

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

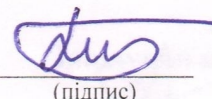
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

« 16 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

(назва освітньої програми)

на тему: «Автоматизований електропривод насоса водопостачання питної і технічної води»

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

Олейніченко Віктор Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент

доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

І.С. Білюк

2025_ року

« 7 » 02

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4371

Олейніченко Віктор Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизований електропривод насоса водопостачання питної і технічної води»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 р.

№ УЧ -343.

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Агрегат електронасосний, подача > 100 м³/год; показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 15$ %, час перехідного процесу

$T_{\max} \leq 2$ с; похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис системи водопостачання. 2 Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата водопостачання. 3 Дослідження системи керування електропривода мережного насоса. 4 Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата

5. Перелік графічного матеріалу

1 Електронасосний відцентровий занурювальний свердловинний агрегат ЕЦВ 2 Схема монтажу насосного агрегата в скважину 3 Принципова електрична схема САК насосного агрегата. 4 Функціональна схема двоконтурної системи частотного керування. 5. Схеми електропривода 6 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент	5.05.25 <i>Васильєв</i>	5.06.25 <i>Васильєв</i>

7. Дата видачі завдання «04» березня 2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис системи водопостачання	14.03.2025	
2	Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата водопостачання	05.04.2025	
3	Дослідження системи керування електропривода мережного насоса	05.05.2025	
4	Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата	10.06.2025	

Студент

(підпис)

Олейніченко В. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

I. С. Білюк

(підпис)

«_____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

(назва освітньої програми)

на тему: «Автоматизований електропривод насоса водопостачання питної і
технічної води»

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

Олейніченко Віктор Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

І.С. Білюк

« »

2025_ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

гр.4371 Олейніченко Віктор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизований електропривод насоса водопостачання питної і технічної води»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 р.

№ УЧ -343.

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Агрегат електронасосний, подача >100 м³/год; показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 15 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} < 2$ с; похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис системи водопостачання. 2 Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата водопостачання. 3 Дослідження системи керування електропривода мережного насоса. 4 Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата

5. Перелік графічного матеріалу

1 Електронасосний відцентровий занурювальний свердловинний агрегат ЕЦВ 2 Схема монтажу насосного агрегата в скважину 3 Принципова електрична схема САК насосного агрегата. 4 Функціональна схема двоконтурної системи частотного керування. 5. Схеми електропривода 6 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «04» березня 2025 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис системи водопостачання	14.03.2025	
2	Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата водопостачання	05.04.2025	
3	Дослідження системи керування електропривода мережного насоса	05.05.2025	
4	Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата	10.06.2025	

Студент _____
(підпис)

Олейніченко В. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Васильєв О.Г.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 65 сторінок: з 56 сторінок тексту, 4 розділів, 4 таблиць, 14 рисунків, 21 літературного джерела, 1 додатку на 9 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, математична модель, тиристорний електропривод, свердловинний насос, система керування

Об'єкт дослідження – система керування автоматизованого електропривода глибинного, занурюваного відцентрового насоса водопостачання.

Мета роботи – модернізація системи керування автоматизованого електропривода свердловинного насосного агрегата для підйому води із свердловин.

У першому розділі розглянутий принцип роботи та технічні характеристики насосного агрегата водопостачання ЕЦВ, розглянуті недоліки існуючої системи керування.

У розділі 2 проведений вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода для насосного агрегата в системі водопостачання. Зроблений огляд існуючих систем керування електропривода для насосних станцій, вибраний перетворювач серії Delta CP2000 VFD-F з частотною системою керування, наведені його технічні дані.

В розділі 3 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

В результаті досліджень отримані перехідні характеристики системи частотного керування асинхронним двигуном з такими показниками якості системи керування, які пред'являються до електроприводів насосного обладнання і забезпечують плавність регулювання тиску в мережі та безаварійну роботу насосного агрегата.

В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електропривода насосного агрегата водопостачання.

Додаток містить 9 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОПИС СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	7
1.1 Принцип роботи і технологічна схема насосної станції водопостачання...	7
1.2 Опис та технічні характеристики насосного агрегата ЕЦВ.....	10
1.3 Аналіз недоліків існуючої системи керування.....	14
2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА ВОДОПОСТАЧАННЯ	17
2.1 Енергозберігаючий асинхронний електропривод	17
2.2 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму	20
2.3 Розробка функціональної схеми системи керування та вибір перетворювача частоти.....	23
2.4 Функціональна схема системи керування та вибір перетворювача частоти.....	27
2.5 Технічний опис перетворювача частоти серії Delta CP2000 VFD-F	30
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕРЕЖНОГО НАСОСА	36
3.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода	36
3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів.....	40
3.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода насоса.....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНОГО АГРЕГАТА	46
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електропривода мережевого насоса.....	48
4.2 Безпека праці при експлуатації насосних станцій водопостачання	50
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	55
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	57

ВСТУП

Вода - найважливіша основа життя на нашій планеті. Вода дуже цінна не тільки для людей, але й для всіх рослин, тварин і природи.

Щоденне використання води в приватних домогосподарствах, суспільному житті, промисловості та сільському господарстві підкреслює важливість водопостачання.

Насоси і насосні станції є основними елементами і, в той же час, основними споживачами електроенергії в системах водопостачання і водовідведення. Технічні показники насосних станцій визначають надійність і економічну ефективність подачі і відведення води населенню, промисловим і комунально-побутовим підприємствам. Тому при проектуванні насосних установок питання енергозбереження і зменшення питомих витрат електроенергії на подачу і відведення води стоїть на першому місці.

Проблема енергозбереження стала гостро актуальною в сфері водопостачання, де енергетичні витрати, виражені в грошовій формі, виявилися особливо обтяжливими. Насосні агрегати на основі АД є одними з наймасовіших споживачів електроенергії, споживаючи близько 25 % усієї вироблюваної електроенергії. Один із шляхів підвищення економічності електропривода насосних агрегатів пов'язаний з використанням регулювання частоти обертів. Напрямок розвитку електричних машин, пов'язаний з підвищенням їх енергоефективності, в першу чергу пов'язаний зі зростанням цін на енергоносії. Саме ці процеси зумовлюють пошук способів підвищити енергоефективність АД, що використовуються для електропривода насосних агрегатів.

Підвищення рівня енергоефективності є пріоритетним напрямом енергетичної політики більшості країн світу. Це обумовлено вичерпанням традиційних невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів та відсутністю реальних альтернатив їх заміни.

Питання активізації та інтенсифікації заощадження електричної енергії знайшов відображення в Законах України «Про електроенергетику» та «Про енергозбереження» (<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>), комплексній

державній програмі енергозбереження, регіональних програмах, рекомендаціях Ради Європи тощо.

В умовах військового часу, коли енергетичний комплекс країни зазнав руйнувань, питання цілеспрямованого заощадження електричної енергії потребує як організаційного, практичного, так і наукового та інформаційного забезпечення, спрямованого на раціоналізацію використання енергетичних ресурсів.

Регулювання подачі води дозволяє одержати економію електроенергії, а також економію води й тепла, ресурсу електронасоса. Виключення прямих пусків двигуна дозволяє знизити пускові струми в 5-6 разів, уникнути гідравлічних і механічних ударів і надлишкового тиску в магістралі, збільшити термін служби двигуна, насосів і трубопроводів. У цілому заміна системи керування дозволить зменшити витрати на обслуговування, підвищить надійність.

Актуальність економії електроенергії й технічний прогрес спричиняє інтерес до сучасних рішень автоматизації систем водопостачання.

З метою модернізації та підвищення показників безпеки системи водопостачання у даній роботі пропонується автоматизація електропривода глибинного, занурюваного відцентрового насоса шляхом упровадження в систему керування частотного перетворювача.

Прогнозується, що така автоматизація дозволить скоротити витрату енергії (в окремих випадках – до 50%), зменшити витрати на обслуговування та підвищить надійність роботи мережі водопостачання за рахунок зменшення стрибків тиску.

1 ОПИС СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Принцип роботи і технологічна схема насосної станції водопостачання

Система водопостачання являє собою комплекс споруджень, що здійснюють завдання водопостачання, тобто одержання води із природних джерел, її очищення, транспортування й подачу різним споживачам у заданій кількості й при необхідному тиску [19]. Як споживачі можуть виступати населені пункти, міста, підприємства більшості галузей промисловості.

Система водопостачання (населеного міста або промислового підприємства) повинна забезпечувати одержання води із природних джерел, її очищення, якщо це викликається вимогами споживачів і подачу до місць споживання. Для виконання цих завдань служать наступні спорудження, що входять звичайно до складу системи водопостачання:

- водоприймальні спорудження, за допомогою яких здійснюється прийом води із природних джерел;
- водопідйомні спорудження, тобто насосні станції, що подають воду до місць її очищення, зберігання або споживання;
- спорудження для очищення води;
- водоводи й водогінні мережі, що служать для транспортування й подачі води до місць її споживання;
- вежі й резервуари, що грають роль регулюючих і запасних ємностей у системі водопостачання.

За способом подавання води системи водопостачання поділяються на:

- самопливні або гравітаційні системи, в яких вода тече внаслідок дії сили тяжіння;
- з механічним подаванням, в яких вода переміщується за допомогою насосів або інших пристроїв.

Найнадійнішими є централізовані системи водопостачання.

Централізовані системи залежно від місцевих умов і вибраної схеми водопостачання повинні забезпечувати в першу чергу господарсько-питне водоспоживання в житлових і громадських будівлях, гасіння пожеж, власні потреби станцій водопідготовки, поливання територій та теплиць (потреби води на поливання можна задовольняти окремим водопроводом). У межах населеного пункту з цього водопроводу можуть отримувати воду невеликі підприємства як на питні, так і на виробничі потреби, а великі підприємства, у разі потреби, — тільки воду питної якості.

Схема взаємного розташування основних споруджень системи водопостачання показана на рис. 1.1.

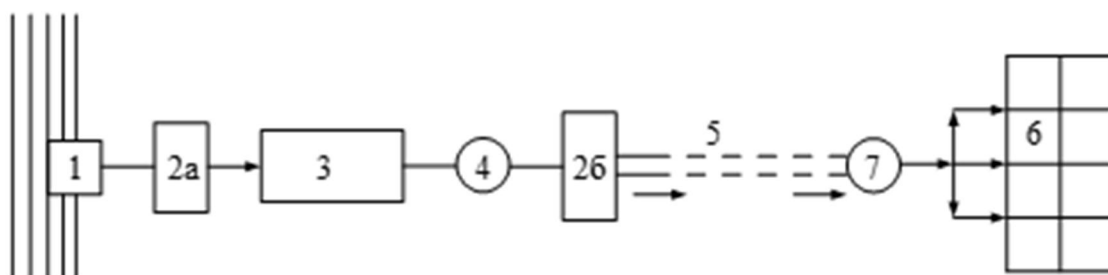


Рисунок 1.1 - Схема взаємного розташування основних споруджень системи водопостачання

Вода забирається із джерела за допомогою водоприймального спорудження 1 і подається насосами, установленими на станції першого підйому 2а, на очисні спорудження 3. Після очищення вода надходить у збірний резервуар 4, з якого забирається іншою групою насосів, установлених на станції другого підйому 2б, і по водоводах 5 подається в мережу труб 6, що розводять воду до місць споживання. Водонапірна башта (або напірний резервуар) 7 може бути розташована на початку мережі, наприкінці її або в якій-небудь проміжній крапці мережі.

Гідравлічна машина, що створює напірне переміщення рідини при повідомленні їй енергії, називається насосом [13,19]. Насос у сукупності з електроприводом і передавальним механізмом (муфтою, редуктором, шківом і т.п.) утворить насосний агрегат. Комплекс устаткування, що забезпечує роботу насосів у необхідному режимі й складається з одного або декількох насосних агрегатів, трубопроводів, запірної й регулюючої арматур, контрольно-вимірювальної

апаратур, а також апаратури керування й захисти, утворить **насосну установку**. Спорудження, до складу якого входять одна або кілька насосних установок, а також допоміжні системи встаткування, побутові й виробничі приміщення, що забезпечують працездатність об'єкта в цілому, називається **насосною станцією**.

Основними параметрами, що характеризують режим роботи насосної установки, є напір і подача.

Напір - різниця питомих енергій рідини в напірному й усмоктувальному патрубках насоса, необхідна для підйому рідини на задану висоту й подолання сил тертя в трубопроводі.

Подача - обсяг рідини, що перекачується насосною установкою за одиницю часу.

Основні режими роботи насосних установок [19]:

— нерівномірний режим, який характерний для роботи постійно увімкненого насоса до мережі без регулюючої ємності (резервуару);

— рівномірний режим, який досягається при нерівномірному споживанні рідини в системі за рахунок встановлення регулюючої ємності;

— повторно-короткочасний режим який характеризується періодичним ввімкненням та вимкненням насоса з частотою, яка залежить від ємності бака гідроаккумулятора, подачі насоса та споживання (надходження) рідини у системі;

— змінний режим, який досягається за рахунок зміни подачі насоса у відповідності зі зміною споживання (надходження) рідини в системі. Показники роботи насосної установки, яка працює в змінному режимі, залежать від способу регулювання подачі насоса.

Насоси відносяться до числа механізмів з тривалим режимом роботи і постійним навантаженням. В системах водопостачання застосовують відцентрові насоси. У відцентрових насосах рідина переміщується під дією відцентрової сили, створюваної робочим колесом, яке приводиться в обертовий рух електродвигуном.

1.2 Опис і технічні характеристики насосного агрегата ЕЦВ

Об'єктом керування в системі водопостачання є система керування електропривода насоса типу ЕЦВ.

Агрегат електронасосний відцентровий занурювальний свердловинний ЕЦВ 10-63-110 призначений для підйому води із свердловин. Агрегат може бути використаний для промислового і сільськогосподарського водопостачання, а також для зрошення і пониження рівня ґрунтових вод. Може бути побутовою насосною станцією. Спеціально сконструйований для подачі великих об'ємів глибинних вод на поверхню.

Агрегат відноситься до виробів загального призначення виду І, відновлюваний по ГОСТ 27.003. Вид кліматичного виконання У * ГОСТ 15150 .

Агрегат не призначений для експлуатації у вибухонебезпечних і пожежонебезпечних виробництвах.

Агрегат може комплектуватися електродвигунами ДАП (двигун асинхронний занурювальний) або ПЕДВ (негерметичний водозаповнений двигун для свердловинних насосів.). При комплектації електродвигуном ПЕДВ агрегат має умовне позначення ЕЦВ. При комплектації електродвигуном ДАП агрегат має умовне позначення 2ЭЦВ.

Конструкція. Агрегат складається з відцентрового насоса та електродвигуна.

Насос виконаний багатоступеневим. Ступені з'єднуються між собою стяжками із сталеві стрічки або шпильками. Вал з робочими колесами і втулками утворює ротор насоса, який обертається в гумових підшипниках.

Електродвигун - трифазний асинхронний з короткозамкнутим ротором, занурювальний, з синхронною частотою обертання 50 c^{-1} (3000 об/хв). Охолодження електродвигуна виконується омиванням відкачуваної водою. Напрямок обертання ротора правий (за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку насосної частини).

Застосування:

- для забезпечення водопостачання в структурах водоканалів і ЖКГ;

- для водопостачання приватних господарств, які використовують воду з артезіанських свердловин;
- в системах зрошення сільськогосподарських угідь, де відсутні наземні джерела води;
- на промислових підприємствах для забезпечення питною і технічною водою;
- на об'єктах теплоенергетики для забезпечення питною і технічною водою з артезіанських свердловин;
- для аварійної відкачки води і схожих з водою по в'язкості рідин із затоплених шахт.

Керування насосним агрегатом полягає у виконанні наступних операцій: перевірка заповнення насоса рідиною; пуск насоса і виведення на робочий режим; регулювання подачі; зупинка насоса. Для забезпечення всіх цих функцій до складу насосної станції необхідно впровадити пристрій керування, наприклад, програмувальний логічний контролер (PLC).

Технічні характеристики насосного агрегата ЕЦВ-10-63-110 наведені в таблиці 1.1 [3].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики насосного агрегата ЕЦВ-10-63-110

Параметр	Значення
Діаметр обсадної труби D	10" (260 мм)
Подача Q	63 м ³ /год
Напір Н	110 м
Потужність Р	33,0 кВт
Струм І	66 А
Частота обертання n	3000 об/хв
Напруга мережі U	380 В
Кількість ступенів N	5

Схема монтажу насоса в скважину та складові частини насоса наведені на рисунку 1.2.

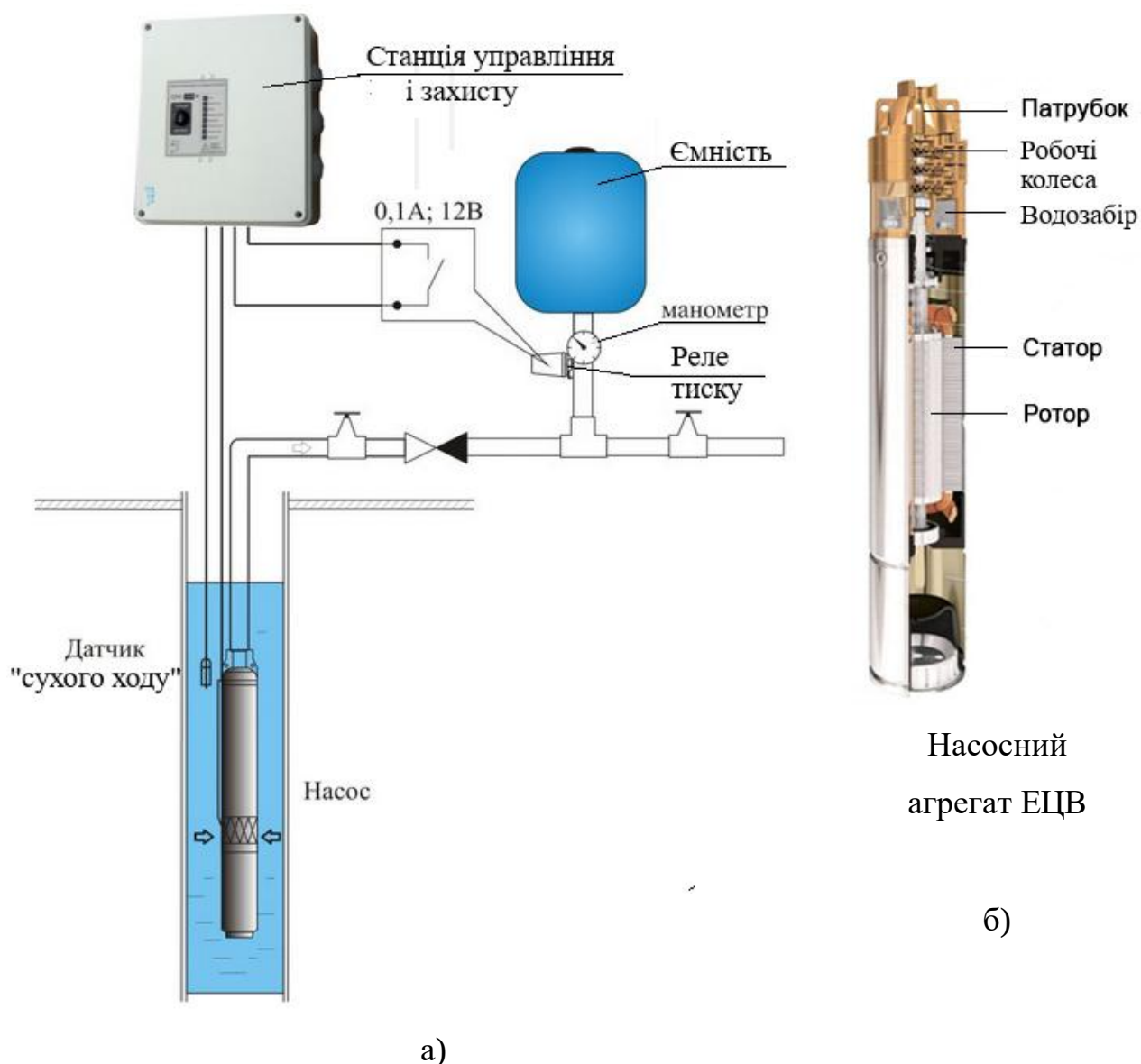


Рисунок 1.2 - Схема монтажу насоса в скважину (а) та складові частини насоса (б)

Відцентрові насоси включають наступні основні елементи: підведення, одне або кілька робочих коліс, відведення, ущільнення і підшипники.

Принцип дії відцентрового насоса полягає в наступному. Рідке середовище через підведення потрапляє в спіралевидний корпус насоса з обертовим в ньому робочим колесом. В процесі обертання робочого колеса рідке середовище, що знаходиться між його лопатками, завдяки відцентровій силі надходить у відведення, а потім викидається з насоса через напірний патрубок. Рідина рухається і звільняє займаний нею простір, тому біля входу в робоче колесо утворюється розрідження, а на периферії — надлишковий тиск. Під дією різниці атмосферного

тиску в резервуарі-приймачі і зниженого тиску на вході в насос рідина постійно підсмоктується в міжлопатеві канали робочого колеса. Таким чином здійснюється безперервна подача води, стічних вод або осаду.

Електродвигун 5AM200M2 є невід'ємною частиною насосного агрегата, але тому, що він не поставляється в Україну, робимо заміну на український аналог – асинхронний електродвигун **АИР200М2**.

Технічні характеристики електродвигуна АИР200М2 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики електродвигуна АИР200М2 [7]

Параметр	Розмірність	Значення
Тип двигуна		тип ПЕДВ*
Потужність двигуна $P_{ном}$	кВт	37
Число полюсів p_n		2
Номинальна частота обертання ротора $n_{ном}$	об/хв	2950
Синхронна частота обертання ротора $n_{синхр}$	об/хв	3000
Номинальна частота мережі $f_{ном}$	Гц	50
Номинальна фазна напруга $U_{ном}$	В	220/380
Номинальний фазний струм $I_{ном}$	А	67,9
Номинальний крутний момент $M_{ном}$	Н·м	119,78
ККД	%	92
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$		0,89
$M_n / M_{ном}$	-	2
$M_{max} / M_{ном}$	-	2,2
$I_n / I_{ном}$	-	7,5
Ковзання S_n	%	1,9
Критичне ковзання $S_{кр}$	%	12,5

* Двигун тип ПЕДВ - негерметичний водозаповнений двигун для свердловинних насосів.

1.3 Аналіз недоліків існуючої системи керування

Особливістю систем водо- теплопостачання будинків, районів і т.п. є нерівномірність споживання води протягом доби, тижня або сезону. Основним завданням системи водо- теплопостачання є підтримка оптимального тиску в магістралі розбору.

Найпростіша система не має ніяких пристроїв регулювання тиску, забезпечує підтримку постійного обсягу подачі води, що приводить до істотного зниження тиску в години «пік» або збільшенню тиску в магістралі під час зниження витрати води, при цьому збільшуються втрати води на шляху до споживача й збільшується ймовірність розривів трубопроводу.

Системи з водонапірними баштами, що підтримують тиск, є застарілими й уступають за техніко-економічними показниками сучасним системам.

Найпоширенішими системами є системи з регулюванням витрати засувками на виході насоса. Такі системи мають недоліки, головним з яких, є неощадлива витрата електроенергії й ресурсу електронасосів.

Основними функціями насосних станцій є наступні:

- підтримка заданого тиску в системі водопостачання;
- контроль живлячої напруги й відновлення роботи станції після збоїв живлення;
- діагностика всіх датчиків системи й гнучкий алгоритм підтримки працездатності станції при несправності датчиків;
- калібрування датчиків з пульта керування;
- захист насосів від роботи при відсутності води;
- функціональна діагностика роботи насосів;
- можливість передачі параметрів роботи станції по виділених каналах зв'язку на централізований пульт керування;
- налаштування параметрів роботи станції з пульта керування;
- забезпечення протипожежного режиму роботи станції;

- забезпечення ручного режиму роботи станції при технічному обслуговуванні;

- перемикання насосів для рівномірного виробітку ресурсу насосних агрегатів.

Скасувати недоліки дискретного регулювання можна впровадженням **частотного перетворювача** до складу насосної станції. При його застосуванні з'являється дві можливості регулювати подачу води:

- відповідно до заздалегідь складеного графіка (без зворотного зв'язку по тиску);

- відповідно до реальної витрати (зі зворотним зв'язком по тиску або витраті води).

До появи частотних перетворювачів як пристрій керування використовувалися релейні блоки (рисунок 1.3).

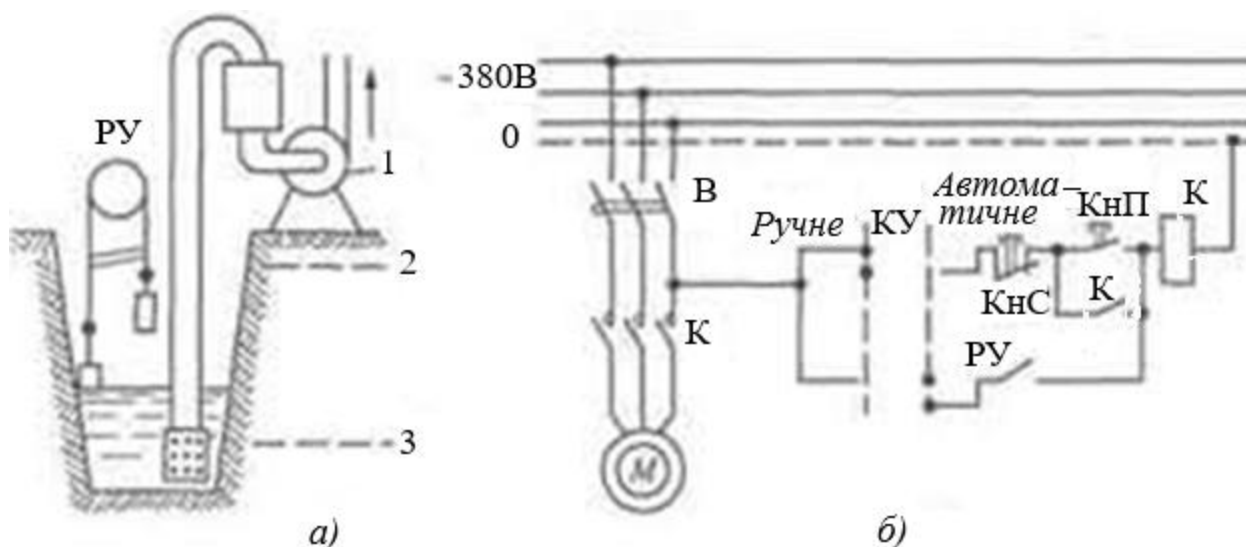


Рисунок 1.3 – Схема керування насосної установки за рівнем

Найпростіша схема регулювання за рівнем побудована на базі магнітного пускача та поплавкового реле. При збільшенні рівня контакти реле замикаються, котушка магнітного пускача виявляється під напругою. Електродвигун насосного агрегата запускається. При зниженні рівня рідини реле розмикає керуючий контакт магнітного пускача.

Релейні схеми керування відносно прості і дешеві, однак, мають такі

недоліки:

- додаткове навантаження на електричну мережу. Запуск електродвигунів здійснюється на повній напрузі мережі. Струм при цьому зростає у кілька разів;

- неможливість плавної зміни продуктивності. Регулювання тиску мережі здійснюється включенням резервного насоса. Ступінчаста зміна тиску не завжди задовольняє умовам техпроцесу;

- необхідність регулярного ремонту, технічного обслуговування. Схеми такого типу містять велику кількість електроапаратів та елементів автоматики. При частих комутаціях, контакти і механічні частини апаратів швидко стають непридатними;

- високе навантаження на трубопровід. При прямому запуску насосів різко збільшується ймовірність гідравлічних ударів. При їх виникненні ушкоджується запірно-регулююча арматура, труби та інші елементи водопостачання.

Для автоматизації роботи насосних станцій дедалі частіше використовують схеми з частотними перетворювачами. Частотне керування позбавлене недоліків релейних схем.

Частотні перетворювачі використовуються як для автоматизації простих автономних систем водопостачання, так і потужних станцій із великою кількістю насосів.

2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Способи регулювання режимів роботи насосних установок

В разі доволі частої зміни режимів водопостачання доводиться оперативно регулювати режими роботи насосних установок. Регулювання продуктивності може здійснюватися наступними способами:

- дроселювання з використанням заслінок або клапанів;
- використання вхідного направляючого апарата у відцентровий вентилятор для обмеження потоку;
- застосування різних муфт (електричних, гідравлічних) для регулювання моменту між валом двигуна та насосом;
- дискретне регулювання «Увімк/Вимк»;
- регулювання кута атаки лопатей крильчатки.

Недоліком традиційних способів регулювання продуктивності є відсутність прямого ефекту економії енергії. Є можливості зменшення енергоспоживання за допомогою цих способів, але жоден з них не ефективний в області збереження енергії настільки, наскільки ефективним є застосування частотно-регульованого електропривода. Наприклад, дискретне управління вносить значні механічні та електричні удари на обладнання, що призводить до значного зниження терміну служби обладнання, порівняно з частотно регульованим електроприводом.

Турбомеханізми, такі як вентилятори, насоси та компресори часто працюють без застосування пристроїв контролю швидкості. Натомість, потік повітря або води традиційно регулюється методом дроселювання – клапаном або заслінкою. Двигун постійно обертається на номінальній швидкості, коли потік регулюється без зміни швидкості обертання двигуна.

Використання привода зі змінною швидкістю обертання може зберегти до 70% споживаної енергії. Більшість електродвигунів, що застосовуються в системах кондиціонування, вентиляції, водопостачання, зважаючи на свої переваги, є

асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором. Регулювати швидкість обертання ротора такого двигуна можна шляхом зміни частоти напруги живлення.

В даній роботі розглядається система керування електропривода насосного агрегата.

Головними елементами такої системи є: насос, електричний двигун, давач тиску, пристрій регулювання.

Приводом насоса у насосному агрегаті є електричний двигун.

Керування насосом здійснюється через керування двигуном. Сучасні свердловинні насоси конструктивно виконані так, що мають спільний вал з електродвигуном,

За допомогою керування двигуном можливо досягти зміни характеристики насоса. Напірна характеристика насоса $H - Q$ будується для номінального режиму його роботи, але змінюючи швидкість обертання двигуна, можливо змінити напірну характеристику насоса. Зміна характеристики насоса, при зміні частоти обертів відбувається за законами подібності.

Найбільш поширеним двигуном у системах водопостачання є трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором [7]. Системи керування даним типом двигуна складніші, ніж для двигунів постійного струму, хоча габарити його менші у порівнянні з постійними, а строки експлуатації більші.

Регулювання подачі відцентрових насосів. Застосовують два способи регулювання подачі відцентрових насосів – зміною характеристики системи і зміною частоти обертання робочого колеса [14].

Змінювати характеристику системи можна засувками або кранами на напорній чи всмоктуючій трубі, перепуском частини рідини з напорної труби у всмоктуючу і впуск повітря у всмоктуючий патрубок насоса. Цими способами можна збільшуючи опір системи зменшувати подачу, що явно неекономічно.

Сучасним енергозберігаючим способом регулювання подачі відцентрових насосів є регулювання частотою обертання робочого колеса насоса. При регулюванні зміною частоти характеристика системи не змінюється.

Порівняння способів регулювання продуктивності насоса показане на рисунку 2.1.

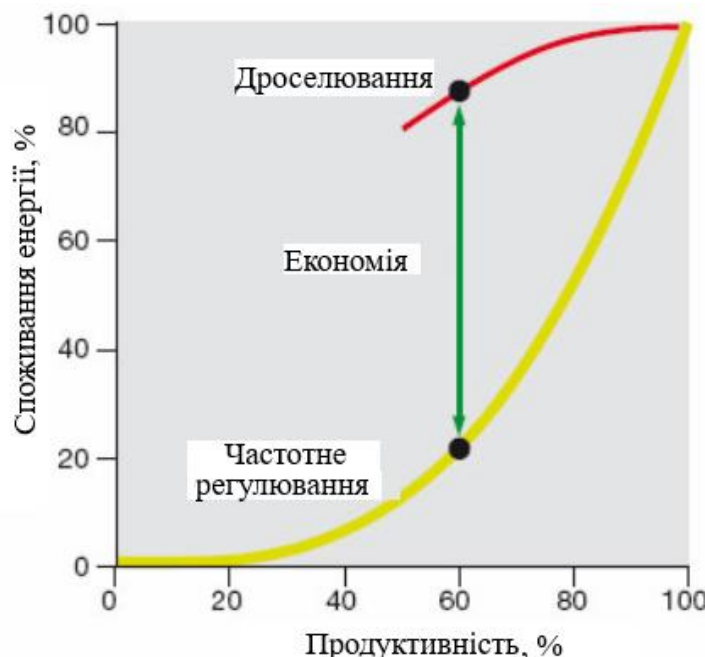


Рисунок 2.1 – Порвняльна характеристика між двома способами регулювання продуктивності насоса

Найефективнішим способом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса є використання регульованого електропривода. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопровода чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегата за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії.

Залежності між змінними, такими як тиск, тиск, швидкість, і потужність, можна висловити з допомогою деяких залежностей: продуктивність пропорційна швидкості, тоді як напір пропорційний квадрату швидкості. Найбільш важливим з погляду енергоефективності є той факт, що споживана потужність пропорційна кубу швидкості. Це означає, що навіть мінімальне зниження швидкості здатне забезпечити зниження кількості споживаної енергії. Наприклад, при швидкості 75% від номінальної, продуктивність становить 75%, але при цьому витрати енергії становлять лише 42% від необхідної енергії для створення номінальної продуктивності; коли продуктивність знижується до 50% споживання енергії падає до 12.5%.

2.2 Енергозберігаючий асинхронний електропривод

Інфографіка (рисунок 2.2) дає наочне уявлення про важливість енергозбереження особливо для водозабірних установок.



Рисунок 2.2 -Споживання електроенергії насосними станціями

У процесі експлуатації режим роботи насосних установок (НУ) необхідно змінювати через змінний характер водоспоживання, надходження стічних вод до приймальних резервуарів, що не піддається попередньому вірогідному прогнозуванню. Так, необхідний технологічний діапазон регулювання продуктивності для НУ систем міського водопостачання складає 50–70 % від номінального значення. Відомі способи регулювання продуктивності НУ впливом на комунікаційну мережу (дроселювання), на турбомеханізм (поворот лопаток робочого колеса), ступеневе регулювання подачі (змінюючи число працюючих одночасно турбомашин) належать до простих, але енергетично неефективних методів, оскільки спрямовані лише на розв'язання технологічних задач і не стосуються енергетичних аспектів транспорту води. Істотний економічний ефект досягається за рахунок економії електроенергії шляхом використання регульованого ЕП [11].

Типове для комунального сектора завдання керування насосною станцією полягає у підтримці в системі водопостачання заданого значення тиску рідини в межах широкого діапазону витрат, що змінюються в часі.

При цьому добовий графік споживання води в комунальній системі водопостачання може змінюватися в широких межах і коливатися в діапазоні від 10 до 100% від розрахункового піку водоспоживання. Найбільш економічний спосіб вирішення поставленого завдання – регулювання швидкості насоса, а не гідравлічного опору системи. Зміна частоти напруги електроживлення призводить до пропорційної зміни швидкості насоса, а з нею і зміни потужності, напору і продуктивності відповідно.

Одним з основних елементів автоматичних систем керування насосними станціями (АСУ НС) є впровадження енергозберігаючих технологій на базі застосування **частотно-регульованого електропривода** (перетворювача частоти - ПЧ).

У світовій практиці керований електропривод визнаний одним з найбільш ефективних енергозберігаючих та екологічних технологій.

Висока ефективність впровадження автоматизованого керованого електропривода для керування параметрів та оптимізації роботи різних технологічних схем механізмів, особливо, з насосними та вентиляційними установками, працюючих в змінних режимах, підтверджена багаторічним світовим досвідом.

Особливо ефективно застосування регульованого електропривода в системах холодного та гарячого водопостачання та тепlopостачання комунальних господарств [5], оскільки в цьому випадку регульований електропривод крім економії електроенергії в розмірах до 50% забезпечує економію води до 20% і тепла до 6-10%.

Частотно-регульований електропривод використовується в системах автоматизованого керування (САК) насосних установок, щоб з його допомогою привести у відповідність режим роботи насосів з режимом роботи обслуговуваної

системи подачі рідини, наприклад, водопровідної або каналізаційної мережі міста або промислового підприємства [9,11].

Частотно-регульований електропривод (частотний електропривод) дозволяє вирішити наступні виробничі проблеми:

- скоротити витрату енергії (в окремих випадках – до 50%);
- знизити аварійність;
- значно збільшити механічний і електричний потенціал електродвигунів, насосів, устаткування й телекомунікацій;
- у кілька разів підвищити безпеку системи за рахунок виключення людського фактора.

З безлічі областей виробництва й комунального господарства можна виділити основні, у яких енергозбереження силами електропривода вдається реалізувати найбільше ефективно:

- частотний електропривод (частотно-регульований асинхронний привод) знайшов широке застосування в системах опалення й вентиляції, водопостачання й водовідведення, де він виконує функції регуляції швидкості насосів, компресорів, вентиляторів, нагнітачів та ін;

- енергозберігаючі електроприводи використовують в електросталеплавильному виробництві й деяких інших настільки ж енергоємних процесах;

- водозабірні й водоочисні споруди, у яких потрібна підтримка постійного рівня рідини, а також підйомно-транспортні механізми.

Основні витрати (близько 90%) припадають на оплату електроенергії, що споживається приводом насоса. Економія енергії із застосуванням частотного регулювання швидкості обертання насоса в рази зменшить експлуатаційні витрати механізму.

Досвід впровадження керованого електропривода підтвердив його високу енергозберігаючу ефективність [4].

При автоматизації із застосуванням частотних перетворювачів найбільше підвищується експлуатаційна та економічна ефективність для таких механізмів:

- насос, вентилятор, димосос;
- конвеєр, транспортер;
- підйомник, кран, ліфти та ін.

Система керування циркуляційними насосними агрегатами на базі перетворювачів частоти із зворотним зв'язком по тиску та температурі дозволяє економити до 30% теплової енергії.

2.3 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму

Одним з методів керування режимами роботи електричних двигунів змінного струму є метод частотного керування. Замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;
- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

У цьому випадку агрегати будуть давати саме такий напір, який необхідний, при тому скоротяться втрати, що дозволить не переплачувати генеруючим компаніям. Крім того, теплові мережі зможуть більш ефективно використовувати наявні резерви й зменшити потреби в будівництві нових ТЕЦ і котелень.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни. Застосовуються різні способи регулювання швидкості електродвигуна шляхом зміни: напруги статора, частоти і напруги статора, частоти і напруги ротора, додаткового опору в ланцюзі ротора та ін. [4].

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

Найбільше поширення одержали наступні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- частотне регулювання;
- векторне керування.

Векторне керування. При векторному керуванні виводиться роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування [4].

Попри всі переваги векторного регулювання, недоліком системи є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Основним способом регулювання швидкості двигуна у сучасних системах керування асинхронними двигунами змінного струму є регулювання шляхом зміни **частоти і напруги на обмотках статора** [4].

Частота і напруга є двома сигналами керування, які принципово можуть регулюватися незалежно один від одного. Зазвичай за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів. Такий спосіб регулювання асинхронним двигуном називається частотним (система скалярного керування), а характер узгодження напруги і частоти – законом частотного регулювання.

Частотне регулювання асинхронних електроприводів. Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живлячої напруги впливає з формули $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 - s)/p$.

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди напруги джерела, що витікає з формули $U_1 \approx E_1 = k \cdot \Phi \cdot f_1$. Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватись зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це призведе до насичення сталі машини і, як наслідок, до різкого збільшення струму і перевищення температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і, як наслідок, буде зменшуватися припустимий момент.

У замкнутих системах частотного керування можуть бути отримані характеристики необхідної якості в діапазоні регулювання 10 000 : 1 і більш.

Частотне регулювання кутової швидкості є економічним, тому що керування двигуном виконується при малих ковзаннях. Крім того, у замкнутих системах можна керувати двигуном, досягаючи мінімуму втрат у ньому або мінімуму споживаного двигуном струму або екстремуму інших енергетичних показників, тому що є можливість регулювати напругу у функції навантаження. Частотне регулювання кутової швидкості звичайно плавне, безступінчасте. Але воно вимагає застосування відносно складного перетворювача.

Частотно-струмове керування. У системах частотно-струмового керування двигун живиться від перетворювача частоти з автономним інвертором (АІ). У такому випадку керований випрямляч (КВ) разом з контуром регулювання струму випрямляча утворить джерело струму. Керування двигуном виконується шляхом завдання струму статора й частоти АІ. Обидві величини, у свою чергу, залежать від загального сигналу завдання на систему, що визначає швидкість двигуна. Струм статора зв'язаний також з навантаженням двигуна.

Якщо при регулюванні швидкості задаватися умовою сталості потоку на рівні необхідного значення, наприклад $\Phi = \Phi_n = const$, то можна розрахувати залежність $\gamma = F(S_2)$, що реалізує ця умова.

У системах частотно-струмового керування для забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик можуть бути застосовані контури регулювання швидкості двигуна.

Перетворювач частоти (частотний перетворювач, або регулятор частоти обертання) являє собою електротехнічний пристрій, що перетворює трифазну напругу мережі в трифазну напругу змінної амплітуди і частоти. До входу частотного перетворювача підключається мережа живлення, до виходу підключається двигун насоса. Коли необхідне обертання двигуна на малих обертах, перетворювач подає на нього низьку напругу (і, відповідно, потужність). У міру зростання навантаження двигуна, інвертор підвищує напругу і частоту живлення двигуна до номінальних. Таким чином він здатний регулювати продуктивність насоса від нуля до його паспортного значення.

У режимі регулювання тиску перетворювач частоти по сигналу датчика тиску керує продуктивністю насоса. Керування відбувається шляхом автоматичної зміни частоти обертання насоса в залежності від відхилення заданого і реального тисків у напірному трубопроводі.

На початку роботи частотний перетворювач починає плавно збільшувати частоту електродвигуна насосного агрегата, що дозволяє уникнути стрибка струму та гідравлічного удару. Як тільки тиск досягає заданого значення, перетворювач частоти підтримує поточну частоту обертання. Як правило, при цьому насос працює на частоті, дещо меншій, ніж його паспортна частота і споживає менше електроенергії. Якщо під час роботи витрати води збільшаться, то перетворювач частоти по сигналу датчика тиску відстежить тенденцію до падіння тиску і підвищить продуктивність насоса. І, навпаки, в нічний час частота обертання насоса автоматично знизиться.

Функціональна схема системи керування насосною станцією представлена на рисунку 2.3.

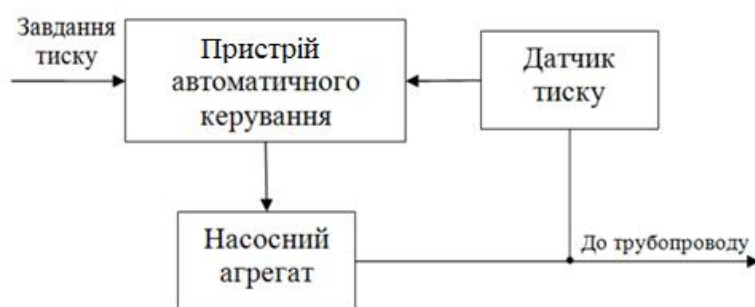


Рисунок 2.3 - Функціональна схема системи керування насосною станцією

Для вимірювання тиску у трубопроводі застосовують датчики тиску: механічні манометри, реле тиску або перетворювачі тиску з вихідним сигналом по струму або по напрузі. Вихідний сигнал тиску є зворотним зв'язком для системи керування.

2.4 Функціональна схема системи керування та вибір перетворювача частоти

Для складання функціональної схеми необхідно розглянути склад та роботу системи керування електродвигуна мережного насоса.

Відповідно до норм водоспоживання населенням, підприємствами, пожежною системою й іншими потребами міста розраховується графік водоспоживання, по якому погодинно на протязі доби станція повинна забезпечити відповідне значення подачі води для покриття потреб міста. По характеристиці мережі водопостачання цьому значенню подачі відповідає певне значення тиску. Для забезпечення погодженої роботи мережі водопостачання подача із графіка водопостачання повинна бути рівній сумарній подачі насосної системи (далі НС) на її виході. Для цього прибігають до регулювання продуктивності станції.

Режими роботи механізмів відцентрового типу визначаються трьома величинами: подачею Q , напором H и частотою обертання n . Ці величини визначають також момент опору й потужність на валу механізму.

Експлуатаційні властивості механізмів відцентрового типу визначаються Q - H характеристикою й залежністю ККД від подачі при $n = const$. Теоретичний розрахунок зазначених характеристик представляє великі труднощі, тому на практиці користуються експериментальними залежностями $H(Q)$ і $\eta(Q)$, які приводяться в каталогах насосів для незмінної номінальної швидкості.

Момент опору на валу двигуна M_0 , Н·м, [4]

$$M_0 = \frac{\rho g Q H}{\omega \eta_M}, \quad (2.1)$$

де ρ – щільність рідини, кг/м³ (для води = 1000 кг/м³);

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Q – продуктивність турбомеханізму, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – тиск, м;

η_M – коефіцієнт корисної дії турбомеханізму;

ω – кутова швидкість робочого органу насоса, рад/с .

Зважаючи на те, що будь-яке регулювання приводить до зміни характеристики або насосного агрегата (НА), або самої мережі водопостачання, завдання досягнення рівності подачі із графіка водопостачання сумарній подачі НС при певнім значенні тиску на її виході ускладнюються тим, що зі зміною значення подачі змінюється й значення тиску. Таким чином, для одержання значень подачі насосного агрегата станції, сумарного значення подачі станції (Q) і тиску на її виході (H), при яких забезпечується спільна робота НС і мережі водопостачання й покриваються потреби міста у воді, необхідно вирішити рівняння

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 \cdot H_0 - R \cdot Q, \quad (2.2)$$

де H - напір;

ω – кутова швидкість робочого органу насоса;

H_0 – тиск, що розвиває насос при нульовій подачі;

R - внутрішній опір мережі водопостачання;

Q - подача НА.

Напір H на виході кожного НА відповідає певному значенню напруги завдання ($U_{зад}$).

При подальшому використанні моделі вважаємо, що залежність моменту опору від обертів має вид

$$M_o(\omega) = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Згідно з законом пропорційності насоса маємо

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Тому що зміна подачі залежить від внутрішнього опору мережі водопостачання обираємо двоконтурну систему керування з підлеглим регулюванням струму.

Функціональна схема такої системи частотного керування зображена на рисунку 2.4.

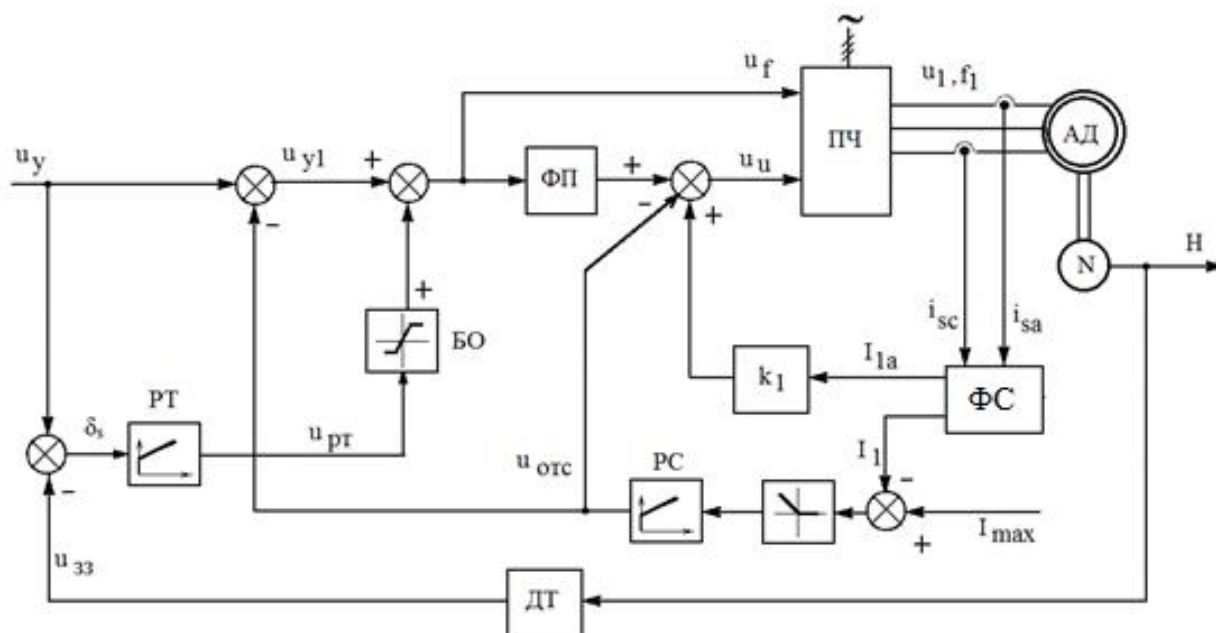


Рисунок 2.4 - Функціональна схема двоконтурної системи частотного керування з підлеглим регулюванням струму

На схемі позначені: РТ – регулятор тиску; РС – регулятор струму; ПЧ – частотний перетворювач; АД – асинхронний двигун; Н – насос; ФП – функціональний перетворювач напруги; ФС - функціональний перетворювач струму; ДТ – датчик тиску; u_y – напруга завдання; u, f – керовані напруга та частота живлення АД; Н - напір.

В складі насосного агрегата системи водопостачання використаний електродвигун АИР200М2 потужністю 37 кВт.

В результаті проведеного аналізу існуючих систем керування для керування даним двигуном обраний перетворювач частоти з частотним керуванням, **перетворювач частоти серії Delta CP2000 VFD-F**. Частотний спосіб керування дозволяє змінювати швидкість обертання валу двигуна у широких межах.

2.5 Технічний опис перетворювача серії Delta CP2000 VFD-F

Частотні перетворювачі призначені для плавного регулювання швидкості асинхронних двигунів. У найпростіших випадках регулювання частоти й напруги відбувається відповідно до заданої характеристики U/f , де U - напруга на виході ПЧ, а f - частота цієї напруги. У більшості зроблених перетворювачів реалізоване так назване векторне керування. Для регулювання швидкості обертання відцентрових електронасосів частіше використовуються спеціалізовані для цієї мети ПЧ.

Основні можливості частотних перетворювачів *оптимізованих для роботи з насосами*:

- регулювання вихідної частоти в межах від 0 до 50...120 Гц;
- плавний розгін і гальмування двигуна (по лінійному або s-образному законі), час розгону й гальмування можна набудовувати в межах від 0.1 секунди до 60 хвилин;
- вибір користувачем оптимальної для даного навантаження залежності U/f або векторного режиму керування;
- захист перетворювача й двигуна від перевантажень по струму, перегріву, замикання фаз на землю, обриву зворотного зв'язку, «сухого ходу» і т.п.

Енергозбереження. Перетворювач дозволяє заощаджувати на непродуктивних витратах енергії, крім того він має функцію енергозбереження. Ця функція дозволяє при виконанні тієї ж роботи заощаджувати від 5 до 30 % електроенергії шляхом підтримки двигуна в режимі оптимального ККД й $\cos\phi$. У режимі енергозбереження перетворювач безупинно контролює споживання струму, розраховує навантаження й міняє вихідну напругу. Таким чином, оптимізується споживання потужності відповідно до навантаження й підвищується ККД.

Запобігання резонансу. Іноді при роботі на певних частотах у механічній системі виникає резонанс. У цьому випадку перетворювач може пропускати область частот навколо резонансної частоти.

Запобігання перекидання. Функція запобігання перекидання працює в трьох режимах: при розгоні, при гальмуванні й при роботі.

Визначення швидкості. Іноді виникають завдання, у яких пуск перетворювача відбувається при обертовому роторі двигуна. У цьому випадку для запобігання перекидання застосовується функція пошуку швидкості. Перетворювач при пуску визначає швидкість обертання навантаження й починає регулювання не з нуля, а із цієї швидкості.

Сучасні автоматизовані станції керування насосами передбачають безаварійну роботу насосної станції без участі людини й містять у собі самі насоси, датчики тиску й шафу керування. Шафа керування складається із силових комутаційних апаратів, частотного перетворювача й панелі оператора, на якій відбиваються поточний стан роботи насосів, тиск на виході насосної магістралі. За допомогою панелі оператора можна задавати необхідний тиск, виводити насоси з роботи (на час ремонту або профілактики), міняти різні коефіцієнти регулювання й коректувати алгоритм роботи станції. Ефект від використання системи такого роду очевидний. Впровадження пропонованої системи дозволить управляти водоспоживанням, тримати роботу системи в ефективній крапці гідравлічного балансу.

Оптимізація роботи насосної станції забезпечує зниження витрат на енергоспоживання в середньому на 40-50%, а економія водовідведення становить більше 20%.

Одним з виробників у перетворювачів частоти є компанія Delta Electronics, Inc. Недавно вона випустила нову серію перетворювачів частоти VFD-F, спеціально призначеної для роботи в складі насосної станції на напругу 380 В (5.5 - 132 кВт).

Залежно від потужності досліджуваного насосного агрегату згідно з каталогом [17] вибираємо тип частотного перетворювача VFD370F43A з наступними технічними характеристиками (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики перетворювача частоти VFD370F43A

Модель	VFD-370F43A
Методи керування	1: U/f, 2: VF+PG, 3: FOC, 4: SVC
Номінальна потужність двигуна, кВт	37
Повна вихідна потужність, кВА	56
Номінальний вихідний струм, А	73
Діапазон регулювання	Вихідні частоти від 0.1 до 120 Гц, с дискретністю 0,01 Гц, $U_{\text{вих}}$ - від 0 до U мережі
Несуча частота ШИМ, кГц	2 - 6
Номінальний вхідний струм, А	74
Параметри живильної мережі	~ 3 х (342 - 528)В частотою (47 - 63) Гц
Перевантажувальна здатність	120% від номінального струму протягом 1 хв.
Характеристики моменту	Автоматична компенсація моменту й ковзання; пусковий момент може бути - до 150% на 1 Гц
Час розгону/гальмування, сек	0.00...6000.0 сек
Характеристика U/f	Установлюється користувачем, для насосів і вентиляторів - 4 різні криві
Діапазон регулювання швидкості	1:40 (U/f керування)
Джерело керування	Цифрова клавіатура, термінали ДУ, RS-485 (MODBUS)
Входи	3 аналогових, 11 багатофункціональних дискретних входів
Аналогові виходи	2 аналогових виходи 0.. +10 В DC; 0/4.. .20 мА; 2 багатофункціональних релейних виходи й 6 додаткових релейних виходів
Захисні функції	Самотест, перенапруга, недонапруга, перевантаження, недовантаження, надструм, перегрів ПЧ, зовнішня помилка, електронний захист двигуна від перегріву, коротке замикання на землю, обрив фазоживлячої напруги, обрив датчика зворотного зв'язку.
Спосіб охолодження	Примусовий вентилятором

На рисунку 2.5 показана загальна схема перетворювача частоти лінійки VFD-F (схема підключення ПЧ для системи підтримки тиску) [17].

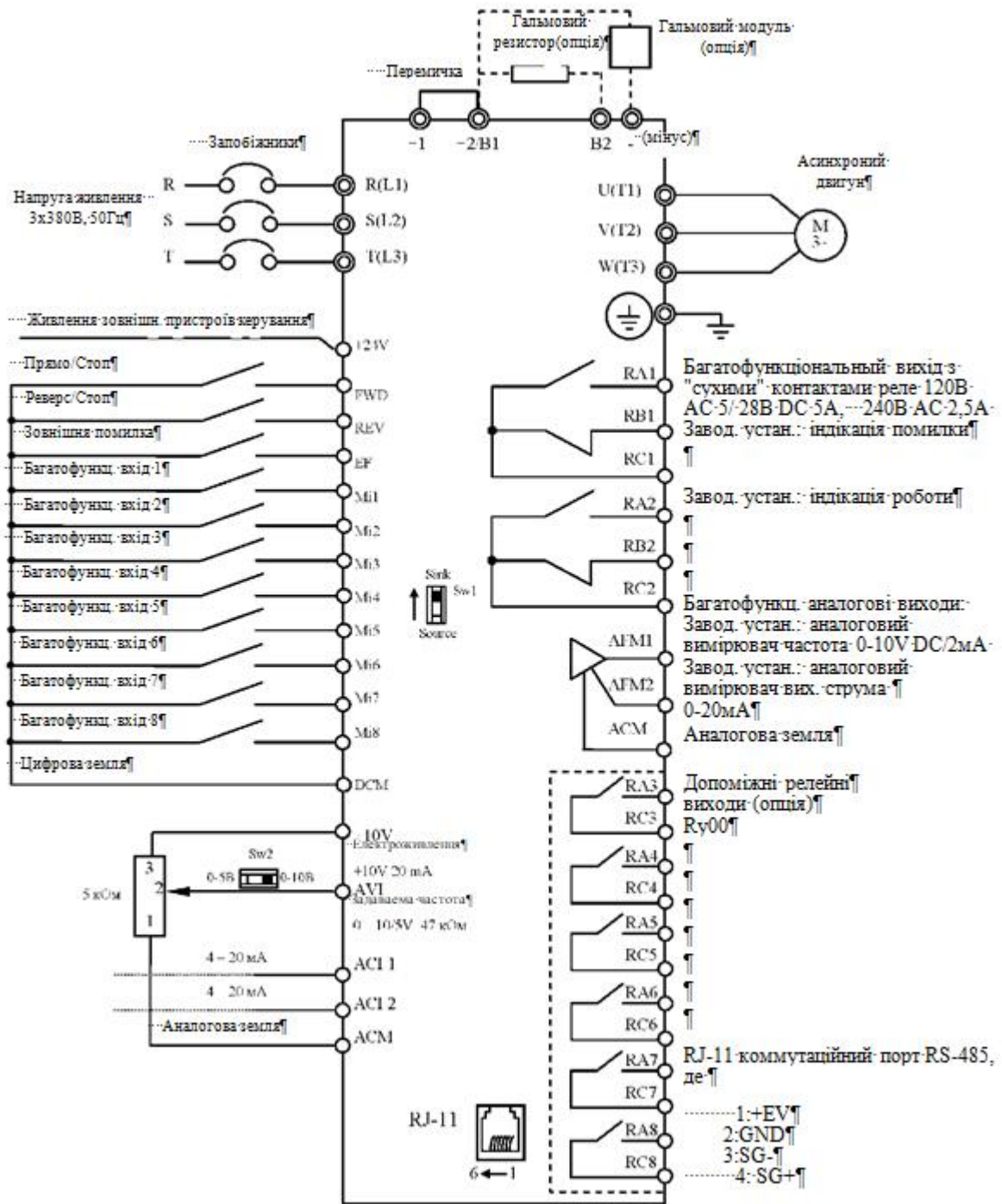


Рисунок 2.5 - Загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки VFD- F

У відповідності із раніш наведеним описом перетворювача складемо принципову електричну схему системи керування електропривода насосного агрегата.

На рис. 2.6 показана принципова електрична схема перетворювача [17].

Принципова електрична схема має у складі:

Органи керування й світлосигнальну арматуру. Світлова індикація виконана на лампах AD-22DS.

Комутаційні елементи та інші елементи.

Як датчик тиску вибраний перетворювач тиску MBS 3000. Докладна інформація представлена в [6]

Як пристрій захисту й контролю системи вибраний мікропроцесорний прилад захисту й контролю «МПЗК-55». Докладна інформація представлена в [15]

При використанні перетворювача VFD-F можна створювати насосні станції без застосування модульного релейного контролера PLC. Пристроєм керування в них буде сам частотний перетворювач VFD-F. Він забезпечує всі, необхідні для автоматизованої станції керування, функції контролера.

При виникненні аварії в приводі, її причина фіксується й, якщо обрано функцію авторестарта й усунута причина аварії, то частотний перетворювач самостійно відновлює роботу. Корисними функціями, які відсутні у перетворювачах інших виробників, є убудовані функції:

- виводу сигналу датчика зворотного зв'язку на шину ModBus;
- підсумовування або вирахування сигналів від декількох датчиків, наприклад, при розгалуженні трубопроводів.

Можна підключити додатковий пульт PU02, що дозволить управляти перетворювачам, відображати поточний стан привода (частота, струм, швидкість, напруга й ін.), редагувати параметри, зберігати параметри в пам'яті пульта й копіювати їх на інший перетворювач по виділених лініях зв'язку (інтерфейс RS-485).

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода

У якості приводного двигуна глибинного насосного агрегата використаний асинхронний електродвигун типу АИР200М2 [7].

Технічні характеристики електродвигуна наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики електродвигуна АИР200М2

Параметр	Розмірність	Значення
Тип двигуна		тип ПЕДВ*
Потужність двигуна $P_{ном}$	Вт	37
Число полюсів p_n		2
Номінальна частота обертання ротора $n_{ном}$	об/хв	2950
Синхронна частота обертання ротора $n_{синхр}$	об/хв	3000
Номінальна частота мережі $f_{ном}$	Гц	50
Номінальна фазна напруга $U_{ном}$	В	220/380
Номінальний фазний струм $I_{ном}$	А	67,9
Номінальний крутний момент $M_{ном}$	Н·м	119,78
ККД	%	92
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$		0,89
$M_n / M_{ном}$	-	2
$M_{max} / M_{ном}$	-	2,2
$I_n / I_{ном}$	-	7,5
Ковзання S_n	%	1,9
Критичне ковзання $S_{кр}$	%	12,5

Значення коефіцієнтів S_n , $S_{кр}$, для електродвигуна АИР200М2 взяті з довідника та [2].

При виконанні розробки математичної моделі електропривода припустимо, що частотний перетворювач здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального).

Вважаємо, що для насоса залежність моменту опору від частоти обертання має квадратичний вид

$$M_0(\omega) = K_{M0} \cdot \omega^2.$$

Параметр M_D , - жорсткість робочої частки механічної характеристики, розраховується по формулі

$$M_D = M_H / (\omega_0 - \omega_H),$$

де M_H – номінальний момент двигуна, розраховується як відношення номінальної потужності до номінальної швидкості, $M_H = P_H / \omega_H$;

ω_0 синхронна швидкість;

ω_H – номінальна швидкість.

Параметр T_D – постійна часу двигуна, розраховується за даними таблиці 3.1.

Параметр J – приведений момент інерції. Вважаючи, що момент інерції насоса і інших приєднаних мас J_m урахується коефіцієнтом 0,75, отримуємо

$$J = J_\partial + J_m,$$

де $J_m = 0,75 \cdot J_\partial$,

$$J = 0,15 + 0,75 \cdot 0,15 = 0,26 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Перетворюючи значення частоти обертання з об/хв. на с^{-1} , ($\omega = 2\pi n / 60$), отримуємо:

- номінальна частота обертання ротора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3000}{60} = 314,16 \text{ с}^{-1}.$$

- синхронна частота обертання ротора

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2950}{60} = 308,8 \text{ с}^{-1}.$$

При цьому:

- параметр M_d , Н·м·с.,

$$M_d = 119,8(314,16 - 308,8) = 642,2 \text{ Н·м·с.}$$

Постійна часу двигуна T_d , с,

$$T_d = \frac{1}{\omega_n \cdot S_{кр}},$$

$$K_{AI}$$

де $S_{кр}$ - критичне ковзання (відомо з довідника, таблиця 3.1).

$$T_d = \frac{1}{308,8 \cdot 0,125} = 0,026 \text{ с.}$$

Таким чином отримали наступні дані лінеаризованої моделі двигуна:

- жорсткість робочої частки механічної характеристики $M_d = 642,2 \text{ Н·м·с}$;
- постійна часу двигуна $T_d = 0,026 \text{ с}$;
- приведений момент інерції $J = 0,26 \text{ кг·м}^2$.

На рисунку 3.1 наведена структурна схема насосного агрегату (лінеаризована модель двигуна і модель насоса, складена відповідно до опису, наведеного у розділі 2.

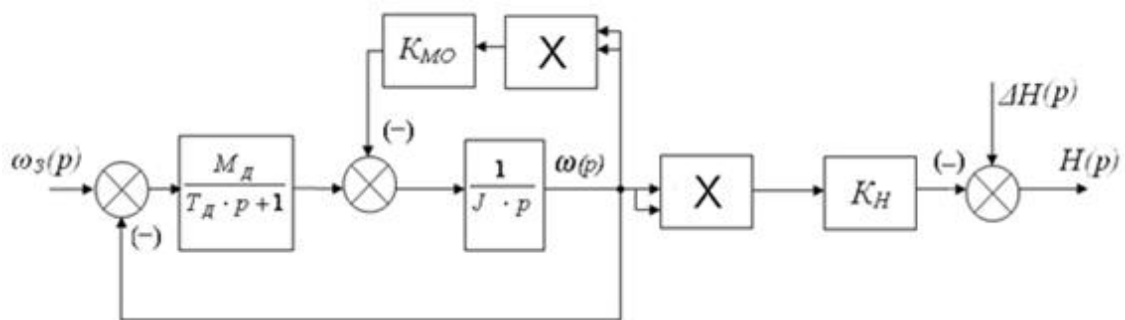


Рисунок 3.1 - Схема лінеаризованої моделі насосного агрегата

До складу системи керування входять автономний інвертор, регулятори тиску і струму з передатними функціями $W_{AI}(p)$, $W_{PT}(p)$ і $W_{PC}(p)$ відповідно.

Інвертор вважаємо аперіодичною ланкою з передатною функцією

$$W_{AI}(p) = \frac{K_{AI}}{T_{AI}p + 1},$$

де K_{AI} – коефіцієнт підсилення інвертора;

T_{AI} – постійна часу інвертора.

Приймаємо вид регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} відповідно:

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} \cdot p},$$

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}.$$

У якості ланок, що відповідають датчикам струму та тиску, застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами $K_{дт}$ і $K_{дс}$.

В документації приводів функціональні та структурні схеми відсутні. Тому складаємо структурну схему (для подальшого моделювання), виходячи з припущень, що система керування із частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром тиску. На рисунку 3.2. наведена структурна схема такого привода.

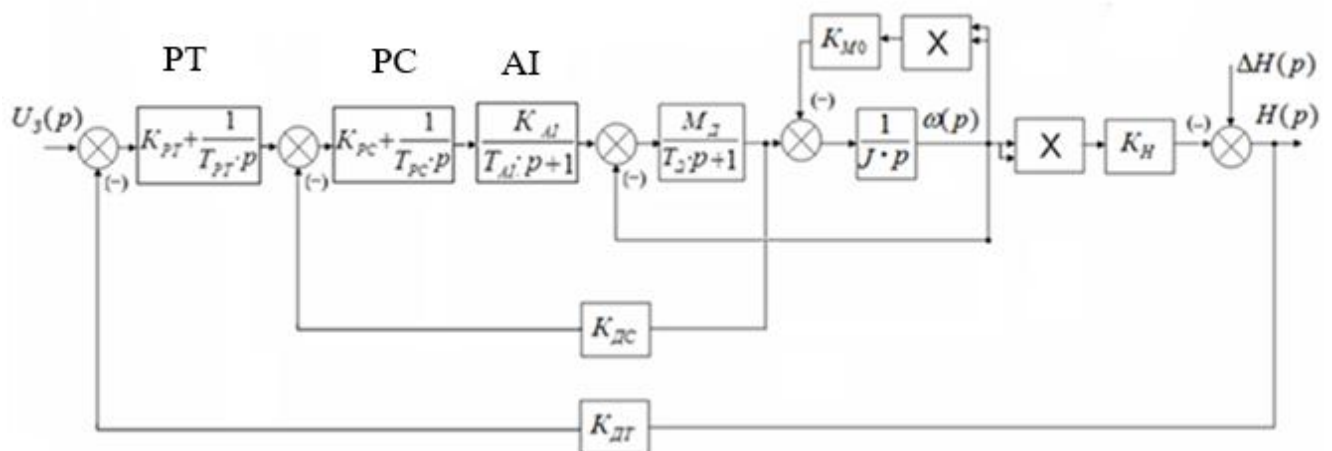


Рисунок 3 2 - Структурна схема електропривода з двоконтурною системою підлеглого керування

3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів

Сучасні виробники техніки для автоматизації виробництва не приводять даних по внутрішній структурі та параметрам своїх виробів. Розрахуємо параметри моделі, виходячи з загальних положень побудови систем керування електроприводами.

Вважаємо інвертор транзисторним з ШІМ регулятором частоти і напруги двигуна і робочою частотою комутації транзисторів 5 кГц та номінальною частотою сформованого струму 50 Гц. Тоді постійна часу інвертора, T_{AI} , с,

$$T_{AI} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f},$$

де m – фазність інвертора,

f – частота струму, Гц.

У нашому випадку маємо $m = 3$, $f = 50$ Гц.

Остаточно $T_{AI} = 0,0033$ с. Приймаємо $K_{AI} = 20$.

Приймаємо тип регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} .

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора тиску T_{PT} дорівнює величині постійної часу двигуна T_d , а регулятора струму T_{PC} – постійній часу інвертора T_{AI} .

Номінальному тиску $H_{НОМ} = 70$ м відповідає напруга $U_3 = 10$ В.

Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, коефіцієнт датчика тиску, $K_{ДТ}$, В/м,

$$K_{ДТ} = \frac{U_3}{H_{НОМ}}, \quad K_{ДТ} = \frac{10}{70} = 0,143 \quad \text{В/м.}$$

Вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, маємо при розрахунку коефіцієнта підсилювання зворотного зв'язку за струмом $K_{ДС}$, $\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$,

$$K_{дс} = \frac{U_{PC}}{M_H / I_H};$$

$$K_{дс} = \frac{10}{119,78/67,9} = 5,67 \frac{B \cdot A}{H \cdot m}.$$

Коефіцієнти підсилювання регуляторів вважаємо рівними 10.

Використовуючи отримані раніш дані ($\omega_H = 308,8 \text{ с}^{-1}$, $M_H = 119,78 \text{ Н}\cdot\text{м}$) і вважаючи, що в сталому режимі рушійний момент відповідає навантаженню, при $K_{MO} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$ функція навантаження приймає загальний вид

$$M_O(\omega) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2.$$

Отримані для елементів структурної схеми дані зводимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Жорсткість робочої частки механічної характеристики	Н·м·с	$M_d = 642,2$
Постійна часу двигуна	с	$T_d = 0,026$
Приведений момент інерції	кг·м ²	$J = 0,26$
Постійна часу інвертора	с	$T_{AI} = 0,0033$
Постійна часу ПІ-регулятора тиску	с	$T_{PT} = 0,026$
Коефіцієнт передачі інвертора	—	$K_{AI} = 20$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора тиску	—	$K_{PT} = 10$
Постійна часу ПІ-регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,00333$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора струму	—	$K_{PC} = 10$
Передатний коефіцієнт по тиску	В/м	$K_{дт} = 0,143$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$K_{дс} = 5,67$
Передатний коефіцієнт моменту опору	Н·м·с ²	$K_{MO} = 0,0001$

Передатні функції ланок:

- перетворювача частоти (автономного інвертора)

$$W_{AI}(p) = \frac{K_{AI}}{T_{AI}p + 1}; \quad W_{AI}(p) = \frac{20}{0,0033 \cdot p + 1};$$

- регулятора струму

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}; \quad W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,0033 \cdot p};$$

- регулятора тиску

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} \cdot p}; \quad W_{PI}(p) = 10 + \frac{1}{0,026 \cdot p}.$$

3.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода насоса

Відповідно до рисунку 3.2 та по даним, отриманим у результаті розрахунку параметрів ланок структурної схеми (таблиця 3.2), була складена розрахункова схема для дослідження динаміки системи керування електропривода насосного агрегата. Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab версії 6.5.0 [12].

На рисунку 3.3 приведений вид моделі для розрахованих раніше параметрів.

Від структурної схеми на рисунку 3.2 вона відрізняється наявністю блоків для формування задаючих і збурюючих впливів та блоків для фіксації результатів.

На вході використовуємо блок "Step" – джерело східчастого впливу величиною 10 В. Блоки "Gain1" та "Gain" реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів тиску та струму відповідно. Інтегральну складову реалізують блоки "Transfer Fcn1" та "Transfer Fcn2". Блок "Transfer Fcn3" реалізує передатну функцію інвертора, а блоки "Transfer Fcn4", "Transfer Fcn5" – лінеаризовану модель двигуна. Блоки "Gain4" та "Gain5" відповідають датчикам струму та тиску відповідно. За допомогою блоків "Gain6", "Gain8" та "Gain9" виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

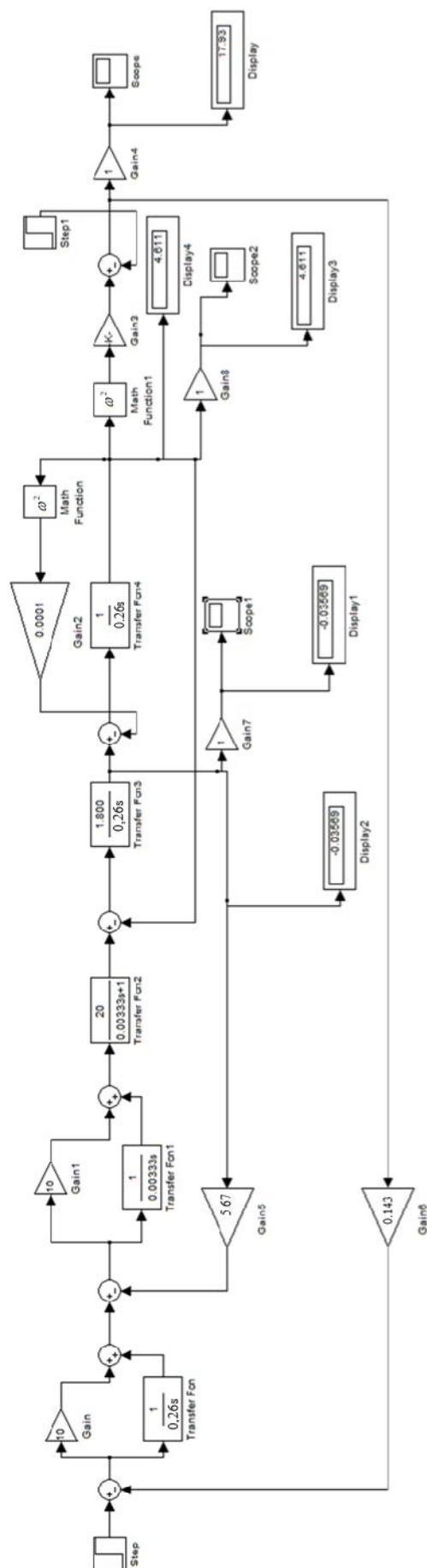


Рисунок 3.3 - Розрахункова структурна схема

Блоки "Scope H" та "Display H" використовуються для отримання графіку перехідного процесу та сталого режиму по тиску, блоки "Scope W1" та "Display W1" по частоті обертання а блоки "Scope M_Нм" та "Display M_Нм" – по струму.

З метою поліпшення динамічних властивостей системи керування електропривода у каналі керування швидкістю треба визначити параметри налагодження ПІ-регулятора, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу. Результати моделювання наведені на рисунку 3.4.

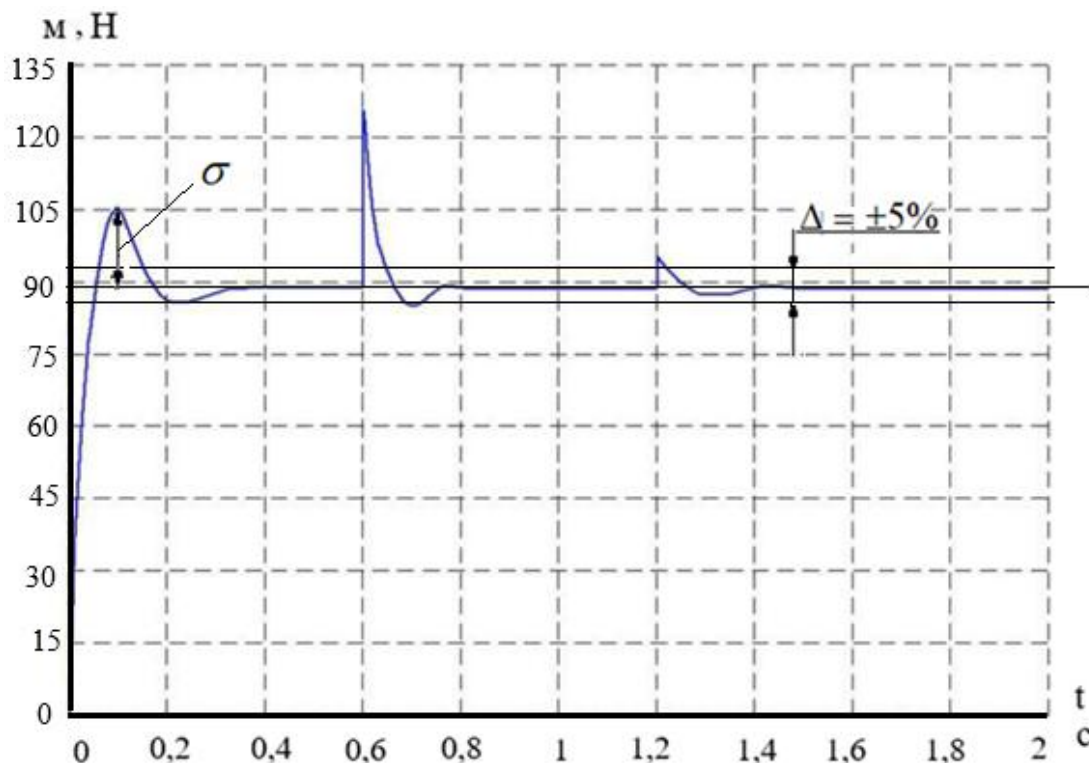


Рисунок 3.4 - Графік перехідного процесу по напору

Після пуску, характеристика по напору має перехідний процес спочатку довжиною 0,2 с, амплітуда 105 м, перерегулювання $\sigma = 17\%$ і виходить на постійну величину напору 90 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 38\%$, час перехідного процесу 0,15 с, після якого напір стабілізується на 90 м.

Повторне зменшення споживання води (1,2 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,1 с після якого напір виходить знову на 90 м.

На рисунку 3.5 показано графік перехідного процесу по швидкості при зміні споживання води.

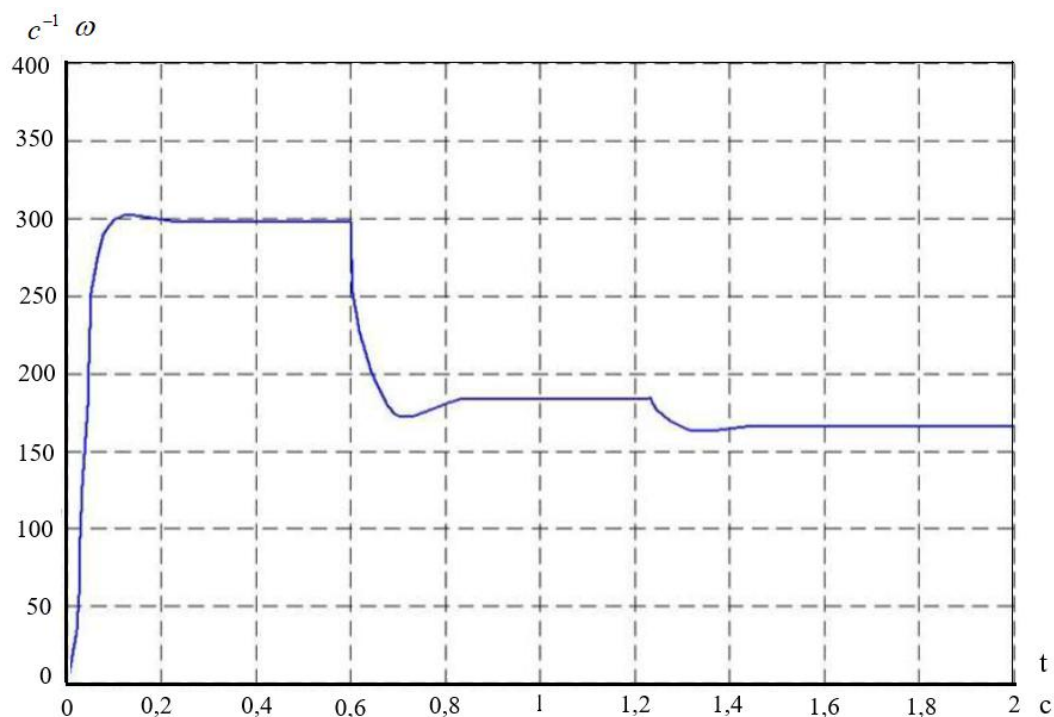


Рисунок 3.5 - Графік перехідного процесу по швидкості

З графіка видно, що після пуску, характеристика по швидкості має перехідний процес спочатку довжиною 0,1 с і виходить на постійну величину 300 c^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (з 0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес на відрізок (0,6 – 0,8 с), після якого швидкість знижується приблизно до 185 c^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (з 1,22 с), призводить до зменшення швидкості приблизно до 165 c^{-1} .

Висновки: В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода глибинного сважинного насоса водопостачання у каналі керування напором при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Поняття охорони праці визначається ст.1 Закону України Про охорону праці. Охорона праці - система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці. Науково-технічний прогрес вніс серйозні зміни в умови виробничої діяльності працівників виробничої сфери. Їхня праця стала більш інтенсивною, напружен, що вимагають значних витрат розумової, емоційної й фізичної енергії. Це зажадало комплексного вирішення проблем ергономіки, гігієни й організації праці, регламентації режимів праці й відпочинку.

Охорона здоров'я трудящих, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму становить одну з головних турбот людського суспільства. Звертається увага на необхідність широкого застосування прогресивних форм наукової організації праці, зведення до мінімуму ручної, малокваліфікованої праці, створення обстановки, що виключає професійні захворювання й виробничий травматизм.

Робота людини повинна проходити в умовах, сприяючих розвитку всіх його можливостей і забезпечуючи високу продуктивність праці.

Закон України "Про охорону праці", дія якого розповсюджується на всі підприємства, незалежно від форм власності і принципів господарювання, закріплює право громадян на охорону праці і здоров'я. В законодавстві відображені правила організації охорони праці на підприємствах, сказано про планування і фінансування заходів щодо охорони праці; правила техніки безпеки і виробничої санітарії; правила і норми по спеціальній охороні праці жінок, молоді і людей із зниженою працездатністю; правила, які регулюють діяльність державного нагляду і цивільного контролю у сфері охорони праці, а також правові норми, в яких передбачається відповідальність за порушення законодавства "Про охорону праці"

У даному розділі приводяться організаційні і технічні заходи для безпечної роботи персоналу, що обслуговує системи керування електропривода циркуляційного насоса водопостачання.

До правових і організаційних документів, що визначають вимоги до безпеки праці і охорони навколишнього середовища на об'єктах тепловодопостачання слід в першу чергу віднести:

- Закон України «Про охорону атмосферного повітря»;
- Закон України «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення»;
- Водний кодекс України;
- Закон України «Про охорону праці» 1992 р.;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок. К. 1998 р.
- Положення про розслідування нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях;
- Правила устрою й безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском;
- Правила устрою й безпечної експлуатації трубопроводів пари й гарячої води;
- Правила пожежної безпеки в Україні;
- ГОСТ 12.4. 093-80 Вибрация. Машины стационарные;
- ГОСТ 12.1. 006-84 ССВТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;
- ГОСТ 12.3. 032-84 ССВТ. Работы электромонтажные. Загальні вимоги безпеки;

Устрій і обслуговування насосних установок повинен відповідати Правилам безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем (Наказ N 55 від 12.03.2010).

Устрій і обслуговування котельних установок повинен відповідати Правилам устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів, Правилам вибухобезпечності установок для приготування й спалювання палива в

пилоподібному стані, Правилам вибухобезпечності при використанні мазуту в котельних установках.

Запобіжні й підривні клапани котла повинні мати відводи для видалення пароводяної суміші й вибухових газів при спрацьовуванні клапанів за межі робочого приміщення в місця, безпечні для обслуговуючого персоналу, або повинні бути обгороджені відбійними щитами з боку можливого знаходження людей.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електропривода мережевого насоса

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до травми чи іншому раптовому різкому погіршенню здоров'я.

Шкідливим виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до захворювання чи зниження працездатності [8]:

- шкідливості, пов'язані з особливостями виробництва, устаткування й оброблюваних матеріалів;
- шкідливості, пов'язані з порушенням санітарного благоустрою;
- шкідливості, обумовлені особливостями трудового процесу і його режиму.

При обслуговуванні обладнання існує ймовірність одержання травм або професійних захворювань персоналу через: незадовільний мікроклімат, виробничий шум і вібрацію, погане освітлення, й поразки електричним струмом при налагодженні або ремонті.

Мікроклімат у робочій зоні визначається діючими на організм людини сполученнями температури, вологості й швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь. Підвищення вологості утрудняє тепловіддачу організму шляхом випару при високій температурі повітря й сприяє перегріву й, навпаки, підсилює тепловіддачу при низькій температурі, сприяючи

переохолодженню.

У санітарних нормах СН-245/71 установлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови.

Нормування шуму. Виробничим шумом називається шум на робочих місцях, на ділянках або на територіях підприємств, який виникає під час виробничого процесу. Встановлено, що шум погіршує умови праці, справляючи шкідливий вплив на організм людини. Сильний тривалий шум може стати причиною функціональних змін серцево-судинної й нервової систем.

Методи захисту від шуму. Будівельно-акустичні методи захисту від шуму передбачені будівельними нормами й правилами (СНІП-II-12-77). це:

- звукоізоляція, що захищає конструкції, ущільнення по периметру притворів вікон і дверей;
- звуковбирні конструкції й екрани;
- глушители шуму, звуковбирні облицювання.

Вібрація, як і шум, виникає при роботі обладнання. Вібруючим обладнанням вважають пристрої, інструмент і оброблювані деталі, при роботі з якими вібрації перевищують 20% від припустимих [8].

Під впливом вібрації може уражатися нервова й серцево-судинна система, спостерігається схильність до непритомностей, гіпертонія, зміни в крові, загальна слабкість. Особливо шкідливо діють вібрація й струси на організм жінки.

Персонал, який працює із вібронебезпечними процесами повинен вдягати спеціальний одяг, спеціальне взуття.

Необхідно дотримуватись правил ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

Освітлення у виробничій діяльності людини як фактор охорони праці має величезне значення. Так, незадовільне освітлення (недостатнє або неправильно влаштоване) не тільки погіршує зір працюючих, але викликає загальне стомлення й навіть може з'явитися причиною прямого травматизму. При незадовільному освітленні, крім того, знижується продуктивність праці й збільшується брак

продукції.

Електробезпе́чність – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Електричний струм, не дивлячись на своє широке застосування в промисловості, є причиною випадків травматизму. Вони відбуваються при порушенні умов електробезпе́чності.

Слід пам'ятати, що поразка електрострумом навіть незначної сили викликає небезпеку, так струм в 0,1 А и напругою вище 40 В є смертельними.

Небезпе́ка поразки електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити наявність напруги дистанційно, як, наприклад, частин що рухаються, розпечені об'єкти, відкриті люки й т.д.

Загальним для всіх нещасних випадків є те, що вони відбуваються, в основному, через порушення правил технічної експлуатації електроустановок:

- недотримання відстані від струмоведучих частин;
- незамкнені двері електроприміщень і дверцята силових щитів;
- несвоєчасний або неякісний ремонт електроустаткування.

Тому варто приділити особливу увагу захисту від поразки електричним струмом.

5.2 Безпе́ка праці при експлуатації насосних станцій водопостачання

Безпе́ка праці при експлуатації приладів і засобів автоматизації забезпечується системою організаційно-технічних заходів. Її основу становлять система стандартів безпеки (ССБТ) і вимоги техніки безпеки (ТБ), положення які повинен знати й виконувати персонал, що забезпечує технічне обслуговування й персонал, що контролює виконання цих робіт. При роботі із пристроями автоматизації необхідно користуватися спеціальним інструментом з ізольованими ручками.

Кожний насосний агрегат періодично, за графіком, затвердженим керуючим виробничим управлінням водопровідно-каналізаційним господарством, піддають оглядам, ревізіям, поточним і капітальним ремонтам.

Перевірку ланцюгів вторинної комутації здійснюють за допомогою джерела безпечної напруги – омметра, тестера або інших приладів з живленням від сухих елементів напруги до дванадцяти Вольтів. ланцюги, що перевіряються, повинні бути повністю знеструмлені.

Вимір опору ізоляції, випробування електричної міцності ізоляції підвищеною напругою проводиться тільки на повністю відключених засобах автоматизації.

У якості заходів щодо запобігання опромінення електромагнітними випромінюваннями (радіохвилями) передбачають використання окремих приміщень для налаштування й регулювання приладів і засобів автоматизації, огороження небезпечних зон попереджувальними знаками й написами, включенням у технологічні карти ремонту вказівок по застосуванню засобів індивідуального захисту [12].

При налагодженні, монтажі, перевірці й ремонті використовують захисні засоби, прилади, апарати, пристосування й пристрої, які служать для захисту працюючого персоналу від поразки електричним струмом, впливу частки дуги й продуктів її горіння.

Усі операції, по установці й приєднанню вимірювальних приладів слід робити обережно, при цьому під час вимірів торкатися включених приладів, трансформаторів, опорів і інших елементів системи автоматизації забороняється.

При експлуатації діючих електроустановок необхідно знати й дотримувати допусків за значеннями струмів і напруги. Безпечною напругою в сухих приміщеннях вважається 42В, у сирих приміщеннях 36В, в особливо небезпечних приміщеннях 12 В. Рівні допуску по струму наступні: відчутний - 2мА, не відпускання - 10 – 15мА, небезпечний - 50мА, смертельний - 100мА.

Усі горючі частини обладнання, трубопроводи, баки й інші елементи, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію. Усі види ізоляції

повинні відповідати вимогам механічної міцності. У процесі експлуатації електроустановок проводиться періодичний контроль ізоляції при капітальному й поточному ремонтах. Персонал, що робить огляд повинен надягати захисні окуляри.

До аварійних випадків при роботі з технічного обслуговування автоматизованої системи керування (АСУ) відносяться: загоряння електроустановки й раптове відключення висвітлення;

-у випадку загоряння (поява вогню, диму, заходу палаючої ізоляції, іскріння) відключити шафу АСУ від мережі живлення 220 В або 380 В, при наявності полум'я вжити заходів по гасінню пожежі, використовуючи засоби пожежогасіння, які є в приміщенні.

Для захисту від поразки електричним струмом при замиканні на корпус застосовуються наступні заходи безпеки: занулення, огороження, заземлення. Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою. Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує занульовані частини із глухо-заземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму.

Огороження - захист від дотику до струмоведучих частин, а саме: виконання апаратів і приладів у закритих корпусах, застосування закритих розподільних пристроїв, у багатьох випадках вони забезпечуються блокуваннями, що не допускають зняття корпусів або огорожень, якщо попередньо відключена напруга.

Заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою.

Робота насосного агрегата без запірної арматури не допускається;

При роботі насоса необхідно регулярно контролювати витoki рідини через ущільнення. Якщо вони більші за норму, насосний агрегат необхідно зупинити і провести заміну набивки.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена модернізації системи керування автоматизованого електропривода глибинного, занурюваного відцентрового насоса водопостачання.

Для вирішення задачі енергозберігаючого керування процесом водопостачання проаналізовані відомі методи керування електричними приводами насосних агрегатів, які призводять до зменшення споживання ними енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності насосної установки.

В результаті вибраний економічно доцільний частотний спосіб регулювання продуктивності насосного агрегата.

На основі проведеного аналізу вибраний частотний перетворювач, рекомендований для керування асинхронними електродвигунами насосів і вентиляторів із широким діапазоном потужності. Для керування приводним двигуном насоса обраний **перетворювач частоти серії Delta CP2000 VFD-F** з частотним керуванням.

Для вдосконалення динаміки системи керування складена її розрахункова динамічна модель та визначені параметри налагодження ПІ-регулятора напору (тиску), які забезпечують необхідні показники якості перехідного процесу.

Після пуску, характеристика **по напору** має перехідний процес спочатку довжиною 0,2 с, амплітуда 105 м, перерегулювання $\sigma = 17 \%$ і виходить на постійну величину напору 90 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 38 \%$, час перехідного процесу 0,15 с, після якого напір стабілізується на 90 м.

Повторне зменшення споживання води (1,2 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,1 с після якого напір виходить знову на 90 м.

Після пуску характеристика **по швидкості** має перехідний процес спочатку довжиною 0,1 с і виходить на постійну величину 300 с^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес на відрізку (0,6 – 0,8 с), після якого

швидкість знижується приблизно до 185 c^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (1,22 с), призводить до зменшення швидкості приблизно до 165 c^{-1} .

В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода глибинного сважинного насоса водопостачання у каналі керування напором при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання насосного агрегата, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи бакалавра, що виноситься на захист, опубліковані у збірнику Сучасні проблеми автоматики та електротехніки СПАЕ-2025: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2025. – 126 с. 29-30 квітня 2025 с.114-118.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Баховець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. / О. Б. Баховець – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.
2. **Видмиш А.А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. **Глибинний насос ЕЦВ 10-63-110.** URL: [https://nep.ua/nasosy/glubinnye?mfp=14-qmax-m3-god\[63\],15-hmax-m\[110\]](https://nep.ua/nasosy/glubinnye?mfp=14-qmax-m3-god[63],15-hmax-m[110])
4. **Голодний І.М.** Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с
5. **Грабко, В. В.** Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання: монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. - Вінниця : ВНТУ, 2011. - 138 с.
6. **Датчик тиску** URL: <http://www.vebos.com.ua/catalog/item/276/> Pasport MBS3000.pdf.
7. **Електродвигун асинхронний АИР.** Паспорт_ pdf. Харків. 2021
8. **Жидецький В. Ц.** Основи охорони праці. Підручник - Вид. 5-те, доповнене / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. - Львів: Афіша, 2000. - 350 с.
9. **Жулай Є. Л.** Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, Д. Г. Войтюк; За ред. Є. Л. Жулая. — К.: Вища освіта, 2001. — 288 с.: іл.
10. **Закладний О. М.** Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей – К: Конкорд, 2005. – 408 с.
11. **Коренькова Т. В.** Режим роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О.

Сердюк, В. Г. Ковальчук. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2013. – 200 с.

12. **Лазарєв Ю. Ф.** Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2011. – 421 с.

13. **Лезнов Б. С.** Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках. /Лезнов Б. С. // М.: Энергоатомиздат, 2006. 360с

14. **Методичні вказівки** до виконання курсового проекту з дисципліни «Основи електроприводу» на тему “Електропривід насосної станції для системи водопостачання” для студентів денної і заочної форм навчання напряму 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”.

15. **Мікропроцесорний прилад** захисту й контролю МПЗК-55. Паспорт. doc.

16. **НПАОП 40.1-1.21-98.** Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029)

17. **Преобразователи частоты серии VFD-F** (380 В. 0.75 – 220 кВт). Руководство по эксплуатации. VFD_catalogue_2009_.pdf.

18. **Сучасні перетворювачі частоти** в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

19. [Тугай, Анатолій Михайлович](#). Водопостачання: Підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Знання, 2009 – 735 с.

20. **Частотне керування асинхронним приводом:** Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011.

21. Частотное регулирование насосов. URL: <https://eleksun.com.ua/blog/article/navishcho-potriben-chastotnyy-kontrol-nasosiv>.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Олейніченко Віктор Олександрович

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:

"Автоматизований електропривод насоса водопостачання
питної і технічної води"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

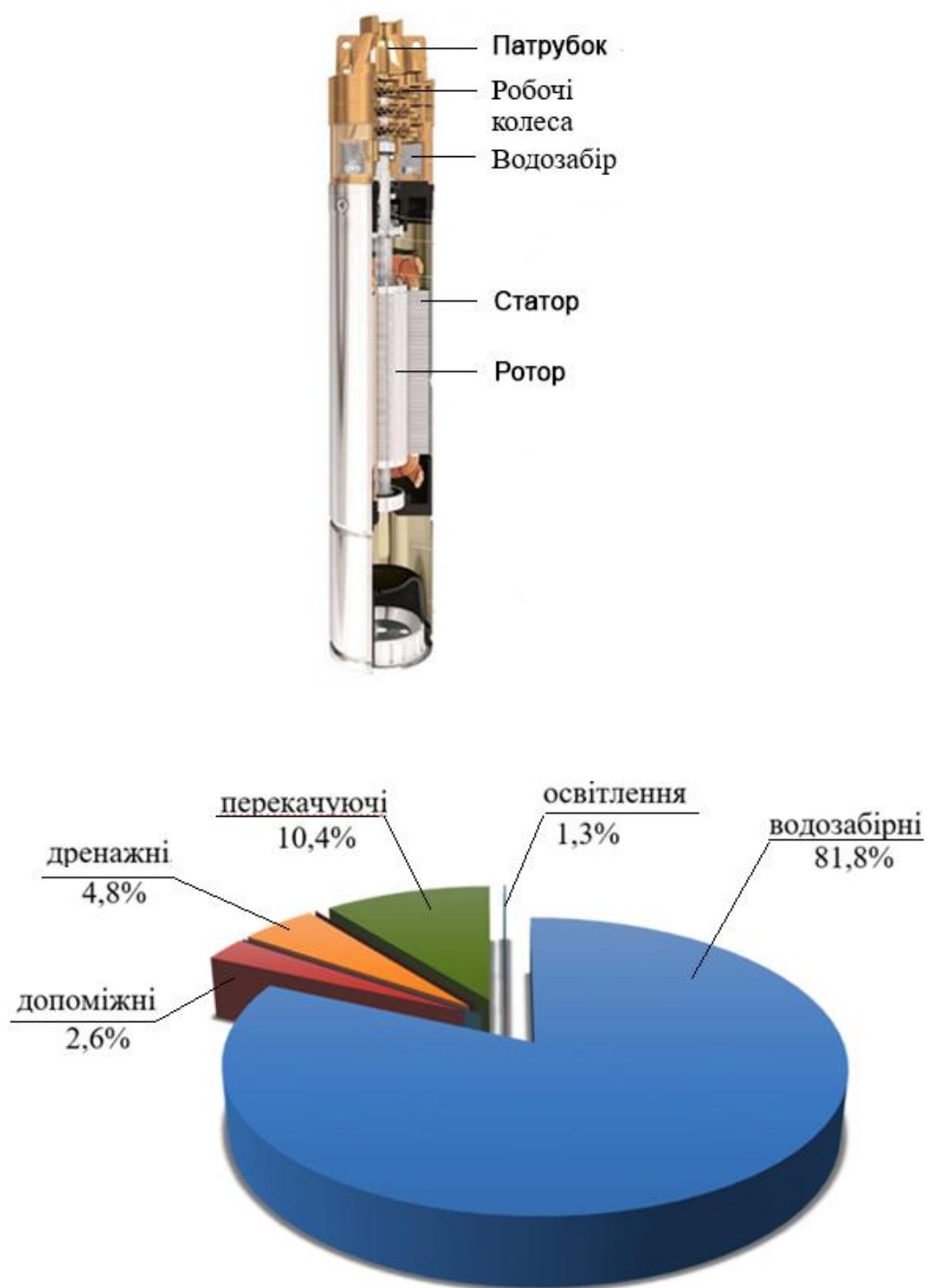
Актуальність теми. Автоматизація електропривода свердловинного насосного агрегата шляхом упровадження в систему керування частотного перетворювача дозволить зменшити загальне енергоспоживання, зменшити витрати на обслуговування та підвищить надійність роботи мережі водопостачання за рахунок зменшення стрибків тиску.

Мета роботи – модернізація системи керування автоматизованого електропривода свердловинного насосного агрегата для підйому води із свердловин.

Задачі роботи:

- провести аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий;
- скласти математичний опис системи керування і розробити її структурну схему;
- по отриманій структурній схемі провести аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування;
- привести загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання.

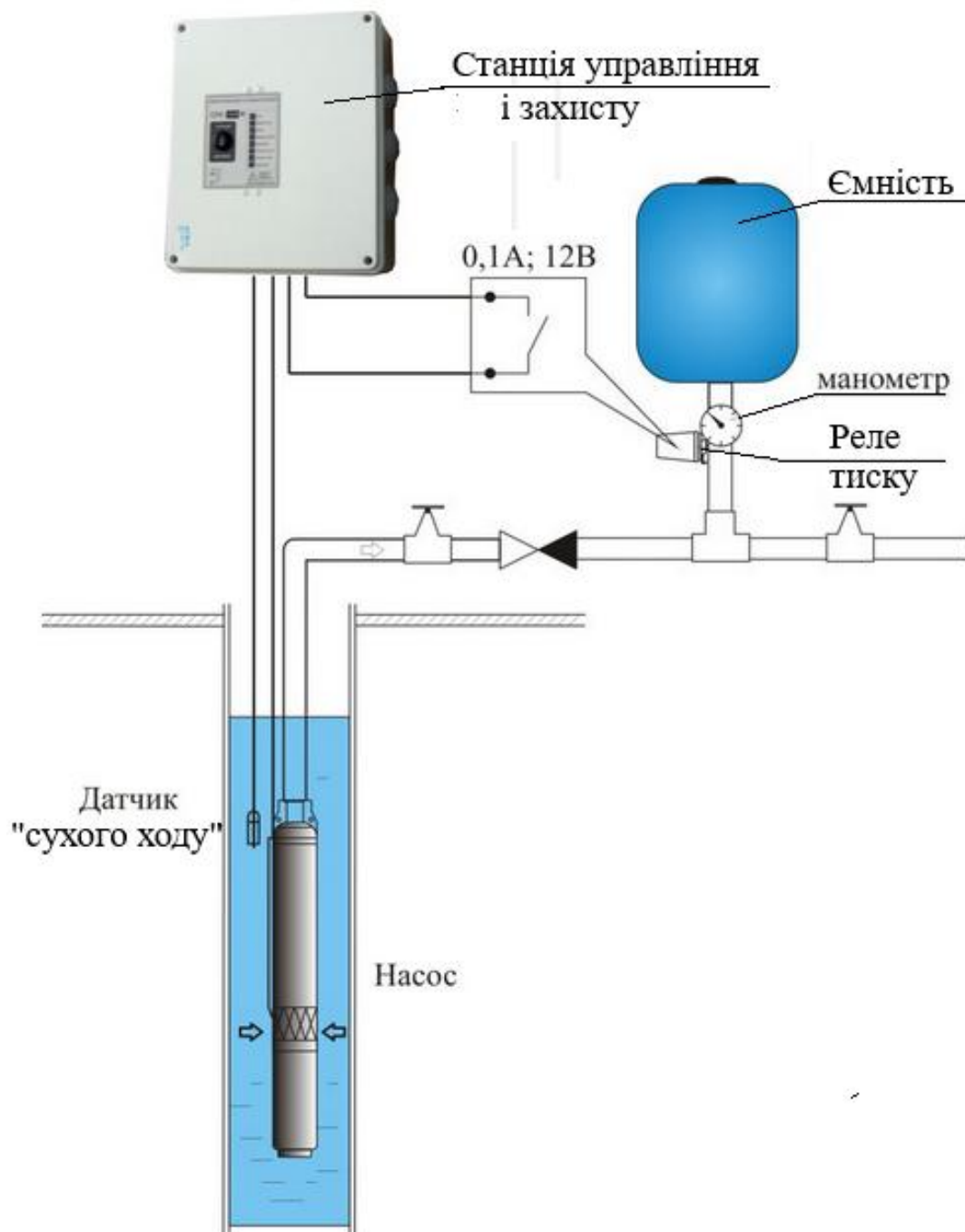
ЕЛЕКТРОНАСОСНИЙ ВІДЦЕНТРОВИЙ ЗАНУРЮВАЛЬНИЙ СВЕРДЛОВИННИЙ АГРЕГАТ ЕЦВ



Інфографіка - наочне уявлення про важливість енергозбереження
особливо для водозабірних установок

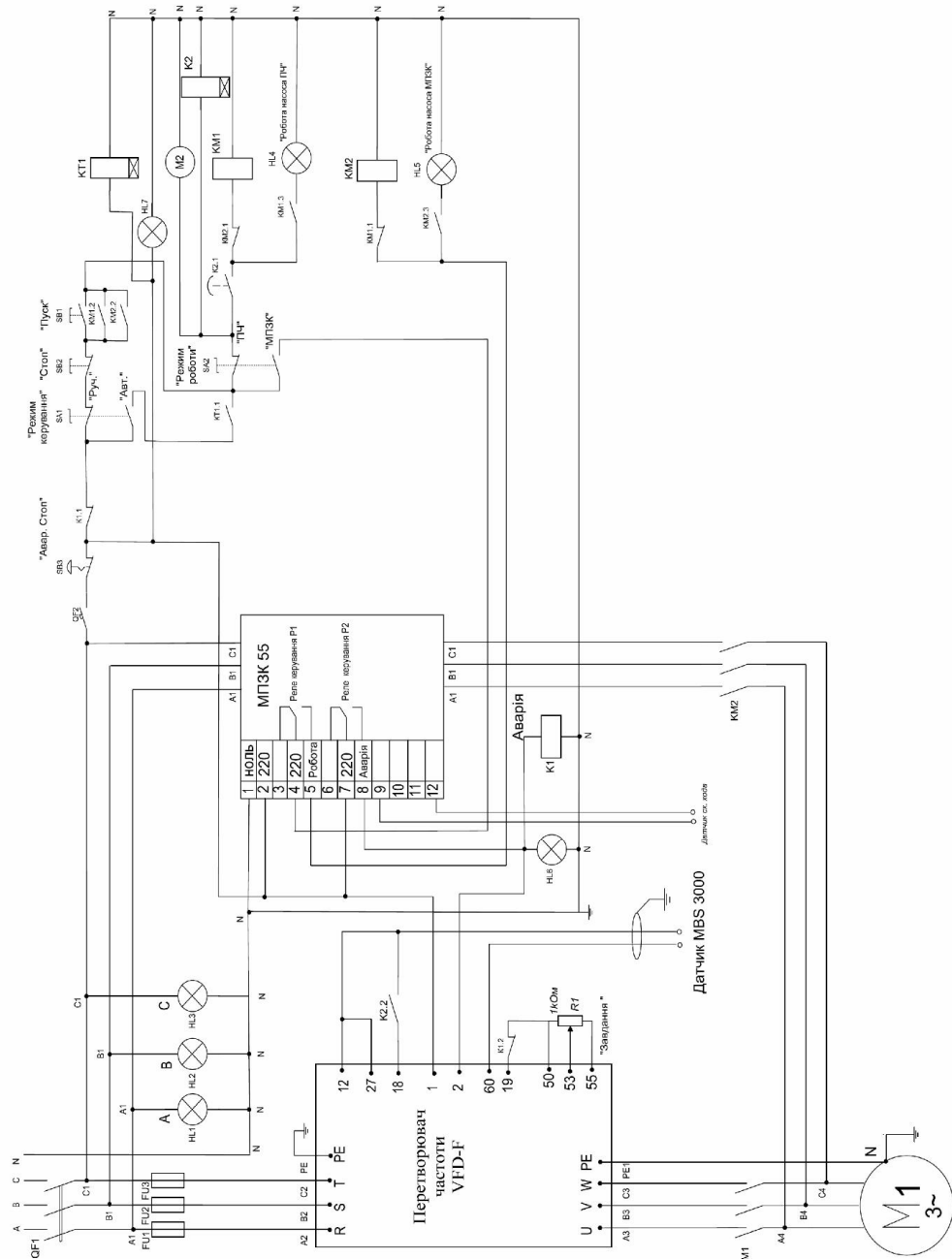
Слайд 3 мультимедійної презентації

СХЕМА МОНТАЖУ НАСОСНОГО АГРЕГАТА В СКВАЖИНУ



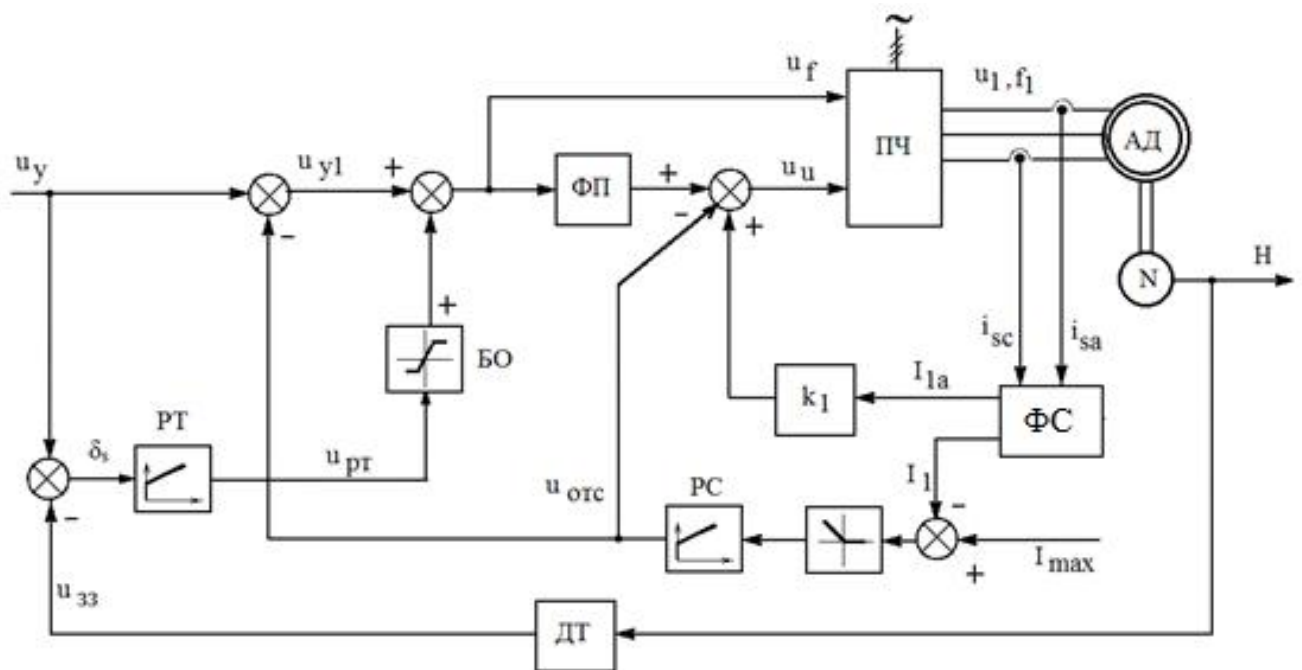
Слайд 4 мультимедійної презентації

ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА САК НАСОСНОГО АГРЕГАТА



Слайд 5 мультимедійної презентації

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ДВОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ



РТ – регулятор тиску;

РС – регулятор струму;

ПЧ – частотний перетворювач;

АД – асинхронний двигун;

N – насос;

ФП – функціональний
перетворювач напруги;

ФС - функціональний
перетворювач струму;

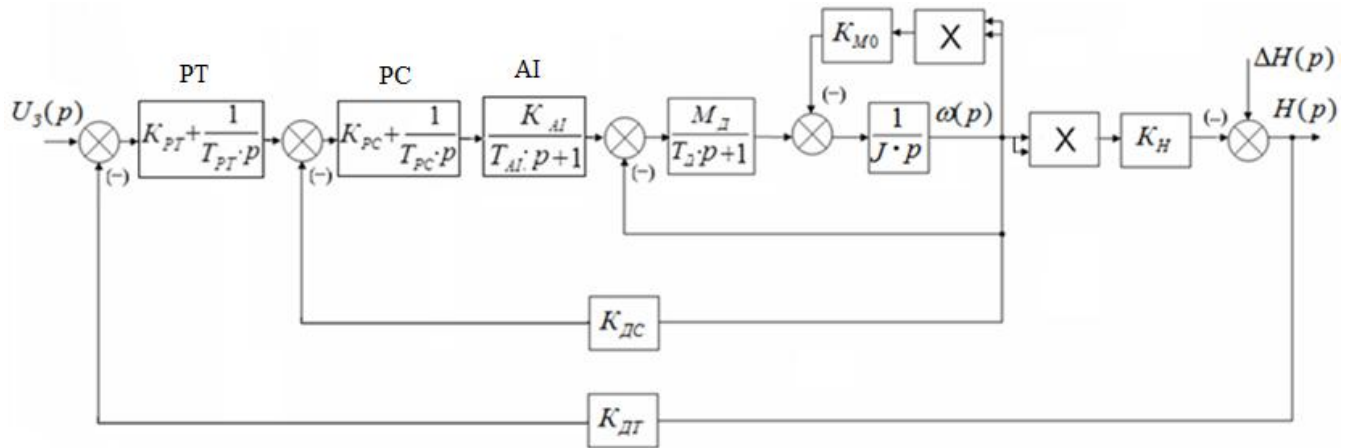
ДТ – датчик тиску;

u_y – напруга завдання;

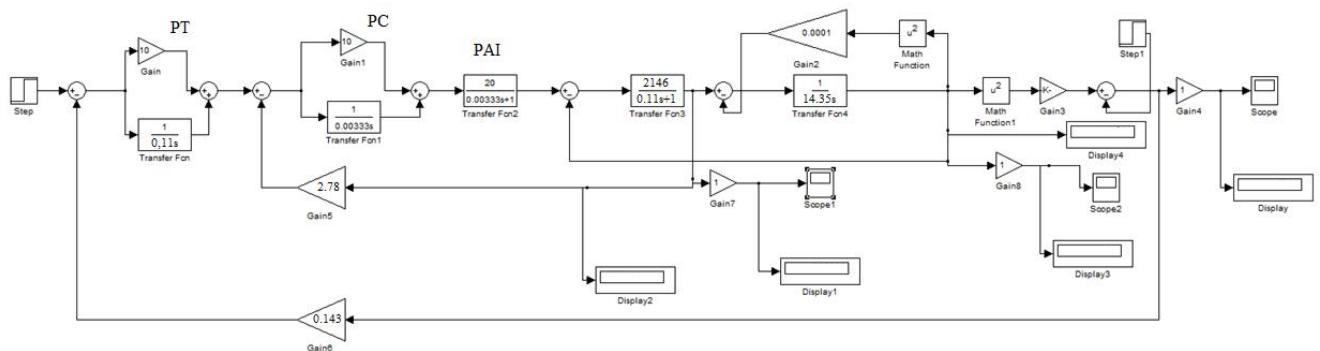
u, f – керовані напруга та частота
живлення АД;

H - напір.

СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

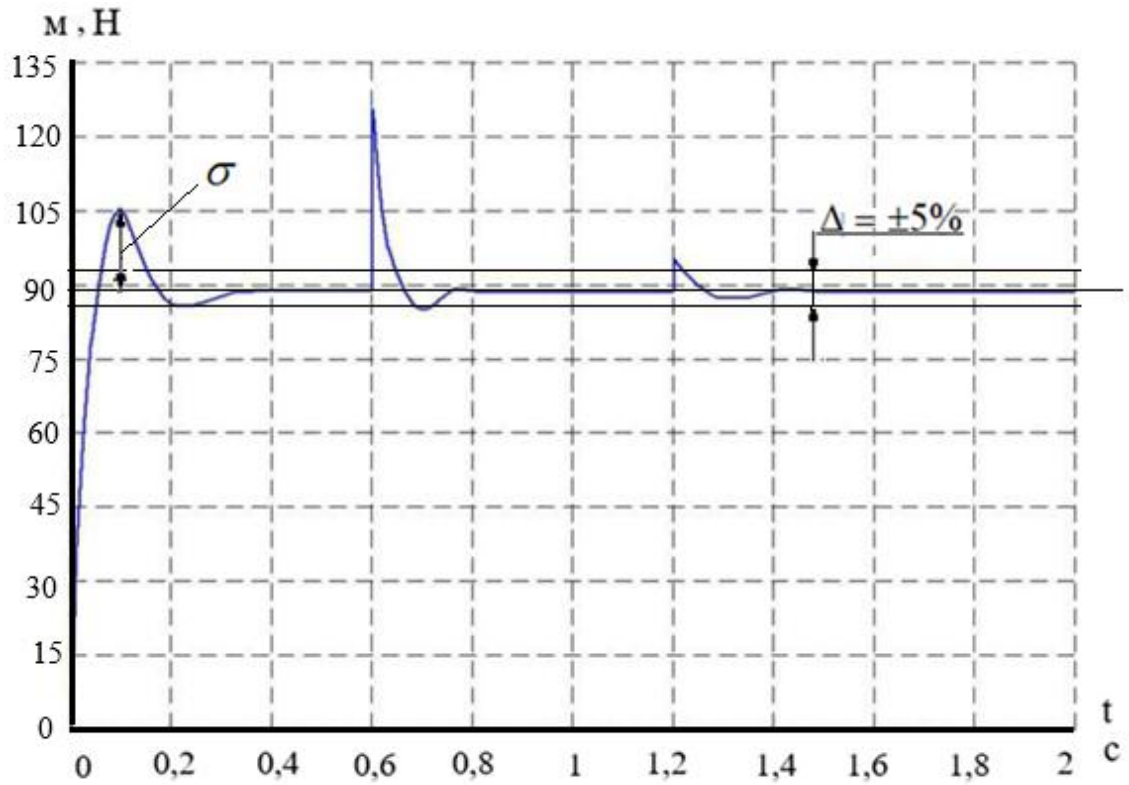


Структурна схема електропривода

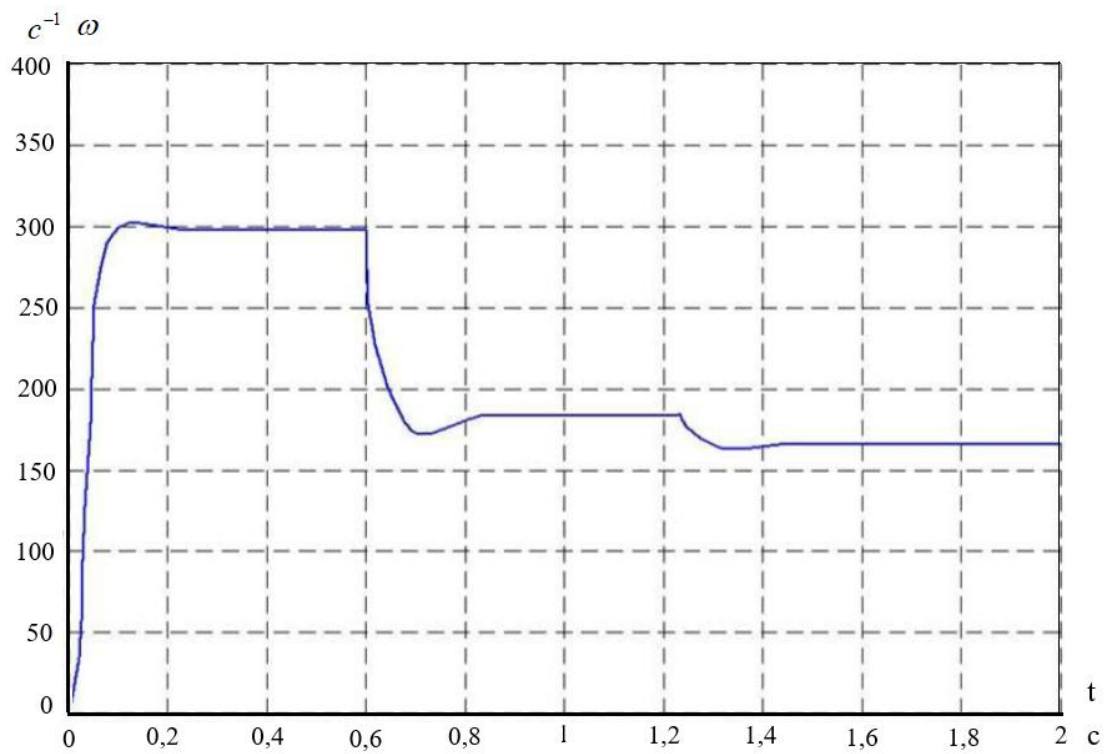


Розрахункова динамічна схема

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Графік перехідного процесу по напору



Графік перехідного процесу по швидкості

ВИСНОВКИ

Після пуску, характеристика **по напору** має перехідний процес спочатку довжиною 0,2 с, амплітуда 105 м, перерегулювання $\sigma = 17 \%$ і виходить на постійну величину напору 90 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (з 0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 38 \%$, час перехідного процесу 0,15 с, після якого напір стабілізується на 90 м.

Повторне зменшення споживання води (з 1,2 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,1 с після якого напір виходить знову на 90 м.

Після пуску характеристика **по швидкості** обертання валу двигуна має перехідний процес спочатку довжиною 0,1 с і виходить на постійну величину 300 с^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (з 0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес на відрізу (0,6 – 0,8 с), після якого швидкість знижується приблизно до 185 с^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (з 1,22 с), призводить до зниження швидкості приблизно до 165 с^{-1} .

В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода глибинного сважинного насоса водопостачання у каналі керування напором при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням насосного устаткування.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи бакалавра, що виноситься на захист, опубліковані у збірнику Сучасні проблеми автоматики та електротехніки СПАЕ-2025: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2025. – 126 с. 29-30 квітня 2025 с.114-118.