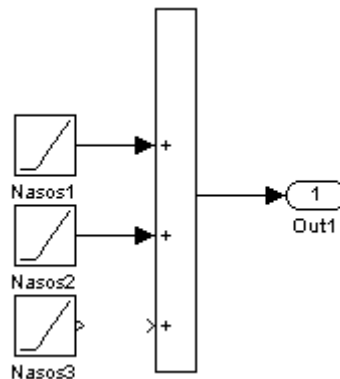


Рисунок 3.13 – Модель насосної станції з двома робочими та одним резервним насосом

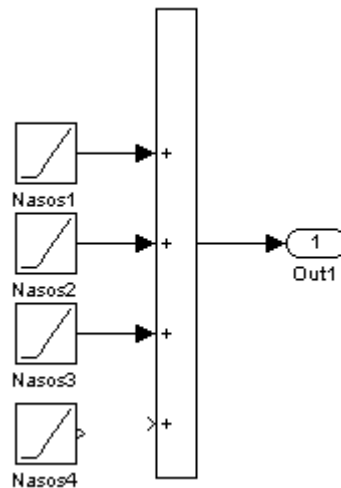


Рисунок 3.14 – Модель насосної станції з трьома робочими та одним резервним насосом

Моделювання проведено наближено, оскільки, не враховано обмеженості продуктивності джерел води, а прийняті однотипними, хоча якщо розглядати кілька свердловин, то кожна має свою індивідуальну продуктивність. При зміні графіка добового споживання води, параметри системи водозабезпечення міняються.

Після проведеного моделювання ми прийшли до висновку, що суттєвий виграш в регульованому об'ємі резервуару (близько 9% від добового споживання води) дає перехід від одного насоса до двох, коли один постійно

працює, а другий вмикається в години з більшим споживанням води. Перехід від двох до трьох насосів різниця менш суттєва, близько 2,5%, хоча при суттєвому збільшенні продуктивності виграш можебути більшим, але у цьому випадку виникають частіші пуски двигунів насосів і менший час роботи кожного насосу, тобто суттєвіше недовикористання встановленої потужності.

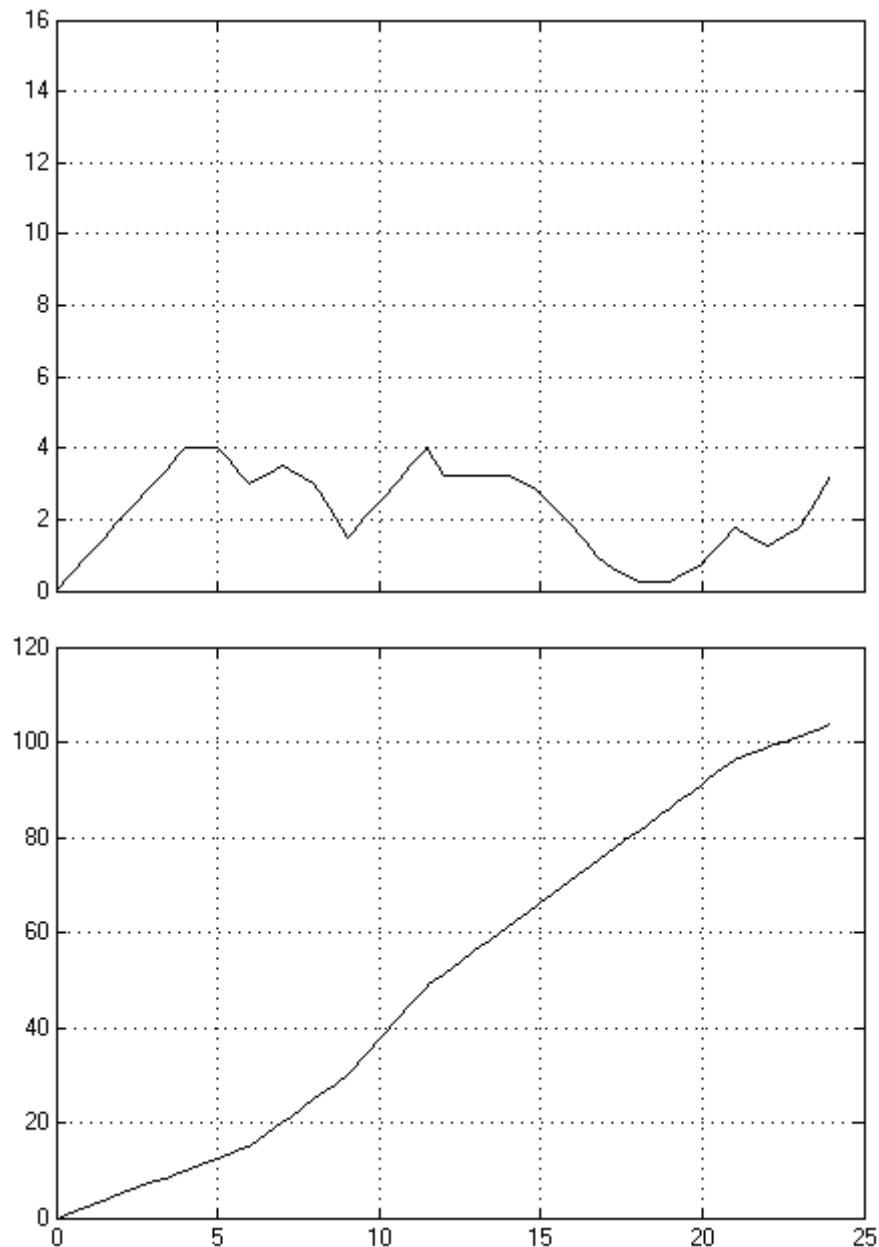


Рисунок 3.15 – Графік перехідного процесу зміни кількості води в резервуарі продовж доби у % та графік продуктивності насосної станції при роботі з трьома насосами

З точки зору надійності, то робота насосної станції з одним насосом а один в резерві передбачається 100% резервування, у випадку з двома насосами – 50% резервування, у випадку трьох насосів – 33,33%.

При наявності великого резервуару най краще використовувати один насос, оскільки передбачається тривала його робота з параметрами близькими до номінальних та уникнення частих пусків.

На нашу думку використання трьох насосів і більше виправдано лише у випадку обмеженої продуктивності джерел води, в іншому випадку ускладнення та здорожчання усієї системи не має змісту.

Оптимальним варіантом для нашого випадку є робота двох насосів. Оскільки два насоси можуть по черзі працювати в тривалому та повторно-короткачному режимі, 50% резервування передбачає менші капіталовкладення ніж 100% та краще використання встановленої потужності, а для полегшення пусків двигунів доцільно використати пристій плавного пуску з налаштуваннями для насосу.

3.2 Схеми керування насосами

Для керування насосом ми пропонуємо використати пристрій, який називається як реле контролю рівня струмопровідної рідини LVM30. В функції реле входить:

- реле рівня струмопровідної рідини;
- три електроди, які визначають рівень COM, MIN, MAX;
- регулювання чутливості;
- функція заповнення і випорожнення, регульована затримка на вимкнення по часу або по сигналу електрода;
- дві напруги керування;
- індикатор стану ввімкнення;
- індикатор стану вихідного реле;
- вхід електродів захищений варисторами;

- релейний вихід з двома перекидними контактами.

Реле контролю для струмопровідної рідини, яке забезпечує контроль за заповненням і випороженням бака, за допомогою електродів мінімального і максимального рівня відповідно MIN і MAX.

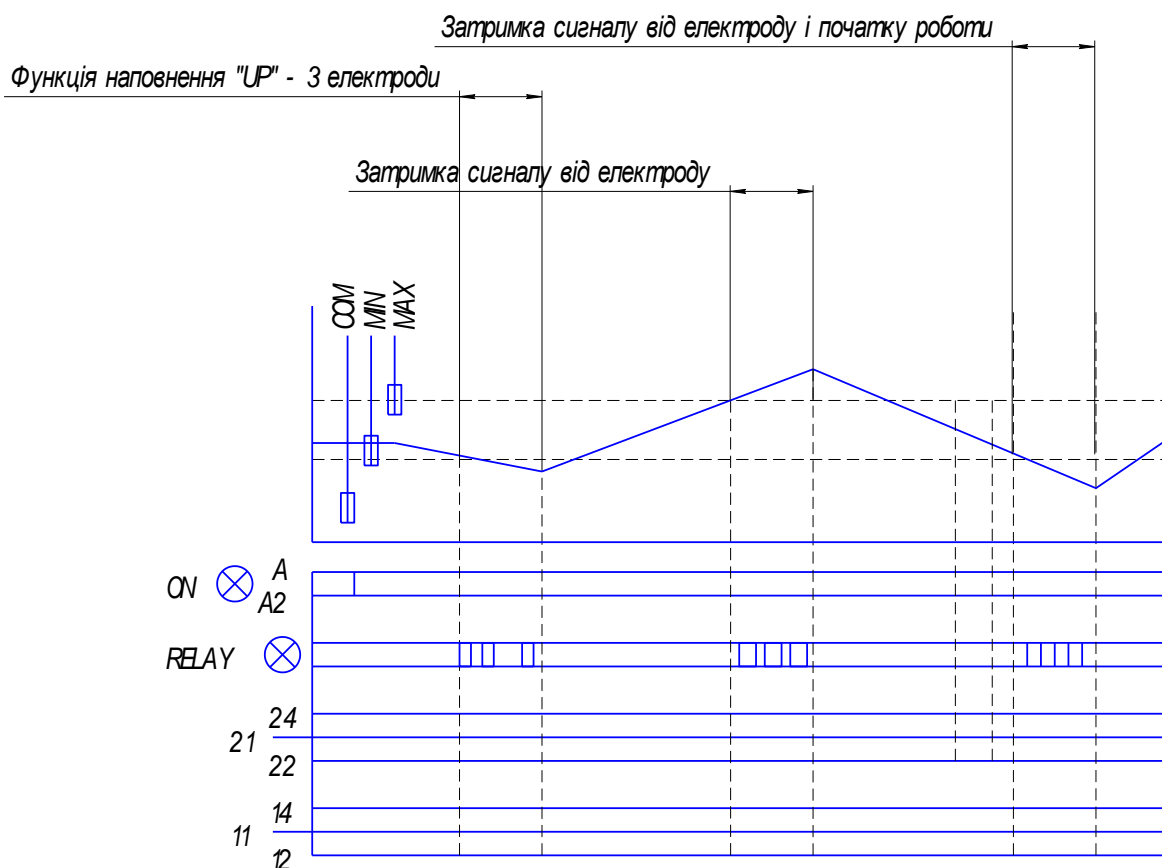


Рисунок 3.16 – Часова діаграма в режимі заповнення

Затримка по сигналу давача найбільш придатний метод для двох електродного керування, яке виключає ефект хвилі рідини.

При функції наповнення, коли рідина опускається нижче електроду MIN, то вихідне реле, яке контролює насос заповнення бака, вмикається. Коли рідина досягає електроду MAX, то вихідне реле відмикається, насос зупиняється рис. 3.16.

Схема електроприводу складається з двох двигунів, один з них працює тривало, а інший вмикається в період часу коли збільшується споживання води. Давачі рівня першого двигуна M1 встановлюються так щоб давач

нижнього рівня був нище відповідного давача системи керування двигуном M2, а давач верхнього рівня вище.

Окрім того ми пропонуємо для полегшення запуску асинхронного двигуна, оскільки прямий пуск – це важкий режим роботи, використати пристрій плавного пуску Altistart 48. Запропонована схема зображена на рис. 3.17.

Пристрій плавного пуску та гальмування Altistart 48 представляє собою тиристорний перемикаючий пристрій (регулятор гнапруги), який забезпечує плавний пуск і зупинку трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 1,5 до 1200 кВт.

Цей пристрій об'єднує функції плавного пуску та гальмування, захисту механізмів та двигуна, а також зв'язку з системами автоматизації. Ці функції відповідають найбільш частим застосуванням, головним чином, в будівельній, харчовій і хімічній галузі для відцентрових механізмів, насосів, вентиляторів, компресорів і конвеєрів. Характеристики алгоритму керування пристроїв плавного пуску Altistart 48 забезпечують високу надійність, безпеку і простоту вводу в експлуатацію.

Пусковий пристрій Altistart 48 – це економічне рішення, яке дозволяє: зменшити вартість експлуатації механізмів шляхом зниження механічних впливів і покращення експлуатаційної готовності обладнання; зменшення впливу пуску двигуна на електричну мережу за рахунок обмеження кидків струму і провалів напруги в мережі.

Пусковий пристрій постачається готовим до використання для нормального застосування, він має встроєний термінал, який дозволяє перестроювати програмовані функції, настройки і захисти з метою адаптації і індивідуалізації застосування до потреб клієнта.

Функції електроприводу: спеціальний алгоритм керування моментом, реалізований в пристроях плавного пуску Altistart 48 (патент Шнайдер Електрик); підтримання моменту, який розвиває двигун під час прискорення і сповільнення (значне зменшення ударних навантажень); простота настройки

прискорення при розгоні і пускового моменту; можливість закоротки пристрою з допомогою обхідного контактора після закінчення пуску з підтриманням електронного захисту; великий допустимий діапазон зміни частоти при живленні від електроагрегатів; можливість підключення пускового пристрою до двигуна зі з'єднанням обмоток в трикутник, послідовно з кожною обмоткою.

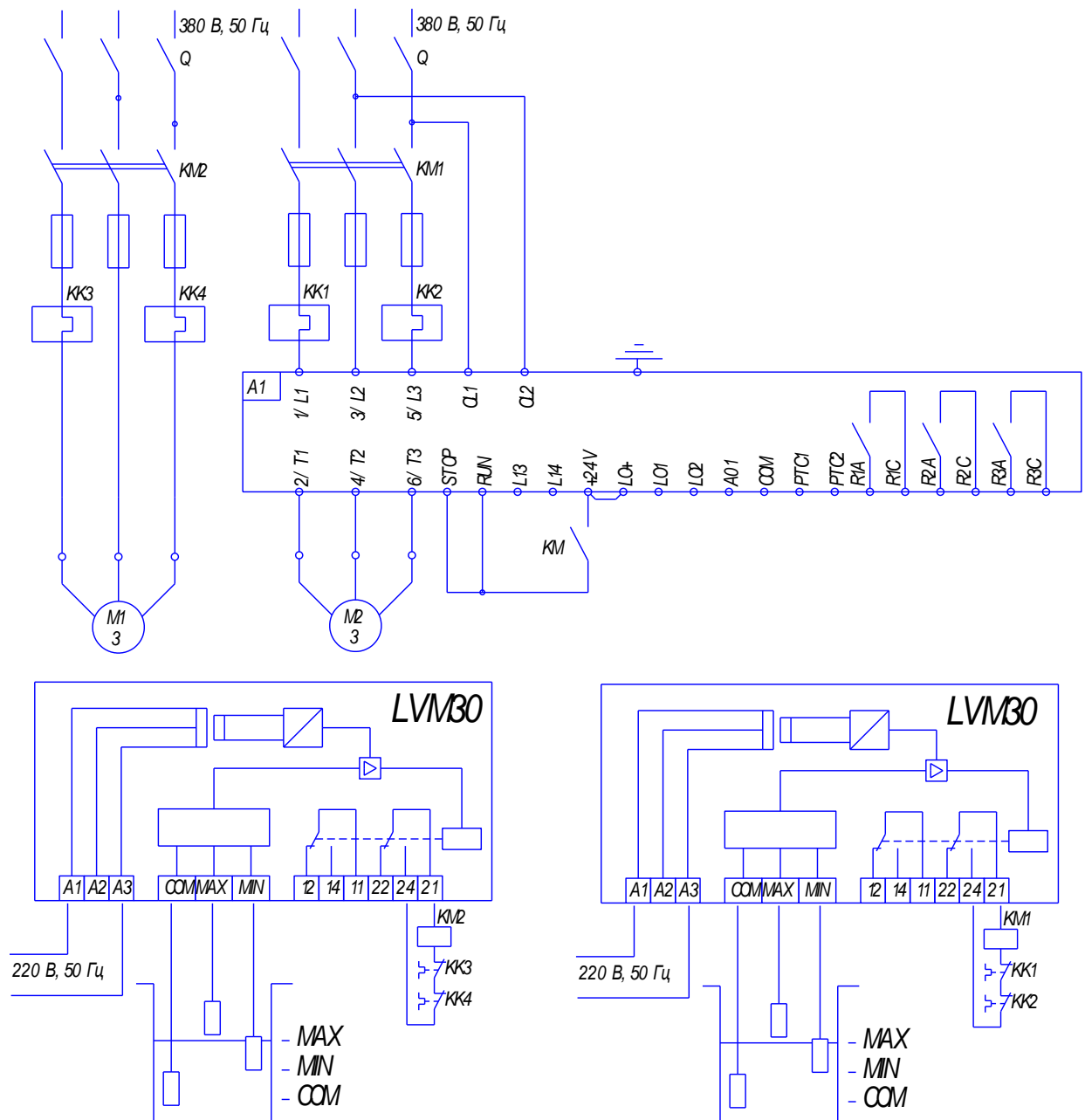


Рисунок 3.17 – Принципова електрична схема електроприводу насоса
 Функції захисту двигуна та механізму: вбудований побічний тепловий захист двигуна; обробка інформації з терморезисторів (позисторів); контроль

часу пуску; попередній прогрів двигуна; захист від недовантаження і перевантаження в установленому режимві.

Функції, які полегшують інтегрування в системи автоматизації: 4 дискретних входи, 2 дискретних виходи, з релейних вихода і 1 аналоговий вихід; клемники вхідних і вихідних кіл керування знімаються; функції конфігурування другого двигуна, простота адаптації налаштувань; відображення електричних параметрів, стану навантаження і часу роботи; послідовний порт RS 485 для підключення до шини Modbus.

Функції налаштувань: номінальний струм двигуна (максимально встановлений струм); струм обмеження; час розгону (прискорення); початковий пусковий момент; вибір типу зупинки. Можливо вибір трьох типів зупинки:

- зупинка двигуна на вибігу;
- зупинка двигуна зі сповільненням під контролем моменту (насосне застосування).
- зупинка двигуна в режимі динамічного гальмування (застосування: механізми з великим моментом інерції).

Функції захисту. Пусковий пристрій Altistart 48 має функції захисту, які дозволяють захищати двигун і механізм:

- тепловий (часо-струмовий) захист двигуна;
- тепловий захист двигуна за допомогою терморезисторів;
- вентиляція пускового пристрою;
- тепловий захист пускового пристрою;
- захист від недовантаження двигуна;
- захист від затягнутого пуску;
- захист від перевантаження по струму;
- захист від зміни порядку чергування фаз;
- витримка часу перед повторним пуском;
- визначення обриву фаз;
- автоматичний повторний пуск.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ

4.1 Аналіз процесів виникнення травм під час експлуатації водонасосної установки

Процеси виникнення травм під час експлуатації водонасосної установки можуть виникати у наступних випадках:

- під час проведення обслуговування ;
- під час комплектування ;
- під час роботи.

Під час проведення обслуговування машин травми виникають у випадках коли:

- не встановлені захисні пристрої;
- використання несправного інструменту;

Під час комплектування травми виникають у випадках коли:

- обмежується оглядовість робітника;
- під час проведення комплектування немає підставок на установку.

Під час роботи травми можуть виникати у випадках:

- раптових несправностей;

4.2 Моделювання процесів виникнення травм

Даний метод доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження. Будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути

застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій. Обчисленням рівня небезпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева", дерева несправностей або дерева помилок оператора застосовують для аналізу складних систем. Аналіз умов обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відказів та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

Основні принципи побудови моделі такі. Визначається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми. Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи. Що характеризують ті чи інші події. Як правило побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій.

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи того методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відказів оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку - травма модель якої побудована на (рис. 4.1.). Для побудови даної моделі ("дерева") травми

використовую оператори "І" та "АБО", після цього виконую набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій. Застосовуючи формули.

Таблиця 4.1 – Результати обчислень ймовірностей випадкових подій логіко — імітаційної моделі

Випадкова подія, що увійшла в дану модель.	Номер події	Показник %
1	2	3
Стан контролю з охорони праці	1	0,3
Професійний рівень працюючого	2	0,5
Помилка працюючого	3	0,5
Підставка не фіксується	4	0,8
Стан підставки не оглядався	5	0,46
Стан контролю з охорони праці	6	0,4
Досвід працюючого	7	0,3
Травма	17	0,044

1-Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 P_2.$$

2- За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3

формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 P_2 P_3$$

3- Оператор "І" об'єднає n події з ймовірностями P1 і P2. . . Pn тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 P_2 \dots P_n$$

Результати обчислень ймовірностей випадкових подій логіко — імітаційної моделі представлені в табл. 4.1.

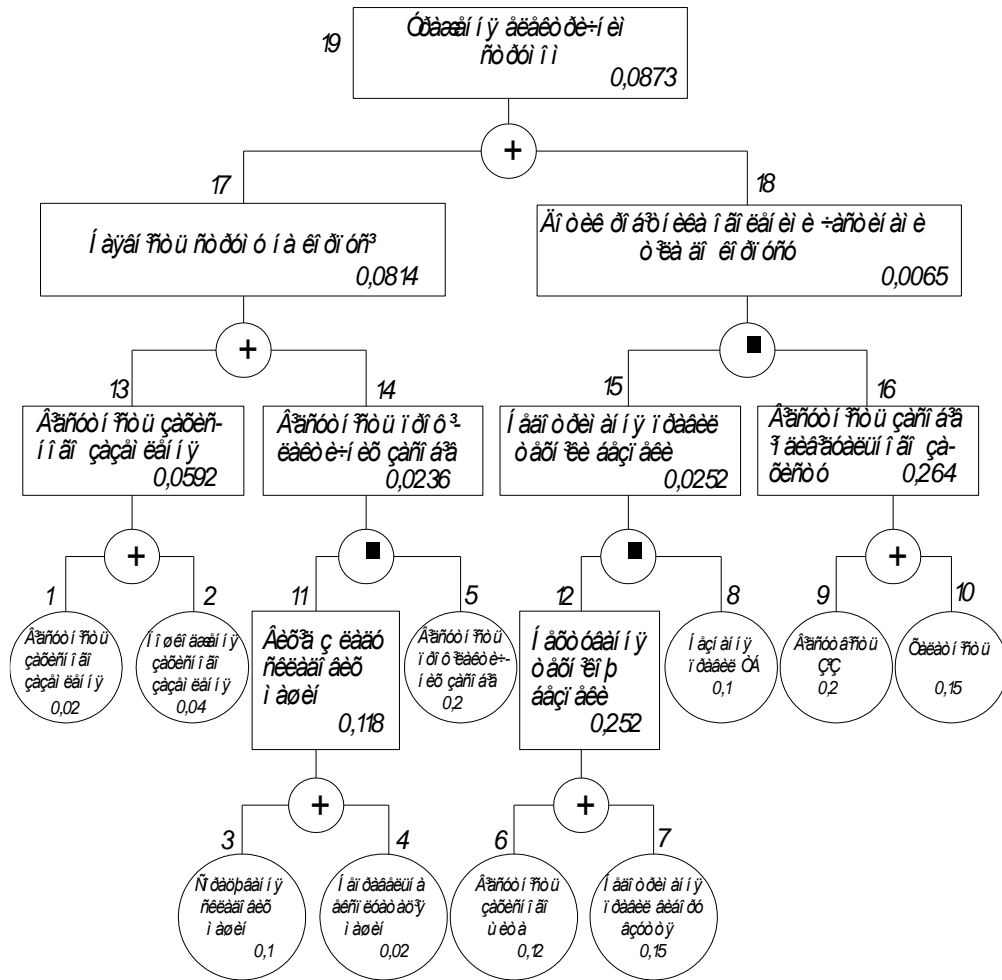


Рисунок 4.1 – Модель „помилки і відмов оператора”

4- Дві базові події з ймовірностями P1 і P2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 P_2.$$

5- Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 P_2 - P_1 P_3 - P_2 P_3 + P_1 P_2 P_3.$$

6- Якщо оператор "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули.

Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення

4.3 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення

Одним з найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Адже, актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Відповідальність за організацію цивільної оборони згідно із Законом "Про цивільну оборону України" лягає на керівника господарства. Керівництво господарства повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створює загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільної оборони на об'єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідні проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій:

- оповіщення та інформуванні, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди;

- спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою, забезпечується створенням та підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості;

- укриття в захисних спорудах, якому підлягає працююча зміна та усе населення, досягається створенням фонду захисних споруд;

- евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж;

- медичний захист проводиться для зменшення ступеня зараження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим;

Одним із основних завдань цивільної оборони є навчання населення вмінню застосування засоби індивідуального захисту та дій у надзвичайних ситуаціях.

Тому заходи щодо зниження ступеня впливу негативних наслідків аварійних ситуацій здійснюються з метою завчасної підготовки підприємств від надзвичайних ситуацій та створення умов для підвищення стійкості їх роботи, проведення своєчасних робіт щодо рятувальних заходів.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Ми розглядаємо випадок коли на підприємстві встановлено два працюючі насоси і для полегшення пуску двигуна ми пропонуємо встановити пристрій плавного пуску двигуна потужністю 1,5 кВт.

Визначаємо сумарні затрати необхідні для вдосконалення принципової схеми керування електроприводу насосу:

$$PB = B_{in} + B_{уст.}, \quad (5.1)$$

де B_{in} – вартість інших матеріалів та витрат;

$B_{уст.}$ – вартість устаткування для вдосконалення.

$$PB = 3000 + 35000 = 38000 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати на електроприводу насосу поділяються на дві частин:

1) непрямі експлуатаційні витрати, які не пов'язані безпосередньо з процесом експлуатації електроприводу насосу;

2) прямі експлуатаційні витрати, які безпосередньо витрачаються в процесі експлуатації електроприводу насосу.

Сумарні витрати визначаються за формулою:

$$\Sigma B = \Sigma_B \Pi + \Sigma_B H \quad (5.2)$$

де $\Sigma_B \Pi$ - прямі витрати;

$\Sigma_B H$ - непрямі витрати.

Прямі витрати визначаються за формулою:

$$\Sigma_B \Pi = A + \Phi_{zn} + B_m + B_n + B_{in} \quad (5.3)$$

де A - амортизаційні відрахування;

Φ_{zn} - фонд заробітної плати;

B_m - вартість витрачених матеріалів;

B_n - вартість витраченого палива;

B_{in} - вартість інших незначних затрат і витрат.

Річна сума амортизаційних відрахувань визначається:

$$A = \frac{ПВ + K_p - ЛВ}{T} \quad (5.4)$$

де A - амортизаційні відрахування;

$ПВ$ - першопочаткова вартість;

K_p - витрати на капітальний ремонт;

$ЛВ$ - ліквідаційна вартість;

T - термін служби;

Для електроприводу насосу витрати на капітальний ремонт і ліквідаційна вартість визначаються відповідно:

$$K_p = (40-50\%) \cdot ПВ \quad (5.5)$$

$$K_p = 0,5 \cdot 38\,000 = 19\,000 \text{ грн},$$

$$ЛВ = (2-7\%) \cdot ПВ \quad (5.6)$$

$$ЛВ = 0,05 \cdot 38\,000 = 1\,900 \text{ грн}$$

Прийmemo термін служби пристрою плавного пуску 10 років.

Тоді річна сума амортизаційних відрахувань становитиме:

$$A = \frac{38\,000 + 19\,000 - 1\,900}{10} = 5\,510 \text{ грн./рік}$$

Суми відрахувань на капітальний ремонт визначаються:

$$A_{кр} = \frac{K_p}{T} \quad (5.7)$$

$$A_{кр} = \frac{5510}{10} = 551 \text{ грн.}$$

Суми відрахувань на відновлення визначаються:

$$A_{\epsilon} = \frac{ПВ - ЛВ}{T} \quad (5.8)$$

$$A_{\epsilon} = \frac{38\,000 - 19\,000}{10} = 1\,900 \text{ грн}$$

Фонд заробітної плати визначається за формулою:

$$\Phi_{зн} = З_{но} + З_{нд} + H_{зн} \quad (5.9)$$

де $З_{но}$ - основна заробітна плата;

$З_{нд}$ - додаткова заробітна плата;

H_{zn} - нарахування на заробітну плату.

Основна заробітна плата визначається:

$$Z_{no} = T_p \cdot C_z \cdot K \quad (5.10)$$

де T_p - річна трудомісткість;

C_z - годинна ставка працівника середнього розряду;

K - коефіцієнт доплати, $K=1,025-1,03$;

Річна трудомісткість визначається за формулою:

$$T_p = n \cdot t \cdot \kappa_z \cdot T_{pd} \cdot \kappa \quad (5.11)$$

де n - кількість основних виробничих працівників, які працюють в одну зміну;

t - час роботи зміни;

κ_z - коефіцієнт використання зміни – відношення чистого часу роботи до загального часу роботи;

$$\kappa_z = \frac{t_{ч}}{t_z} = \frac{7}{8}$$

T - кількість робочих днів на протязі року;

κ - кількість змін на протязі доби.

$$T_p = 2 \cdot 8 \cdot \frac{7}{8} \cdot 5 \cdot 1 = 70 \text{ люд./днів}$$

Годинна ставка працівника середнього розряду визначається за формулою:

$$C_z = \frac{c_1 \cdot n_1 + c_2 \cdot n_2 + \dots + c_n \cdot n_n}{n} \quad (5.12)$$

де c_i - годинна ставка працівника першого розряду; 18,64

n_i - кількість працівників першого розряду;

n - загальна кількість працівників.

$$C_z = \frac{18,64 \cdot 2}{2} = 18,64 \text{ грн.}$$

Тоді згідно формули (5.10) основна заробітна плата становитиме:

$$Z_{no} = 70 \cdot 18,64 \cdot 1,03 = 1\,344 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата основним виробничим працівникам визначаєм наближено і становитиме $З_{нд} = 500$ грн.

Нарахування на заробітну плату визначається за формулою:

$$H_{zn} = (З_{мо} + З_{нд}) \cdot K_n \quad (5.13)$$

де K_n - коефіцієнт нарахування на заробітну плату, $K_n = 0,044$;

$$H_{zn} = (1\ 344 + 500) \cdot 0,044 = 82 \text{ грн.}$$

Відповідно до формули (5.9) фонд заробітної плати складатиме:

$$\Phi_{zn} = 1344 + 500 + 82 = 1926 \text{ грн.}$$

Відповідно до формули (5.3) прямі витрати становлять:

$$\sum_{B\Pi} = 5510 + 1926 + 500 + 250 + 1000 = 9\ 186 \text{ грн.}$$

Непрямі витрати визначається за формулою:

$$\sum_{BH} = 10\% \cdot \sum_{B\Pi} \quad (5.14)$$

$$\sum_{BH} = 0,1 \cdot 9\ 186 = 919 \text{ грн.}$$

Відповідно до формули (5.2) сумарні витрати становитимуть:

$$\sum B = 9\ 186 + 919 = 10\ 105 \text{ грн.}$$

Термін окупності вдосконалення мостового крана визначається:

$$T = \frac{\sum_{затр} + \sum B}{E_p} \text{ років} \quad (5.15)$$

де E_p - річна економія.

Річна економія виникає в наслідок зменшення кількості ремонтів двигуна. Оскільки при частих прямих пусках фактично приходилось робити капітальний ремонт кожного року. Вартість одного ремонту становить 2000 грн, при використанні пристрою плавного пуску ремонти повинні виконуватись згідно норми один раз в п'ять років, тоді вартість ремонту в рік становитиме 400 грн, отже річна економія становить 1600 грн. Окрім того при використанні пристрою плавного пуску збільшується коефіцієнт корисної дії установи, за рахунок економії енергії під час пуску двигуна, що в річному еквіваленті становить 10063 грн. Отже економічний ефект становить

$$E_p = 1600 + 10063 = 11663 \text{ грн.}$$

В такому випадку термін окупності буде становити:

$$T = \frac{38\,000 + 10\,105}{11\,663} = 4,12 \text{ років.}$$

Крім того якщо порівняти запропоновану систему з існуючою то слід відмітити переваги запропонованої системи. Перш за все в даній системі відсутні рухомі контакти та будь які елементи. Це свідчить про значно вищу надійність даної системи, оскільки відмови частіше всього трапляються через рухомі елементи. Дана система є дуже зручна в настройці і не потребує висококваліфікованого обслуговування, вона є надійною у роботі.

Таблиця 5.1 – Економічна ефективність запропонованої розробки

Параметр	Одиниці виміру	Результат
1	2	3
Сумарні затрати	грн	38 000
Сумарні витрати	грн	10105
Економічний ефект	грн	11663
Термін окупності	років	4,12

Основний елемент який містить в собі фактично усю систему керування це універсальний пристрій плавного пуску Altistart 48. Вартість всієї модернізації становить 38 000грн. Оцінивши всі перелічені випадки керування приводами то стає зрозумілим. Що термін окупності є допустимим і затрати для підприємства на модернізацію системи керування електродвигуном насосу є не значними.

Дані розрахунків економічної ефективності подані в таблиці 5.1.

ВИСНОВКИ

1. В роботі було проведено огляд різних систем водопостачання. На сьогоднішній день частіше всього використовують системи водопостачання з водонапірними баштами, це пов'язано перш за все з низькою надійністю електропостачання підприємств АПК, а тому необхідно мати запас води та створений напір.
2. На нашу думку паралельне ввімкнення кількох насосів дозволяє спростити схему системи електроприводу і підвищити її надійність, а регулювання продуктивності можна здійснювати зміною кількості працюючих насосів, така система забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та не високу ціну системи регулювання.
3. Для приводу в рух насосів застосовують в більшості випадків машини змінного струму, а саме синхронні та асинхронні двигуни. Для даних машин актуальним є проблема пуску. Оскільки під час прямого пуску асинхронного двигуна виникають струми в 5-7 раз більші від номінального (синхронний двигун використовує асинхронний пуск), що має ряд негативних факторів (перевантаження мережі, просадка напруги, перегрів комутаційно-захисного обладнання та самого двигуна). Тому ми проаналізували методи пуску таких машин і вирішили використати при частих пусках пристрій плавного пуску, який забезпечує м'який пуск турбомеханізмів і є зручним в експлуатації та налаштуванні. Двигун який працює тривало, може використовувати прямий пуск, або запускатись також від того самого пристрою плавного пуску, оскільки доцільно використовувати однакові водонасосні установки.
4. Практично у всіх господарствах АПК система водозабезпечення побудована за принципом «насосна станція – резервуар - споживач». Тому ми вирішили провести моделювання роботи такої схеми за допомогою математичного пакету MATLAB/Simulink. При одному графіку завантаження розглянути роботу насосної станції при роботі одного насоса, двох і трьох.

Після проведеного моделювання ми вирішили, що доцільно використати схему з двома насосами, в якій один насос працює постійно, а другий вмикається для роботи в години з більшим споживанням води. Оскільки використання одного постійно працюючого насоса потребує великого резервуару, в інакшому випадку необхідно джерело з високою продуктивністю, двигун з більшою потужністю та застосування частих пусків. Використання великої кількості насосів виправдано у випадку забору води від кількох джерел з обмеженою продуктивністю.

5. Ми запропонували схему електроприводу яка передбачає постійну роботу одного насосу, а другий вмикається в час більшого споживання води за допомогою автоматизованої схеми керування з пристроєм плавного пуску.

6. В роботі ми розглянули питання охорони праці та захисту цивільного населення.

7. Визначили термін окупності пристрою плавного пуску, який становить 4,12 року.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Василега П.О. Електропостачання. Суми: Університетська книга, 2008 р. 415 с.
2. Геврик Є. О. Безпека життєдіяльності. Київ: Ельга-Н, КНТ, 2007 р. 384 с.
3. Гряник Г.М., Лехман С. Д., Бутко Д. А. Охорона праці Київ: Урожай 1994 р. 271 с.
4. Гончарук В.Є., Качан С. І., Орел С. М., Пуцило В. І. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях: навч. посіб. Київ: Львів, 2004 р. 136 с.
5. Дурняк Б.В., Чумакевич В.О., Лях І.М., Яцун А.М. Основи електропостачання агропромислового комплексу: Навч.посіб. Львів: Українська академія друкарства, 2017 р. 544 с.
6. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручни . Є.Л. Жулай та ін. Київ: Вища освіта, 2001 р. 288с.
7. Закладний О. М., Закладний, А. В., Праховник О. І., Соловей О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. Посібник. К. Кондор, 2005.
8. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Лехман С.Д. та ін. Київ : Урожай, 1993 р. 272 с.
9. Злобін Ю. А. Основи екології. Київ: Лібра, 1998 р. 246 с.
10. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001 р.
11. Костинюк Л. Д., Мороз В. І., Паранчук Я. С. Моделювання електроприводів: навч. посібник – Львів: Видавництво університету «Львівська політехніка», 2004 р.
12. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993 р. 267 с.

13. Лозинський А. О., Мороз В. І. Розв'язання задач електромеханіки в середовищі MathCAD і MATLAB: навч. Посібник. Львів: Видавництво Державного університету "Львівська політехніка, 2000 р.
14. Основи охорони праці. Купник М.П. і ін. Київ: Основа, 2000 р. 41с.
15. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00 – 1.21 – 98. Офіц.вид. – Київ: Держбуд України, 2001 р. 24 с.
16. Сегеда М.І Теоретичні основи електротехніки: Навч.посіб. Тернопіль, ТДУ, 2003 р. 350 с.
17. Черемісін М. М., Зубко В. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням: навч. посіб. Харків: Факт, 2005 р. 168 с.
18. Яцун М. А. Електричні машини: навч. посібник. / М. А. Яцун – Львів Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2001. – 428 с.