

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка систем керування електроприводом
для виробничих потужностей агрофірми**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Слободян Н. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Козбур І. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль, 2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«30» січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Слободяну Назарію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка систем керування електроприводом для виробничих потужностей агрофірми

Керівник роботи: Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н, доцент

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

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2024 року № 4/7-50

2. Термін подання студентом завершеної роботи: червень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Типові схеми електропостачання сільськогосподарських об'єктів, параметри споживачів електричної енергії, технічні характеристики наявного обладнання

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

Вступ

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

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

1. Поєднані статичні характеристики

2. Приблизний графік водоспоживання

3. Спрощена схема теплового пункту

4. Спрощена схема силових кіл перетворювача частоти

5. Спрощена схема силових ланцюгів

6. Модель системи насос-магістраль

7. Математична модель системи автоматичного керування електроприводом насоса

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 30 січня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	18.02.2024	
2	Аналітичний розділ	29.02.2024	
3	Конструкторський розділ	27.03.2024	
4	Розрахунковий розділ	02.05.2024	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	03.06.2024	
6	Висновки	11.06.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	14.06.2024	
8	Оформлення графічної частини	14.06.2024	

Студент

_____ (підпис)

Слободян Н. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Оробчук Б. Я.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Слободян Назарій Васильович. Розробка систем керування електроприводом для виробничих потужностей агрофірми

Стор.– 49; рис. - 15; табл. - 4; джерел - 37; додатків - 0.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка систем керування електроприводом для потужностей агрофірми

В аналітичному розділі виконано огляд літературних джерел за тематикою кваліфікаційної роботи.

У другому і третьому розділах кваліфікаційної роботи зроблено короткий аналіз виробничо-господарської діяльності і обґрунтовано тему роботи. Проведено аналіз технологічного процесу, проведено розрахунок параметрів установки, вибрано електропривод і частотний перетворювач, перевірено двигун на перевантажувальні здібності та нагрівання, розроблено систему управління електроприводом.

У четвертому розділі роботи розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ, ДВИГУН.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Аналіз технологічного процесу	9
1.2 Аналіз роботи оператора	12
1.3 Розрахункова схема механічної частини електроприводу	14
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	16
2.1 Розрахунок параметрів установки	16
2.2 Попередній розрахунок потужності двигуна	17
2.3 Вимоги до автоматизованого електроприводу	19
2.4 Вимоги до системи автоматизації насосної установки	21
2.5 Попередній вибір електродвигуна, перетворювача і пристроїв автоматизації	23
2.6 Перевірка обраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю і нагріванням	
2.6.1 Побудова навантажувальних діаграм і уточнення потужностей електродвигунів	
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	26
3.1 Розрахунок і проектування силової схеми автоматизованого електроприводу	26
3.2 Розроблення системи керування електроприводом	
3.2.1 Розроблення структурної схеми об'єкта керування	31
3.2.2 Синтез регулятора третього контуру та його властивості	34
3.2.3 Аналіз математичної моделі системи автоматичного керування	35
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	37
4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності	37
4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом	
4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках	42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	46

ВСТУП

Раціональне використання енергоресурсів та захист навколишнього середовища визначили напрямок розвитку систем тепло- та водопостачання. При заміні та плануванні існуючих механізмів водопостачання часто створюють закриту та безстічну систему. Насосна станція є головною ланкою в системі тепло- і водопостачання, яка гарантує створення потоку води.

На електродвигуни припадає більше половини споживання електроенергії в житлово-комунальному господарстві та промисловості. Циклічно працюють також компресори, насоси та вентилятори, які є найбільш енергоємними приводними системами. Через швидке зростання цін на ресурси та енергоносії собівартість їх виробництва стала значно вищою, тому промислові та комунальні підприємства прагнуть знизити енерго- та ресурсоємність. Сьогодні питання енергозбереження є дуже актуальним. Дослідження енергоспоживання допомагають вирішити це питання, а саме:

Організаційно-технічні заходи щодо запобігання нераціональному споживанню енергоресурсів. Запровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання для зменшення споживання енергії при виконанні того самого обсягу робіт Централізоване водо- та тепlopостачання різних типів будівель дозволяє досягти економії енергії. Належним чином організована централізація виробництва пари і гарячої води для технологічних, побутових і опалювальних потреб, а також будівництво великих районних котелень і ТЕЦ виконують важливу роль у розвитку централізованого тепlopостачання. Цей прогрес передбачає будівництво широко розгалужених і довгих теплових мереж з великою кількістю теплових пунктів, спрямованих на збільшення кількості споживачів. Однією з основних енергетичних систем є тепlopостачання всіх об'єктів нерухомості. Основним завданням системи тепlopостачання є забезпечення споживачів парою і гарячою водою в необхідних обсягах і параметрах.

Система централізованого тепlopостачання (СЦТ) включає наступні процеси: виробництво та постачання енергії, використання та транспортування

теплоносія. Виробництво та постачання тепла, при використанні органічного або ядерного палива, здійснюється в котельнях та ТЕЦ. Основним джерелом енергії для сучасного виробництва є електропривод, причому електроприводи з короткозамкненими двигунами домінують у промисловості, споживатиме до половини енергії, що споживається електроприводом. енергії, що споживається електроприводом. Модернізація технологічного устаткування впливає на високу динаміку вдосконалення регульованих електроприводів, а також на автоматизацію за допомогою комп'ютерних та інформаційних інструментів.

Прогрес технологічного обладнання має тенденцію до збільшення продуктивності без погіршення якості продукції, що випускається. Лідери електротехнічного машинобудування виробляють регульовані електроприводи, оснащені комп'ютеризованими засобами автоматизації, які являють собою універсальну систему програмування, призначену для багатофункціонального використання. Кошти, інвестовані в такі системи, окупаються в найкоротші терміни. Одним із застосувань регульованого електроприводу, в поєднанні з додатковими технологічними пристроями, можна використовувати як засіб технологічними пристроями, можна використовувати як засіб керування різними параметрами процесу, наприклад, керування різними параметрами процесу, наприклад, керування температурою, тиском, рівнем, продуктивністю і дозуванням. Модернізація насосного обладнання за допомогою заміни енергоємного обладнання, наприклад, електроприводу насоса, на регульований допоможе досягти мети енергозбереження. Запровадження та активний розвиток систем діагностики, обслуговування та візуалізації дозволить більш коректно та зручно управляти технологічними та контрольними процесами. У області комунального теплопостачання питання споживання електроенергії стає все більш гострим, а постійне будівництво нових житлових будинків тільки примушує більше замислюватися про фактичний необхідний рівень електропостачання електродвигунів насосних агрегатів, а також про раціональний і економний процес водо- і теплопостачання. У зв'язку з цим тема цього проекту є актуальною.

Предметом дослідження є математична модель системи керування асинхронним двигуном.

Метою роботи є розробка систем керування електроприводом для потужностей агрофірми

Для реалізації цієї мети були вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз технологічного процесу;
- проведено розрахунок параметрів установки;
- вибрано електропривод і частотний перетворювач;
- перевірено двигун на перевантажувальні здібності та нагрівання;
- розроблено систему управління електроприводом;
- розроблено методичне забезпечення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз технологічного процесу

Специфічні терміни, що використовуються для опису таких технічних пристроїв, приведено нижче.

Насос - це агрегат або спеціальний пристрій, який перетворює ведену механічну енергію в рух тиску рідини. Це тип гідравлічної машини.

Насосний агрегат (НА) - група насосів, електроприводів і передавальних механізмів. Трансмісійні механізми, такі як шків, муфти, редуктори.

Насосна станція (НС) – комплексна система, що включає певну кількість насосних станцій, а також допоміжні системи та обладнання. Теплонасосні станції (теплові пункти) призначені для забезпечення об'єкта необхідною кількістю гарячої води.

Насосна установка (НУ) - комплекс пристроїв, здатних забезпечити потрібний порядок роботи насосів у насосних агрегатах. НУ складається з одиничного або багатьох насосних агрегатів, трубопроводів, запірної та регулювальної арматури, контрольно-вимірювальної апаратури, а також апаратури керування та захисту [6].

Для забезпечення економічної роботи насосного агрегату існує ряд правил, заснованих на зміні швидкості обертання робочих коліс насоса, що дозволяє зменшити витрати електроенергії.

У нових насосних агрегатах частота обертання насоса змінюється за допомогою автоматизованого електроприводу (АЕП).

Під електроприводом розуміють електромеханічну систему, що складається з перетворювачів, пристроїв керування та інформації, а також пристроїв сполучення із зовнішніми електричними, механічними, керуючими та інформаційними системами, призначену для приводу виконавчих органів робочої машини і управління нею виконавчих органів робочої машини і управління нею з метою здійснення технологічного процесу.

Сучасні електроприводи часто автоматизовані, а це означає, що їхні процеси не вимагають втручання оператора.

Основними методами керування в електроприводах є програмовані мікроконтролери та промислові комп'ютери, тому АЕП вважаються комп'ютеризованими. Це поняття використовується для інтегрованих систем багатопозиційних електроприводів, які об'єднані з комп'ютерними інструментами автоматизації та розгалуженими інформаційними мережами у складі технологічних агрегатів і комплексів.

При вивченні різних типів електроприводів використовується багато методів їх класифікації (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Способи класифікації електроприводів

Класифікація	Види
Рух електродвигунів	Обертальний, поступальний, лінійний, багатокординатний
Спосіб з'єднання двигуна з виконавчим органом	Редукторний, безредукторний, конструктивно інтегрований
Регульованість	Нерегульований, багатошвидкісний, регульований
Число електродвигунів	Одно-, багатодвигуновий
Число виконавчих органів	Індивідуальний, груповий
Ступінь автоматизації	Ручний, напівавтоматичний, стежить, позиційний, програмний, стабілізуючий

До класифікаційних ознак належать: функціональне призначення, принцип перетворення електричної енергії на механічну, структура електропривода, технічна реалізація.

Унаслідок зазначених вище напрямів розвитку автоматизованих електроприводів провідні електротехнічні фірми виробляють розробку і збут

електроприводів. Основною і перспективною для ринку серії з великою кількістю функцій і структурними можливостями, багатьма різновидами їхньої технічної реалізації за правилами застосування для найрізноманітніших машин і механізмів. В основних серіях електроприводів різних фірм можна відзначити багато схожих ознак. До класифікаційних споживчих ознак входять функціональні, конструктивні та енергозберігаючі можливості електроприводів, їхню електромагнітну сумісність із технологічним середовищем.

З'єднання або розпад систем більш ефективно виконується не тільки засобами та алгоритмами управління, а й застосуванням параметрів і властивостей електричних, механічних і функціональних компонентів автоматизованих технологічних комплексів, тобто тих складових, які стандартно відносяться до об'єктів управління і під час плануванні систем вважаються незмінними. Під час проєктування нових об'єктів або вдосконалення діючих важливо враховувати зазначені вище факти.

За допомогою вдосконалених комп'ютеризованих електроприводів з'являється можливість усунення багатьох функціональних завдань пов'язаних з управлінням технологічного обладнання різноманітного функціонального призначення, за рахунок оснащення великою базою програмних засобів. Ці засоби поширюються на нижній (управління локальним обладнанням) і середній (координоване управління обладнанням) рівні управління орієнтовані на зв'язок із верхнім (адміністративним) рівнем.

Насосна установка, що проєктується, повинна забезпечувати такі технічні характеристики:

- номінальна подача води $135 \text{ м}^3/\text{г}$;
- максимальна висота напору 66 м.

1.2 Аналіз роботи оператора

Система автоматичного керування (САК) має два режими управління: автоматичний і ручний. Ручний режим дає змогу оператору здійснювати процес перемикання і регулювання насосів у разі зміни напору рідини в мережі. У цьому режимі натиск рідкого середовища контролюється датчиками, при цьому вважаємо, що температура рідини регулюється ЦТП (центральный тепло пункт).

Автоматичний режим залишає оператору тільки функцію спостереження і контролю справності СУ (системи управління). Надходження теплової енергії в систему комунального споживання, характер витрат і розподіл за добу не лінійні і залежать від числа споживачів на квартал, а також благоустрою будівлі. У проектній системі теплопостачання житлового району прокладається відкрита система з двох труб - подавальної і зворотної, для подачі води на опалення і ГВП.

Схему такого теплового пункту наведено на рис. 1.1

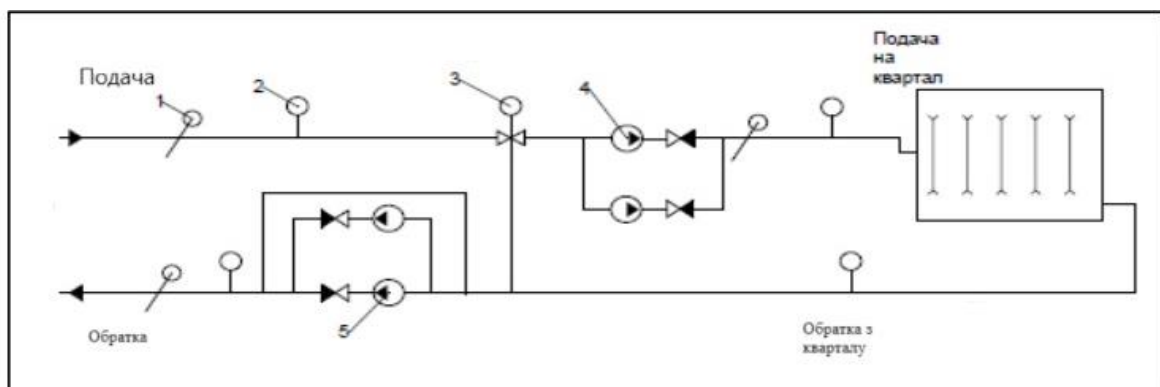


Рисунок 1.1 - Спрощена схема теплового пункту

Режим роботи НУ подачі опалення задається режимом споживання і наявністю напірно-регульовальних споруд системи теплопостачання.

Насосна станція теплопостачання являє собою колектор, до якого через щитовий затвор під'єднано всмоктувальні лінії двох якого через щитовий затвор під'єднано всмоктувальні лінії двох насосів типу ПЛ 80/220. Два насоси передбачені для безвідмовної системи теплового пункту. Перший насос - основний, другий - аварійний, функції насосів змінюються, для рівномірного зносу і можливості провести ремонт не зупиняючи теплопункт. Насосну систему зі

споживачами з'єднують напірні водоводи. За проєктним завданням на даній НУ теплового пункту системи тепlopостачання використовується циркуляційні насоси із сухим ротором у виконанні Inline. Насоси ІЛ 80/220 призначені для подавання рідких середовищ температурою до 120 градусів. Приводиться в рух асинхронним двигуном АІС200LА2. Технічні характеристики насоса наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики насоса типу ІЛ 80/220

Найменування	Значення		
Подача насоса, м ³ /год	120	130	140
Подача насоса, л/с	33.4	36.2	38.8
Напір, м	62	61	58
Частота обертання робочого колеса, об/хв	2494	2697	2900
Потужність насоса, кВт	28	28.4	29
ККД насоса, %	91	91.4	92
Допустима вакуумет- рична висота всмоктування, м	6	7	9
Діаметр робочого колеса, мм	2200		

Режим роботи насосної установки визначаємо режимом водоспоживання та наявністю регульовальних споруд системи тепlopостачання. У табл. 1.3 наведено приблизний розподіл середньодобової витрати гарячої води по годинах при середньому і загальному коефіцієнта нерівномірності водовідведення $K=1,3$ [6].

Таблиця 1.3 - Приблизний розподіл середньодобової витрати гарячої води по годинах доби за середньої секундної витрати 30 л/с і коефіцієнта нерівномірності водовідведення $K=1,3$

Години доби	Годинна витрата, %	Години доби	Годинна витрата, %
0.1	4,7	12.13	3
1.2	4,1	13.14	2,5
2.3	4,1	14.15	2,5
7...8	4,5	19.20	4,9
10.11	4,6	22.23	4,9
11...12	3.3	23...24	47

1.3 Розрахункова схема механічної частини електроприводу

Кінематична схема механічної частини електроприводу приведена на рисунку 1.2

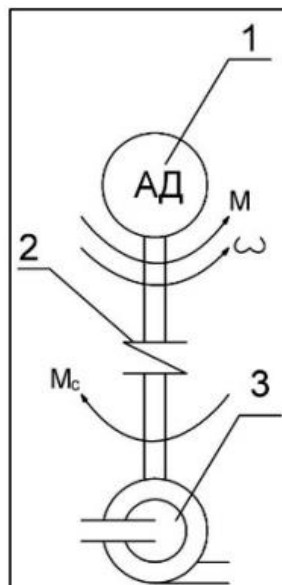


Рисунок 1.2 - Кінематична схема електроприводу:

1 - асинхронний електродвигун; 2 - муфта; 3 - насос

Складемо одномасову розрахункову схему на підставі кінематичної схеми електроприводу (рис. 1.3)

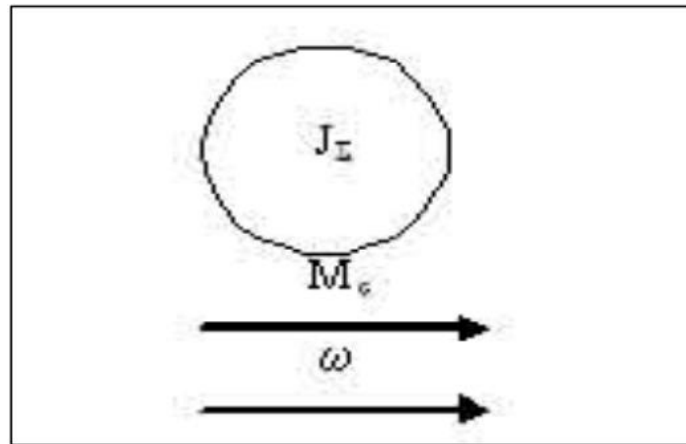


Рисунок 1.3 - Одномасова розрахункова схема

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок параметрів установки

При виборі відцентрових насосів для конкретних установок необхідно мати інформацію про залежність одних параметрів від інших. Подача насоса Q використовується як незалежна змінна в характеристиці насоса, оскільки вона прямо пов'язано з витратою рідкого середовища в системі трубопроводів насосного агрегату. Від подачі залежать зміни інших параметрів насосної установки.

Статична характеристика мережі (трубопроводу) - це відповідність між розходом рідини по трубопроводу і напором H , необхідним для забезпечення цього розходу. Вона визначається рівнянням

$$H_c = H_{ст} + R * Q_{ном}^2, \quad (2.1)$$

де $H_{ст}$ - статична складова напору, у цьому разі $H_{ст} = 0$;

R - опір мережі, не є сталою величиною, коливається в залежності від стану мережі від $100R_b$ при відсутності водоспоживання з мережі до R_b при найбільшому водоспоживанні з мережі, тут $R_b = H_{ном} / Q_{ном}^2$ - основний опір мережі (опір мережі при найбільшому водоспоживанні з неї).

За браком водоспоживання з мережі опір мережі дорівнює $100R_b$, оскільки в цьому випадку має місце перетікання води через зворотний трубопровід, а також витіки води (наприклад, в негерметичних з'єднаннях і т.д.).

Напірна характеристика насоса - це узалежнення напору H від подання насоса Q при незмінній частоті обертання робочого колеса:

$$H = H_0 \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - C * Q^2, \quad (2.2)$$

де H_0 - напір, що є в нульовій подачі, $H_0 = H_{ном} + C * Q_{ном}^2$;

C - коефіцієнт, що знаходиться як $C = \frac{H_1 - H_{ном}}{Q_{ном}^2 - Q_1^2}$, де $H_1 = 60$ м;

$Q_1 = 135$ м³/год - деякі точки на характеристиці насоса;

n , $n_{\text{ном}}$ - поточна і номінальна швидкість обертання. Характеристики знаходимо для $n_{\text{ном}} = 2900$ об/хв; 2697 об/хв; 2494 об/хв, що потрібно для напору відповідно за найбільшого споживання води із мережі, споживання води з мережі, що виходить 50%.

Результати за формулами 2.1 і 2.2 у графіку приведено на рис. 2.1

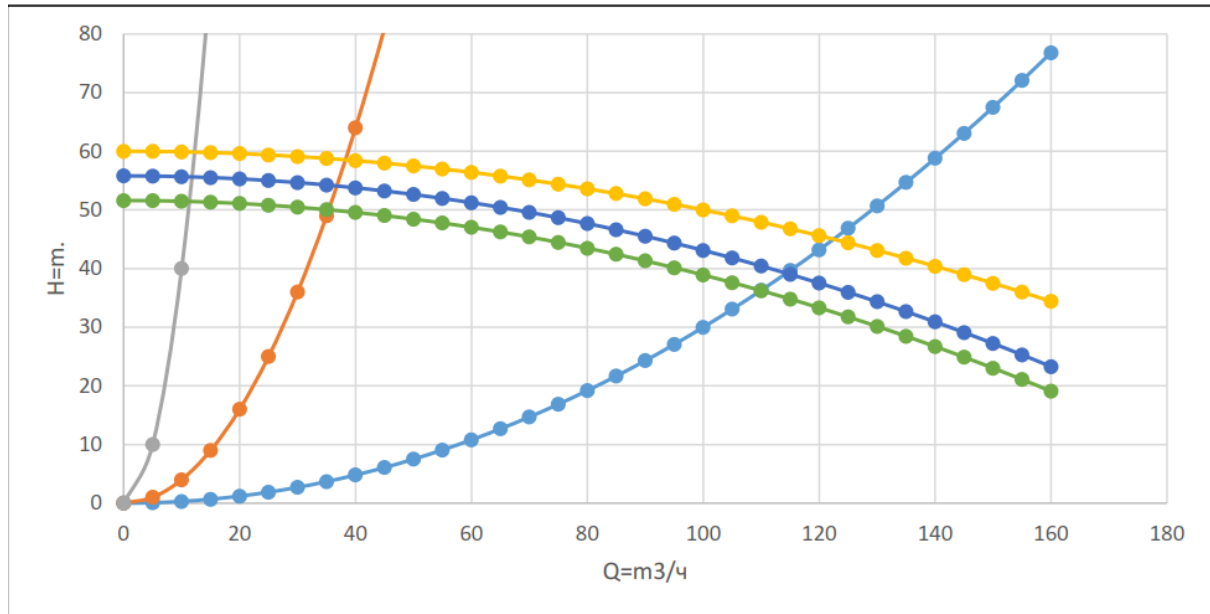


Рисунок 2.1 - Поєднані статичні характеристики

За допомогою формул 2.1 і 2.2 будемо статичні характеристики мережі (трубопроводу) і насоса (турбомеханізму). Дані характеристики розраховані і побудовані на ЕОМ зі значною допомогою від програми EXCEL.

2.2 Попередній розрахунок потужності двигуна

Початковими даними для визначення необхідної потужності електродвигуна (кВт) є секундна подача насоса Q ($\text{м}^3/\text{с}$) і натиск H (м). Подачу і напір насоса приймають за режимною (робочою) точкою роботи системи "насоси-мережа".

Потужність на валу насоса зазвичай вказують у паспорті насоса або в каталозі. Її величина, взята із запасом, відповідає подачі та напору для граничних точок робочої частини характеристики цього типу насоса.

Однак не завжди розрахункові параметри подачі і напору збігаються з параметрами характеристики $H=f(Q)$. У цих випадках виникає необхідність у визначенні потужності на валу насоса і необхідної потужності приводного двигуна. Потужність насоса (кВт) визначається за формулою (2.3).

Потужність приводного двигуна насоса приймають більшою за потужність, споживану насосом, на випадок перевантажень від неврахованих умов роботи.

Відповідно до ГОСТ 22247-96 коефіцієнт запасу потужності приймають залежно від потужності на валу насоса k_3 (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 - Коефіцієнт запасу потужності

NH	До 20 кВт	Від 20 до 50 кВт	Від 50 до 300 кВт	Більше 300 кВт
m	1,0	1.25	1.5	1,5

Коефіцієнт запасу потужності залежить також від співвідношення потужності на валу насоса за розрахункових значень подачі та напору, а також найближчого значення потужності двигуна, паспортні дані якого відповідають умовам роботи насосного агрегату.

Під час визначення потужності на валу насоса подачу насоса зазвичай приймають найбільшу з розглянутих режимів роботи насосної установки.

Під час вибору електродвигуна до насосів необхідно знати потужність, а також частоту обертання, напругу в мережі, тип і виконання двигуна.

Кожен двигун незалежно від його типу характеризується номінальними даними. Номінальний режим двигуна відповідає максимальному ККД і задовольняє встановленим нормам і вимогам щодо нагріву, коефіцієнта потужності, електричної міцності, тому під час підбору електродвигуна необхідно прагнути підібрати потужність двигуна якомога ближче до номінальної.

Визначимо потужність двигуна, необхідну для приводу насоса. виходячи з [15] отримуємо:

$$P = \frac{\rho * g * Q_{\text{ном}} * H_{\text{ном}} * k_3}{1000 * \eta_{\text{ном}}}, \quad (2.3)$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ - густина рідини (води), що перекачується;

$k_3 = 1.25$ - коефіцієнт запасу; $Q_{\text{ном}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) і $H_{\text{ном}}$ (м)-параметри насоса;

$g = 9,81 \text{ кг/ м} * \text{с}^2$ - прискорення вільного падіння; $\eta_{\text{ном}} = 92 \%$ - номінальний ККД насоса.

Підставивши необхідні значення у формулу (2.3), отримуємо, що потужність, необхідна для приведення насоса в рух, дорівнює 29.9 кВт.

Розрахункова потужність усього насосного агрегату

$$P_{\text{а рас}} = \frac{P_{\text{н рас}}}{\eta_{\text{д}} * \eta_{\text{чп}}}, \quad (2.4)$$

де $\eta_{\text{д}}$ - ККД електродвигуна;

$\eta_{\text{чп}}$ - ККД частотного перетворювача

$$P_{\text{а рас}} = \frac{29,9}{0,92 * 0,95} = 34,3 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

2.3 Вимоги до автоматизованого електроприводу

Насосом називають механізм, тривалість роботи якого значно більша, ніж стан неактивності. Вал приводного двигуна не перевантажується. Діапазон регулювання частоти не вище, як правило, 2.

Вал механізму має тільки вентиляторну функцію, отже, опір статистичного моменту на валу механізму пропорційний швидкості у квадраті.

Стандартним функціонуванням електроприводу вважається його стійкість до високої вологості та помірно високої температури, а також наявність високих

показників надійності. У цих умовах найкращим варіантом буде використання асинхронного електродвигуна з коротко замкнутим ротором, живлення якого здійснюється від перетворювача частоти. АД КР має низку переваг, таких як відсутність контактних з'єднань (щіток), надійність, невисоку ціну, а за допомогою перетворювача частоти виникає можливість отримати досить точне регулювання швидкості АД КР.

Станція керування насосними агрегатами складається із системи контролю та керування СУ, перетворювача частоти ПЧ, комутаційної апаратури, пристрою плавного пуску УПП.

Використання регульованого асинхронного електроприводу для керування насосними агрегатами дає можливість забезпечити:

- плавний пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на двигун і кидків струму в мережі;
- відсутність гідравлічних ударів;
- ефективне використання споживаної насосним агрегатом потужності в усьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності електродвигуна насоса на значенні, близькому до 1;
- зниження рівня шуму під час пуску і роботи;
- забезпечення автономної та безпечної роботи, інтеграція в АСУ ТП.

Електропривод відцентрового насоса, що розглядається, має задовольняти таким вимогам:

- підтримка постійного напору в системі водопостачання стічністю не нижче 1% і можливість, за необхідності, ручного регулювання його рівня;
- виходячи з технологічного процесу, вимоги до відновлення тиску під час накидання навантаження становлять не більше 2 с;
- забезпечення режиму плавного пуску від задавача інтенсивності за час 1-5 с;
- наявність захисту від несприятливих режимів роботи насосної станції;
- захист від КЗ;

- захист від перевантаження за струмом;
- захист від перевищення температури обмотки двигуна;
- захист від зникнення і перекосу фаз;
- захист електронасосних агрегатів від роботи в квітанційному режимі;
- індикація на лицьовій панелі "Мережа" "Робота" "Аварія"
- вибір режиму роботи "Ручний" / "Автоматичний";
- диспетчеризація: "Аварія" кожного електронасоса ("сухі" контакти);
- привід має бути нереверсивним;
- електроживлення установки здійснюється від трифазної мережі змінного струму 380/220 В, 50 Гц;
- забезпечувати режим максимальної економії під час регулювання швидкості.

Виходячи з вище представленого матеріалу, можна сформулювати вимоги, що висуваються до електропривода, а саме: охоплення управління швидкістю 3:1, гальмування вибігом, захисний ступінь IP55, здатність до перевантаження не менше ніж 1,5, кліматичне виконання УХЛ4, пуск насосного агрегату і розвиток до заданої швидкості має бути плавним.

2.4 Вимоги до системи автоматизації насосної установки

Для прискорення і точності технологічного процесу проводиться автоматизація виробничих машин. У повністю автоматизованих процесах людський фактор втрачає свою актуальність, залишаючи лише функції коригувальника і спостерігача. Раціональним є підхід автоматизації за допомогою програмованих контролерів (мікропроцесорних схем), що дають змогу змінити логіку на програмне керування, збільшити гнучкість і надійність керування системою.

До автоматизованої системи управління висуваються такі вимоги:

- система управління повинна забезпечувати контроль мінімальної, максимальної та аварійної витрати;
- у разі аварії робочого насоса запуск резервного;

- регулювання швидкості обертання електродвигуна для нормалізації потрібного напору рідини в системі;
- систематична заміна основного агрегату насоса, що стабілізує подачу рідини в систему;
- запуск і вимикання резервного насоса залежно від поточної витрати;
- плавний пуск агрегату і розгін до заданої швидкості;
- захист приводних двигунів насосних агрегатів від теплових перевантажень;
- вимірювання потрібного напору залежно від витрати;
- у разі зникнення напруги живлення автоматичний розгін насосного агрегату.

2.5 Попередній вибір електродвигуна, перетворювача і пристроїв автоматизації

В якості електроприводу для проектованої установки буде використано трифазний асинхронний електропривод на базі системи ПЧ-АДКЗР. Дійсно, використання системи ПЧ-АД дає можливість плавно міняти частоту обертання приводу в досить широкому діапазоні, що повинно забезпечити плавне регулювання напору в насосному агрегаті, і, як наслідок, значно знизити кількість споживаної насосним агрегатом енергії.

Пропонується автоматизувати установку шляхом впровадження програмованого контролера. При цьому до функцій контролера буде входити: формування завдання електроприводу в залежності від тиску в мережі; перемикання між основним і резервним насосами в разі виходу з ладу основного насоса; діагностика справності елементів установки; підключення додаткового насоса в разі поломки основного; видача аварійної сигналізації в диспетчерську службу.

Згідно з технічними характеристиками насоса, попередньо розрахованою потужністю двигуна (див. розділ 2.2) та відповідно до заданої системи електроприводу підбираємо трифазний асинхронний двигун АІС200ІА2 з

короткозамкненим ротором, з номінальними технічними характеристиками, що наведені далі [15]:

- номінальної потужності: 30 кВт;
- синхронна частота обертання: 3000 об/хв;
- номінальне ковзання: 2,5%;
- номінальний $\cos\phi = 0,9$;
- момент інерції двигуна: $0,07 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.
- $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2,2$;
- $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}} = 2$;
- номінальне ковзання: 2,5%;
- критичне ковзання: 12,5%;
- кратність пускового струму: $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 7,5$;

Рівень захисту обраного двигуна - IP55, передбачає захист від пилу (без осаду небезпечних матеріалів), а також захист від струменя: вода, спрямована струменем на шкаралупу в будь-якому напрямку, не має шкідливого впливу на виріб.

Метод охолодження ICAO141 це є закрита машина із ребристою або гладкою станиною, що продувається зовнішнім вентилятором який встановлений на купі машини.

2.6 Перевірка обраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю і нагріванням

2.6.1 Побудова навантажувальних діаграм і уточнення потужностей електродвигунів

Виходячи із приблизного розподілу середньодобової витрати гарячої води по добі (див. пункт 1.2., табл. 1.3) можна побудувати графік водоспоживання, наведений на рис. 2.2, уважаючи при цьому, що витрата гарячої води протягом доби рівномірна.

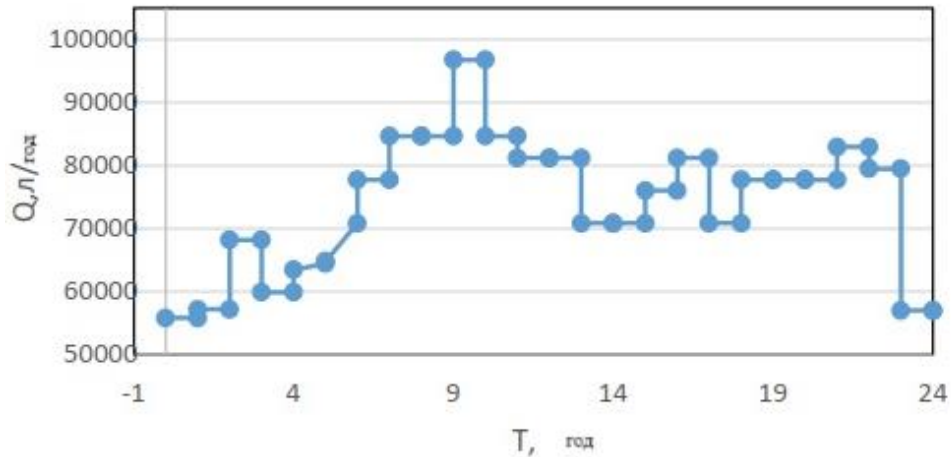


Рисунок 2.2 - Приблизний графік водоспоживання

Виходячи з графіка споживання гарячої води, можна побудувати діаграми швидкості і моменту насоса, і, відповідно, двигуна, враховуючи, що подача рідини пропорційна швидкості, а момент турбомеханізму пропорційний квадрату швидкості насоса. коефіцієнт пропорційності для швидкості знайдемо з рівняння:

$$Q_2 = Q_1 \cdot (n_2/n_1), \quad (2.6)$$

де Q_1 і Q_2 - подача насоса, за швидкості насоса відповідно n_1 і n_2 .

Таким чином, отримуємо:

$$Q_2 = k \cdot n_2 = (n_1/Q_1) \cdot n_2. \quad (2.7)$$

Підставляючи в рівняння (2.7) номінальні дані насоса з табл. 1.2, отримуємо, що коефіцієнт пропорційності

$$k = 2900/19 = 152 \text{ (л/с} \cdot \text{об/хв)}.$$

Момент насоса для відносної швидкості можна визначити, як:

$$M_{\text{нас}} = M_0 + 0,95M_{\text{нас}} \cdot \omega^2, \quad (2.8)$$

$$4,95 + 0,95 \cdot 99 \cdot 0,932 = 86,2,$$

де M_0 - момент, який визначається силами тертя в механізмі, приймаємо рівним 5% від номінального моменту насоса;

$M_{\text{нас}}$ - номінальний момент насоса, визначаємо, як

$$M_{\text{нас}} = P_{\text{нас}} / \omega_{\text{нас}}, M_{\text{нас}} = 99 \text{ Н*м},$$

де $P_{\text{нас}}$ і $\omega_{\text{нас}}$ - відповідно номінальні потужність і частота обертання насоса;

$$\omega^* - \text{відносна швидкість насоса: } \omega^* = \omega / \omega_{\text{н}} = 0,93$$

Виходячи з формул 2.6, 2.7 і графіка водоспоживання (рис. 2.2), будемо навантажувальні діаграми механізму, наведені на рис. 2.3.

Як видно з діаграми (рис. 2.3) навантаження має тривалий характер, отже, маємо тривалий режим роботи установки (S1). Тому перевіряти обраний двигун можна без урахування динамічних режимів роботи.

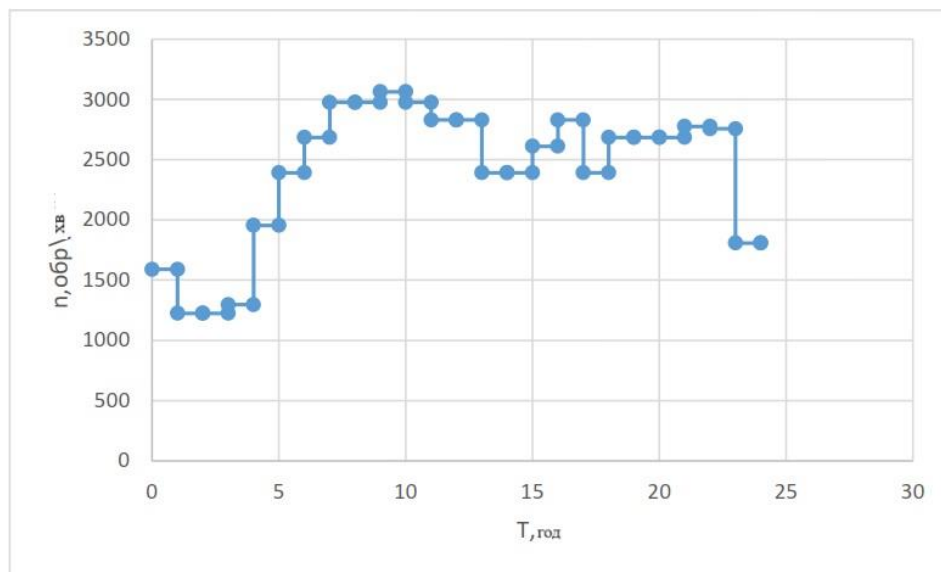


Рисунок 2.3 - Швидкість роботи двигуна

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок і проектування силової схеми автоматизованого електроприводу

Для живлення електродвигунів приводу насосів, які попередньо обрано в пункті 2.5 і перевірено за нагріванням і перевантаженням у пункті 2.6, ми використовуватимемо перетворювач частоти Vacon 100industrial виробництва Васса (Фінляндія).

Цей перетворювач призначений для частотного керування асинхронними трифазними електродвигунами потужністю до 37 кВт.

Сфера застосування перетворювача: насосні станції водо- і теплопостачання в житлово-комунальному господарстві, енергетиці, технологічні насосні установки в хімічній промисловості, станції оборотного водопостачання на підприємствах машинобудівної та інших галузей промисловості.

Приблизну спрощену схему силових ланцюгів цього перетворювача показано на рис. 3.1. Усі елементи цієї схеми розраховані і постачаються у складі перетворювача.

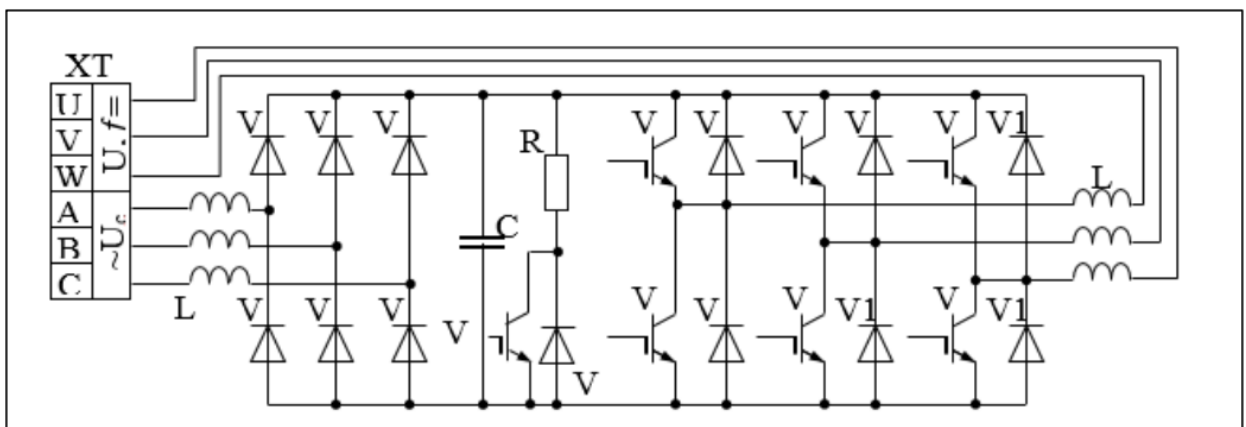


Рисунок 3.1- Спрощена схема силових ланцюгів перетворювача частоти

Основні параметри перетворювача частоти типу 100 industrial:

- номінальна напруга мережі живлення $3 \times 380-500$ В, 50/60 Гц;
- номінальна напруга живлення приводного двигуна 3×380 В, 50 Гц;

- номінальна потужність приводного двигуна - не більше 34 – 1180 кВт, залежно від конструктивного виконання перетворювача (приймаємо перетворювач 000-3L-0072-5-0140-2, розрахований на потужність приводного двигуна до 37 кВт);

- діапазон регулювання частоти від 2,5 до 60 Гц;

- форма вихідної напруги - імпульсна, модульована за гармонійним законом, забезпечує квазісинусоїдальну форму струму в усьому діапазоні регулювання вихідної частоти;

- коефіцієнт корисної дії перетворювача в номінальному режимі - не менше 0,9;

- коефіцієнт потужності перетворювача - не менше 0,95;

- перетворювач частоти призначено для роботи в закритих опалювальних приміщеннях у районах із помірним кліматом, кліматичне виконання УХЛ, категорія розміщення 4 ГОСТ 15150-69;

навколишнє середовище невибухонебезпечне, не містить агресивних парів і газів у концентраціях, що руйнують метали та ізоляцію, ненасичене струмопровідним пилом;

- температура навколишнього середовища - 0...+40°C, відносна вологість повітря - до 100%;

- ступінь захисту шафи IP54.

Перетворювач частоти забезпечує:

- плавний запуск електродвигуна із заданим темпом;

- плавний самозапуск із тим самим темпом після відновлення напруги живлення;

- регулювання (відповідно до задавального сигналу), наприклад, тиску, що розвивається насосом у замкнутій системі регулювання тиску;

- роботу в нерегульованому режимі з ручним завданням частоти напруги живлення електродвигуна;

- захист електродвигуна і перетворювача від струмів перевантаження і короткого замикання;

- захист електродвигуна від неприпустимого зниження і перевищення напруги мережі живлення;
- вироблення сигналів для під'єднання до системи нерегульованого електродвигуна резервного насоса та вимкнення його в міру необхідності;
- перетворювач має світлову сигналізацію наявності напруги живлення і ввімкненого стану, індикацію частоти живлення електродвигуна, спрацьовування каналів захисту.

Перетворювач частоти може працювати в таких режимах:

Режим ручного керування із завданням частоти вихідної напруги від пульта керування: частоту задають перед підключенням перетворювача до навантаження (електродвигуна); під час роботи ПЧ розганяється до заданої частоти і працює на ній як завгодно довго, у цьому режимі сигнал від датчика зовнішньої технологічної координати не впливає на роботу електропривода, під час увімкнення приводу в замкнений контур регулювання за зовнішнім технологічним параметром цей режим роботи електропривода можна використовувати як налагоджувальний.

Режим автоматичного регулювання частоти вихідної напруги за сигналом від датчика зовнішньої технологічної координати: частоту вихідної напруги обирають автоматично залежно від поточної величини сигналу, що надходить до системи керування від датчика зовнішнього технологічного параметра (датчика тиску). Згладжувальний дросель L1 вибираємо з розрахунку того, що його індуктивність має бути якомога більшою, а падіння фазної напруги на ньому не має перевищувати 3%. Тоді вхідну потужність перетворювача визначимо, як:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{ед}} / (\eta_{\text{ед}} * \eta_{\text{пр}}), \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ед}}$ - потужність приводного двигуна;

$\eta_{\text{ед}}$ - ККД приводного двигуна;

$\eta_{\text{пр}}$ - ККД перетворювача. з урахуванням параметрів, обраних електродвигуна і перетворювача після розрахунків за формулою (3.1) отримуємо:

$$P_{\text{вх}} = 30 / (0,92 * 0,9) = 35 \text{ кВт.}$$

Можна визначити вхідний струм фази перетворювача:

$$I_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} / (3 \cdot \text{км} \cdot U_{\text{фн}}), \quad (3.2)$$

де км - коефіцієнт потужності перетворювача;

$U_{\text{фн}}$ - номінальна фазна напруга мережі. Після розрахунків за формулою 3.3 отримаємо:

$$I_{\text{вх}} = 35000 / (3 \cdot 0,95 \cdot 220) = 55,8 \text{ А.}$$

Задавшись допустимим падінням фазної напруги на дроселі 3% від номінальної, можна знайти реактивний опір дроселя:

$$X = \Delta U_{\text{доп}} / I_{\text{вх}}. \quad (3.4)$$

Зробивши розрахунок за формулою (3.4), отримуємо:

$$X = 220 \cdot 3\% / 55,8 = 0,118 \text{ Ом.}$$

Знаючи індуктивний опір, легко знайти індуктивність дроселя:

$$L = X / 2\pi f, \quad (3.5)$$

де f - частота живильної напруги.

Таким чином, відповідно до формули 3.5 отримуємо:

$$L = 0,434 / 314 = 0,00138 \text{ Гн.}$$

Виходячи з наведених вище розрахунків, припускаємо виготовити на замовлення згладжувальний дросель L1 з такими параметрами:

- індуктивність котушки - $L = 0,59 \text{ мГн}$;
- допустима потужність розсіювання $P_{\Sigma} = 2\%$, $P_{\text{вх}} = 190 \text{ Вт}$.

Згладжувальний дросель L2 повинен мати індуктивність згідно з документацією на перетворювач [11], приблизно рівну індуктивності статора двигуна. Причому допустима потужність розсіювання дроселя L2 не повинна перевищувати 2% від номінальної потужності двигуна.

Таким чином, можна виготовити на замовлення згладжувальний дросель L2 з такими параметрами:

- індуктивність котушки $L=2$ мГн;
- допустима потужність розсіювання $P_{\Sigma}=2\%$, $P_{ед}=600$ Вт.

На підставі сформульованих вимог до електропривода і системи автоматизації, а також обраної системи електропривода можна зазначити, що існує необхідність роботи насосної установки вручну і в автоматичному режимі з періодичною зміною резервного насоса і під'єднанням, у разі потреби, додаткового насоса. З урахуванням зазначених вище перемикачів можна скласти принципову схему силових ланцюгів насосної установки. Розроблена принципова схема силових кіл наведена на рис. 3.2.

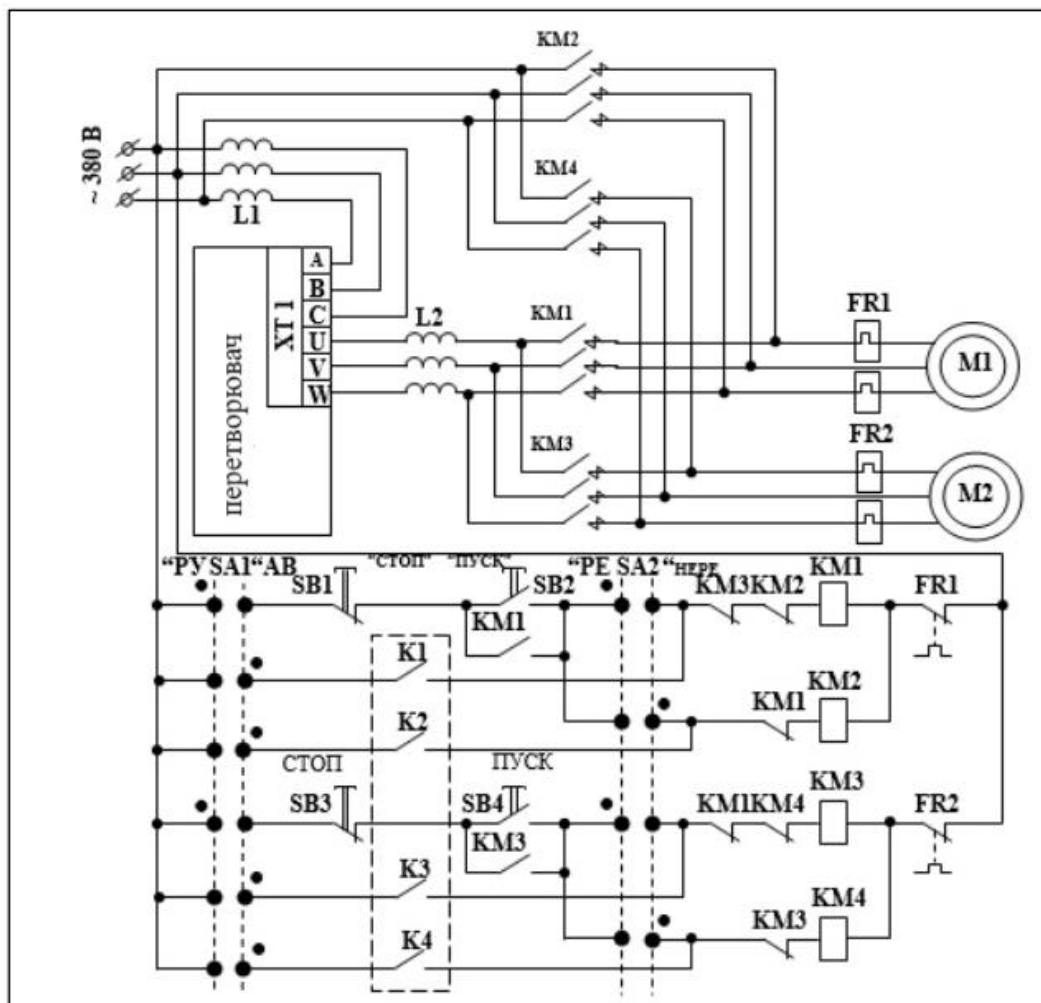


Рисунок 3.2- Спрощена схема силових кіл

3.2 Розробка системи керування електроприводом

3.2.1 Розробка структурної схеми об'єкта керування

Для отримання значення постійних часу інтегрування і коефіцієнтів І-інтегральної та П-пропорційної частини регулятора тиску, вивчення особливостей роботи електропривода насоса, проведемо моделювання його роботи за допомогою математичної моделі, що реалізована в середовищі програмного пакету Matlab за допомогою додатка Simulink [14].

Для побудови математичної моделі Simulink надає необхідну кількість бібліотек, у яких є всілякі елементи, необхідні для структурних схем. Це елементи наочного представлення, такі як осцилограф, ХУ-граф; різні типи ланок: пропорційна, аперіодична, інтегруюча; різні обмежувачі, суматори; всілякі джерела: константи, генератори тощо. Відповідно завдання проектування полягає у відтворенні структури системи автоматичного керування (САУ) з реалізацією в ній математичної моделі розглянутого автоматизованого електропривода. Залежно від мети й обсягу розв'язуваної задачі, у модель заносяться розрахункові дані кожного елемента структури у відносних одиницях. У процесі обчислення є можливість вводити необхідні впливи на систему (за збуренням і за керуванням), у результаті чого отримати осцилограми різних процесів.

Побудову моделі електроприводу насоса необхідно провести так, щоб моделі вентилятора і двигуна насоса використовували загальну величину - швидкість обертання ротора. У цьому випадку буде використовуватися електрична кутова швидкість.

Величина тиску, створювана насосом, описується таким виразом: залежність одержуваного тиску H , м. від об'єму подачі Q , м³/год:

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_*} \right)^2 - cQ^2, \quad (3.6)$$

де H - тиск, створюваний підвищувальним насосом;

ω - електрична швидкість обертання вала, об/хв;

ω_n - номінальна механічна швидкість обертання вала, об/хв;

C - конструктивний коефіцієнт, приймаємо $C=1$.

Магістраль, на яку працює насос, описується, як залежність між об'ємом подачі під час роботи насоса Q і тиском H , необхідним для оптимальної роботи системи тепlopостачання:

$$H = H_c + \frac{Q^2}{R}, \quad (3.7)$$

де H_c - тиск, зумовлений різницею висот теплопункту і споживача;

R - коефіцієнт, що описує зміну опору системи; Q - об'єм води, що потребують для подачі споживачеві $m^3/год$.

Для реалізації моделі магістралі перетворимо характеристику магістралі так, щоб вихідним параметром була величина об'єму зворотки:

$$Q = \sqrt{(H - H_c) \cdot R}, \quad (3.8)$$

Спираючись на формули (3.6) і (3.8) за допомогою програми Simulink побудуємо модель системи *насос - магістраль* (див. рис. 3.3).

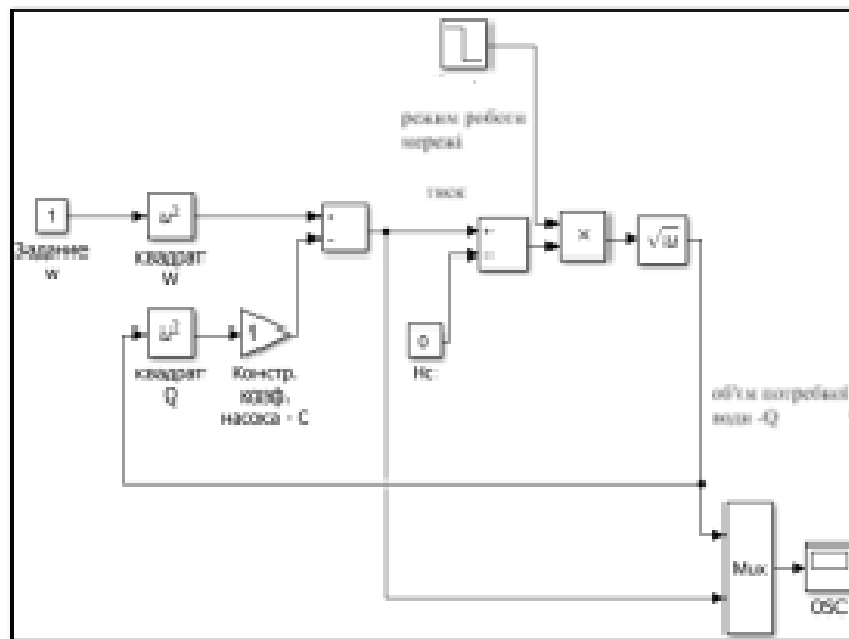


Рисунок 3.3 - Модель системи *насос-магістраль*

Значення коефіцієнта $R=1$ еквівалентно роботі системи в номінальному (максимально можливому) режимі, за максимального напору; за мінімальної продуктивності значення R близьке до нуля, а значення 0 недопустиме під час роботи системи опалення.

Створена модель відображає реальний об'єкт, що піддається регулюванню та управлінню. Шляхом зміни величин H_c , R , C , модель дає змогу проаналізувати будь-які процеси, що відбуваються в цій

системі. Доповнивши модель САУ (системою автоматичного керування) електроприводу, моделюємо діючу модель насоса.

Наша мета знайти спосіб автоматичного підтримання тиску, тобто необхідно створити замкнуту систему підлеглого регулювання за відхиленням, елементами якої є регулятор, фільтр і ланка об'єкта, з передавальними функціями відповідно W_p , W_ϕ , W_o .

Інерційність ланки об'єкта створюють електропривод асинхронного двигуна, частотного перетворювача, і датчики регульованих величин. інерційність датчиків багато менша за інерційність приводу, тому під час побудови регулятора її можна не враховувати, а систему розглядати як із безінерційним одиничним зворотним зв'язком.

Частотний перетворювач має два внутрішні контури - контур струму і контур швидкості, контур регулювання тиску - технологічний контур буде за рахунком третім.

Таким чином, передавальні функції ланки частотного перетворювача, об'єкта і фільтра представимо у вигляді аперіодичної ланки другого порядку, стандартна передавальна функція другої замкнутої системи має вигляд:

$$\Phi_2(p) = \frac{1}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1} .$$

3.2.2 Синтез регулятора третього контуру та його властивості

На вході САУ є суматор, на якому виділяється помилка між заданою величиною і сигналом зворотного зв'язку (регулювання коефіцієнта зворотного зв'язку доступне користувачеві). Таким чином, отримуємо математичну модель САУ електроприводу насоса (рис. 3.4), САУ містить математичну модель системи вентилятор - двигун і "ПІ" (пропорційно-інтегральний) регулятор системи керування тиском.

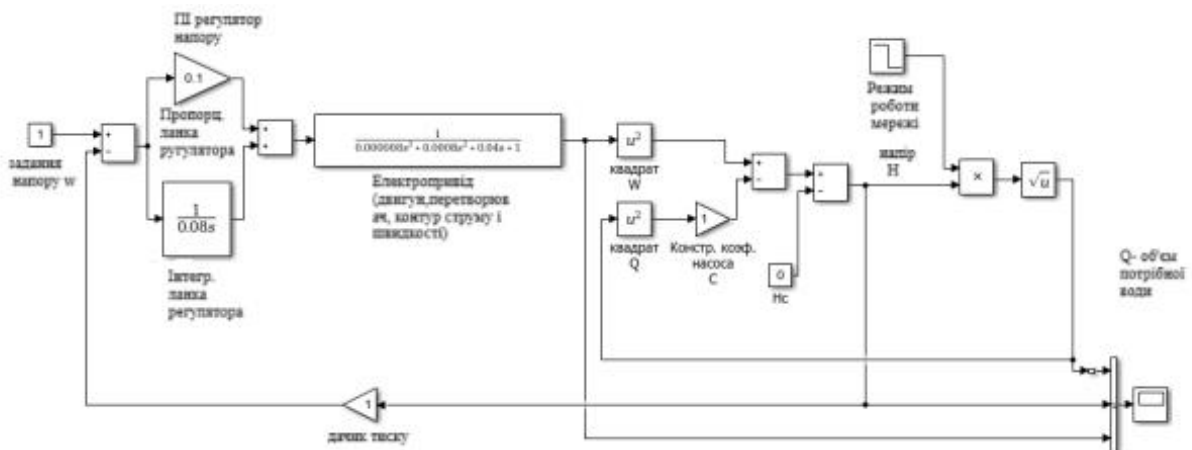


Рисунок 3.4 - Математична модель системи автоматичного керування електроприводом насоса

Згідно зі стандартною методикою, передавальна функція регулятора тиску має вигляд:

$$R_3(p) = [W_3(p)]^{-1} * \frac{1}{T_3 p}$$

На практиці для приводів помірної швидкодії величину базової (некомпенсованої) постійної часу зазвичай приймають у межах від 0,004 до 0,01 с. Приймаємо постійну часу рівну 0,01 с.

Умови оптимального налаштування регулятора наступні:

$$T_3 = 2 * T_2 = 4 * T_1 = 8 * T_{\mu} ,$$

$$T_3 = 2^3 * 0,01 = 0,08 \text{ с.}$$

3.2.3 Аналіз математичної моделі системи автоматичного керування

Використаємо модель системи автоматичного керування насосом. Запустимо модель системи. На першій секунді осцилограми можна побачити перехідний процес запуску двигуна. Тут спостерігається дещо велике перерегулювання, ніж коли система, налаштована на модульний оптимум, реагує на одиничний вплив, спричинений наростаючим впливом опору магістралі. Далі чітко видно роботу системи на підтримку постійного значення тиску - графік показано на рис. 3.5.

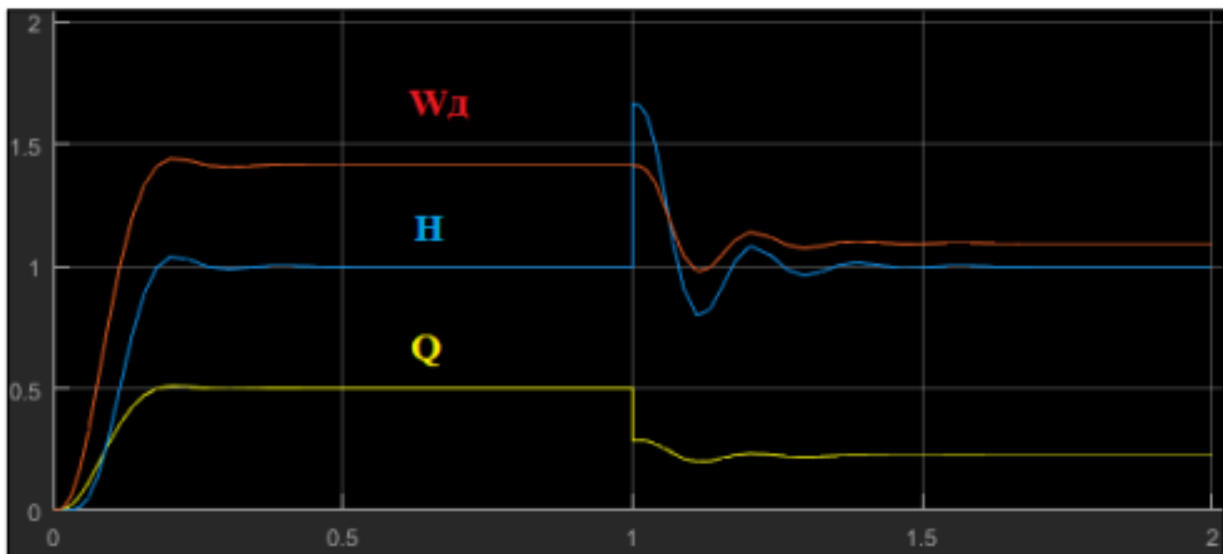


Рисунок 3.5- Осцилограма роботи системи автоматичного керування з підтримання тиску

В момент зменшення споживання виникають такі процеси: в період зменшення витрати різко змінюється тиск (оскільки насос працює з тією ж швидкістю), для підтримання тиску система керування гальмує (знижує) швидкість обертання насоса, тим самим зменшуючи його продуктивність, що в кінцевому підсумку призводить до того, що тиск нормалізується.

При налаштуванні підпорядкованих систем регулювання загальноприйнятими є наступні узагальнення:

- кожен подальший контур підпорядкованої системи керування має швидкість приблизно в два рази меншу, ніж у попереднього;
- всі контури забезпечують проходження перехідних процесів з відносно невеликим перерегулюванням; - динамічні властивості багатоконтурної системи

i , перш за все, його швидкодія повністю зумовлюється кількістю контурів і значенням некомпенсованої сталої часу T_{μ} ;

- для довільного з контурів регулятор будується за однією і тією ж базовою схемою. У широкому розумінні для контуру з номером i передатна функція задається формулою і має вигляд:

$$R_i(p) = K_i + \frac{1}{T_i p}$$

де K_i - коефіцієнт посилення регулятора;

T_i - постійна часу регулятора.

Специфічний тип регулятора залежить від структури компенсованої ланки в системі об'єкта.

Основні показники процесу регулювання третього контуру:

- час першого узгодження $14,5T_{\mu}$;
- час досягнення максимуму $18T_{\mu}$;
- час досягнення зони 5% відхилення $13,6T_{\mu}$; час досягнення зони 5% відхилення $13,6T_{\mu}$;
- перерегулювання $6,2\%$.

Таким чином, у порівнянні з показниками меншого порядку САУ, у нашому випадку час переходу значно збільшується, тоді як надмірне регулювання зменшується

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності

Умови та безпека праці, їх стан та покращення – самостійна і важлива задача соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави, яку вирішує така невід’ємна складова БЖД, як охорона праці. Рівень безпеки будь-яких робіт у суспільному виробництві значною мірою залежить від рівня правового забезпечення цих питань, тобто від якості та повноти викладення відповідних вимог в законах та інших нормативно-правових актах [36].

Для вирішення існуючих проблем в сфері охорони праці необхідна ефективна взаємодія всіх органів державної влади та громадськості, а також реалізація як на державному, так і на місцевих рівнях відповідних програм, спрямованих на корінне покращення умов і охорони праці.

Реалізація цих програм дозволить розробити і впровадити науково обґрунтовану державну систему наглядової, навчально-методичної та контрольної діяльності у сфері охорони праці; адаптувати нормативно-правову базу з питань охорони праці до вимог директив Європейського Союзу; вирішити питання науково-методичного та інформаційного забезпечення з питань охорони праці на національному та регіональному рівнях та багато іншого, що дозволить здійснити комплексне вирішення задач охорони праці, забезпечити пріоритет життя і здоров’я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності і створити безпечні та здорові умови праці на підприємствах і в організаціях усіх форм власності.

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом [37]:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання;
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці;

- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне – пов’язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав.

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки [37].

4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом

Наслідки ураження людини електричним струмом залежить від ряду факторів, які умовно можна поділити на три групи: фактори електричного характеру, фактори неелектричного характеру і фактори довкілля [38].

Фактори електричного характеру. У випадку отримання електротравми, основним уражаючим фактором є *електричний струм*, що протікає через людину. Від величини (сили) цього струму залежать наслідки ураження. Виділяють наступні порогові значення сили струму, тобто ті мінімальні значення, що викликають певні наслідки:

- поріг чутливості – це мінімальна сила струму, яку людина сприймає у вигляді ледь відчутних подразнень (для змінного струму це значення 0,7-1,5 мА, для постійного – 5-7 мА);

- пороговий невідпускаючий струм – це мінімальна сила струму, що викликає судомне скорочення м’язів, і людина не може самостійно звільнитися від струмовідних частин (для змінного струму це значення 10-15 мА, для постійного – 50-80 мА);

- пороговий фібриляційний струм – це мінімальна сила струму, що викликає фібриляцію серця (для змінного струму це значення 100 мА, для постійного – 300 мА).

Напруга на тілі людини впливає на тяжкість ураження лише в тій мірі, в якій вона визначає силу струму, що протікає через тіло людини.

Опір кола людини. Розглядаючи випадки включення людини в електричне коло (наприклад, дотику людини до струмопровідної частини), бачимо, що послідовно з опором тіла людини «включені» опори інших елементів: опір одягу, опір взуття і опір опорної поверхні ніг (рис. 4.1) [39].

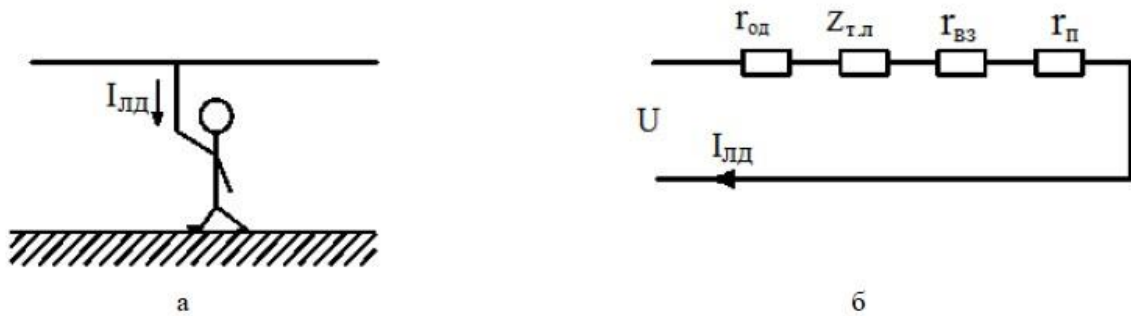


Рисунок 4.1. Схема дотику людини до струмопровідної частини: а – загальна схема; б – еквівалентна схема: $r_{од}$ - опір одягу, $Z_{т.л}$ - опір тіла людини, $r_{вз}$ - опір взуття, $r_{оп.п}$ - опір опорної поверхні ніг

Опір одягу «включається» у коло людини, якщо людина дотикається до обладнання під напругою частиною тіла, покритою одягом (наприклад, плечем, рукою у рукавичці чи ін.). Опір одягу залежить від товщини матеріалу та вологості; так, опір сухого одягу має приблизно 3-5 кОм, вологого – до 1 кОм, а мокрого – не враховується. Опір взуття «включається» у коло людини, якщо струм проходить через людину і у землю. Слід враховувати, що опори кожної ділянки підошви взуття «включаються» паралельно, якщо струм протікає так, як показано на рис. 4.1 а, і послідовно, якщо людина попадає під напругу кроку. Опір підошви взуття залежить від матеріалу, товщини і вологості підошви. Дуже високий опір має підошва з гуми та натуральної шкіри. Суха підошва має опір до 20 кОм, волога – декілька кОм, опір мокрої підошви не враховується.

Опір опорної поверхні ніг – це опір підлоги чи ґрунту, на яких стоїть людина. Опір опорної поверхні ноги на дерев'яній підлозі сягає 3-5 кОм, а підлоги з інших матеріалів, крім неспеціальних, мають менший опір. Опір опорної поверхні ніг на ґрунті теж залежить від виду, вологості і розміщення ніг на ґрунті та визначається залежностями:

– однієї ноги на ґрунті – $r_{гр.1}=3,1\rho$;

– двох ніг, «включених паралельно» і розміщених поряд – $r_{гр.2} = 2,2\rho$;

– те ж саме, розміщених на відстані кроку – $r_{гр.2} = 1,6\rho$;

– двох ніг, «включених послідовно» – $r_{гр.2} = 6,2\rho$,

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Опір тіла людини. Тіло людини являє собою складний комплекс тканин, електричні параметри яких розрізняються у широкому діапазоні. Найбільшу провідність має кров, м'язи, мозок, а найменшу – шкіра, кістки, жирова тканина. Прийнята еквівалентна схема електричного опору тіла людини складається з двох послідовно сполучених складових: опору шкіри і опору внутрішніх органів. Опір шкіри представляється у вигляді двох складових: активного і ємнісного опорів ($R_{шк}$ і $C_{шк}$) сполучених паралельно, а опір внутрішніх органів – тільки у вигляді активного опору ($R_{вн}$), тобто характер електричного опору тіла людини є активноемнісним. Опір шкіри залежить від її стану, щільності та площі контактів, прикладеної напруги, сили струму та тривалості протікання цього струму. Найбільший опір має суха чиста непошкоджена шкіра. Збільшення площі та щільності контактів зі струмопровідними частинами зменшує опір шкіри. Зі збільшенням прикладеної напруги опір шкіри зменшується у результаті пробію верхнього шару. Збільшення величини струму або тривалості його протікання зумовлює збільшення нагріву верхнього шару шкіри і потовиділення у місці контакту, що також зменшує електричний опір шкіри. Ємність шкіри залежить від площі контакту і складає близько $0,02$ мкФ/дм².

Опір внутрішніх органів також має активно-ємнісний характер, але ємнісна складова незначна і нею можна знехтувати. Опір активної складової залежить в основному, від прикладеної напруги і складає $600-300$ Ом. Зі збільшенням напруги загальний опір тіла зменшується. Опір тіла людини залежить від статі і віку людей: у жінок цей опір менший, ніж у чоловіків; у дітей менший, ніж у дорослих; у молодих людей менше, ніж у людей у віці.

Оскільки опір тіла людини електричному струму є *нелінійним і нестабільним*, а проводити розрахунки з такими опороми достатньо складно, прийнято вважати для наближених розрахунків, що опір тіла людини електричному струму – величина стабільна, лінійна і складає 1000 Ом (рис. 4.2). Це відповідає більшості випадків включення людини у електричне коло (близько 150 В).

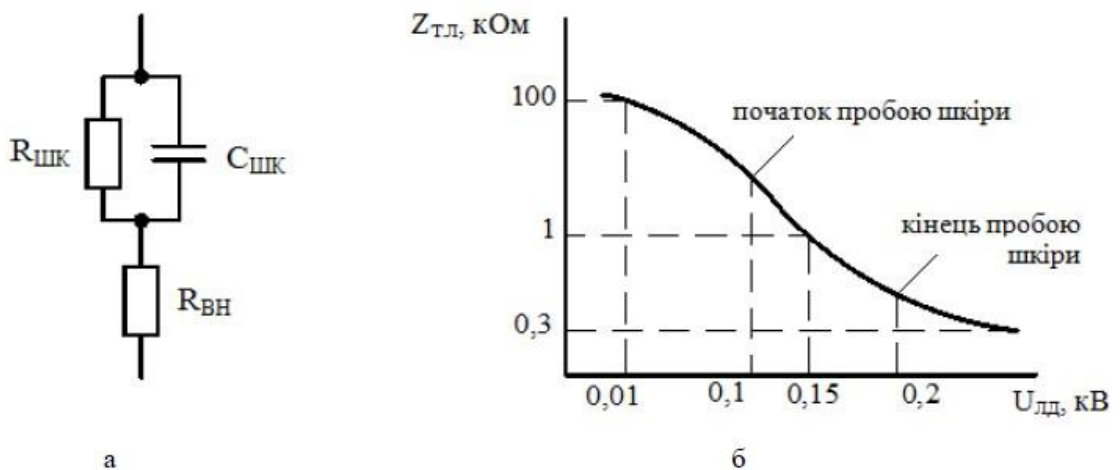


Рисунок 4.2 - Електричний опір тіла людини:

а - еквівалентна електрична схема ($R_{шк}$ і $C_{шк}$ – активний опір і ємність шкіри відповідно; $R_{вн}$ – опір внутрішніх органів); б – залежність величини опору тіла людини від напруги, прикладеної до людини

Вважається, що постійний струм, який проходить через тіло людини, порівняно зі змінним, викликає менш неприємні відчуття (справедливо для напруг до 300 В). Із збільшенням напруги небезпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400-600 В практично дорівнює небезпеці змінного струму з частотою 50 Гц, а за напруг понад 600 В навіть перевищує її (рис. 4.3 а).

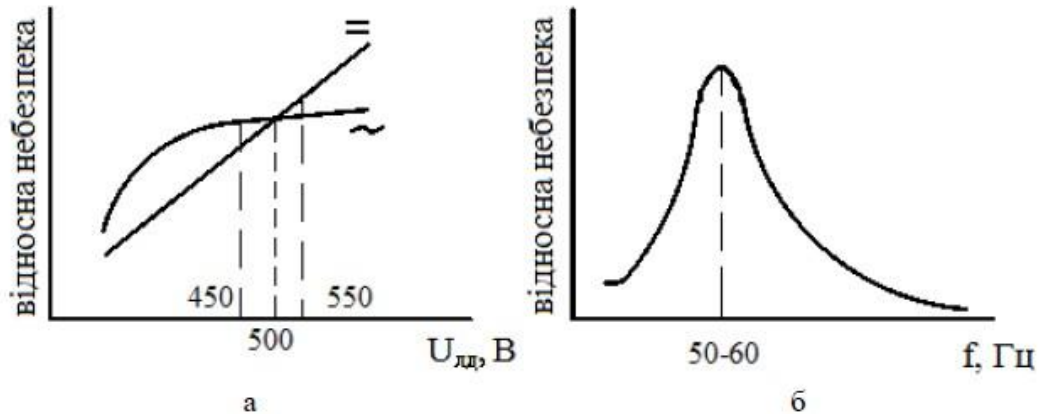


Рисунок 4.3 - Залежність небезпеки ураження людини електрострумом від:
а – виду струму; б – частоти змінного струму

Частота змінного струму. Найбільш небезпечними для людини є струми з частотою 20-200 Гц (рис. 4.3 б). Із зменшенням чи підвищенням частоти небезпека зменшується і зовсім зникає за частоти 450 кГц та вище. Найбільш небезпечним вважається струм з частотою 50-60 Гц (промислові частоти) через те, що деякі внутрішні органи мають власні частоти коливання у цьому діапазоні, і протікання таких струмів може викликати резонансні явища.

4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при використанні технічних в системи міського зовнішнього освітлення були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин, захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення [40].

Мала напруга - це напруга не більше 42 В між фазами і відносно землі, що застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. У виробничих умовах ПУЕ передбачають застосування двох малих напруг 12 і 36 або 42 В [8]. Напруга до 42 В включно повинна застосовуватися в приміщеннях

з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних для живлення таких електроприймачів: ручних електрифікованих інструментів без подвійної ізоляції, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами розжарювання, світильників загального освітлення звичайної конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга до 12 В повинна застосовуватися для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях при особливо несприятливих умовах роботи: в обмежених умовах або при зіткненні працюючого з великими металевими заземленими конструкціями.

Електрична ізоляція - це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, якими покривають поверхні струмопровідних елементів або якими струмопровідні елементи відокремлюють від інших частин. В електроустановках застосовують такі види ізоляції [41]:

робоча ізоляція - електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції;

посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Блокування безпеки - це пристрої, що запобігають потраплянню технічного персоналу і студентів під напругу внаслідок помилкових дій. В кваліфікаційній роботі було використано електричне і електромагнітне блокування.

Електричне блокування застосовується в технологічних електроустановках напругою до 1000 В і випробувальних стендах при будь-яких напругах. Блокування відключає напругу від електроустановки при відкриванні дверей

огорожень і дверцят кожухів або при знятті кришок. Для відключення напруги служать блокувальні контакти, які можуть включатися безпосередньо в силове коло або в коло управління пускового апарату, якщо управління електроустановкою дистанційне.

Електромагнітне блокування (ЕМБ) вимикачів, роз'єднувачів і заземлювальних ножів широко застосовується при різних схемах з'єднання обладнання і забезпечує певну послідовність включення і відключення цих апаратів. ЕМБ дозволяє виключити виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлювальних ножів на ділянку лінії під напругою, подачу напруги на заземлений ділянку лінії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблення автоматичних електроприводів для насосних агрегатів дало змогу зменшити споживання електроенергії та реалізувати максимальні технічні характеристики насосів. Впровадження регульованого електроприводу дало змогу збільшити термін служби насосного агрегату та супутнього обладнання, збільшити між ремонтними інтервалами електроустановки, знизити експлуатаційні витрати та втрати води у водопровідній мережі.

Для досягнення цієї мети було вирішено такі завдання:

- виконано аналіз технічних процесів;
- виконано розрахунок параметрів установки;
- для залишкової сертифікації було обрано базову систему автоматизації.

Ця система включає промисловий перетворювач частоти Vacon100 і насос Wilo для використання на районній тепловій станції з відкритою системою водопостачання;

- проведено дослідження роботи насосного агрегату при регулюванні частоти обертання двигуна;
- розроблено математичну модель для керування асинхронним двигуном насоса.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Скопенко Н. Агропромисловий сектор: сучасний стан, тенденції та перспективи розвитку: Економічний аналіз. – 2011. – Вип. 8. – Ч. 1. – С. 179- 183
2. Законодавство та право в агропромисловому комплексі України: Навчальний посібник. – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2011. – 334с.
3. Рубаненко О.Є., Рубаненко О.О. Електрифікація і автоматизація сільськогосподарського виробництва. Методичні вказівки для самостійної роботи для студентів агрономічного факультету спеціальностей, 6.130102 «Агрономія», форма навчання денна – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2012. – 40 с.
4. Зелінська О.В., Сухоцька С.М. Використання сучасних інформаційних технологій в агропромисловому комплексі // Галицький економічний вісник. – 2016. – №2. – С. 148–152
5. Бритвенко А., Семенов А., Тулопов Д. Маркетингові інформаційні системи в АПК // Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. – 2017. – №4. – С. 34–38.
6. Механізація та електрифікація сільського господарства [Текст] : міжвідом. темат. наук. зб. / Укр. акад. аграр. наук; Нац. наук. центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"; редкол.: Я.С. Гуков (відп. ред.) та ін. - Глеваха : Вип. 94. - 2010. - 620 с.
7. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. / за ред. Рудь А. В. Київ : Агросвіта, 2012. 432 с.
8. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій : навч. посіб. / Гевко Р. Б., Гладич Б. Б., Павх І. І., Соломка Т. П. Тернопіль : ТДПУ, 2002. 164 с
9. Гончаренко П. В., Марченко В. І. Машини і обладнання агропромислового виробництва. Умань : УНАС «Оперативна типографія», 2010. 268 с.
10. Король О.М. Міжнародні і національні пріоритети енергозбереження в сільськогосподарському виробництві // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право.-К.-№6, 2010.- с.45-51.

11. Червінська Т.М. Науковий та виробничий потенціали інноваційної діяльності АПК / Т.М. Червінська // Проблеми науки. - 2007. - №1. - С. 35-41.
12. Неміш П. Д. Сутність, оцінка та напрями підвищення ефективності механізму енергозбереження АПК / П. Д. Неміш // Інноваційна економіка. - 2013. - № 7 (45). - С. 46-53.
13. Судаченко В.Н., Ерк А.Ф., Тимофієв Е.В. Вибір варіанту енергопостачання об'єктів сільгоспвиробництва за економічними критеріями // Технології і технічні засоби механізованого виробництва продукції рослинництва і тваринництва. 2017. № 92. С. 43-48.
14. Ханенко М. Енергоємність продукції та напрями енергозбереження у тваринництві // Матеріали міжнародної науковопрактичної конференції за участю іноземних студентів “Розвиток аграрного бізнесу в умовах глобалізації” 15-17 квітня, Тернопіль.- ТНЕУ.- С.194-196.
15. Шмат К. І. Автоматизовані системи сільськогосподарської техніки. Херсон : ОЛДІ-плюс, 2009. 196 с.
16. Оробчук Б., Гоцуляк Ю. Підвищення надійності електропостачання сільськогосподарських споживачів // Конференція Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». Бережани – 2016, С. 89
17. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). ВНТП – АПК-01.05 / Мінагрополітики України. – Київ, 2005
18. Болтянська Н.І. Зниження енергоємності виробництва продукції тваринництва за рахунок скорочення енергії на кормоприготування. Інженерія природокористування. 2018. №1(9). С. 57-61.
19. Тристан Р.В. Розрахунки щодо автономного енергозабезпечення фермерського господарства. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції 01- 24 квітня 2020 р. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. 465–467 с.

20. Єгорова О. Ю. Комплексна оцінка якості електроенергії з урахуванням надійності електропостачання в сільських електромережах / О. Ю. Єгорова, М. В. Михалко // Системи обробки інформації. – 2011. – №. 5. – С. 41-45.
21. Гевко Р. Б., Павх І. І., Ткаченко І. Г. Система машин і механізмів агропромислового комплексу : навч. посіб. Тернопіль : ТДПУ, 2002. 264 с.
22. Садовий О. С. Електричне освітлення та електротехнології : курс лекцій / О. С. Садовий. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 91с.
23. Назаренко Л.А. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л.А. Назаренко, Т.В. Можаровська, В.С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
24. Андрійчук В.А., Поталіцин С.Ю., Худзін М.О. Світлотехнічний розрахунок світлових приладів для зовнішнього освітлення із компактними люмінесцентними лампами // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій. – Тернопіль 25-26 листопада 2015.
25. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПІНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с.
26. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.П. Шевчук, О.В. Мейта. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167 с.
27. ПУЕ - Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)/ Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок.

28. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії: підручник / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 286 с. ISBN 978-966-695-487-2
29. Хандола Ю.М. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній/Ю.М. Хандола – Харків: Факт, 2008.– 582 с
30. Глибинні відцентрові насоси. Режим доступу: <https://aquastory.com.ua/ua/nasosnoe-oborudovanie/nasosy-pogruzhnye/centrobezhnye/>
31. Оробчук Б., Іванків А. Адаптивна система керування режимами електропостачання. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
32. Шестеренко В.Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. — Київ, 2013. — 424 с.
33. Теплове реле для електродвигуна: принцип роботи, будова, як вибрати. Режим доступу: <https://remontu.com.ua/teplove-rele-dlya-elektrodviguna-princip-roboti-pristrij-yak-vibrati>
34. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.
35. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. - Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000.-188 с.
36. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». - К.: НАУ, 2000. -136с.
37. Євтух П.С., Буняк О.А., Оробчук Б.Я. Решетник В.Я. Зміст та тематика дипломних проектів (робіт) за спеціальністю 7.05070103 (8.05070103) електротехнічні системи електроспоживання // Методичні вказівки. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012