

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка автоматизованої системи керування насосної станції водопостачання для побутових потреб

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

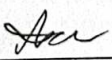
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

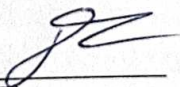
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕТз-21-1


Підпис

А. В. Леськів
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Г. П. Романець
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС
10 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

10.06.2025

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Леський Андрій Валерійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи керування насосної станції водопостачання для побутових потреб

керівник роботи Романець Тарас Петрович, к.т.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.06.25

3. Вихідні дані до роботи характеристики насосної станції

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка автоматизованої системи управління насосної станції водопостачання для побутових потреб 3. Розрахунки системи управління та силової частини насосної станції. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Системи керування насосами (ДО, А1). 2. Насосна станція (С6, А1). 3. Насосна станція (С2, А1). 4. Насосна станція (Е3, А1). 5. Графіки перехідного процесу зміни тиску (РР, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

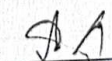
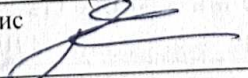
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури		
2. Розробка автоматизованої системи управління насосної станції водопостачання для побутових потреб		
3. Розрахунки системи управління та силової частини насосної станції		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент

Керівник роботи


 Підпис

 Підпис

А.В. Леськів
 Ініціали, прізвище
Т.П. Романець
 Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


1. Прізвище, ім'я та по батькові Леськів Андрій Валерійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка автоматизованої системи керування насосної станції водопостачання для побутових потреб

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 54

5. Аналізуючи сферу комунального водопостачання, варто визнати, що реальний обсяг споживаної електроенергії далекий від оптимального. Зростання вартості електроенергії змушує нас серйозно замислитися над фактичним рівнем енергоспоживання електродвигунами насосних агрегатів. Підвищене енергоспоживання зумовлене низькою ефективністю насосних установок та систем водопостачання в цілому. Здебільшого електроприводи цих механізмів не обладнані регулюванням, що не дає можливості забезпечити економний режим споживання та використання енергії при змінюваних технологічних потребах у широкому діапазоні. В бакалаврській роботі здійснюється розробка автоматизованої системи керування насосної станції водопостачання для побутових потреб. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме призначення і види насосних станцій та регулювання режимів роботи. В другому здійснюється розробка автоматизованої системи управління насосної станції водопостачання для побутових потреб. В третьому розділі проведено розрахунки системи управління та силової частини насосної станції.

Підпис студента 

" 10 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 12 " 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0/С
Рекомендації ЕК —





Особливі відмітки —

Технічний секретар 

" 12 " 06 2025 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	8
1.1 Призначення і види насосних станцій.....	8
1.2 Насосні агрегати.....	11
1.3 Регулювання режимів роботи насосного агрегату	13
Висновки до першого розділу	19
2 Розробка автоматизованої системи управління насосної станції водопостачання для побутових потреб.....	20
2.1 Методи управління насосною станцією	20
2.2 Вибір системи керування приводом за схемою ПЧ-АД.....	27
2.3 Підбір перетворювача частоти	32
2.4 Підбір датчика тиску	35
2.5 Підбір пристроїв захисту	37
Висновки до другого розділу.....	38
3 Розрахунки системи управління та силової частини насосної станції.....	39
3.1 Розробка структурної схеми	39
3.2 Розрахунок характеристик передавальної функції об'єкта управління.....	40
3.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна для насосного агрегату.....	45
3.4 Розрахунок і підбір силового кабелю	48

БРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка автоматизованої системи керування насосної станції водопостачання для побутових потреб	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Леськів А. В.						
Перевір.		Романець Т. П.					4	54
Реценз.						ХНУ зр. ЕТз-21-1		
Н. Контр.		Пундик С. І.						
Затверд.		Неймак В. С.						

Висновки до третього розділу	50
Висновки	52
Перелік джерел посилань	53

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Близько шістдесяти відсотків споживання електроенергії у промисловості та комунальних підприємствах припадає на електродвигуни. Варто відзначити, що значна частина цих енергетичних витрат стосується систем приводу вентиляційних установок, компресорного обладнання, насосних станцій та інших пристроїв, що функціонують у циклічному режимі навантаження.

Різке збільшення вартості енергоносіїв та сировини призвело до непропорційного зростання частки у загальних виробничих витратах. Як наслідок, багато промислових підприємств та організації житлово-комунального господарства стикнулися з нагальною необхідністю зменшення енерго- та ресурсоемності випущеної продукції та наданих послуг, що фактично є завданням енергозбереження. Аналіз споживання енергії на багатьох підприємствах демонструє, що для вирішення цієї проблеми необхідні два ключові підходи. По-перше, організаційні та технічні заходи, спрямовані на ліквідацію неефективного використання енергетичних ресурсів. По-друге, впровадження енергоефективних технологій і обладнання, що сприяють економії енергії та дозволяють виконувати той самий обсяг роботи, споживаючи менше енергії.

Електропривід – це енергетичний фундамент сучасного виробництва. Серед промислових електроприводів першість належить електроприводам з асинхронними короткозамкненими двигунами. Вони споживають до 50% усієї енергії, яка використовується електроприводами. Завдяки невибагливості будови та помірній ціні, ці електроприводи здобули широке визнання у різних механізмах. Водночас їм притаманні певні недоліки, зокрема, важкий пуск з безпосереднім підключенням до мережі, яке супроводжується збільшенням струму в 6-7 разів, що негативно впливає на експлуатаційну надійність, а також ускладнює регулювання швидкості.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типовий приклад застосування асинхронних двигунів охоплює насосні станції для холодної та гарячої води, каналізаційні насосні станції та системи опалення. Саме ці пристрої поглинають щонайменше 20-25% всієї виробленої електроенергії.

Аналізуючи сферу комунального водопостачання, варто визнати, що реальний обсяг споживаної електроенергії далекий від оптимального. Зростання вартості електроенергії змушує нас серйозно замислитися над фактичним рівнем енергоспоживання електродвигунами насосних агрегатів.

Підвищене енергоспоживання зумовлене низькою ефективністю насосних установок та систем водопостачання в цілому.

Здебільшого електроприводи цих механізмів не обладнані регулюванням, що не дає можливості забезпечити економний режим споживання та використання енергії при змінюваних технологічних потребах у широкому діапазоні. Відібрані з урахуванням максимальної продуктивності, ці механізми значну частину часу функціонують з меншою продуктивністю, що визначається коливанням попиту в різні періоди часу.

З появою на підприємствах автоматизованих систем управління технологічними процесами відбувається докорінна зміна: трансформуються форма й зміст роботи, зростає рівень безпеки, підвищується кваліфікація та обізнаність персоналу, розмиваються відмінності між фізичною та інтелектуальною працею.

Метою цього дипломного проекту є розробка електроприводу для відцентрового насоса, застосовуючи сучасні компоненти. Цей привід має відповідати таким вимогам:

- забезпечення енергозбереження;
- можливість тонкого налаштування приводу відповідно до змінних умов експлуатації.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Призначення і види насосних станцій

Насосні станції (НС) – це комплексний електрогідравлічний технічний вузол споруд та устаткування, де відбувається трансформація електроенергії в механічну енергію рідинного потоку, а також контролюється даний процес перетворення[1].

Водопідготовчі насосні станції класифікуються, враховуючи їх розташування у загальній системі водопостачання, на станції 1-го, 2-го, 3-го та подальших підйомів, а також станції каналізації. Їх функціональне призначення описано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Призначення і види насосних станцій

Об'єкт	Завдання
Насосна станція 1-го підйомника	Управління глибинними насосами, розташованими в свердловинах Підтримання заданого рівня води в накопичувальному баку Використовується в складі водопідйомних технологічних споруд спільно з станціями управління насосами 2-го і 3-го підйомів
Насосна станція 2-го підйому	Створення тиску у водопровідній мережі, з забором води з накопичувального бака Тиск створюється для забезпечення мало- і середньоповерхових будівель Підтримання постійного значення тиску за добовим або тижневим графіком

Насосна станція 3-го підйому і наступних підйомів	Створення і підтримання необхідного тиску в трубопроводі з забором води з 2-ї підйомної станції для середніх і висотних будівель Підтримання постійного значення тиску або за добовим або тижневим графіком
Каналізаційна насосна станція	В очисних спорудах для перекачування дренажних вод, осушення підвалів житлових, виробничих та інших споруд, ям та інших ємностей при проведенні будівельних, рятувальних та аналогічних робіт

Головною метою роботи насосної станції є гарантування:

- потрібного розкладу подачі рідини, як у нормальних умовах, так і під час аварійних ситуацій;
- мінімальних витрат на спорудження, обладнання та їх поточне обслуговування;
- відповідного рівня надійності, що, відповідно, передбачає певну гарантію безперебійної роботи;
- довговічність, яка відповідає технологічній важливості складових об'єктів;
- легкість використання (широке застосування автоматики та телемеханіки);
- робота в умовах постійної зміни об'ємів, режимів споживання рідини та трансформації складу споживачів.

За функціональною ознакою можливо класифікувати такі типи НС:

- водозабезпечення питною водою для міст та промислових об'єктів;
- рециркуляційне водопостачання для промисловості;
- каналізаційні системи; теплопостачальні мережі;
- дренажні системи;
- протипожежні водопровідні мережі;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- меліоративні системи;
- перекачування нафти та подібного.

За методом поєднання насосів розрізняють насосні станції з індивідуальним використанням насосів та НС зі спільною роботою агрегатів. Перший варіант властивий НС з низьким розташуванням насосів та невеликими вимогами до надійності функціонування. Так відбувається, скажімо, з дренажними насосами. Насоси, які працюють спільно, широко застосовуються у всіх різновидах НС. Для досягнення необхідних показників процесу, системи об'єднують паралельно, послідовно та комбіновано. Найбільш поширеним є паралельне підключення насосів, що зустрічається на більшості типів насосних установок. Послідовне з'єднання використовується, коли потрібно забезпечити достатньо високий тиск в системі, наприклад, при перекачуванні в'язких рідин (нафти, мулу тощо).

За головною контрольованою величиною на НС виділяють станції з регулюванням тиску та станції з регулюванням витрати.

Відповідно до необхідних параметрів надійності для постачання робочої рідини на технологічний об'єкт, насосні станції класифікуються на 1-у, 2-у або 3-ю категорію [2].

З усіх згаданих раніше типів насосів, найбільше поширення мають насосні станції з паралельним підключенням агрегатів. Вони знаходять широке використання у водопровідних та каналізаційних системах міст і селищ, а також на різних промислових підприємствах. Також їх застосовують у системах обігового водопостачання технологічних комплексів різноманітних виробничих об'єктів. Зокрема, це стосується підприємств кольорової металургії та нафтопереробних заводів.

На рис. 1.1 представлено технологічну схему звичайної нафтової станції.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

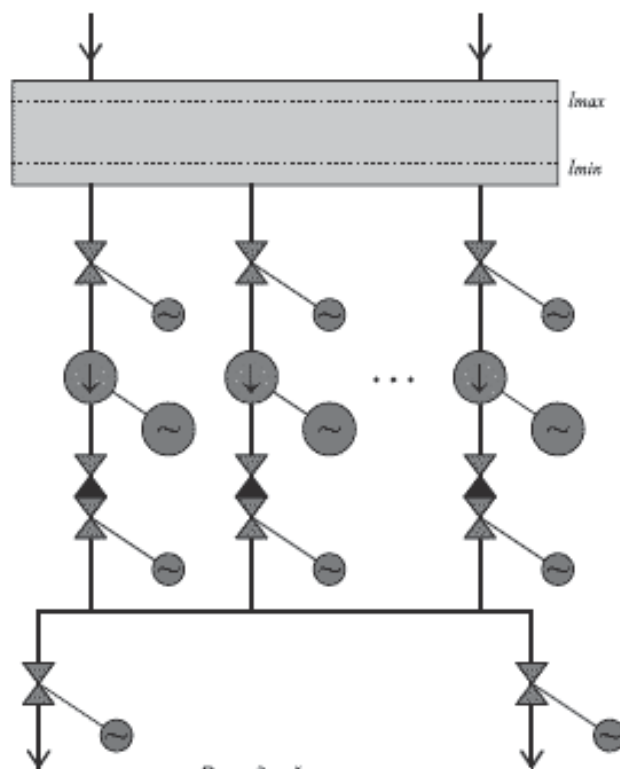


Рисунок 1.1 – Технологічна схема типової насосної станції

Рідина надходить до вхідного колектора системи і збирається у резервуарі. З нього насосами її викачують, спрямовуючи у вихідний колектор масляного насоса, а потім – до магістрального трубопроводу, з якого її розподіляють між споживачами або ж подають на вхід наступного масляного насоса. Щоб від'єднати насос від трубопроводу, на вхідному та нагнітальному патрубках насоса встановлюють засувки. До того ж, на виході насоса є зворотний клапан, який не дозволяє рідині текти назад через насос. Електродвигуни використовуються як електроприводи для насосів та запірної арматури.

1.2 Насосні агрегати

Основою силової частини насосної станції є насосний агрегат. Він включає в себе один або більше насосів, систему трубопроводів для

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

всмоктування та нагнітання води, запірну арматуру, електричний привід та датчики для контролю технологічних показників роботи установки. В ролі головного енергетичного обладнання насосної станції застосовують об'ємні або динамічні насоси.

Об'ємні насоси функціонують на основі принципу витіснення, де тиск рідини, який переміщається, зростає як наслідок її стискання. До цієї групи належать поршневі (мембранні, поршневі) та роторні (аксіально-поршневі і радіально-поршневі, пластинчасті, шестеренні, гвинтові та інші) насоси.

Динамічні насоси застосовують силу для переміщення середовища. До них відносяться лопатеві: відцентрові (як показано на рис. 1.2), осьові, а також фрикційні: вихрові, дискові, струменеві тощо. Найбільшого поширення набули відцентрові насоси.

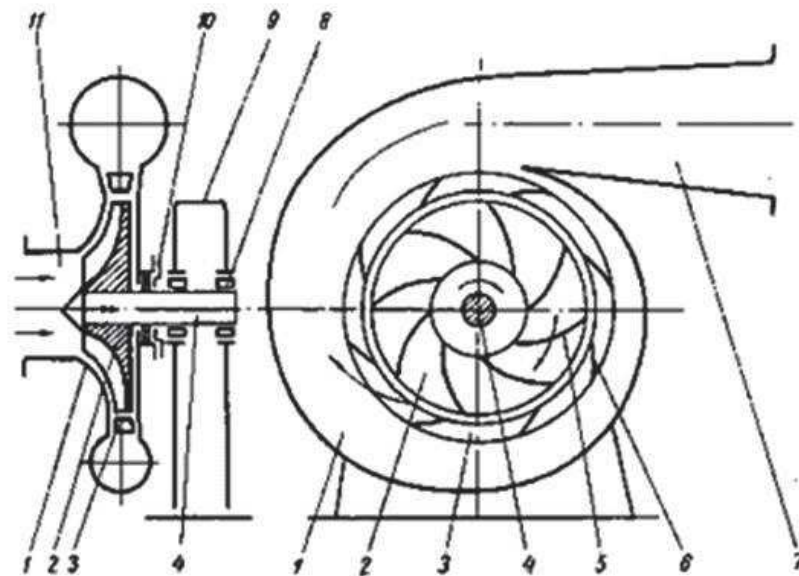


Рисунок 1.2 – Схема принципова відцентрового насоса:

- 1 - камера; 2 - колесо; 3 - направлена лопатка; 4 - вал; 5 - лопатки крильчатки; 6 - направляюча лопатка; 7 - напірна труба; 8 - підшипники; 9 - корпус; 10 - гідравлічна торцева ущільнення валу (сальника); 11 - всмоктуючий патрубок

Основними ознаками насоса є взаємозв'язок між величиною витрати на

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

виході, тиском рідини, часом, подачею на вході та низкою зовнішніх впливів. Ці взаємозв'язки показують, як змінюється режим роботи насоса.

1.3 Регулювання режимів роботи насосного агрегату

Для підтримання потрібного режиму функціонування насосного агрегату в умовах, що змінюються, потрібне регулювання робочих параметрів насосних агрегатів. Це завдання розбивається на дві ключові частини: налаштування гідравлічних характеристик роботи насоса та оптимізація енергоефективності електроприводу насоса.

Для відцентрових насосів є такі методи управління потоком рідини та тиском:

- дроселювання потоку рідини в трубопроводі;
- скидання частини потоку рідини з виходу насоса назад у вхідний патрубок;
- вмикання або вимикання насосів (ступінчасте регулювання);
- зміна швидкості обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу широко використовується для контролю тиску та потоку рідини. Регулюючим пристроєм у цьому випадку виступає механічний компонент, такий як вентиль, дросельна заслонка, засувка, мембрана тощо, який розташовується на нагнітальній трубі насоса і змінює площу перерізу трубопроводу через власне переміщення [1].

Не дивлячись на легкість втілення цього способу управління, він має кілька мінусів. Один з них - падіння ефективності насосного агрегату, особливо при значному регулюванні подачі. Це зумовлено тим, що енергія, яка витрачається на подолання додаткового супротиву регулювального пристрою, переходить у теплові втрати, що і пояснює низьку енергоефективність такого методу. До того ж, збільшення тиску на виході з насоса при частковому перекритті засувки веде до зменшення періоду

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

служби ущільнювальних матеріалів та запірних елементів, а також до збільшення протікання рідини через з'єднання та зазори. Ще одним недоліком такого підходу виступає обмежена здатність регулювання, що працює виключно на зменшення подачі чи напору насосного агрегату.

Регулювання тиску за допомогою байпасу реалізується шляхом спрямування частини потоку робочої рідини з вихідного патрубку насоса назад до вхідного через вихідний отвір клапана. У такому разі енергія, яку використано для циркуляції рідини в обхідному каналі, не виробляє корисного результату. Це призводить до зменшення загальної ефективності системи, і стає особливо помітно при масштабному регулюванні. Так само, як і в попередньому методі, подача регулюється тільки у бік зменшення.

Покрокове регулювання продуктивності насосної станції здійснюється шляхом активації чи деактивації окремих насосів або їхніх комплектів. Даний метод вирізняється зручністю у використанні, адже не передбачає застосування додаткових пристроїв контролю. Однак, він не в змозі гарантувати стабільну та якісну експлуатацію напірного водопроводу під час зміни об'єму перекачуваної рідини, що стає причиною частих запусків електродвигуна. Це скорочує термін експлуатації обладнання та потребує зведення проміжної ємності для усунення коливань в водопостачанні. До того ж, електроприводи функціонують не в оптимальному режимі, що теж негативно впливає на ефективність функціонування всієї НС.

Ці чинники зумовлюють зменшення кількості аварій, де використовуються зазначені методи регулювання.

Зміна частоти обертання робочого колеса насосного агрегату забезпечує можливість безперервно регулювати продуктивність НС, споживаючи менше енергії, ніж це було досяжно у попередніх рішеннях [2]. Але це потребує значних витрат на керуюче обладнання, в особливості для установок середньої та високої потужності, та негативно впливає на електромагнітну сумісність з електромережею. Незважаючи на це, зниження

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ціни на регульовані електроприводи роблять ці способи найбільш перспективними.

Крім того, може застосовуватися комбінація кількох способів контролю. Найбільш поширений спосіб керування передбачає комбінування ступінчастого регулювання та зміни швидкості обертання робочого колеса насоса. Це реалізується за допомогою електроприводу зі змінною частотою обертання. Згідно з рекомендаціями [3], один з насосних агрегатів у групі з 2-3 робочих агрегатів варто оснащувати змінним електроприводом.

Щоб оптимізувати енергоефективність устаткування ГК, необхідно обирати найоптимальніший режим роботи насосів з погляду споживання енергії під час їхньої спільної діяльності. Один із шляхів розв'язання цієї проблеми представлено в наукових джерелах [5-7].

1.3.1 Основні з функцій системи автоматичного керування системою аварії

Відповідно до будівельних норм та правил, насосні станції, призначені для різноманітних потреб, як правило, слід проектувати так, щоб вони функціонували під контролем без необхідності постійної присутності обслуговуючих персоналів. Це може реалізовуватися різними способами:

- автоматизовано, відповідно до технологічних показників (наприклад, рівень води в резервуарах, тиск або обсяг води в системі);
- дистанційно (за допомогою телемеханіки) – з диспетчерського пункту;
- локально, з періодичним візитом технічного персоналу, який передає потрібні сигнали на пункт керування або на об'єкт, де постійно знаходиться обслуговуючий персонал.

У загальному, керування електроприводами з регульованою швидкістю обертання повинно виконуватися в автоматичному режимі, реагуючи на зміни тиску в ключових точках системи, на об'єм води, що подається до

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

мережі, і на рівень води в ємностях для зберігання.

У системі необхідно передбачити контроль тиску в напірних трубопроводах та на кожному насосному агрегаті, обсягу споживання води в напірних водопроводах, а також контроль рівня води у дренажних приямках та вакуумному котлі. Крім цього, слід здійснювати моніторинг температури підшипників агрегатів (за потреби), та контроль рівня аварійного затоплення (виявлення води у машинному приміщенні на рівні фундаментів електроприводів).

У випадках, коли потужність насосного агрегату становить 100 кВт або більше, потрібно організувати періодичне визначення коефіцієнту корисної дії (ККД) з похибкою, яка не перевищує 3%.

При автоматичному або віддаленому (телемеханічному) керуванні мусить бути передбачене й місцеве управління.

На насосних станціях передбачається автоматизація таких допоміжних процесів: промивання обертових сит за визначеною програмою, що регулюється часом або різницею рівнів, відкачування дренажної води за рівнями води у ямі, електрообігрів за температурою повітря в приміщенні, а також вентиляція.

1.3.2 Структура автоматизованої системи

Спрощена електрична схема силових кіл представлена на рис. 1.3, а. Пунктир із зірочкою позначає механічне блокування контактних пристроїв, що унеможлиблює одночасне живлення електродвигуна як від мережі, так і від перетворювача частоти. Взаємодія устаткування станції з гідравлічною системою зображена на рис. 1.3, б.

Електропостачання НС забезпечується від трансформаторної підстанції. Від підстанції електроенергія надходить до розподільчого пристрою. До нього під'єднане силове електрообладнання. У цьому ж пристрої розміщено первинне обладнання для фіксації спожитої

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроенергії.

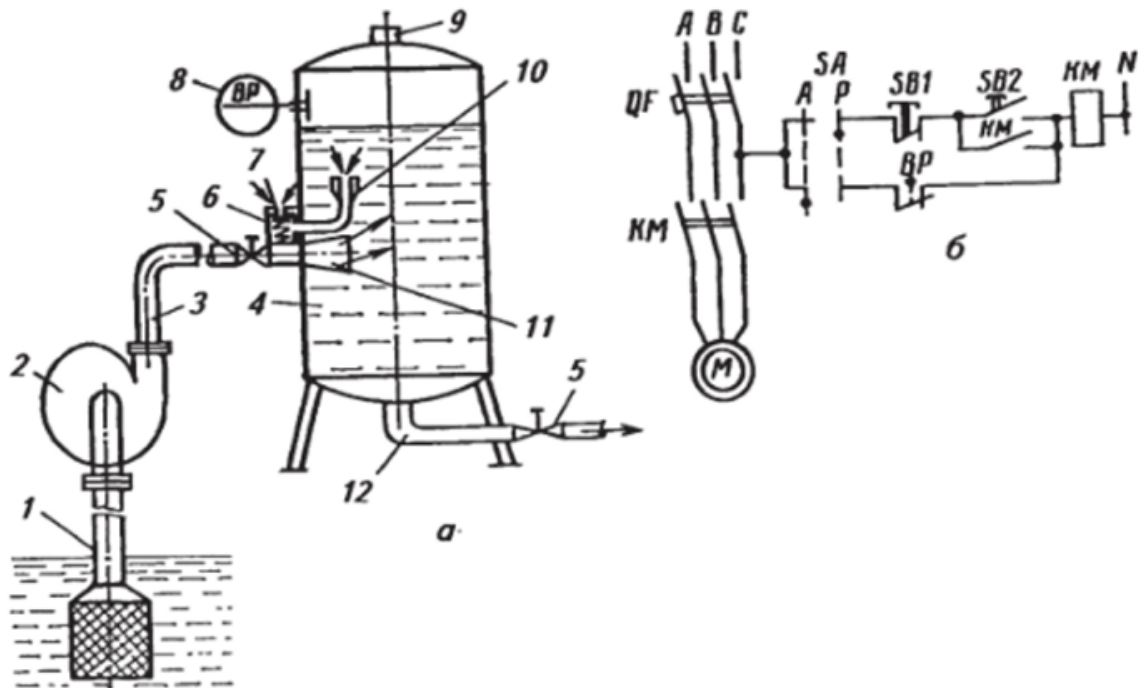


Рисунок 1.3 – Схеми функціональна (а) та принципова електрична (б) автоматизації насосної установки

Спрощена структурна схема автоматизованої навігаційної системи з приводом, що регулюється за частотою, показана на рис. 2.4.

Силове електрообладнання розміщується в розподільному щиті НС. У ньому знаходяться: шафи керування потужністю системи управління, перетворювач частоти та, за потреби, компенсатор реактивної потужності РФС. У шафі керування потужністю розташовано комутаційний апарат, що дозволяє перемикати живлення електропривода М відцентрового насоса Н або на вихід ПЧ, або на секцію розподільного пристрою.

Основне та допоміжне устаткування насосної станції (НС) розміщено у машинному залі. До основного належать насоси ЦН1-ЦН3, а також електроприводи М1-М3. До допоміжного устаткування зараховують: дренажні, пожежні, вакуумні насоси; засувки; вентилятори; обігрівачі й інше

обладнання. Керування реалізується через виконавчі механізми ІМ1–Імn.

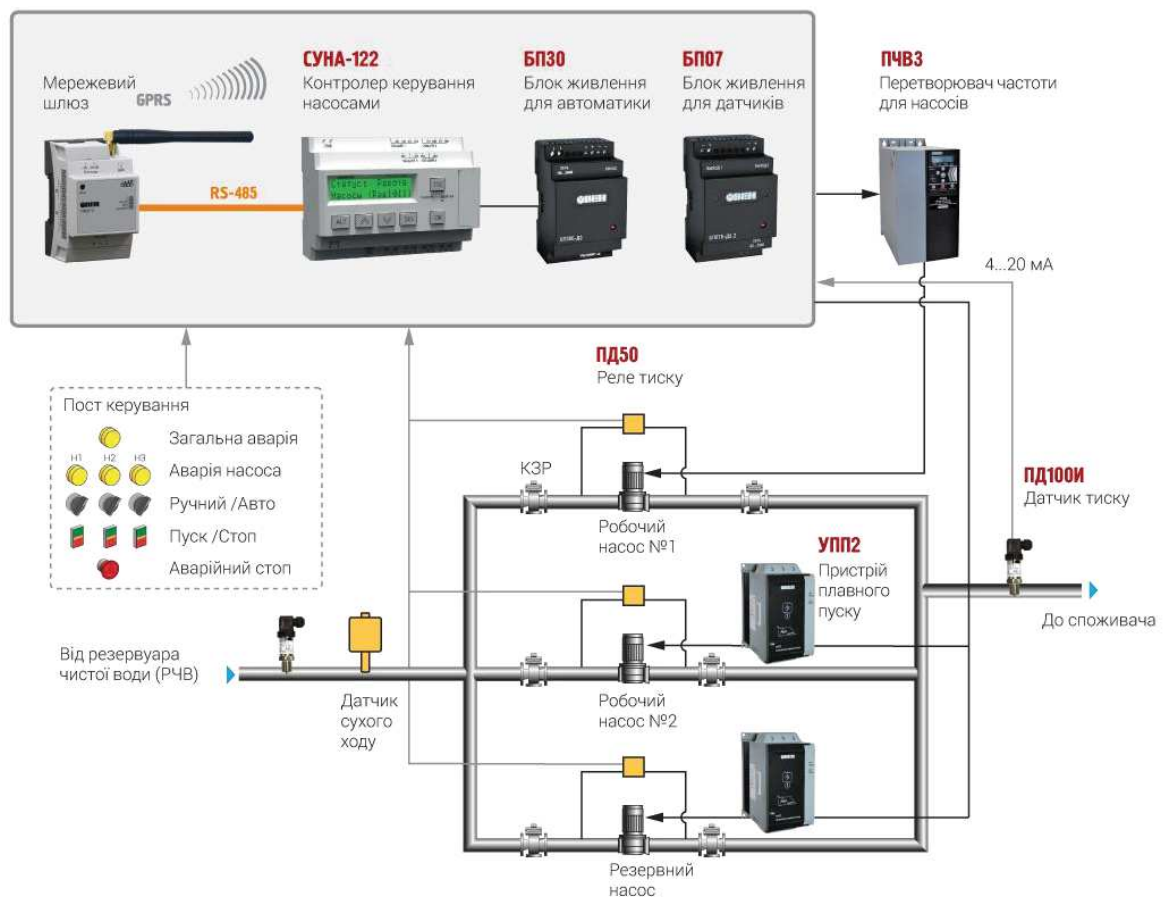


Рисунок 1.4 – Структурна схема автоматизованої насосної станції

Для збору відомостей щодо величини регульованих параметрів залучаються сенсори D1-Dm.

У шафі управління пульта оператора акумулюються контрольні сигнали та сигнали вимірювань з апаратури ЖК. Тут відбувається інтеграція цих сигналів в єдину інформаційну магістраль, яка під'єднується до технологічного контролера ТК.

Технологічні контролери реалізують загальний алгоритм керування системою аварій та обміну даними з автоматизованою системою керування технологічним комплексом (АСУ ТП). Програмне забезпечення (ПЗ) ТЗ містить низку функціональних блоків, реалізованих програмним шляхом:

- керування основним насосним агрегатом;

- керування додатковим насосним агрегатом, наприклад, пожежними насосами;
- керування дренажним насосом;
- вимірювання та обробка параметрів обладнання НС;
- контроль опалення та вентиляції приміщень НС;
- реалізація функцій захисту від несанкціонованого доступу сторонніх осіб на територію;
- технічне обслуговування місцевого терміналу;

Передача відомостей про параметри та режими функціонування обладнання НС до автоматизованої системи управління ТЗ та опрацювання одержаних від неї керуючих команд.

Висновки до першого розділу

Проведено огляд технологічного процесу та цілі автоматизації насосного агрегату. Представлено інформацію про різновиди насосних агрегатів та ключові компоненти їхньої конструкції, а також розглядаються основні робочі режими та способи підтримки потрібного режиму роботи насосної станції.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ПОБУТОВИХ ПОТРЕБ

2.1 Методи управління насосною станцією

2.1.1 Управління потоком насосів

Продуктивність насоса, в основному, контролюється трьома головними методами:

- дроселювання за допомогою клапанів;
- переривчасте регулювання (старт-стоп);
- регулювання швидкості обертання насоса, застосовуючи змінний електричний привід.

На промислових об'єктах найчастіше застосовують дроселювання як метод регулювання. Таке регулювання досягається шляхом встановлення в напірному трубопроводі різноманітних заслінок. Ефективність дросельного регулювання істотно поступається регулюванню швидкості, котре часто дозволяє заощадити понад 50% енергії. Даний метод застосовується для обладнання з невеликою потужністю та визначається обмеженим діапазоном регулювання.

Регулювання насосів на підприємствах водопостачання та водопідготовки зазвичай відбувається методом переривчастого регулювання. Серед його недоліків слід зазначити: низький коефіцієнт корисної дії, часті запуски та зупинки, які негативно впливають на трубопроводи та обладнання, а також неможливість плавного регулювання. При застосуванні цього способу регулювання необхідно враховувати потребу у певному запасі потужності двигуна. Перевагою цього методу є порівняно висока ефективність, адже відсутні додаткові втрати під час регулювання подачі.

Регулювання швидкості гарантує витончений та акуратний контроль. Застосування регулювання швидкості пом'якшує навантаження на

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трубопроводи та арматуру, пролонгуючи термін їх придатності та мінімізуючи потребу в технічному обслуговуванні [4].

На відміну від безпосереднього пуску, електродвигун насоса з регулюванням від перетворювача частоти споживає лише частку пускового струму з електромережі. Відтак, можливо зменшити розміри електрообладнання, а разом з ними й фінансові витрати на його придбання. Завдяки керуванню від частотного перетворювача, габарити двигуна можуть бути зменшені на 10-20%.

Статичне навантаження на трубопровід знижується, оскільки система не експлуатується безперервно в умовах високого тиску. Тиск залишається стабільним на заданому рівні.

Динамічні навантаження відчутно зменшуються, якщо використовувати плавну регуляцію замість переривчастого режиму. Виключаються гідравлічні удари, які негативно впливають на стан труб та обладнання.

Регулювання в якості зміни частоти обертання також забезпечує економію енергії [4].

З огляду на наведене вище, як спосіб керування натиском обираємо регулювання шляхом зміни частоти обертів насоса.

Відцентрові машини, зважаючи на особливості їхнього устрою та вимоги технології, не передбачають обертання у зворотньому напрямку. Їхня швидкість обертання корелює зі швидкістю обертання двигуна. Отже, електропривід таких установок виконується без редуктора та зазвичай інтегрується з самим механізмом.

Відмінною рисою проаналізованої категорії механізмів є спрощені умови їх активації. Ці пристрої, як у стандартних режимах, так і після вимкнення через аварію, зазвичай стартують без навантаження. Пусковий момент у таких випадках, здебільшого, не переважає 30-35% від номінального крутного моменту. Для вентиляторного обладнання, яке

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стартує під навантаженням, опір повільно збільшується з ростом швидкості. Це позитивно корелює з формою механічної характеристики асинхронного електродвигуна. Через такий спосіб запуску розглянуті механізми, що оснащені асинхронними короткозамкненими двигунами або синхронними двигунами з індукційними пусковими обмотками, зазнають впливу майже незмінного динамічного крутного моменту. Зазначені характеристики відцентрових механізмів дають змогу, у більшості ситуацій, використовувати для їхнього приводу нерегульований асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. На електростанціях великої потужності варто використовувати синхронні двигуни, котрі дозволяють ефективно регулювати реактивну потужність, яку споживає підприємство від електромережі.

У великих вентиляційних системах сумарний момент інерції приводу значно більший за момент інерції двигуна. Це призводить до уповільнення прямого пуску та супроводжується помітним нагрівом обмоток асинхронного короткозамкненого ротора або синхронного двигуна. В електроприводах даних машин, асинхронні двигуни з фазним ротором знаходять застосування навіть тоді, коли регулювання швидкості не заплановане. Реостатний спосіб запуску вищевказаних двигунів полегшує процедуру розгону агрегату, сприяє зменшенню пускових струмів та мінімізує нагрівання обмоток двигуна.

Численні насосні агрегати експлуатуються в агресивних та вибухонебезпечних умовах, з підвищеними температурами та вологістю повітря. Для подібних установок застосовуються переважно асинхронні короткозамкнені двигуни закритого типу.

У системах, що потребують безперебійного та автоматичного контролю подачі, застосовується регулювання електроприводу. Особливості відцентрових механізмів сприяють ефективній роботі регульованого електроприводу, як стосовно статичних навантажень, так і щодо потрібного

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазону регулювання швидкості. З механічних властивостей випливає, що зі зниженням швидкості, принаймні квадратично, спадає і момент опору на валу двигуна. Це оптимізує температурний баланс мотора, коли він працює на зменшеній швидкості. Необхідний певний інтервал регулювання обертів, якщо немає статичного тиску $H_{st} = 0$, не перевищує встановлений діапазон зміни витрати.

У середньому, для відцентрових механізмів з регулюванням, зазвичай необхідний діапазон зміни швидкості, котрий здебільшого не перетинає межу 2:1. Специфіка цих пристроїв, вкупі з невибагливістю до механічної міцності, сприяє вдалому використанню нескладних у втіленні модифікацій регульованого асинхронного електроприводу [5-7].

Розглянемо найпоширеніші типи змінних електроприводів.

Для обладнання з відносно невисокою потужністю (3-4 кВт) проблема регулювання чудово вирішується регулятором напруги – асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором. Доступний широкий діапазон швидкостей без необхідності в зворотному зв'язку.

Зазвичай процес зміни технологічного режиму, де ключовим є змінний електропривод, відбувається з невеликою швидкістю та не потребує значного прискорення. Через це, трифазний магнітний підсилювач, з'єднаний з контуром статора, може використовуватися як стабілізатор напруги. Замикання та розмикання змінюють середнє значення додаткових опорів протягом циклів перемикавання. Цей опір напряму пов'язаний зі шпаруватістю широтно-імпульсної модуляції. Маніпулюючи шпаруватістю, можна створити набір механічних характеристик електропривода. Шпаруватість залежить від керуючої напруги, яка подається на вхід системи управління тиристорним перемикачем. Оскільки критичне прослизання двигуна зменшується зі зростанням додаткового опору, діапазон робочих швидкостей приводу, що забезпечують стабільність роботи, буде невеликим навіть за наявності механізму з характеристикою "вентилятора". Впровадження

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високошвидкісного зворотного зв'язку сприяє отриманню жорстких механічних характеристик та надійній роботі замкнутої системи електропривода у потрібному діапазоні швидкостей механізму.

Загальною вадою проаналізованих варіантів регульованого електроприводу є виникнення втрат на ковзання під час зменшення швидкості обертання у безпосередньо двигуні. Ці втрати зумовлюють додаткове нагрівання двигуна та потребують відповідного збільшення встановленої потужності двигуна.

У випадках, де застосування асинхронного двигуна з фазним ротором є виправданим, з огляду на умови експлуатації, варіанти змінних електроприводів стають ширшими. Додавання додаткового опору в ланцюг ротора дозволяє перенаправити певну частину втрат на ковзання з обмоток двигуна. Це сприяє зменшенню необхідного запасу по габаритах двигуна та розширює діапазон потужності приводу завдяки згаданим методам регулювання частоти обертання. Рекомендовано здійснювати комутацію додаткового опору в ланцюзі ротора. При такому підході механічні властивості приводу гарантують стійку роботу в значному діапазоні швидкостей за умови відкритої системи електроприводу.

У всіх проаналізованих рішеннях присутні суттєві втрати ковзання, які перетворюються на тепло в обмотках двигуна, у регульовальних резисторах або в фрикційній муфті, через що коефіцієнт корисної дії електроприводу є низьким. Відтак, для електроприводів згаданих механізмів потужністю сотні та тисячі кіловат, використовують каскадні схеми регулювання частоти обертів, де втрати ковзання повертаються назад в електромережу або передаються на вал двигуна.

За великих діапазонів регулювання ($D > 2$) та високих вимогах до жорсткості механічних властивостей електроприводу, перспективним рішенням постає транзисторний перетворювач частоти – асинхронний двигун із короткозамкненим ротором у схемі. Відсутність потреби у використанні

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричного гальмування та зміни напрямку обертання для механізмів відцентрового типу суттєво спрощує конструкцію транзисторного перетворювача частоти. Це надає можливість створити його, базуючись на автономному інверторі напруги у поєднанні з регульованим випрямлячем.

Спочатку, через брак надійних та недорогих перетворювачів частоти (ПЧ), здійснювалися спроби керувати частотою обертання насосу в безперервному режимі, тобто впроваджувати так зване параметричне регулювання.

Цей метод привертає увагу своєю простотою та низькою вартістю тиристорного перетворювача напруги (ТПН). Але є суттєве обмеження в безперервному режимі регулювання параметрами – значні втрати енергії у двигуні. Щоб, незважаючи на це, застосувати такий спосіб, експериментатори вдаються до збільшення потужності електродвигуна у 2-2,5 рази, використовуючи спеціальний ротор зі збільшеним ковзанням.

Очевидно, що в цій ситуації система з недорогим EST-перетворювачем робиться надмірно коштовною та недоцільною для практичного застосування. Система РСН-AD, де частота обертання двигуна регулюється при зміні частот напруги живлення, повністю позбавлена згаданих недоліків. В цій системі економія енергії сягає приблизно удвічі більше, ніж в системах EPS, а половина енергії, зекономленої в насосі, втрачається в двигуні, що поганий має вплив на термін роботи його підшипників і інших частинок насосу.

З наведеного випливає суттєве заключення: найбільш дієвий спосіб керування значеннями напруги, це варіювання частотою з одночасною зміною напруги при застосуванні швидкості перетворення частоти. Водночас, період повернення інвестицій у відповідне устаткування складає від 6 до 18 місяців, що залежить від типу механізму, особливостей його функціонування та потужності електродвигуна [8].

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змінювати швидкість обертання доцільно лише до певного рівня, коли напір, створюваний турбомеханізмом, зрівнюється зі статичним напором. Якщо ж продуктивність насоса знижувати далі, напору, що генерується турбомеханізмом, вже не вистачить, щоб подолати статичний напір у системі.

2.1.2 Підбір прийнятих характеристик якості

В процесі проектування систем автоматичного контролю та регулювання необхідно брати до уваги надзвичайно широкий спектр вимог, що стосуються їх різноманітних особливостей. Ці вимоги можна характеризувати у певні ключові категорії.

Перша група критеріїв включає в себе вимоги, що стосуються статичних та динамічних властивостей. Найважливішим серед них є характеристики точності. Вони відображають помилки, які можуть виникати в системах керування при різних робочих умовах.

До іншої групи відносяться вимоги, що стосуються надійності систем керування та їхньої здатності протистояти зовнішнім чинникам. Передусім, йдеться про ймовірність безперебійної роботи, діапазон температур, в якому система може працювати, стійкість до вібрації, термін експлуатації та умови дотримання.

До третьої групи входять вимоги, пов'язані з характеристиками функціонування систем керування. Це, можуть бути умови обслуговування системи під час її роботи, рівень кваліфікації задіяного персоналу та ремонтпридатність.

До четвертої групи відносяться вимоги, що стосуються прийнятної ваги та габаритів системи, а також допустимого енергоспоживання.

До п'ятої групи належать вимоги, зв'язані з технологічними системи управління.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для нашого конкретного випадку виділимо такі показники якості, які стосуються системи управління електроприводом насосного агрегату:

- 1) найвища точність системи;
- 2) найбільша продуктивність;
- 3) найменша ціна;
- 4) найкомпактніші розміри.

2.2 Вибір системи керування приводом за схемою ПЧ-АД

Найбільш багатообіцяючим та широко використовуваним способом управління швидкістю асинхронних двигунів (АД) є частотний. Цей метод дозволяє плавно регулювати в широкому діапазоні, а отримані характеристики вирізняються високою стабільністю. Частотний метод має ще одну надзвичайно важливу перевагу: під час керування швидкістю асинхронного двигуна (АД) не спостерігається зростання ковзання, аналогічно тому, що виникає, скажімо, у випадку реостатного регулювання. Розглянемо характеристики основних типів ПЧ.

НПЧ призначений для перетворення високої частоти у низьку та складається з вісімнадцяти тиристорів, об'єднаних у зустрічно-паралельні групи (див. рис. 2.1). В основі перетворювача лежить трифазна схема випрямлення нуля; кожна фаза перетворювача включає два противипрямлячі.

НПЧ поділяються за типами керування на роздільні та спільні.

За роздільного керування тиристорами однієї з груп, керуючі імпульси мають подаватися на затвори, враховуючи напрямок струму, що протікає у навантаженні. Для здійснення роздільної роботи застосовується особливий логічний вузол, який гарантує взаємне блокування струму, інакше кажучи, зупиняє його в одній групі в той час, коли він циркулює в іншій.

У ПЧ із спільною роботою затворних груп необхідне використання додаткових реакторів, що обмежують струм між вентиляторами кожної

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

групи, а кути керування позитивної та негативної груп регулюються відповідно до визначеного закону, що унеможливорює виникнення постійних складових зрівняльного струму. ПЧ із спільним керуванням вентиляльними групами характеризуються більшою встановленою потужністю силових елементів.

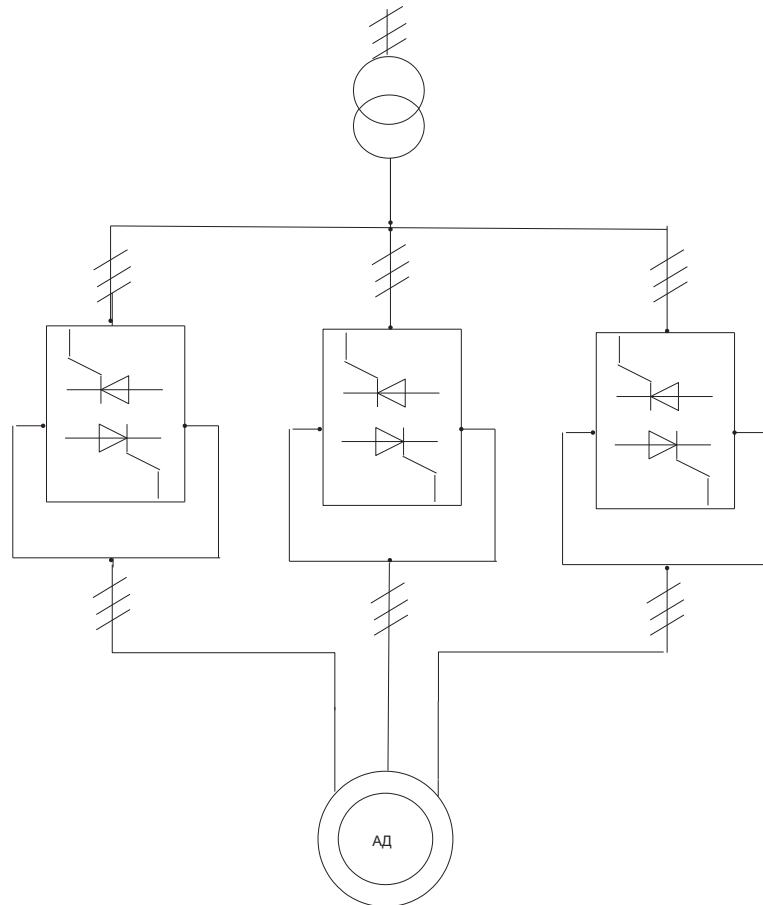


Рисунок 2.1 – ПЧ з прямим зв'язком

Щоб сформувати вихідну напругу, що за формою нагадує синусоїду, необхідно модифікувати кут підключення вентилів. Це досягається шляхом забезпечення змін середнього значення напівперіоду живлення протягом одного напівперіоду вихідної напруги, згідно з синусоїдальним законом. Частоту та напругу на виході перетворювача регулюють, змінюючи кут ввімкнення вентилів.

До переваг цього різновиду перетворювачів належать:

1) одноразове перетворення енергії, що зумовлює високий коефіцієнт корисної дії (близько 0,97-0,98);

2) здатність самостійно регулювати амплітуду напруги на виході частоти;

3) вільний взаємний обмін реактивної та активної енергії між мережею та двигуном і у зворотному напрямку;

4) відсутність конденсаторів для комутації, адже перемикання тиристорів відбувається природним чином (за напругою мережі).

До недоліків розглянутого імпульсного перетворювача відносять наступне:

1) обмежені можливості контролю за вихідною напругою;

2) значна кількість силових ключів, що впливає на складність керування ними;

3) порівняно невисокий коефіцієнт потужності – показник на вході перетворювача не перевищує значення 0,8.

ПЧ з ланкою постійних струмів:

Найбільш поширеним типом сучасних перетворювачів частоти є перетворювачі з виділеною ланкою постійних струмів, функціональну схему яких зображено на рис. 3.2. В цих перетворювачах реалізовано двоступінчасте перетворень електричних енергій: вхідна синусоїдальна напруг з фіксованими амплітудою і частотою спочатку випрямляється в випрямлячі (CU), далі фільтрується © фільтром, регулюється, а потім інвертором (I) перетворюється у змінну напругу зі змінними частотою та амплітудою. пряме підключення.

Проміжний перетворювач постійного струму дає можливість змінювати частоту в бік збільшення або зменшення від частоти живильної мережі; Відзначається високим коефіцієнтом корисної дії (біля 0,96), значною швидкістю обертання, відносно невеликими розмірами та надійністю.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

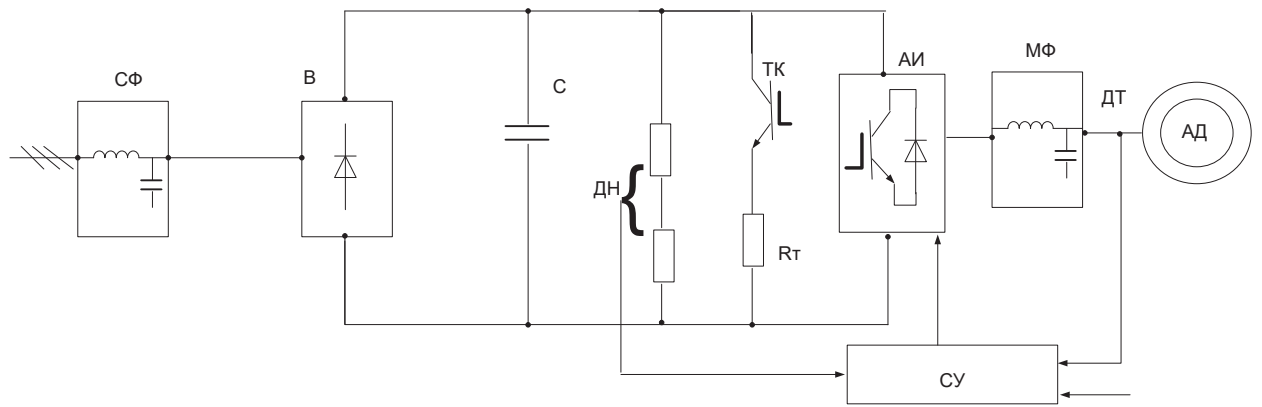


Рисунок 2.2 – Схема функціональна ПЧ з ланкою постійного струму:

Як замикаючі перемикачі в ШІ (штучному інтелекті) можуть застосовуватися тиристри GTO або IGBT-транзистори (див. рис. 2.3).

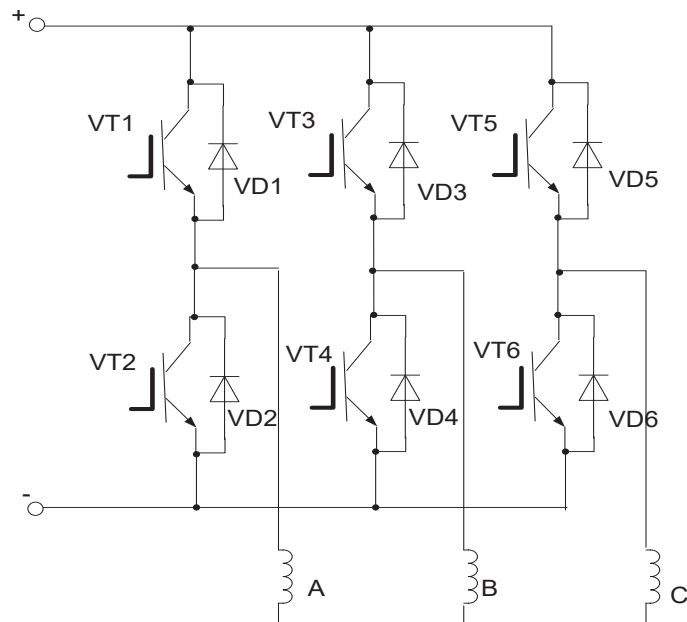


Рисунок 2.3 – Схема принципова ШІ

Тиристор - це напівкерований елемент: щоб його активувати, достатньо направити короткий імпульс на керуючий вивід, проте для вимкнення необхідно або застосувати зворотну напругу, або довести величину струму, який комутується, до нульового значення. Тому перетворювач частоти на основі тиристорів потребує складної та великогабаритної системи керування.

Біполярні транзистори з ізольованим затвором IGBT (інтегровані біполярні транзистори) суттєво відрізняються від тиристорів своєю повною керованістю. Вони також відзначаються простою та енергоефективною системою управління, що надзвичайно важливо. Додатковою перевагою є їхня здатність працювати на найвищих частотах.

Внаслідок цього, частотні перетворювачі, що базуються на IGBT, відкривають нові можливості. Вони дозволяють розширити діапазон, в якому можна регулювати оберти двигуна, а також збільшити загальну швидкість обертання приводу.

Застосування IGBT-транзисторів з більшою частотою комутації, інтегроване з мікропроцесорною системою управління в перетворювачах частоти, дозволяє знизити кількість вищих гармонік, характерних для тиристорних перетворювачів. Це зумовлює зменшення додаткових втрат в обмотках і повітряних каналах електродвигуна, що, в свою чергу, призводить до зниження нагрівання електромеханічного пристрою. Паралельно з цим, досягається зменшення пульсацій крутного моменту та повністю усувається явище "трясіння" ротора при низьких частотах. Крім того, зменшуються втрати в трансформаторах та конденсаторних батареях, що позитивно впливає на термін їхньої служби. Збільшується також надійність ізоляції проводів. Відбувається скорочення випадків хибних спрацьовувань захисних пристроїв та помилок в роботі індукційних вимірювальних приладів.

Зміною періоду подачі керуючих імпульсів на силові вимикачі досягається зміна частоти напруги, що подається на двигун (рис. 2.4).

За таким алгоритмом, в кожний конкретний момент часу активовано три ключі потужності (VT1, VT4, VT6).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

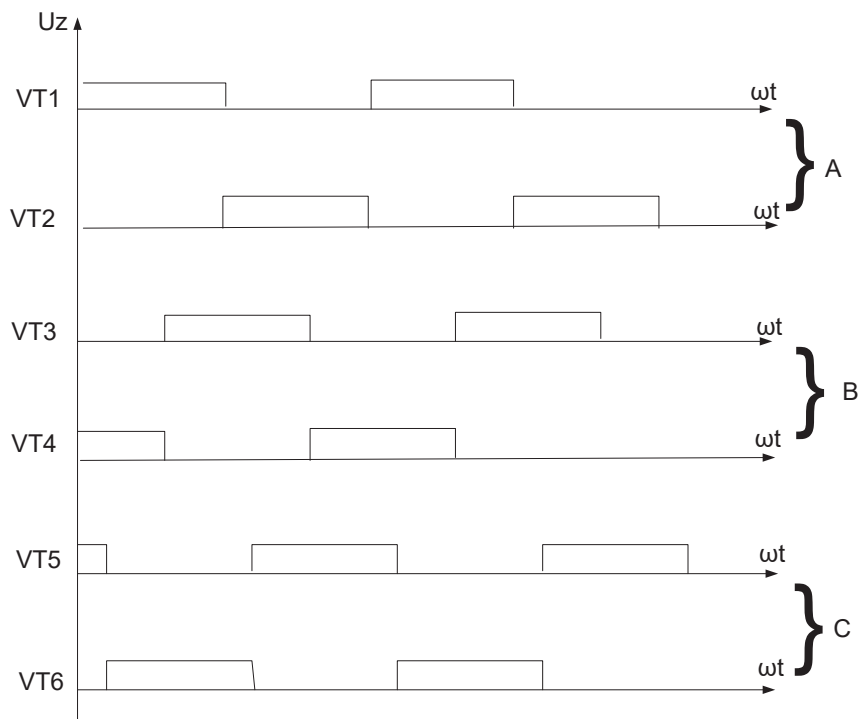


Рисунок 2.4 – Алгоритм подачі імпульсів на транзистори

Щоб двигун функціонував, потрібно варіювати напругу синхронно зі змінами частоти. Цей процес здійснюється у ланці постійного струму або шляхом використання ШІМ (широтно-імпульсної модуляції). Під час визначення співвідношення між частотою та напругою, ключовим фактором є забезпечення здатності витримувати перевантаження.

Вибір перетворювача частоти базується на наступних критеріях:

$$I_{вих.лч} \geq I_{1н}; \quad U_{вих.лч} \geq U_{1н}. \quad (2.1)$$

2.3 Підбір перетворювача частоти

Перетворювальний пристрій виконує дві основні задачі: він перетворює параметри електроенергії з живильної мережі у відповідні значення, необхідні для нормального функціонування привідного двигуна, та регулює швидкість двигуна, трансформуючи кількість електроенергії, що подається до нього. Згідно з вищевикладеним, для реалізації

перетворювального пристрою було обрано перетворювач частоти, збудований на основі автономного перетворювача напруги з використанням IGBT-транзисторів зі скалярною ШІМ-модуляцією.

При виборі частотного перетворювача, необхідно враховувати наступні ключові аспекти:

- безкомпромісна надійність функціонування в усіх передбачених режимах;

- зручна та зрозуміла система керування, незважаючи на збереження високих показників вихідних струму та напруги, а також розширений функціонал;

- максимально доступна ціна перетворювача в діапазоні потужності до 10 кВА.

Як перетворювач електричної енергії, обираємо транзисторний перетворювач частоти 3G3HV-B11K виробництва японської компанії OMRON [12] (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 - Перетворювач частоти 3G3HV-B11K від японської компанії OMRON

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Потужний 3G3HV - це зручний в експлуатації багатоцільовий перетворювач, що вирізняється розширеним функціоналом, серед якого пропорційно-інтегрально-диференційне (ПІД) регулювання та енергоощадний режим роботи.

За своєю структурою силова секція являє собою дволанцюговий перетворювач некерованого випрямлення – автономний інвертор напруги (АІН), який використовує широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Силова частина АІН побудована на транзисторних модулях, де центральним компонентом є IGBT-транзистори (біполярні транзистори з ізольованим затвором). Перетворювач оснащений мікропроцесорною системою управління та призначений для контролю асинхронним двигуном, потужністю до 130 кВт. Лінійна напруга живлення приводу з цим перетворювачем дорівнює 380 В. Система керування перетворювачем включає вбудований пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) контролер, налаштування якого здійснюється через цифрову панель. За допомогою введення потрібних значень можна здійснити тонке регулювання цього контролера для підтримки потрібного тиску у водопровідній системі. Задання тиску та отримання зворотного зв'язку реалізуються аналогово, використовуючи багатофункціональні аналогові входи. Крім цього, система забезпечує поступове нарощування та зменшення обертів двигуна, відповідно до заданого часу на розгін та гальмування. Інтегровані захисні модулі гарантують захист від перевищення струму в двигуні, оберігають ланцюги від стрибків напруги, запобігають перегріву транзисторів, захищають двигун від перевантаження та включають інші види захисту.

Перетворювач забезпечує реалізацію наступних режимів роботи та управління приводом машин і механізмів:

- плавний пуск;
- тривала експлуатація у визначеному діапазоні обертів і навантажень;
- зміну напрямку руху;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- гальмування та зупинку;
- захист електрообладнання і механізмів при виникненні аварійних та непередбачених ситуацій.

Ефективність цього електроприводу визначається:

- відмінними показниками статичних і динамічних характеристик;
- високий рівень енергоефективності;
- гнучке налаштування робочих параметрів та режимів;
- розширений інтерфейс та адаптивність до різноманітних зовнішніх систем керування та автоматизації, включаючи системи верхнього рівня;
- висока готовність до монтажу і введення в експлуатацію;
- простота та зручність в експлуатації й технічному обслуговуванні.

2.4 Підбір датчика тиску

Датчики тиску виробляються багатьма відомими підприємствами. У дипломній роботі було обрано датчик тиску від фірми "Метран"[13]:

Датчики тиску Метран-100 (рис. 2.6) розроблені для функціонування в автоматичних системах контролю, регулювання та управління, гарантуючи безперервне перетворення тиску на стандартний аналоговий сигнал.

Підбір датчика відбувається з урахуванням робочого тиску насоса, $N_{ном} = 65 \text{ м} = 6,5 \text{ атм.}$, отже, максимальний робочий тиск становить

$$R_{\max} = k \cdot N_{ном} = 1.2 \cdot 6.5 = 7.8 \text{ атм.} \quad (2.2)$$

Обираємо перетворювач з найближчим до необхідного верхнім вимірювальним тиском – Метран-100-ДІ (рис. 2.6).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Датчик тиску Метран-100

Датчики тиску серії Метран-100 спроектовані для застосування в автоматизованій системі контролю, регулювання та керування виробничими процесами. Вони забезпечують безперервне перетворення вимірних величин у стандартизований струмовий та/або цифровий вихідний сигнал, що ґрунтується на протоколі HART, з метою дистанційної передачі наступних показників:

- надлишковий тиск - Метран-100-ДІ;
- вимірювання параметрів середовища: рідини, пари, газу, включаючи газоподібний кисень та кисневмісні газові суміші.
- вимірювання тиску в діапазонах від 0 до 100 МПа;
- ступінь захисту від пилу та води - IP65.
- виходи - аналоговий сигнал постійного струму 4-20 мА, 0-5 мА, 0-20 мА

Можливості датчика:

- контроль актуального показника вимірюваного тиску;
- моніторинг і коригування параметрів датчиків;
- встановлення "нуля";

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вибір системи та налаштування блоку;
- задання часу усереднення вихідного сигналу (демпфування);
- переналаштування діапазонів вимірювань, зокрема нестандартних (25:1, 16:1, 10:1);
- налаштування на "зміщений" вимірний проміжок;
- вибір виду зв'язку вихідного сигналу з вхідним значенням: (лінійне збільшення, лінійне зменшення, пропорція квадратному кореню з різниці тиску);
- калібрування сенсора;
- перманентна самодіагностика;
- дистанційне випробування і контроль параметрів сенсорів;
- захист конфігурацій від несанкціонованого доступу;
- міжповірочний інтервал – 3 роки;
- гарантійний термін – 3 роки.

2.5 Підбір пристроїв захисту

Як захисні пристрої для електроустановок застосовуються запобіжники чи автоматичні вимикачі з інтегрованими тепловими (для запобігання перевантаженням) та електромагнітними (для убезпечення від струмів короткого замикання) розчіплювачами.

Вибір автоматичного вимикача здійснюється за номінальним струмом, а налаштування струму відповідного відключення реалізується відповідно до допустимих струмів перевантаження (1,2 В) та короткого замикання (2 В).

Ми зупиняємо свій вибір на автоматичному вимикачі з електронним відключенням моделі TeamBreak XS400SE-C 250A від виробника TERASAKI [20], що має такі технічні параметри:

- номінальна напруга 380 В;
- номінальний струм 250 А.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до другого розділу

Керуючись аналітичним дослідженням, до проектування обирається система контролю частоти обертання, що ґрунтується на асинхронному двигуні, який регулює частоту транзисторів.

Відповідно до поставленого завдання, було виконано потрібні наявного устаткування: відцентрового насосу, частотного перетворювача, датчика тиску.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						38
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРАХУНКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Розробка структурної схеми

Розроблена система – це одноконтурна система керування, з одним зовнішнім контуром, який є напірним контуром.

Структурна схема запропонованої системи показана на рис. 3.1.

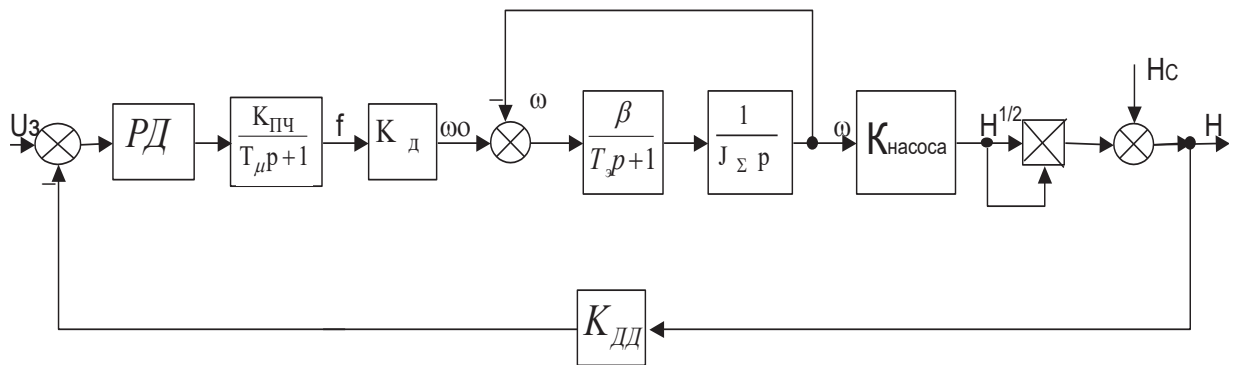


Рисунок 3.1 – Схема структурна електромеханічної системи

де РТ – регулятор тиску; K_D - передавальне число трансмісії двигуна.

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

Коефіцієнт зворотних зв'язків по тиску

$$K_{DD} = \frac{U_3}{H_H} \quad (3.2)$$

3.2 Розрахунок характеристик передавальної функції об'єкта управління

3.2.1 В загальному сенсі об'єкт управління визначається такою функціональною схемою (рис. 3.2).

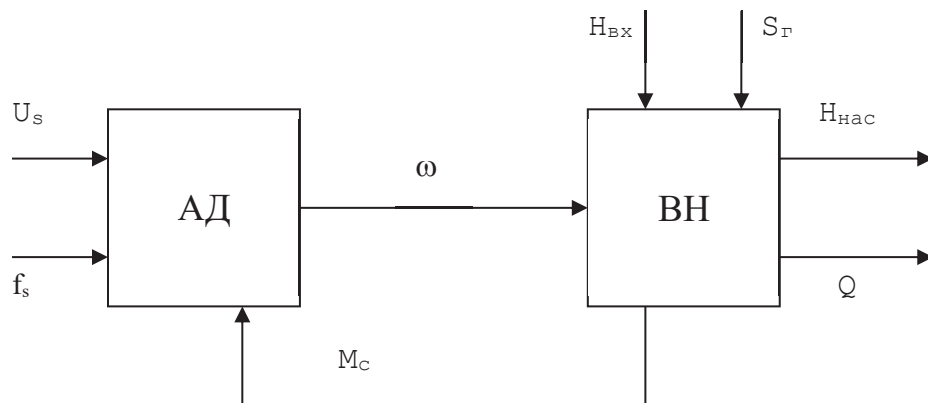


Рисунок 3.2 – Функціональна схема насосного агрегату

Як відомо, навантаження, яке виникає у відцентрових та осьових насосах, вентиляторах і подібних механізмах вентиляторного типу, називається навантаженням вентилятора. Статичний момент в таких механізмах пропорційний квадрату швидкості обертання крильчатки. Для визначення залежності моменту опору на валу двигуна від швидкості його обертання, необхідні математичні описи характеристик насоса та трубопроводу.

Основними показниками насоса є напір та подача.

Подача Q - це об'єм рідини, що переміщується насосом за певний проміжок часу.

Напір H обраховується як різниця між вмістом енергії в 1 кг рідини (питома енергія) на вході в насос та на виході з нього.

Диференціальне рівняння, яке описує насос [14], набуває вигляду:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Тоді рівняння (3.4) мають вигляд:

$$\frac{Q_*}{Q_H} = \frac{\omega_*}{\omega_H}, \quad \frac{H_*}{H_H} = \frac{\omega_*^2}{\omega_H^2}. \quad (3.5)$$

Виразимо величини напору насоса та продуктивності через частоту обертів на валу двигуна:

$$Q_* = \frac{Q_H}{\omega_H} \omega_* = k_1 \omega_*, \quad (3.6)$$

$$H_* = \frac{H_H}{\omega_H^2} \omega_*^2 = k_2 \omega_*^2. \quad (3.7)$$

де k_1, k_2 – постійні величини.

Якщо не брати до уваги інерційність перетворювача частоти та електромагнітних кіл двигуна, припускаючи, що вона на порядок менша за постійну часу технологічного об'єкта, а також зв'язок між об'єктом та електроприводом через МС, припускаючи, що жорсткість механічної характеристики двигуна досить висока, то структурну схему при керуванні H можна лінеаризувати в околицях номінальної точки та спростити до вигляду (рис. 3.4).

Візьмемо корінь рівняння:

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

де $k_{насоса} = \sqrt{\frac{H_H}{\omega_H^2}}$ - постійний коефіцієнт.

Насос та гідравлічна мережа виступають інерційними ланками, котрі дозволяється зобразити як аперіодичну ланку першого порядку [14]:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{нас}(p) = \frac{k_{нас}(\omega)}{T_{нас}p + 1} \quad (3.9)$$

де $k_{нас}$ - знаходиться коефіцієнт перетворення насоса; $T_{нас}$ - час насоса постійний.

Оскільки насос – це нелінійна складна система, а ми оперуємо у малих відхиленнях, то здійснюємо лінеаризацію його коефіцієнта передачі.

Величина $T_{нас} \approx 0,001$ с [14]. Отже, під час синтезу системи з такою незначною постійною часу, є прийнятним не брати до уваги інерцію та вважати насос ланкою, що не має інерції: $W_{нас}(p) = k_{нас}$.

Змодельована система насоса матиме вигляд, показаний на рис. 3.4.

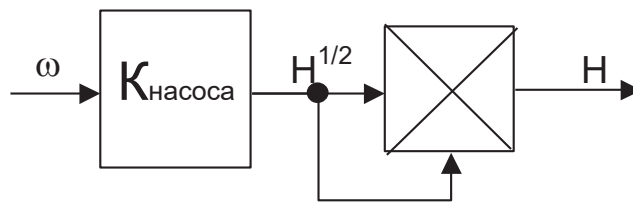


Рисунок 3.4 – Модель насоса

Тоді структура схеми САК насосного агрегату буде такою, як показано на рис. 3.5:

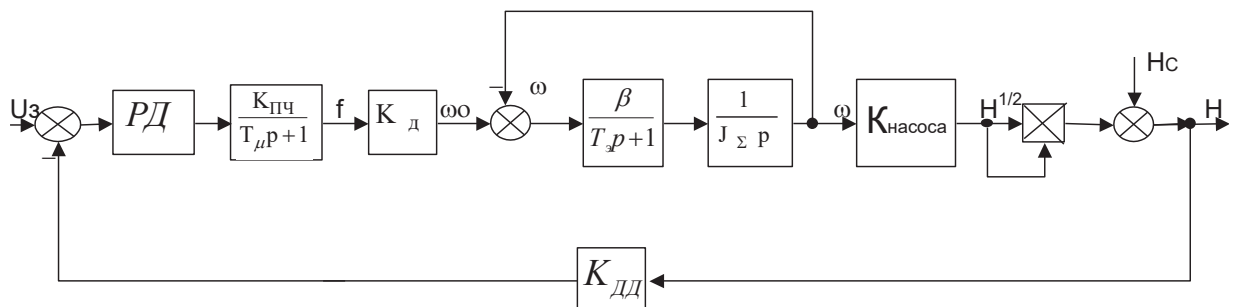


Рисунок 3.5 – Структурна схема насоса САК

Врахування впливу сталої часу насоса на перехідні характеристики системи передбачається під час її моделювання.

3.2.2 Динамічна модель АД

На основі Т-подібних схем заміщення та динамічної узагальнених електричних машин розробляється математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, що дає змогу створити його динамічну модель.

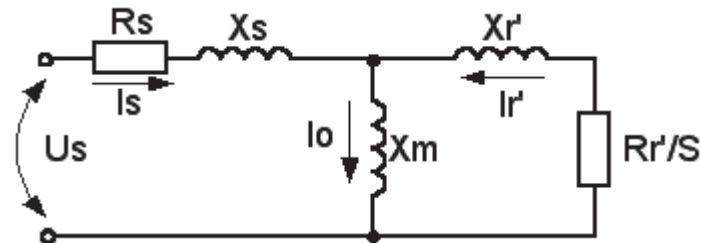


Рисунок 3.6 – Схема заміни асинхронного двигуна

Параметри схем заміщення:

$$X_1 = X'_1 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}, X'_2 = X''_2 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}, R_1 = R'_1 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}, R'_2 = R''_2 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}. \quad (3.10)$$

де X_m - основний індуктивний опір; R'_1, X'_1 - активний і індуктивний опір обмотки статора; R'_2, X'_2 - активний і індуктивний опір обмотки ротора, зведеного на обмотку статора; X_1, X''_2, R_1, R''_2 - опір статора і ротора, Ом; $U_{1\text{фн}}, I_{1\text{фн}}$ - номінальні значення фазної напруги, В і струму, А.

При математичному описі безперервного приводу як об'єкта керування висуваються такі передумови:

- розподіл магнітних сил в обмотках двигуна відбувається ідеально синусоїдально по колу повітряного зазору;
- втрати в «сталі» статора та ротора відсутні;
- обмотки статора та ротора характеризуються абсолютною симетрією з взаємним зміщенням осей на 120° ;
- магнітопровід не підлягає насиченню.

3.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна для насосного агрегату

Для реалізації технічного завдання необхідно здійснити розрахунок потужності та підібрати обладнання відповідно до специфікацій виробників.
[10-13]

Оскільки завдання передбачає регулювання тиску шляхом зміни швидкості обертання робочого колеса насоса, обраний у цій системі привід має забезпечувати можливість зміни частоти обертання вала двигуна.

Ключовим елементом в системі електроприводу є електродвигун. Доведено, що використання асинхронних двигунів збільшує надійність електроприводу, а також зменшує початкові та операційні витрати.

Опис насосного устаткування.

На насосній станції другого підйому, задля збільшення надійності, змонтовано два відцентрові насоси типу 1Д315-71.

Двопотоківі відцентрові насоси типу D призначені для перекачування води та аналогічних рідин з параметрами, близькими до води, стосовно в'язкості до $36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (36сSt) та хімічної активності, з температурним режимом від 274 до 358К (від 1 до 85°C), без наявності твердих часток масою більше 0,05%, розміром понад 0,2 мм і мікротвердістю понад 6,5 Нра (650 кгс/мм²).

Маркування насоса:

Насос (агрегат) 1Д315-71 УХЛЗ.1 ТУ26-06-1510-88 1.

Де 1 - перша модернізація;

Д – двосторонній вхід;

315 – витрата, м³/год;

71 – напір, м;

УХЛ або Т – кліматичне виконання;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 або 2 - категорія проживання;

Таблиця 3.1

Номінальні дані відцентрового насоса 1Д315-71

Параметр	Найменування	Значення	Одиниць. вимірювання
Канал	Q	315 (0,087)	м ³ /год (м ³ /с)
Тиск	H	71,00	m
Швидкість	n	1450 (24.2)	об/хв (сек ⁻¹)
Максимальна споживана потужність	N	97,00	Квт
Допустимий кавітаційний запас	ΔH	6,5	м, не менше
Вага насоса	m	450	Кг
Ефективність	η_N	83	%
Момент інерції	Джі	1.91	кгм ²

Насоси належать до тих механізмів, де важко визначити точне навантаження на вал двигуна в будь-який конкретний момент. Якщо розглядати функціонування насосів статистично, більшість часу витрата води буде незначною. Через це система управління зменшуватиме оберти насосів для підтримання стабільного тиску. Відповідно, енергоспоживання від мережі буде мінімальним. Проте, існують періоди, коли витрата води, а отже, й швидкість, зростатимуть. Тому електричні двигуни потрібно вибирати, керуючись номінальними характеристиками насоса.

Обчислимо потужність на валу двигуна за виразом, відповідно до [15]:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{вал}} = \frac{g\rho Q_{\text{н.н}}(H_{\text{н.н}} + \Delta H)}{1000 \times \eta_{\text{н.н}}} = \frac{9,81 \times 1000 \times 0,087 \times (71 + 6,5)}{1000 \times 0,83} = 79,69 \text{ кВт.}$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення під дією сили тяжіння; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – щільність води; $Q_{\text{н.н}} = 0,088$ – номінальна продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $H_{\text{н.н}}$ – номінальний напір насоса, м; $\Delta H = 6,51$ – кавітаційний край, м; $\eta_{\text{н.н}} = 0,83$ – номінальний ККД насоса.

Отже, мотори, що монтуються на насосній станції, повинні мати номінальну потужність вище 79,69 кВт. Здійснимо вибір на основі технічних характеристик. Рекомендовано виробником асинхронний двигун, що працює від насосу [10].

Згідно з рекомендаціями виробника, враховуючи всмоктування та номінальну потужність, виберемо асинхронний двигун потужністю 110 кВт серії 5АМ [11] 5АМ280С4. Номінальні параметри наведені в таблиці 3.2.

Зовнішній вигляд двигуна 5АМ280С4 У3 зображено на рисунку 3.7

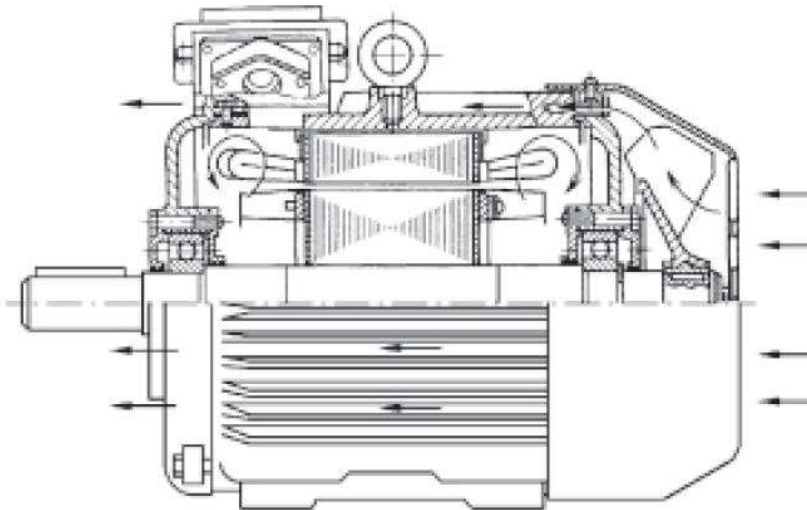


Рисунок 3.7 – Асинхронний двигун 5АМ280С4 У3

Таблиці 3.2

Номінальні дані асинхронного двигуна 5АМ280С4 У3

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Тип двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна частота обертання, об/хв	ККД, %	Коефіцієнт потужності	Номинальний струм при напрузі 380 В, А	Номинальний крутний момент, Нм	Індекс механічних характеристик	Відношення пускового моменту до номінального крутного моменту	Відношення пускового струму до номінального струму	Відношення максимального моменту до номінального моменту	Динамічний момент інерції ротора, кгм ²	Маса, кг
5AM280S4	110	1455	95,1	0,87	202	707	II	2,1	6,4	2,4	2,19	742

У подібних системах простим використанням насосного агрегату виключно для збільшення напору не обійтися. Установка повинна забезпечувати регулювання тиску в водопровідній мережі, щоб зменшити споживання електроенергії, скоротити витрати води, а також зменшити кількість та розміри обладнання, яке використовується для водопостачання.

3.4 Розрахунок і підбір силового кабелю

Розрахунок перерізу силового кабелю для всієї установки здійснюватиметься відповідно до допустимого струму, з наступною перевіркою падіння напруги.

Перетин проводів та кабелів напругою до 1000 В визначається відповідно до умов нагріву, з урахуванням тривало допустимого струмового навантаження. Перетин вибирається згідно з умовою нагріву з тривалим розрахунковим струмом.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$I_{н.доп} \geq \frac{I_p}{k_1 k_2}, \quad (3.11)$$

де I_p – розрахунковий струм навантаження, що визначає величину змінного струму, який споживає електроустановка:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.87 \cdot 0.951} = 202 \text{ A},$$

$I_{н.доп}$ - довготривалий допустимий струм для проводів, кабелів і шин;
 $k_1=1$ - коефіцієнт коригування для умов прокладання дротів та кабелів;
 $k_2= 0,85$ - Коефіцієнт корекції для кількості робочих кабелів, прокладених поруч один з одним у землі, в трубах або без них.

$$I_{н.доп} = \frac{202}{1 \cdot 0,85} = 238 \text{ A}.$$

Обираємо провідник перетином 95 мм^2 для сили струму $I_{н.доп} = 255 \text{ A}$.

Перевіримо, чи є падіння напруги у проводах, зважаючи на те, що лінія складена з трьох проводів завдовжки 100 метрів.

$$\Delta U = I \frac{3l}{\gamma S} = 240 \frac{3 \times 100}{\frac{10^6 \times 95 \times 10^{-6}}{0.0175}} = 10.5 \text{ В},$$

де $\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{10^6}{0.0175}$ - провідність міді;

$\rho = 0.0175 \times 10^{-6}$ - питомий опір міді.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Падіння напруги сягає 3,75% від величини живлення, що є прийнятним показником для цієї системи. Рекомендується використовувати чотирижильний гнучкий кабель типу FG7R-0,6/1 з перерізами жил $3 \times 95 \text{ мм}^2 + 1 \times 50 \text{ мм}^2$.

Характеристики кабелю:

- провідник: мідна жила, клас гнучкості 5;
- ізоляція провідника: етилен-пропіленовий каучук;
- наповнювач: негорючий неволокнистий матеріал, з низьким виділенням корозійних газів;
- зовнішня оболонка: ПВХ пластикат RZ, вогнезахисний, з низьким виділенням їдких газів.

Специфікація:

- номінальна напруга: 0,6/1 кВ;
- робоча температура: до 90°C ;
- температура короткого замикання: 250°C ;
- мінімальна температура монтажу: 0°C .

Застосування: стаціонарне розміщення у будівлях та зовні (включно з незахищеними умовами), прокладання (в тому числі без захисту) в землі.

Специфічні властивості: відмінна опірність до технічних мастил.

Колір зовнішньої ізоляції: сірий.

Висновки до третього розділу

Спроектована система – це одноконтурна система керування, що має лише один зовнішній контур, яким є контур тиску.

Регулятор тиску створено на основі програмного, універсального ПІД-регулятора, який інтегровано у частотний перетворювач. Перевірку результатів синтезу регулятора буде проведено шляхом моделювання системи у пакеті MATLAB.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведено розрахунок потужності та вибір електродвигуна для насосного агрегату.

Розраховано необхідний переріз кабелю для живлення агрегату та підібрано пристрій захисту.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над бакалаврською роботою проведено огляд технологічного процесу та цілі автоматизації насосного агрегату. Представлено інформацію про різновиди насосних агрегатів та ключові компоненти їхньої конструкції, а також розглядаються основні робочі режими та способи підтримки потрібного режиму роботи насосної станції.

Керуючись аналітичним дослідженням, до проектування обирається система контролю частоти обертання, що ґрунтується на асинхронному двигуні, який регулює частоту транзисторів.

Відповідно до поставленого завдання, було виконано потрібні наявного устаткування: відцентрового насосу, частотного перетворювача, датчика тиску.

Спроектована система – це одноконтурна система керування, що має лише один зовнішній контур, яким є контур тиску.

Регулятор тиску створено на основі програмного, універсального ПІД-регулятора, який інтегровано у частотний перетворювач. Перевірку результатів синтезу регулятора буде проведено шляхом моделювання системи у пакеті MATLAB.

Проведено розрахунок потужності та вибір електродвигуна для насосного агрегату.

Розраховано необхідний переріз кабелю для живлення агрегату та підібрано пристрій захисту.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іванчишин С.П., Дмитренко В.С. Гідравліка // "Журнал механічних систем." – 2018. – № 9. – С. 15–19.
2. Коваль В.М., Ткаченко П.О. Автоматизоване керування насосними агрегатами // "Автоматизація в енергетиці." – 2019. – № 4. – С. 22–27.
3. Мельничук Ю.В., Савчук Д.М. Насосні станції водопостачання: технічні рішення // "Інженерні системи та мережі." – 2017. – № 3. – С. 41–46.
4. Орлюк А.Г., Кузьменко І.Б. Використання частотних перетворювачів у насосах // "Вісник технічної науки." – 2020. – № 6. – С. 35–39.
5. Литвин О.Л., Павленко Т.І. Системи керування тиском у побутових водомережах // "Комунальне господарство міст." – 2021. – № 7. – С. 18–24.
6. Кириленко І.С., Романчук В.Є. Моделювання насосних станцій у середовищі MATLAB // "Сучасні інформаційні технології." – 2022. – № 2. – С. 49–54.
7. Поліщук Н.О., Гавриленко П.М. Енергоефективність систем водопостачання // "Технічні рішення в енергетиці." – 2021. – № 5. – С. 26–30.
8. Шаповал І.В., Черняк А.Б. Програмно-логічне керування насосами // "Автоматизація і приладобудування." – 2018. – № 3. – С. 39–44.
9. Яковенко С.М., Коломієць Д.С. Застосування ПЛК у системах водозабезпечення // "Прикладна автоматика." – 2019. – № 1. – С. 60–65.
10. Бондар О.І., Марченко Ю.В. Алгоритми керування насосними станціями // "Системи управління і автоматика." – 2020. – № 4. – С. 52–57.
11. Остапчук М.Ф., Дяченко І.П. Моніторинг роботи насосів в режимі реального часу // "Енергетичні технології та системи." – 2019. – № 2. – С. 33–38.
12. Гринюк Т.С., Соловей О.Л. Захист насосного обладнання від гідроударів // "Гідравліка і пневматика." – 2017. – № 5. – С. 28–32.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Колесник І.В., Назаренко А.М. Технології оптимального розподілу води // "Технічна гідромеханіка." – 2020. – № 3. – С. 43–48.

14. Кривенко І.О., Бурачок Р.М. Надійність автоматизованих систем водопостачання // "Інженерні системи." – 2021. – № 6. – С. 36–41.

15. Семенюк А.Л., Терещенко В.П. Аналіз аварійних ситуацій насосних систем // "Безпека інженерної інфраструктури." – 2022. – № 1. – С. 20–25.

16. Харченко Т.І., Лебеденко І.Г. Побутове водопостачання в умовах нестабільного тиску // "Екологія та енергетика." – 2023. – № 3. – С. 55–61.

17. Сидоренко Д.А., Войтенко О.С. Розробка SCADA-систем для насосних станцій // "Інформаційні системи та технології." – 2022. – № 2. – С. 47–53.

18. Глущенко В.М., Чайка Н.І. Сенсорні модулі у керуванні насосами // "Технології автоматизації." – 2021. – № 4. – С. 30–36.

19. Рубан С.В., Кузьмін А.Є. Контроль тиску та витрат у побутових мережах // "Гідротехніка і автоматика." – 2022. – № 3. – С. 38–42.

20. Павленко Р.І., Левченко Т.О. Системи керування на базі мікроконтролерів // "Мікроелектроніка і автоматика." – 2023. – № 1. – С. 29–35.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		