

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)	О. КОЛЛАРОВ (ініціали, прізвище)
«__» _____	2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Автоматизація насосної установки об'єкта житлового господарства

Виконав студент	<u>4</u>	курсу, групи	<u>ЕЛК-20</u> (шифр групи)
спеціальності підготовки		<u>141 «Електроенергетика, електротехніка та</u> (шифр і назва спеціальності підготовки)	
<u>та електромеханіка»</u>			

<u>Геннадій ІВАНОВ</u> (ім'я та прізвище)	 (підпис)
--	--

Керівник <u>зав. каф. ЕлІн, к. т. н., доц. О. Ю. КОЛЛАРОВ</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	 (підпис)
---	--

Рецензент _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	 (підпис)
---	--

Нормоконтроль:

<u>Е. НЕМЦЕВ</u> (підпис)

(дата)

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

Студент _____	 (підпис)
---------------	--

(дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Геннадію ІВАНОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Автоматизація насосної установки об'єкта житлового господарства

керівник роботи Олександр КОЛЛАРОВ, канд. техн. наук, доцент
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 11 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Житловий комплекс з 10 семиповерхових багатоквартирних будинків, загальна кількість мешканців – 1750, тип насосу – відцентровий, приводний двигун – асинхронний, система керування – скалярна

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

1. Огляд систем водопостачання житлових комплексів

2. Розрахунок системи водопостачання

3. Система керування асинхронного електропривода насоса

4. Моделювання системи електропривода насоса

5. Охорона праці

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-5	О. КОЛЛАРОВ, доц. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЕМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	29.04–05.05.24	
2.	Розділ 2	06.05–15.05.24	
3.	Розділ 3	16.05–23.05.24	
4.	Розділ 4	24.05–31.05.24	
5.	Розділ 5	01.06–07.06.24	

Студент _____
(підпис)

Геннадій ІВАНОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олександр КОЛЛАРОВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Геннадій ІВАНОВ. Автоматизація насосної установки об'єкта житлового господарства / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, переліку джерел посилання та додатків.

У першому розділі представлені теоретичні відомості про водопостачальні насосні установки, наведена класифікація насосів за принципом дії, розглянуто регулювання водопостачання керуванням режимів роботи насосів

У другому розділі виконані розрахунки системи водопостачання, водоспоживання житловим комплексом, проведений вибір насосного обладнання.

У третьому розділі проведена розробка системи керування електроприводом відцентрового насоса, проведений математичний опис асинхронного двигуна, визначено параметри схеми заміщення асинхронного двигуна, синтезований контур регулювання тиску

У четвертому розділі було проведено дослідження моделі електроприводу відцентрового насосу, отримані та проаналізовані графіки перехідних процесів.

Ключові слова: відцентровий насос, водопостачання, асинхронний двигун, продуктивність, напір, тиск, регулятор, перехідний процес, перетворювач частоти, моделювання, Simulink, MATLAB

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВОДОПОСТАЧАЛЬНІ НАСОСНІ УСТАНОВКИ	7
1.1 Класифікація насосів за принципом дії	7
1.2 Конструкція робочого колеса відцентрового насоса	9
1.3 Регулювання водопостачання керуванням режимів роботи насосів	11
1.4 Приводи насосів	13
1.5 Електричний двигун як привод насоса	14
1.5.1 Особливості живлення електродвигунів	14
1.5.2 Частотно-керовані двигуни	15
1.5.3 Ранні конструкції частотних перетворювачів	16
1.5.4 Приводи з широтно-імпульсним керуванням	18
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	20
2.1 Розрахунок водоспоживання житловим комплексом	20
2.2 Вибір насосного обладнання	26
3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА	30
3.1 Математичний опис асинхронного двигуна	30
3.2 Визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна	39
3.3 Синтез контуру регулювання тиску	47
4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ	49
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	54
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	55
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	59

ВСТУП

Водопостачання житлових комплексів є ключовою інженерною системою, яка забезпечує мешканців водою для побутових потреб. Для підтримання стабільного і ефективного водопостачання використовуються різні види насосів, серед яких відцентрові насоси займають важливе місце.

Відцентрові насоси працюють за принципом перетворення механічної енергії обертання у кінетичну енергію рідини. Вони забезпечують високий рівень продуктивності і надійності, що робить їх ідеальними для використання в системах водопостачання великих житлових комплексів. Серед основних переваг відцентрових насосів - висока ефективність, довговічність, простота в обслуговуванні і здатність працювати з великими об'ємами води. Вони також мають низький рівень шуму і вібрацій, що важливо для житлових зон.

Регульований електропривод додає ще більше переваг у використанні відцентрових насосів для водопостачання. Завдяки йому можна точно контролювати швидкість обертання насоса, що дозволяє адаптувати продуктивність до поточних потреб системи. Це значно підвищує енергоефективність, зменшуючи витрати на електроенергію і знос обладнання. Крім того, регульований електропривод сприяє стабільності тиску в системі, що важливо для забезпечення комфортного користування водою мешканцями.

Загалом, використання відцентрових насосів з регульованим електроприводом у водопостачанні житлових масивів є оптимальним рішенням для забезпечення надійного, ефективного і економічного постачання води.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВОДОПОСТАЧАЛЬНІ НАСОСНІ УСТАНОВКИ

1.1 Класифікація насосів за принципом дії

Рідинні насосні установки, що, зокрема, застосовуються у водопостачанні класифікуються за різними критеріями, серед яких одним із основних є принцип дії насоса. Серед основних типів насосів за цим критерієм виділяють:

Насосні установки для водопостачання класифікуються за різними критеріями, серед яких одним із основних є принцип дії насоса. Основні типи насосів за цим критерієм включають:

- центробіжні насоси;
- поршневі (плунжерні) насоси;
- вихрові насоси;
- шестеренні насоси;
- діафрагмові насоси;
- гвинтові насоси;
- роторно-лопатеві насоси.

Центробіжні насоси. Принцип дії: Перекачування рідини відбувається за рахунок обертання робочого колеса, що створює відцентрову силу, яка переміщує рідину від центра до периферії корпусу насоса.

Одноступеневі, багатоступеневі, консольні, горизонтальні, вертикальні центробіжні насоси.

Поршневі (плунжерні) насоси. Принцип дії: Робочий об'єм періодично змінюється за допомогою руху поршня або плунжера, який всмоктує і виштовхує рідину через клапани.

Одноциліндрові, багатоциліндрові поршневі насоси.

Вихрові насоси. Принцип дії: Рідина набуває енергії завдяки вихровому руху, який створюється обертанням робочого колеса.

Одноступеневі, багатоступеневі вихрові насоси.

Шестеренні насоси. Принцип дії: Рідина переміщується за допомогою обертання двох або більше шестерень, які зачіпляються між собою.

Зовнішньощестеренні, внутрішньощестеренні насоси.

Діафрагмові насоси. Принцип дії: Перекачування здійснюється шляхом зворотно-поступального руху діафрагми, яка змінює об'єм робочої камери і змушує рідину переміщуватися.

Мембранні, механічні, пневматичні діафрагмові насоси.

Гвинтові насоси. Принцип дії: Перекачування здійснюється шляхом обертання одного або кількох гвинтів (роторів), які переміщують рідину вздовж осі насоса.

Одногвинтові, двогвинтові, багатогвинтові насоси.

Роторно-лопатеві насоси. Принцип дії: Обертанням ротора з лопатями, які захоплюють рідину і переміщують її через корпус насоса.

Вакуумні насоси, роторно-поршневі насоси.

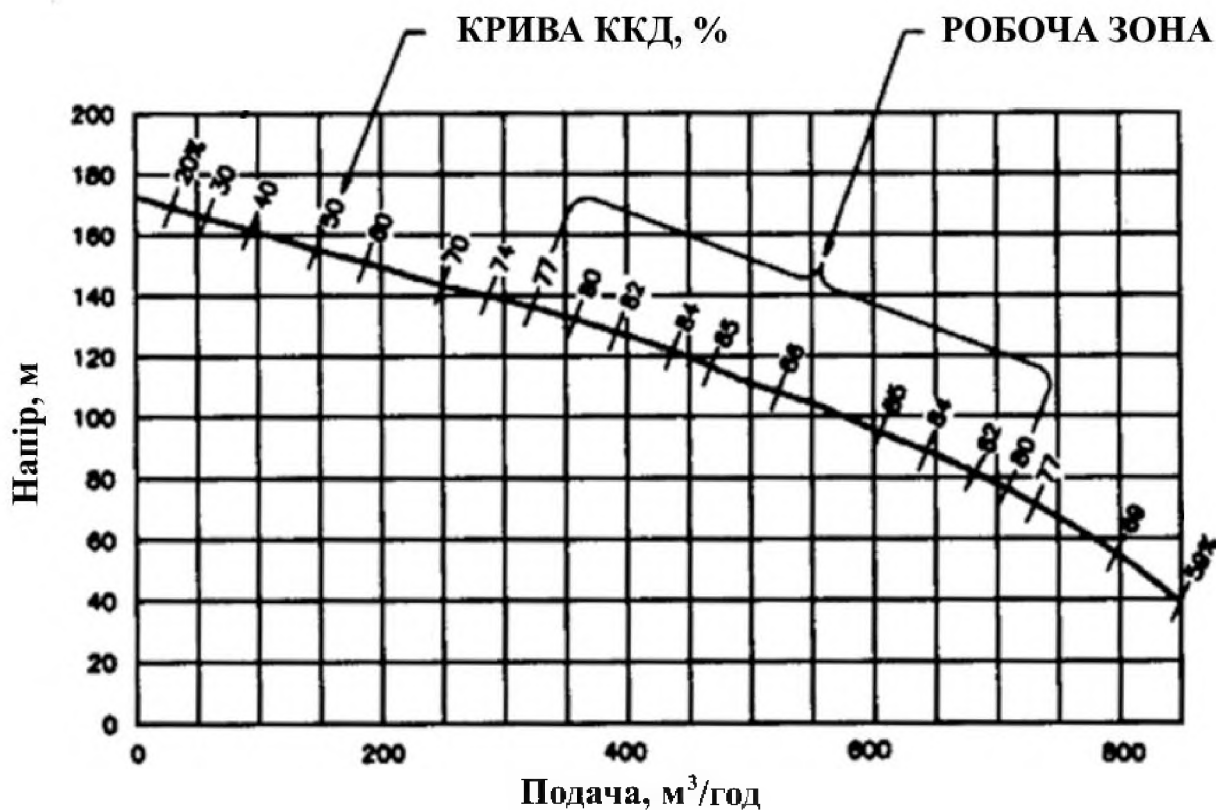


Рисунок 1.1 – Типова напірна характеристика відцентрового насоса

Рисунок 1.1 показує загальні характеристики роботи відцентрового насоса, а також типові гідравлічні коефіцієнти ефективності для цього насоса. Ця крива має підйомну характеристику, оскільки напір постійно збільшується при зменшенні потоку. Якщо при меншому потоці напір починає падати, кажуть, що насос має спадну характеристику. Насоси з дуже високою питомою швидкістю мають петлеподібну характеристику, коли на кривій напору потоку з'являється спад.

Слід зазначити, що ефективність насоса дорівнює нулю при нульовому потоці і потім зростає до точки, яка називається точкою найкращої ефективності насоса, незалежно від характеристики кривої напору потоку насоса. При збільшенні потоку через насос за цю точку внутрішнє тертя зростає, і ефективність починає знову знижуватися.

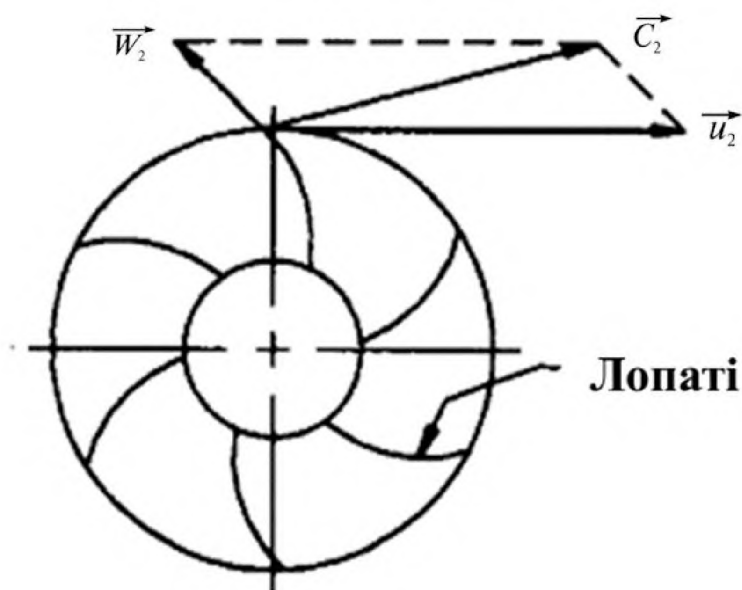


Рисунок 1.2 – Векторна діаграма робочого колеса відцентрового насоса

1.2 Конструкція робочого колеса відцентрового насоса

Відцентрові насоси, як видно з їхньої назви, залежать від відцентрової сили для створення потоку через насоси. Коли обертається робоче колесо, обертається

і вода в робочому колесі, тому на цю воду діють дві сили: відцентрова і обертальна. Робоче колесо насоса обертається в корпусі, щоб використовувати сили, які діють на воду в робочому колесі. Ці сили підтримуються за допомогою форми робочого колеса, яке створює правильні проходи в робочому колесі, що використовують як відцентрову силу, так і обертальну швидкість води в робочому колесі. У робочому колесі спроектовані внутрішні лопатки, які спрямовують потік через робоче колесо і виходять з нього. Відносно висока ефективність відцентрових насосів для чистої води пояснюється тим, що конструктор насоса може спроектувати ці лопатки для максимальної ефективності, не турбуючись про забруднені або волокнисті матеріали і не беручи до уваги корозійні або ерозійні рідини. З іншого боку, конструктор насосів для каналізаційних систем повинен враховувати наявність забрудненої води з волокнистими матеріалами, формуючи робоче колесо таким чином, щоб воно не засмічувалося. Кількість лопаток зменшується, і тому ефективність таких насосів нижча, ніж у насосів, призначених для чистої води. На рисунку 1.2 показана схематична діаграма робочого колеса відцентрового насоса з лопатками, які спрямовують воду через робоче колесо.

На цьому рисунку представлено базову векторну діаграму для відцентрового насоса. Вона описує сили, які діють на молекулу води, що виходить з робочого колеса. $\vec{W}_2$ є відцентровою силою, а $\vec{u}_2$ – обертальною силою, що розвивається енергією обертання робочого колеса. Ці дві сили утворюють вектор $\vec{C}_2$, який забезпечує бажаний напір і потік насоса. Векторні діаграми, з якими працює проєктувальник насоса під час фактичного проєктування ефективного робочого колеса, набагато складніші, оскільки загальна конструкція повинна враховувати втрати на вході та інші фактори, такі як втрати через тертя всередині робочого колеса.

1.3 Регулювання водопостачання керуванням режимів роботи насосів

Для забезпечення визначеного режиму роботи насосної станції при зміні умов потрібно коригувати робочі режими насосних установок. Цю задачу можна розділити на два напрями: регулювання гідравлічних режимів насосів та регулювання енергоефективності електроприводу насосної станції.

Для насосних установок відцентрового типу застосовують такі методи регулювання подачі рідини та тиску:

- здійснення дроселювання трубопроводу;
- перепуск частини потоку рідини з вихідного патрубку насоса на вхідний;
- відключення або підключення насосів (поступове регулювання);
- зміна частоти обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу є досить поширеним методом регулювання тиску та подачі рідини. Регулюючим елементом у такому випадку є механічний пристрій у вигляді засувки, шибера, дросель-клапана, діафрагми і т. д., який розміщується на напірному патрубку насоса та за рахунок свого зміщення змінює поперечний перетин трубопроводу.

Не дивлячись на простоту використання даного методу регулювання, він має кілька недоліків. Один з них полягає у зниженні ККД насосної станції, особливо у випадку глибокого регулювання подачі. Це обумовлюється тим фактом, що енергія, яка була витрачена на долаття додаткового опору пристрою регулювання, перетворюється на теплові втрати, що визначає низьку енергоефективність цього підходу. Крім того, зростання тиску на вихідному отворі насоса при закритті засувки може призвести до скорочення строку служби ущільнень і запірних пристроїв, а також до зростання витoku рідини через стики та щілини. Іншим недоліком цього методу є можливість одностороннього регулювання в напрямку зменшення подачі або тиску насосної установки.

Регулювання тиску через перепуск базується на відведенні частки потоку рідини із виходу насоса на вхід за допомогою відведення із засувкою. При цьому

енергія, яка витрачається на циркуляцію води (рідини) по холостому колу, не створює корисної роботи, чим знижується ККД установки, в особливості сильно при глибокому регулюванні. Для даного метода, як і попереднього справедливим є, що подача насосної станції регулюється лише в напрямку зменшення.

Регулювання подачі насосної станції за допомогою ступінчастого методу відбувається шляхом включення або відключення насоса або групи насосів. Цей спосіб легкий з точки зору реалізації, оскільки не потребує додаткових регулюючих пристроїв. Однак він не забезпечує постійного та якісного підтримання тиску при зміні споживання рідини і викликає часті запуски двигунів, що скорочує термін експлуатації обладнання та вимагає будівництва проміжного акумулюючого резервуара з метою згладжування коливань подачі. До того ж, електроприводи в такому випадку працюють не в оптимальному режимі, що знижує загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) всієї насосної станції.[1]

Згадані особливості призводять до скорочення терміну служби насосної станції, на якій використовуються описані вище методи регулювання.

Регулювання обертової швидкості робочого колеса насосної установки дає змогу здійснювати безперервне регулювання продуктивності насосної станції з меншими витратами енергії, у порівнянні з попередніми варіантами. Однак цей метод вимагає значних витрат на регулююче обладнання, особливо для установок з великою потужністю, і може призвести до погіршення електромагнітної сумісності з електромережею. Тим не менше, зниження вартості регульованих електроприводів робить цей метод найбільш перспективним.

Також можливе поєднання декількох методів регулювання. Один з широко використовуваних варіантів - це поєднання ступінчастого регулювання за принципом зміни частоти обертання робочого колеса насоса при організації частотно-регульованого електроприводу. Відповідно до рекомендацій, регульованим електроприводом може бути обладнаний один насосний агрегат із групи в 2-3 робочих агрегатів.

Для забезпечення енергоефективності обладнання насосної станції важливо обрати оптимальний режим роботи насосів за критерієм енергоспоживання при їх одночасній роботі.

Основні функції автоматичної системи керування водопостачанням

У відповідності до вимог Державних будівельних норм (ДБН), насосні станції всіх призначень мають бути спроектовані таким чином, щоб керування ними відбувалося, як правило, без постійного присутнього персоналу. Керування може бути автоматичним - залежно від технологічних параметрів (серед них: рівень води в ємностях, тиск або витрата води в мережі), дистанційним – з пункту керування, або місцевим – коли персонал періодично відвідує станцію для передачі необхідних сигналів на пункт керування або для присутності на місці.

Як правило, керування регульованим електроприводом здійснюється автоматично в залежності від величини тиску в контрольних точках мережі, витрати води, що подається в мережу, та рівня води в резервуарах.

У насосних станція потрібно бути передбачене замір тиску в напірних водоводах та у кожного насосного агрегату, об'єму витраченої води на напірних водоводах, а також контроль рівня води в дренажних приямках та вакуум-котлі, температури підшипників агрегатів (за потреби), аварійного рівня підтоплення (появи води в машинному залі на рівнях основи електроприводів). Коли потужність насосного агрегату складає 100 кВт і більше також необхідно передбачити періодичне визначення коефіцієнта корисної дії з похибкою до 3%.

1.4 Приводи насосів

Водяні насоси приводяться в дію електродвигунами, паровими турбінами, а також дизельними двигунами, що працюють на газі або нафті. Більшість насосів працюють від електродвигунів. Насоси, що приводяться в дію двигунами, використовуються для осушування в будівельній галузі та для резервного обслуговування пожежних насосів. Насоси з двигунами також

встановлюються на великих насосних станціях, де необхідне джерело енергії, відмінне від електрики; це може бути в районах з обмеженням електропостачання або де потрібна аварійна робота насосів. Насоси, що приводяться в дію турбінами, рідко зустрічаються у водопровідних системах.

Водяні насоси зі змінною швидкістю стали дуже поширеними через їхні великі переваги та значне зниження початкових витрат. Частотно-керовані приводи використовуються в більшості випадків завдяки їхній високій ефективності. Механічні приводи більше не використовуються для насосів, за винятком випадків, коли умови навколишнього середовища виключають використання частотно-керованих приводів.

1.5 Електричний двигун як привод насоса

Більшість насосів з електродвигунами у водопровідних системах живляться від одно- або трифазної мережі частотою 50 Гц. Майже всі електродвигуни в цих водопровідних системах є асинхронного типу з короткозамкненим ротором. Двигуни великої потужності можуть бути синхронного типу. Асинхронні двигуни з фазним ротором і двигуни постійного струму мають мало переваг у більшості випадків застосування насосних установок через широке використання приводів зі змінною швидкістю. [2]

1.5.1 Особливості живлення електродвигунів

Усі електродвигуни спроектовані для роботи з певними коливаннями електричної потужності, якою вони живляться. Нижче наведені загальні правила для коливань характеристик потужності:

1. Коливання напруги повинні бути обмежені до $\pm 10\%$ відсотків при номінальній частоті.
2. Коливання частоти повинні бути обмежені до $\pm 5\%$ при номінальній напрузі.
3. Сукупне коливання напруги і частоти повинно бути обмежене до арифметичної суми 10% .
4. Для багатофазних двигунів дисбаланс напруги між фазами повинен бути обмежений до 1% .

Дисбаланс напруги між фазами часто ігнорується, особливо в сільських водопровідних системах, де комунальне підприємство підключає однофазні трансформатори до трифазної системи передачі. Це може спричиняти проблеми для насосних двигунів, особливо там, де використовуються занурювальні насосні двигуни. Виробник цих двигунів зазвичай надає інформацію про допустимий дисбаланс для них.

1.5.2 Частотно-керовані двигуни

Перетворювач частоти (ПЧ) — це пристрій, який змінює швидкість обертання двигуна шляхом зміни частоти електричної енергії, що подається на електродвигун. Швидкість двигуна безпосередньо пропорційна частоті цієї енергії. Це основний принцип конструкції цих приводів. Тому їх слід називати приводами змінної частоти, а не приводами з регульованою швидкістю або приводами з регульованою частотою.

Переваги ПЧ для насосів відомі протягом багатьох років. Вони дозволяють використовувати прості, надійні та недорогі асинхронні двигуни, при цьому забезпечуючи економію на експлуатаційних витратах завдяки змінній швидкості. На жаль, установки генератор-двигун, тиратрони та ігнітрони, єдині методи отримання джерела змінної частоти, були надто дорогими, окрім найкритичніших застосувань.

Винахід тиристора у середині 1960-х років кардинально змінив ситуацію. З'явився пристрій, який міг контролювати потужність на рівні мегаватів, але був економічно вигідним і надійним.

Приводи зі змінною швидкістю швидко з'явилися для двигунів постійного струму, а незабаром і для асинхронних двигунів змінного струму. Ранні приводи змінної частоти на основі тиристорів, які здебільшого були інверторами джерела напруги, іноді мали недосконалі характеристики, але вони відкрили величезну нову сферу застосування у водопровідній промисловості. Наразі конструкції приводів вдосконалилися, але все ще тривають важливі нові розробки, які вирішують деякі основні проблеми застосування з боку електричної складової.

1.5.3 Ранні конструкції частотних перетворювачів

Протягом багатьох років поле частотних перетворювачів було доміноване шестиімпульсними інверторами джерела напруги і струму на основі тиристорів. Блок-схеми цих приводів показані на рис. 1.3, а. Обидва вони генерують вихідну напругу змінного струму, поперемінно перемикаючись між трьома парами тиристорів. Конденсаторні елементи використовуються для примусу навантажувального струму переключатися з одного набору на інший. В інверторі джерела напруги набір з шести діодів у випрямлячі використовується для заряджання фільтрувального конденсаторного елементу до напруги постійного струму, що дорівнює піковій вихідній напрузі навантаження. Фільтру у вигляді конденсаторного елементу служить для ізоляції інвертора від живильної лінії змінного струму. Цей фільтрувальний конденсаторний елемент додається до конденсаторів, що використовуються для перемикання.

Інвертор джерела струму замінює фільтрувальний конденсатор великим індуктором, який виконує ту ж функцію ізоляції та фільтрації, але робить привід більш стійким до збурень у лінії та навантаженні. Він також дозволяє віддавати

енергію від навантаження до лінії, що є важливою перевагою, коли високоінерційні навантаження потрібно зупинити швидко.

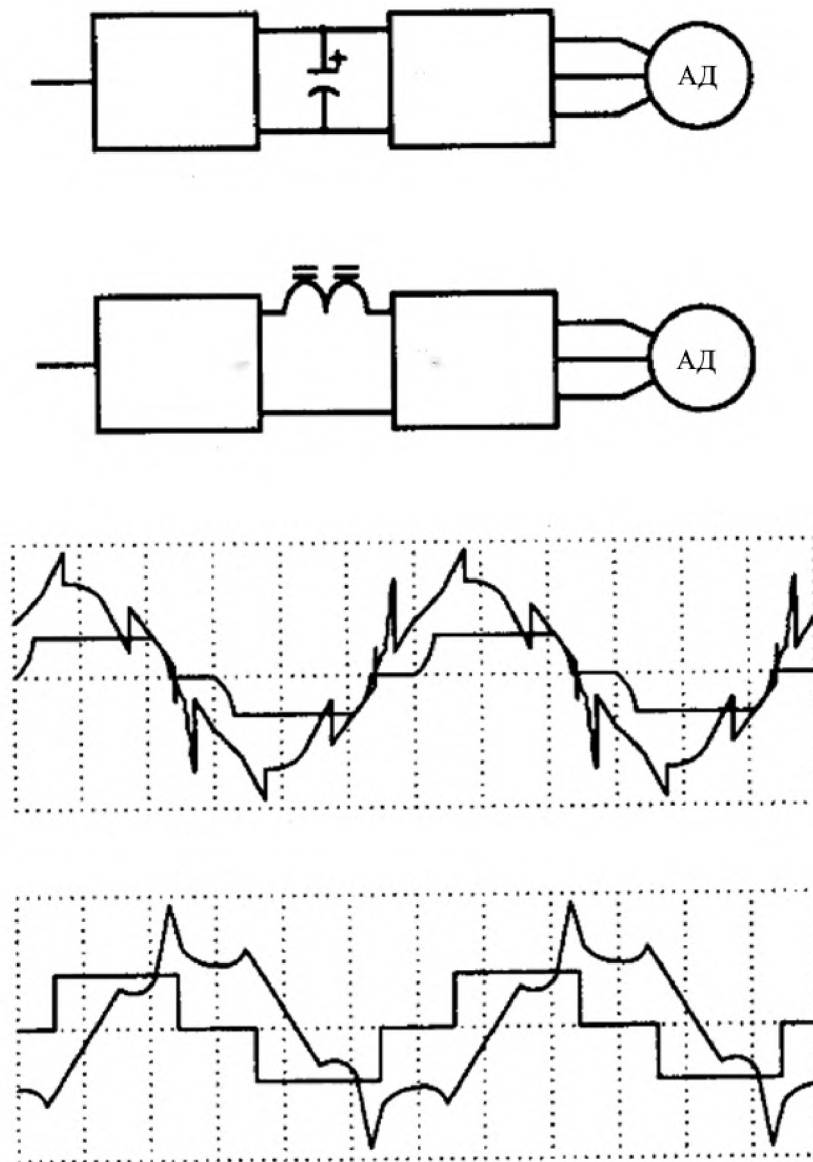


Рисунок 1.3 – Шестиімпульсні приводи змінної частоти

Обидва ці приводи у своїй базовій формі генерують шестиімпульсну вихідну форму хвилі: напруги для інвертора джерела напруги і струму для інвертора джерела струму. Типові форми хвиль показані на рис. 1.3,б. Величина напруги прямо пропорційна частоті навантаження, так що відношення вольт на герц залишається постійним. Двигун працює на постійному рівні потоку i , за винятком вентиляційних міркувань, здатен працювати з постійним крутним

моментом. Гармоніки у вихідному струмі викликають додаткове нагрівання, що зазвичай призводить до зниження потужності на 10-15 відсотків для стандартних двигунів. [3]

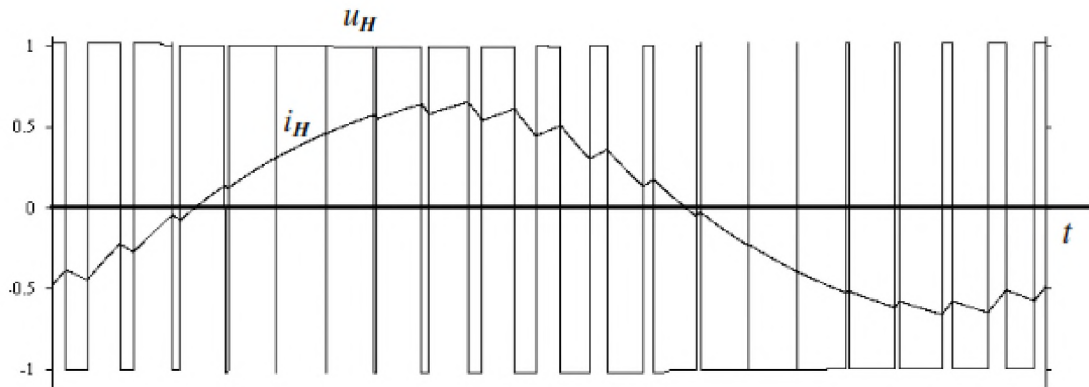


Рисунок 1.4 – Напруга і струм навантаження при використанні синусоїдальної ШІМ

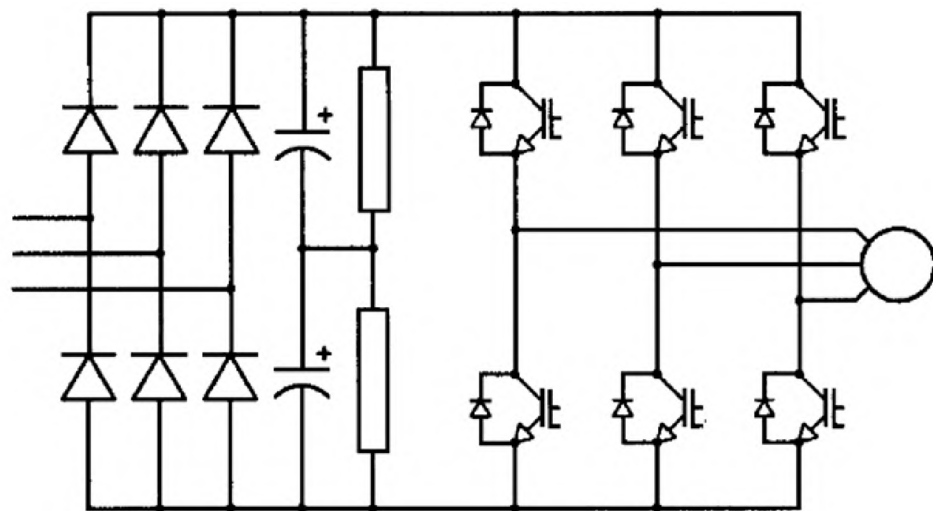


Рисунок 1.5 – Схема електроприводу з широтно-імпульсним керуванням перетворювача частоти

1.5.4 Приводи з широтно-імпульсним керуванням

Розробка потужних транзисторів у 1980-х роках призвела до появи нового типу приводів змінної частоти – приводів з широтно-імпульсною модуляцією

(ШІМ). Принцип широтно-імпульсної модуляції є абсолютно іншою технікою отримання керування напругою та змінною вихідною частотою порівняннi з шестиімпульсними приводами.

Шестиімпульсні перетворювачі джерела напруги і струму змінюють амплітуду комутованої напруги, тоді як ШІМ-пристрої змінюють вихідну напругу шляхом багаторазового підключення і відключення фіксованої напруги з високою частотою рис. 1.4. Співвідношення між періодами "вмикання" і "вимикання" визначає величину напруги.

ШІМ-привод складається з випрямляча діодів, фільтрувального конденсаторного банку та набору з шести комутуючих транзисторів. Спрощена схема показана на рисунку 1.5. Випрямляючі діоди сприяють тому, що проміжний конденсатор заряджається до визначеного рівня напруги постійного струму. Транзистори керуються так, що один транзистор у кожній фазі завжди проводить, і шлях для струму існує через транзистор або його зворотний діод.

Переваги PWM Приводів

- — знижені гармонійні спотворення. випрямляч діодів і фільтрувальний конденсатор значно знижують гармонійні ефекти на енергосистему.
- — менший потенціал перешкод: потенціал перешкод значно менший, але для усунення низькочастотних гармонічних струмів все ще потрібні коригувальні заходи, що веде до збільшення витрат.
- покращений коефіцієнт потужності: коефіцієнт потужності для PWM-приводів набагато кращий, ніж для шестикрокових блоків. Він завжди складає 0.90 або більше і майже не залежить від швидкості двигуна.

Таким чином, приводи з широтно-імпульсною модуляцією (PWM) забезпечують більш точний контроль напруги та частоти, знижують гармонійні спотворення та покращують коефіцієнт потужності, що робить їх ідеальним вибором для застосувань, де важлива енергоефективність і точність керування двигуном. [4]

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розрахунок водоспоживання житловим комплексом

Об'єкт, якому забезпечується водопостачання – житловий комплекс, що складається з 500 квартир. Число мешканців складає 1750 осіб.

Приймемо орієнтовне водоспоживання одним мешканцем на рівні $0,2 \text{ м}^3/\text{добу}$. Таким чином можна визначити необхідний об'єм води, що споживається всім комплексом:

$$Q_{жк} = N_m \cdot Q_m = 1750 \cdot 0,2 = 350 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

Водоспоживання мешканцями житлових масивів вирізняється нерівномірністю. Типовий графік водоспоживання житловим комплексом приведений на рисунку 2.1.

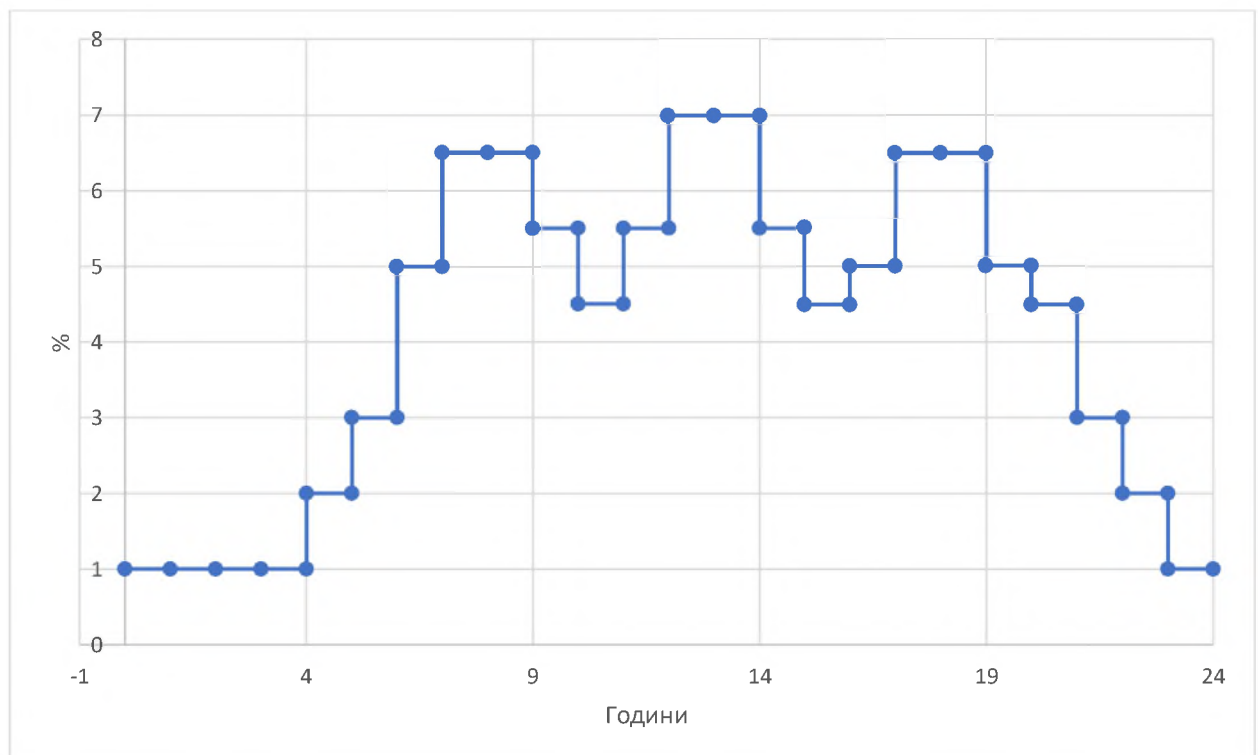


Рисунок 2.1 – Типовий графік водоспоживання житловим комплексом

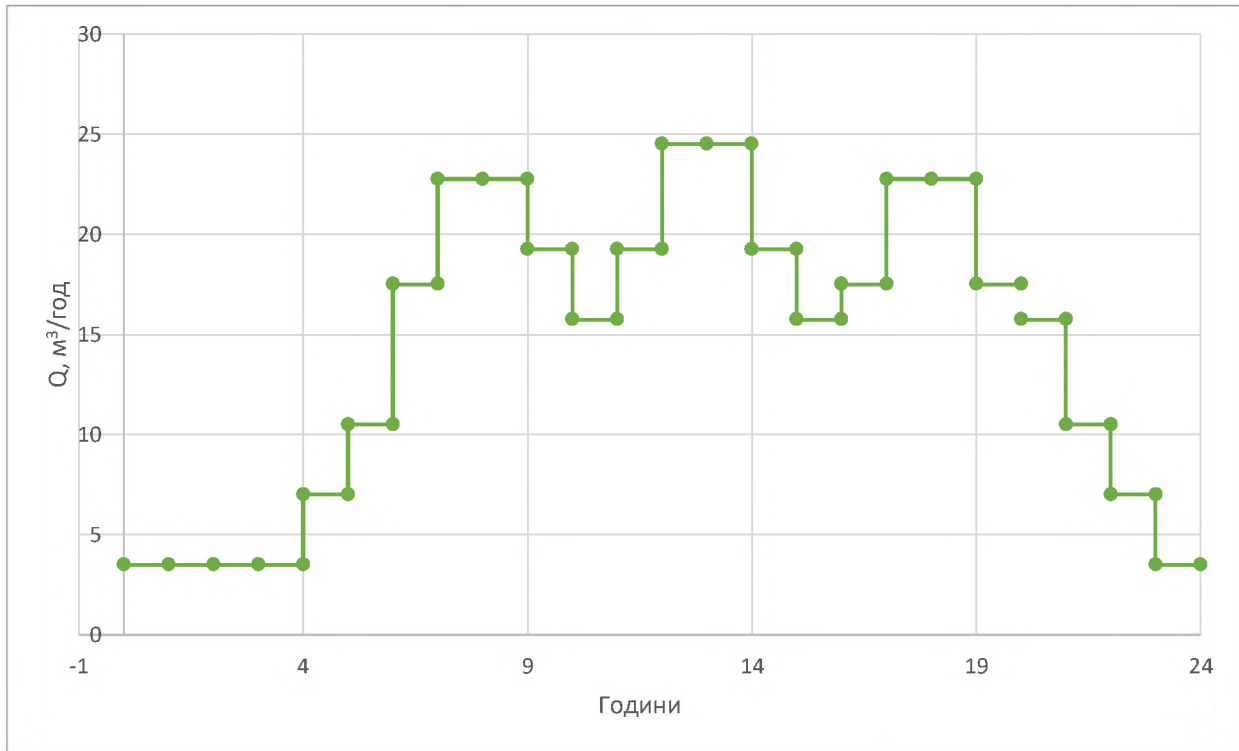


Рисунок 2.2 – Графік водоспоживання житловим комплексом

Насосна станція другого підйому будується із урахуванням режиму водоспоживання, який протягом доби нерівномірний. Регулювання нерівномірності роботи насосних станцій першого та другого підйомів досягається за рахунок спорудження резервуарів чистої води (РЧВ) та водонапірних башт. [5]

Водонапірні башти використовують для створення необхідного тиску води у мережі. У РЧВ, водонапірних баштах зберігається запас води, необхідний для гасіння пожежі.

Схеми водопостачання населених пунктів з використанням підземних вододжерел будують, як правило, без очисних споруд (рис. 2.3). Вода з підземного вододжерела насосами, встановленими в артезіанській свердловині 1, подається безпосередньо до резервуарів чистої води 2. Насоси 3 НС-II забирають воду з РЧВ 2 та через водонапірну башту 4 подають її водоспоживачам 5.

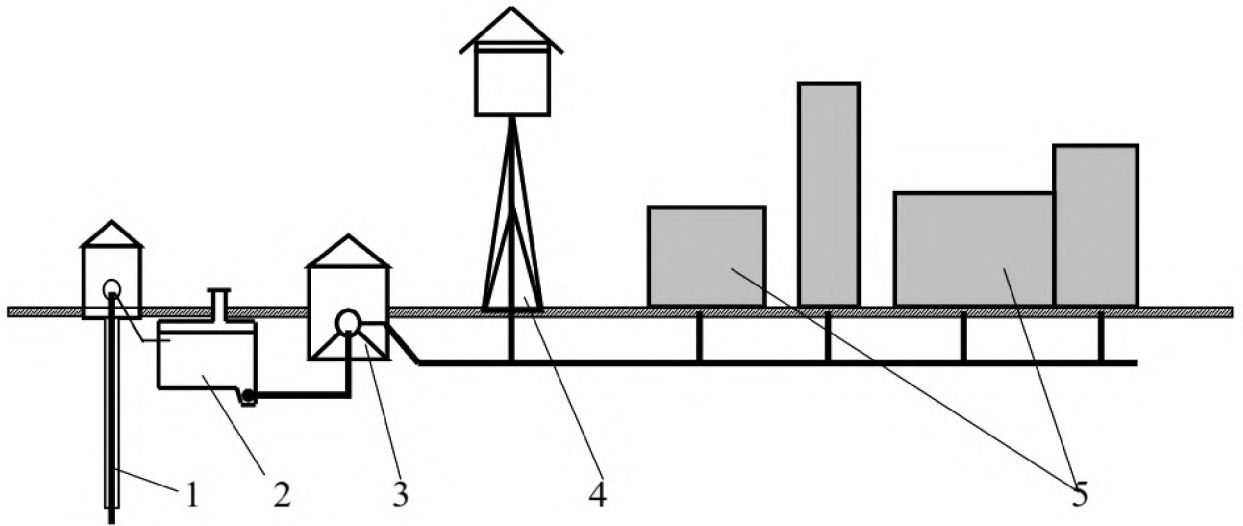


Рисунок 2.3 – Схема водопостачання населеного пункту з використанням підземного вододжерела:

1 – артезіанська свердловина з насосом, 2 – резервуар чистої води, 3 – насосна станція другого підйому, 4 – водонапірна башта, 5 – водоспоживачі населеного пункту

Діаметри труб на кожній розрахунковій ділянці визначаються при режимі роботи мережі до пожежі за формулою:

$$d_{\text{діл}} = \sqrt{\frac{4q_{\text{діл}}}{1000 \cdot \pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6.806}{1000 \cdot 3.14 \cdot 1}} = 0.093 \text{ м},$$

де $q_{\text{діл}} = 6,806 \text{ л / с}$ – витрата води по ділянці;

v – швидкість руху води по ділянці (визначається за таблицею 2.6[6]), м/с.

Втрата напору на ділянці 1

$$h_{\text{діл1}} = A \cdot l_{\text{діл}} q_{\text{діл}}^2 = 267 \cdot 300 \cdot (6,806 \cdot 10^{-3})^2 = 3,71 \text{ м}$$

Для інших ділянок аналогічно. Результати приведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Визначення діаметрів труб на ділянках мережі

№ діл	$q_{\text{діл}}, \text{ л/с}$	$d_{\text{діл}}, \text{ м}$	$h_{\text{діл}}, \text{ м}$	$A, \text{ м}^3/\text{с}$	$l_{\text{діл}}, \text{ м}$	$d, \text{ мм}$
1	6,806	0,093	3,71	267	300	100
2	0,340	0,021	1,365	436700	27	25
3	0,014	0,004	0,00061	1643000	2	15

Для тупикових мереж загальні втрати напору дорівнюють сумі втрат напору на ділянках, які з'єднують точку живлення мережі з диктуючою точкою, з урахуванням втрат напору в місцевих опорах:

$$h_m = 1,05 \cdot \sum h_{\text{діл.і}} = 1,05 \cdot (3,71 + 1,365 + 0,00061) = 5,33 \text{ м}$$

Висота водонапірної башти визначається згідно рисунку 2.4:

$$H_{\text{ББ}} = h_m + H_e + (z_{\text{д.т.}} - z_{\text{ББ}}) = 5,33 + 34 + (8 - 24) = 23,33 \text{ м},$$

де $H_e = 10 + 4 \cdot (n - 1) = 10 + 4 \cdot (7 - 1) = 34 \text{ м}$ – вільний напір в диктуючій точці, м;

n – поверховість будівель;

$z_{\text{д.т.}}$ – геодезична відмітка диктуючої точки, м;

$z_{\text{ББ}}$ – геодезична відмітка встановлення водонапірної башти, м.

Регулюючий об'єм бака водонапірної башти

$$W_{\text{рег}} = \frac{K \cdot Q_{\text{розрах}}}{100} = \frac{3,7 \cdot 350}{100} = 12,95 \text{ м}^3,$$

де $K = 3,7\%$ – коефіцієнт ймовірного споживання води з бака протягом доби;

$Q_{\text{розрах}}$ – розрахункові витрати води за добу максимального водоспоживання, $\text{м}^3/\text{год}$.

Недоторканий запас води бака водонапірної башти

$$W_{нз} = W_{нпз} + W_{нз.з-п} = 24 + 4.08 = 28.08 \text{ м}^3,$$

$$\text{де } W_{нпз} = \frac{3600 \cdot \tau \cdot Q_{пож}}{1000} = \frac{3600 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 5 + 30)}{60 \cdot 1000} = 24 \text{ м}^3 \text{ запас води, необхідний на } \tau$$

годин гасіння пожежі, м^3 ; $Q_{пож}$ – витрати води на пожежогасіння, л/с; τ – термін гасіння пожежі, який визначається згідно з п. 6.2.13 [7];

$$W_{нз.з-п} = (Q_{\max год} - Q_{\text{душ}}^{\max год}) \cdot \tau = \frac{(24,5 - 0) \cdot 10}{60} = 4,08 \text{ м}^3 \quad - \quad \text{запас води, що}$$

необхідний на потреби населеного пункту та виробничого підприємства за годину максимального водоспоживання (без урахування витрат води на прийняття душу працівниками на підприємстві) протягом τ годин гасіння пожежі, м^3 ;

$Q_{\max год}$ – розрахункова максимальна годинна витрата води для всіх водоспоживачів водопровідної мережі, $\text{м}^3/\text{год}$;

$Q_{\text{душ}}^{\max год}$ – витрата води на прийняття душу за годину максимального водоспоживання, якщо вона припадає на цей час, $\text{м}^3/\text{год}$.

Обираємо безшатрову башту з цегляним стволом та сталевим баком. Проект ЦНДІЕП. Висота ствола башти 24 м, об'єм бака 100 м^3 .

Знаючи об'єм типового бака водонапірної башти, визначають його діаметр:

$$D_{\text{бвб}} = 1,2 \sqrt[3]{W_{\text{бвб}}^{\text{типовий}}} = 1,2 \sqrt[3]{100} = 4,64 \text{ м}$$

Знаючи діаметр типового бака, визначають його висоту:

$$H_{\text{бвб}} = \frac{4W_{\text{бвб}}^{\text{типовий}}}{\pi D_{\text{бвб}}^2} = \frac{4 \cdot 100}{3,14 \cdot 4,64^2} = 5,92 \text{ м}$$

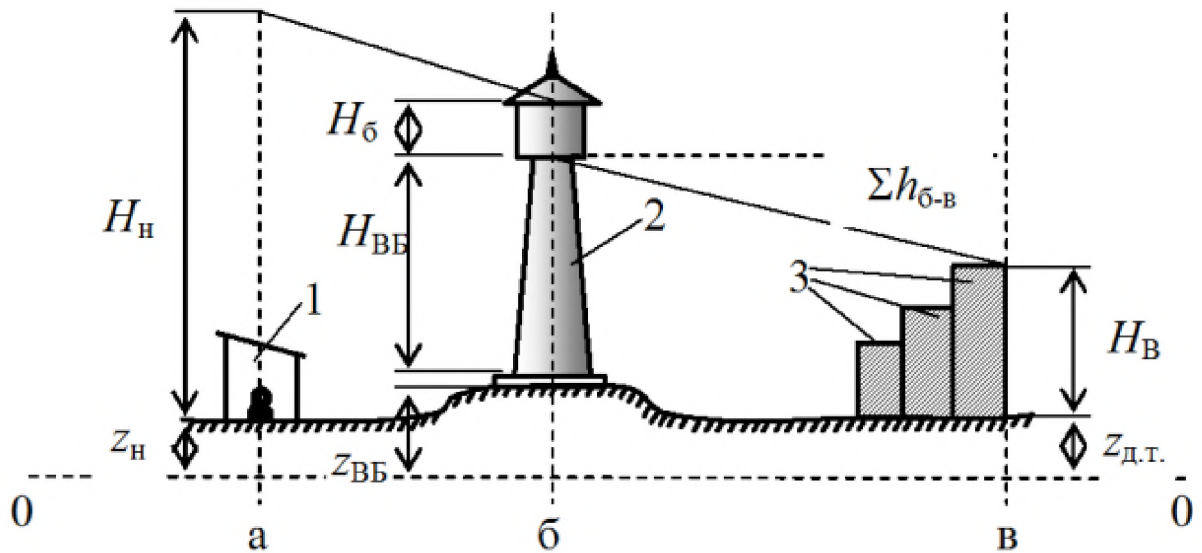


Рисунок 2.4 – Визначення висоти водонапірної башти:

1 – насосна станція другого підйому; 2 – водонапірна башта; 3 – водоспоживачі

Необхідний напір насоса

$$H_{HC-II} = H_{BB} + H_{бBB} + h^{HC-II-BB} + (z_{BB} - z_{HC-II}) = 24 + 5,92 + 0,45 + 24 - 18 = 36,37 \text{ м}$$

H_{BB} – висота водонапірної башти, що прийнята за типовим проектом, м;

$H_{бBB}$ – висота баку водонапірної башти, м;

z_{BB} – геодезична відмітка встановлення водонапірної башти, м;

z_{HC-II} – геодезична відмітка встановлення насосної станції другого підйому, м;

$h^{HC-II-BB}$ – втрати напору в частині мережі між HC-II та водонапірною баштою, м.

$$h^{HC-II-BB} = 1,05 \cdot 267 \cdot 35 \cdot (6,806 \cdot 10^{-3})^2 = 0,45 \text{ м}$$

Необхідний напір при заданій продуктивності може бути забезпечений двома насосами GEJ405M2ME2.2 та GEK505M2ME3.7, потужністю 2.2 кВт і 3.7 кВт відповідно. Напірні характеристики приведені на рисунку 2.5, відповідно під номерами 4 і 10. Їх параметри зведені до таблиці 2.2. Загальний вигляд насосів приведений на рис. 2.6.

2.2 Вибір насосного обладнання

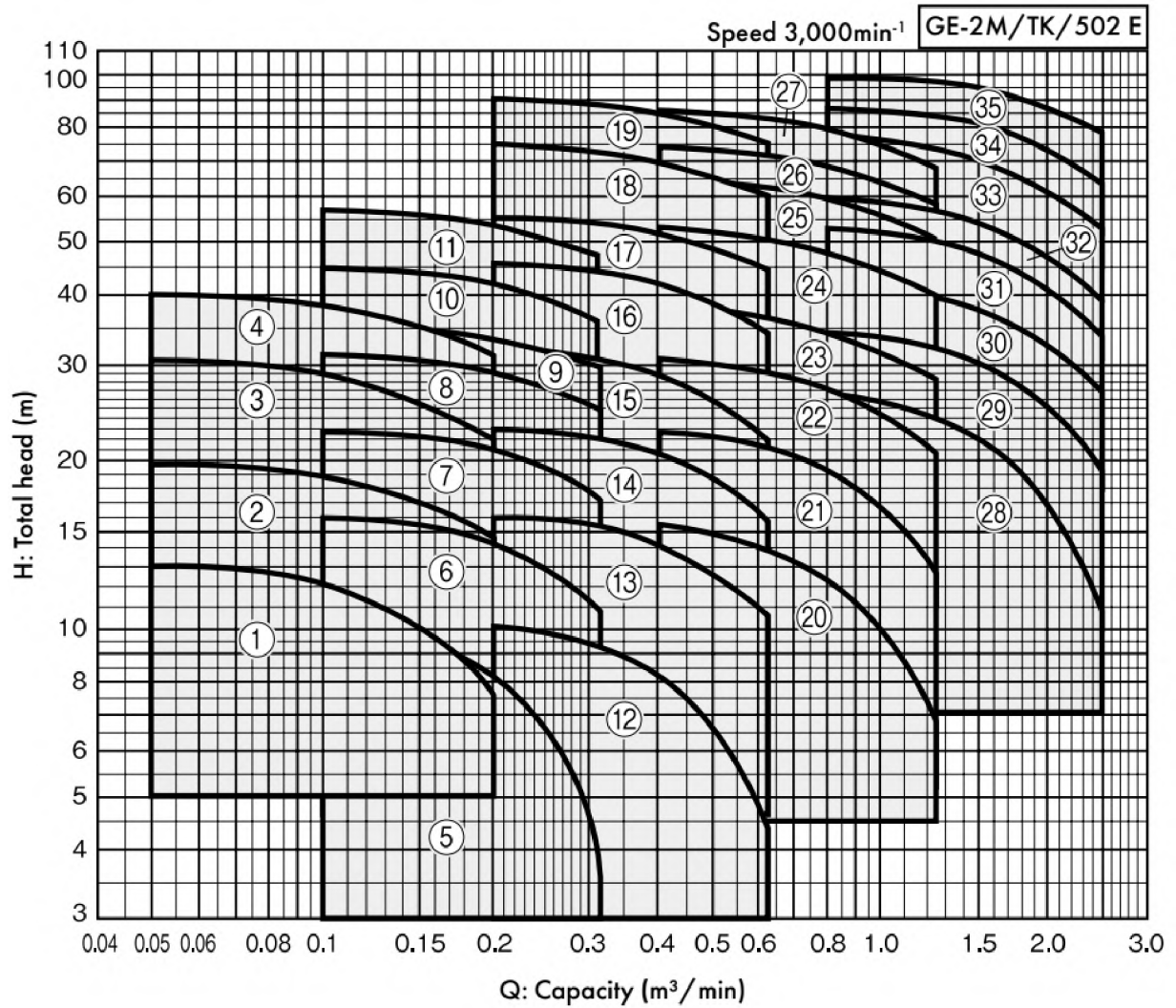


Рисунок 2.5 – Характеристики насосів серії GE-2M

Таблиця 2.2 – Параметри насосів GE-2M

Тип	Потужність двигуна, кВт	Частота обертання ротора, об/хв	Діапазон регулювання			
			Мін. подача, м ³ /хв	Напір, м	Макс. подача, м ³ /хв	Напір, м
GEJ405M2ME2.2	2,2	3000	0.05	40	0.2	31.5
GEK505M2ME3.7	3,7	3000	0.1	44.5	0.32	35.5

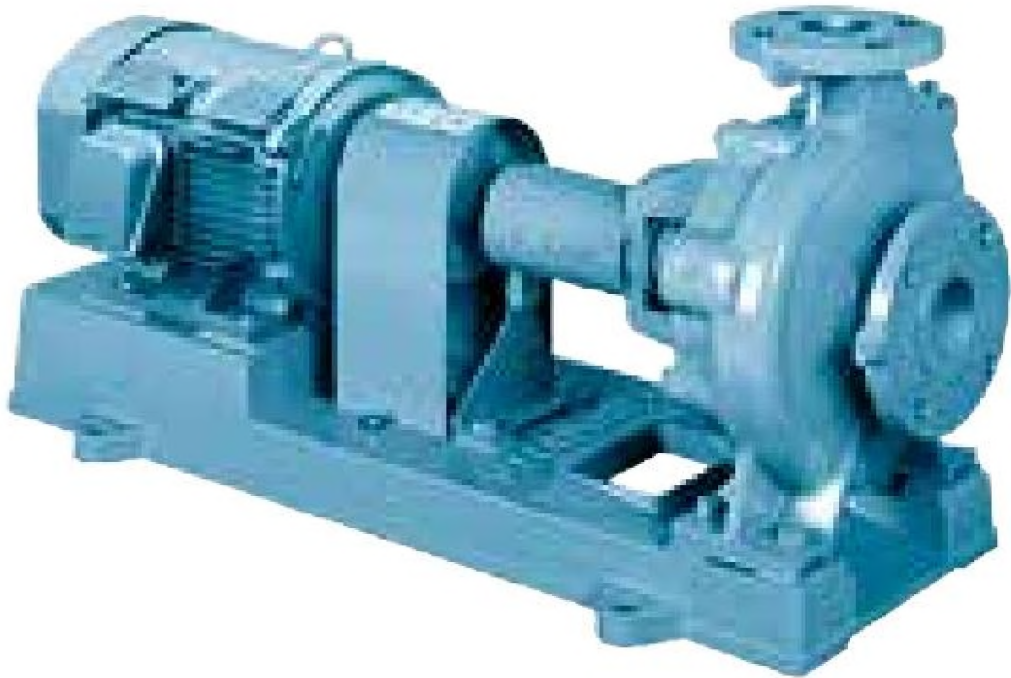


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд насосів серії GE-2М

Таблиця 2.3 – Паспортні дані АД серії W22 IE3 2.2 kW 2P L100L 3Ph 220/380V 50 Hz IP55

Номінальна потужність	2.2 кВт
Номінальна лінійна напруга	$U_n=380 \text{ В}$
Номінальна частота напруги	50 Гц
Число полюсів	2
Момент інерції	$0.00588 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	86.6%
Коефіцієнт потужності	0.87
Перевантажувальна здатність	3.3
Пусковий момент	3.2
Кратність пускового струму	8.5
Номінальна частота обертання	2910 об/хв

Для організації частотного керування обираємо перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC 51 2,2 кВт/3ф. Параметри приведені в таблиці 2.4. Загальний вигляд представлений на рисунку 2.7.

Таблиця 2.4 – Параметри Danfoss VLT Micro Drive FC 51 2,2 кВт/3ф

Напруга мережі живлення (LI, L2, L3)	
Діапазон напруг	1 x 200-240 В $\pm 10\%$ 3x200-240 В $\pm 10\%$ 3x380-480 В $\pm 10\%$
Частота мережі	50 Гц
Коефіцієнт зсуву фаз ($\cos \varphi$)	(> 0,98)
Переключення на стороні живлення (LI, L2, L3)	1 - 2 рази на хвилину
Вихідні характеристики (U, V, W)	
Вихідна напруга	0-100 % напруга мережі
Вихідна частота	0 - 200 Гц (режим VVC+) 0-400 Гц (режим U/f)
Переключення на виході	Необмежено
Час прискорення (гальмування)	0,05-3600 с

Особливості та переваги Danfoss VLT Micro Drive FC 51

Продумана конструкція: Компактна будова, оптимізація теплових потоків та «книжкова» конструкція дозволяють монтувати пристрої пліч-о-пліч без втрати продуктивності.

Високий ККД: Коефіцієнт корисної дії досягає 98%.

Керування кількома двигунами: Можливість керувати роботою кількох двигунів, з'єднаних паралельно.

Автоматична адаптація системи: Інвертор автоматично вимірює параметри електроприводу (напруга, швидкість обертання ротора, температура тощо) і коригує частотні характеристики, якщо показники стають критичними, повертаючи нормальну роботу.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд Danfoss VLT Micro Drive FC 51 2,2 кВт/3ф

Різноманітні варіанти управління: Контроль та управління можуть здійснюватися дистанційно, в автоматичному режимі або вручну.

Захист від пилу: Друковані плати покриті лаком, що мінімізує проникнення пилу.

Обмеження радіоперешкод: Вбудований фільтр ЕМС знижує вплив радіоперешкод від кабелю двигуна.

Підвищена надійність і тривалість експлуатації: Оптимізований радіатор ефективно відводить тепло від електроніки, що покращує надійність і збільшує термін експлуатації приводу.

Зменшення споживання енергії: Кінетична енергія може бути перетворена на гальмівну силу для уповільнення роботи двигуна, що знижує енергоспоживання.

3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

3.1 Математичний опис асинхронного двигуна

Отримати більш точне уявлення про перебіг перехідних процесів можемо провівши дослідження динаміки системи ПЧ-АД, використовуючи еквівалентну двофазну модель двигуна у векторному представленні. Математичний опис процесів перетворення енергії в асинхронному двигуні проводиться під час роботи від мережі. Перетворення енергії в цьому двигуні є складним завданням через істотну нелінійність рівнянь, зумовлену добутком змінних.

Асинхронний двигун за структурою є трифазним. Це веде до ускладнення математичного опису у зв'язку зі збільшення кількості рівнянь, через це процеси, що протікають в багатофазних електричних машинах представляються в еквівалентній двофазній моделі даної машини. Умова адекватності полягає в інваріантності потужності машини при виконанні перетворень рівнянь. При розв'язанні завдань перетворення кожен реальну змінну двигуна – напругу, струм, потокозчеплення – представляють вектором. Напрямок вектора жорстко пов'язаний із відповідною даній обмотці (статора чи ротора) віссю координат. Статорній обмотці відповідає нерухома ортогональна система координат з осями (α, β) , а роторній обмотці обертова система координат – (d, q) . Усі розрахункові змінні мають представлення в системі координат (u, v) , що обертається зі швидкістю ω_s відносно нерухомого статора. Перетворити реальні змінні двигуна в координатах (α, β) чи (d, q) у розрахункові (u, v) та назад проводиться за допомогою проєкцій відповідних векторів змінних на ці осі згідно з відомими геометричними закономірностями.

Для асинхронного двигуна запишемо Рівняння Кірхгофа:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot R_1 + \frac{d\dot{\psi}_1}{dt} + j\omega_c \dot{\psi}_1$$

$$0 = \dot{I}_2 R_2 + \frac{d\dot{\psi}_2}{dt} + j(\omega_c - \omega_{el}) \dot{\psi}_2$$

де U_1 – напруга живлення статора;

I_1, I_2 – відповідно, струм статора і ротора;

R_1, R_2 – відповідно, значення активного електричного опору статора та ротора;

$\omega_{el} = p_n \omega$ – електрична обертова кутова швидкість;

p_n – число пар полюсів асинхронного двигуна;

Значення потокозчеплень статора і ротора знаходяться за наступними формулами:

$$\dot{\psi}_1 = L_1 \cdot \dot{I}_1 + L_{12} \dot{I}_2 \quad (1.1)$$

$$\dot{\psi}_2 = L_{12} \cdot \dot{I}_1 + L_2 \dot{I}_2 \quad (1.2)$$

де L_1, L_2, L_{12} – значення індуктивності відповідно, обмоток статора, ротора і їх взаємна індуктивність.

Вектори напруги, струмів і потокозчеплення є комплексною сумою проєкцій на осі (u, v)

$$\dot{U}_1 = U_{1u} + jU_{1v}$$

$$\dot{I}_1 = i_{1u} + ji_{1v}$$

$$\dot{I}_2 = i_{2u} + ji_{2v}$$

$$\dot{\psi}_1 = \psi_{1u} + j\psi_{1v}$$

$$\dot{\psi}_2 = \psi_{2u} + j\psi_{2v}$$

Вираз для струму роторного кола визначається з рівняння (1.2):

$$\dot{I}_2 = \frac{1}{L} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} \dot{I}_1 \quad (1.3)$$

Підставивши вираз (1.3):

$$0 = \left(\frac{1}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12} \dot{I}_1}{L_2} \right) R_2 + \frac{d\dot{\psi}_2}{dt} + j(\omega_c - \omega_{el}) \dot{\psi}_2$$

це ж рівняння в операторній формі

$$0 = \frac{R_2}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} R_2 \dot{I}_1 + p \dot{\psi}_2 + j(\omega_c - \omega_{el}) \dot{\psi}_2$$

Замінімо співвідношення

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2}$$

Рівняння в такому випадку остаточно матиме вигляд

$$0 = \left(p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{en}) \right) \dot{\psi}_2 - L_2 \alpha \dot{I}_1 \quad (1.4)$$

З (1.1) з урахуванням (1.3) отримуємо вираз для потокозчеплення статора

$$\dot{\psi}_1 = L_1 \dot{I}_1 + L_{12} \left(\frac{1}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} \dot{I}_1 \right) = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2} \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 = \sigma \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 \quad (1.5)$$

$$\text{де } \sigma = \frac{(L_1 L_2 - L_{12}^2)}{L_2}$$

Підставивши параметри схеми заміщення в рівняння Кірхгофа для асинхронної машини формула для напруги приймає вигляд:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 R_1 + \frac{d}{dt} \left(\sigma \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 \right) + j\omega_c \left(\sigma \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 \right)$$

Запис в операторній формі:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 R_1 + p \sigma \dot{I}_1 + p \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 + j\omega_c \sigma \dot{I}_1 + j\omega_c \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2$$

і остаточно:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \left(R_1 + \sigma(p + j\omega_c) \right) + \frac{L_{12}}{L_2} (p + j\omega_c) \dot{\psi}_2 \quad (1.6)$$

Виконавши аналогічні заміни для роторного кола отримуємо перетворену систему рівнянь, що описує процеси, які протікають в асинхронному двигуні:

$$\begin{aligned}
\dot{U}_1 &= \dot{I}_1 \left(R_1 + \sigma(p + j\omega_c) \right) + \frac{L_{12}}{L_2} (p + j\omega_c) \dot{\psi}_2 \\
0 &= \left(p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{el}) \right) \dot{\psi}_2 - L_2 \alpha \dot{I}_1
\end{aligned} \tag{1.7}$$

Перше рівняння системи в координатних осях (u, v):

$$\begin{aligned}
U_{1u} + jU_{1v} &= (i_{1u} + ji_{1v}) \left(R_1 + \sigma(p + j\omega_c) \right) + \frac{L_{12}}{L_2} (p + j\omega_c) (\psi_{2u} + j\psi_{2v}) \\
U_{1u} + jU_{1v} &= (R_1 + \sigma p) i_{1u} + j(R_1 + \sigma p) i_{1v} + j\sigma\omega_c i_{1u} - \sigma\omega_c i_{1v} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2u} + \\
&+ j\frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2u} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2v} - \frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2v}
\end{aligned} \tag{1.8}$$

Проекції вектора напруги записуються:

$$\begin{aligned}
U_{1u} &= (R_1 + \sigma p) i_{1u} - \sigma\omega_c i_{1v} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2u} - \frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2v} \\
U_{1v} &= (R_1 + \sigma p) i_{1v} + \sigma\omega_c i_{1u} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2u} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2v}
\end{aligned} \tag{1.9}$$

Для другого рівняння системи (1.7) маємо аналогічно

$$\begin{aligned}
0 &= \left(p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{el}) \right) (\psi_{2u} + j\psi_{2v}) - L_{12} \alpha (i_{2u} + ji_{2v}) \\
0 &= (p + \alpha) \psi_{2u} + j(\omega_c - \omega_{el}) \psi_{2u} + j(p + \alpha) \psi_{2v} - (\omega_c - \omega_{el}) \psi_{2v} - \\
&- L_{12} \alpha i_{2u} - jL_{12} \alpha i_{2v}
\end{aligned}$$

Проекції вектора напруги записуються:

$$\begin{aligned} 0 &= (p + \alpha)\psi_{2u} - (\omega_c - \omega_{el})\psi_{2v} - L_{12}\alpha i_{2u} \\ 0 &= (p + \alpha)\psi_{2v} - (\omega_c - \omega_{el})\psi_{2u} - L_{12}\alpha i_{2v} \end{aligned} \quad (1.10)$$

В результаті системи рівнянь (1.1) і (1.2) записуються:

$$\begin{aligned} U_{1\alpha} &= (R_1 + \sigma p)i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\alpha} \\ U_{1\beta} &= (R_1 + \sigma p)i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\beta} \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned} 0 &= (p + \alpha)\psi_{2\alpha} + \omega_{el}\psi_{2\beta} - L_{12}\alpha i_{1\alpha} \\ 0 &= (p + \alpha)\psi_{2\beta} - \omega_{el}\psi_{2\alpha} - L_{12}\alpha i_{1\beta} \end{aligned} \quad (1.12)$$

З вищенаведених рівнянь знаходяться формули для струмів, потокозчеплення і його похідних:

$$\begin{aligned} i_{1\alpha} &= \frac{1}{R_1 + \sigma p} \left(U_{1\alpha} - \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\alpha} \right) \\ i_{1\beta} &= \frac{1}{R_1 + \sigma p} \left(U_{1\beta} - \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\beta} \right) \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned} \psi_{2\alpha} &= \frac{1}{p + \alpha} (L_{12}\alpha i_{1\alpha} - \omega_{el}\psi_{2\beta}) \\ \psi_{2\beta} &= \frac{1}{p + \alpha} (L_{12}\alpha i_{1\beta} - \omega_{el}\psi_{2\alpha}) \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned}
 p\psi_{2\alpha} &= L_{12}\alpha i_{1\alpha} - \omega_{ex}\psi_{2\beta} - \alpha\psi_{2\alpha} \\
 p\psi_{2\beta} &= L_{12}\alpha i_{1\beta} + \omega_{ex}\psi_{2\alpha} - \alpha\psi_{2\beta}
 \end{aligned}
 \tag{1.15}$$

Формула для моменту асинхронного двигуна:

$$M = \frac{3}{2} P_n L_{12} I_m (\dot{I}_1 \cdot \tilde{I}_2);$$

де $\tilde{I}_2 = i_{2u} - ji_{2v}$

Добуток струмів дорівнює:

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_1 \cdot \tilde{I}_2 &= \dot{I}_1 \left(\frac{1}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} \dot{I}_1 \right) = \frac{1}{L_2} \dot{I}_1 \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1u}^2 + \dot{i}_{1v}^2) = \\
 &= \frac{1}{L_2} (i_{1u} + ji_{1v}) (\psi_{2u} + j\psi_{2v}) - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1u}^2 + \dot{i}_{1v}^2) = \frac{1}{L_2} (i_{1u}\psi_{2u} + \psi_{2v}i_{1v}) + \\
 &+ j \frac{1}{L_2} (-i_{1u}\psi_{2v} + i_{1v}\psi_{2u}) - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1u}^2 + \dot{i}_{1v}^2);
 \end{aligned}$$

таким чином формула моменту в координатних осях (u, v) приймає вигляд:

$$M = \frac{3}{2} P_n \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1v}\psi_{1u} - i_{1u}\psi_{1v})$$

Перейшовши в координати статора момент двигуна складає:

$$M = \frac{3}{2} P_n \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1\beta}\psi_{2\alpha} - i_{1\alpha}\psi_{2\beta}) \tag{1.16}$$

Механічну частину електродвигуна описують відомим рівнянням динаміки:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M - M_c \quad (1.17)$$

де J_1 – момент інерції АД;

M_c – статичний момент навантаження.

Рівняння (1.3) - (1.9) представляють еквівалентну двофазну математичну модель АД в координатах статора ($\alpha - \beta$). На рис. 3.1 зображена структурна схема електродвигуна, що складена на їх основі.

Асинхронний двигун отримує живлення від трифазної мережі симетричною синусоїдальною напругою

$$\begin{aligned} U_A &= U_m \sin(2\pi f_1 t) \\ U_B &= U_m \sin\left(2\pi f_1 t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ U_C &= U_m \sin\left(2\pi f_1 t - \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

де U_m – амплітудне значення напруги живлення;

f_1 – частота напруги живлення.

Перехід до СК ($\alpha - \beta$) проводиться на підставі відомих співвідношень представлених на рис. 3.2

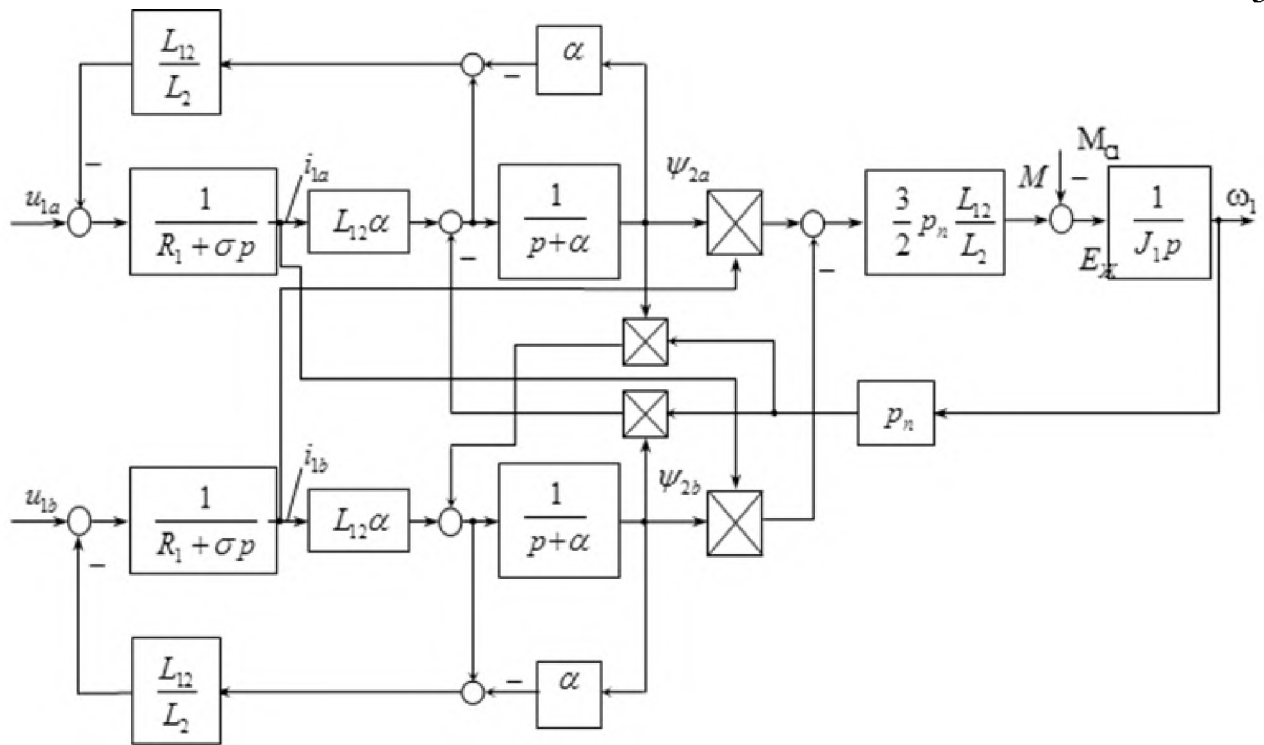


Рисунок 3.1 – Структурна схема асинхронного двигуна

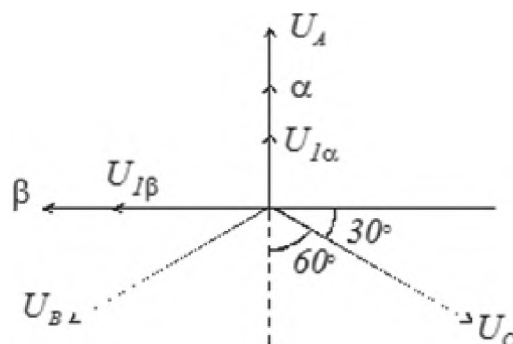


Рисунок 3.2 – Перехід від трифазної до двофазної системи координат

Структурну схему такого переходу приведено на рис. 3.3 . Амплітуда напруги живлення двигуна при цьому задається значенням U_m , а частота напруги – значенням f_l .

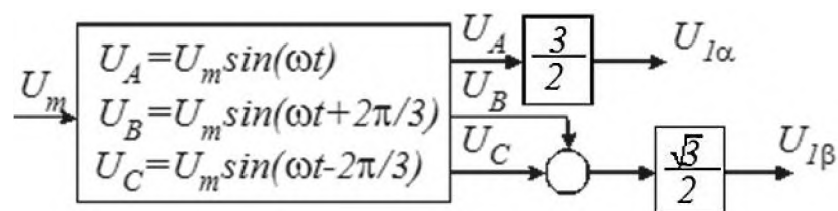


Рисунок 3.3 – Еквівалентна двофазна напруга живлення двигуна

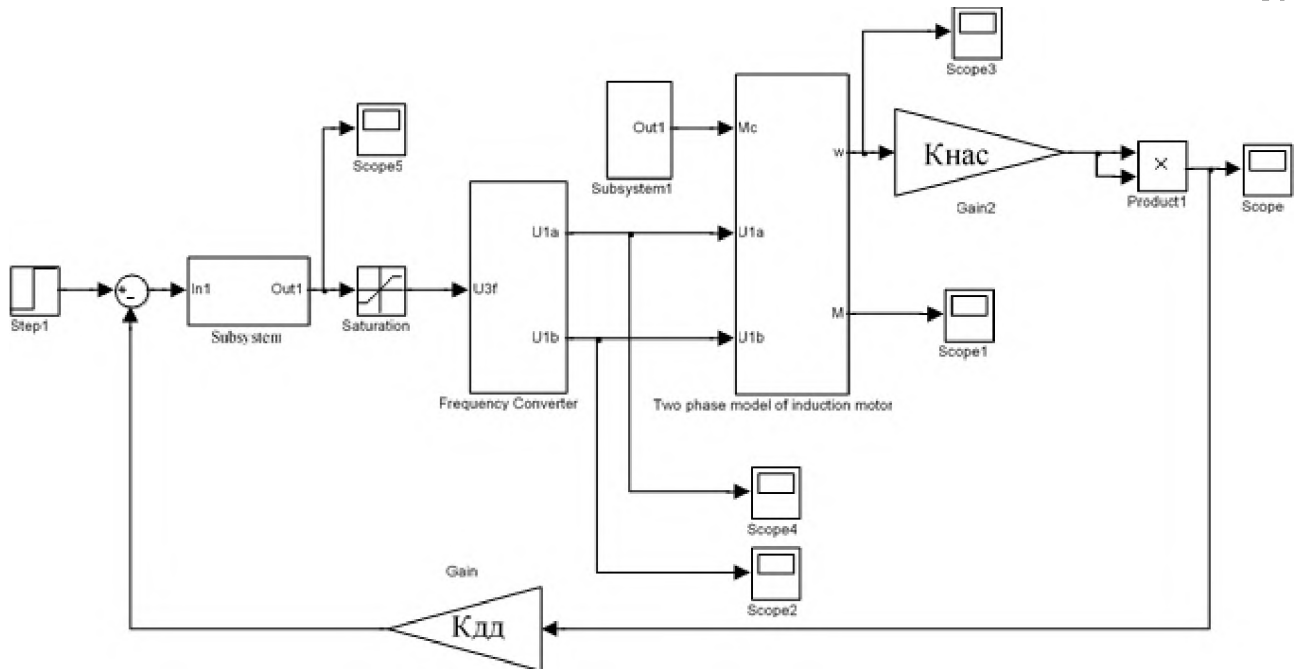


Рисунок 3.4 – Структурна схема системи перетворювач частоти-асинхронний двигун при застосовуванні еквівалентну двофазну модель двигуна в векторній формі

Дослідження перехідних процесів відбувалося при використанні бібліотеки Simulink, середовища MATLAB. Для цього була зібрана структурна схема ЕМС перетворювач частоти-асинхронний двигун на рис. 3.4.

3.2 Визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна

Користуючись даними табл. 2.3 та табл. 3.1 за відомою методикою знайдемо параметри Т-подібної схеми заміщення АД.

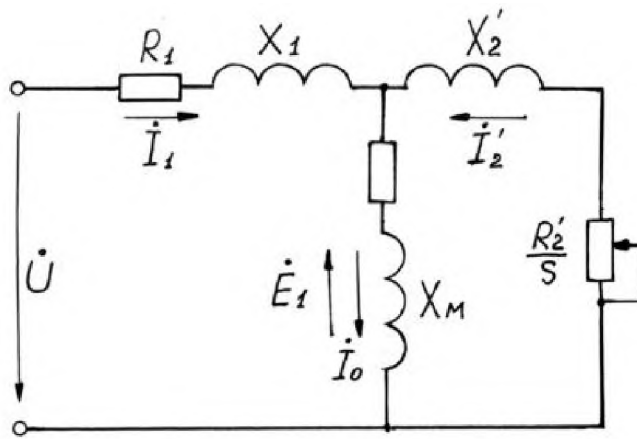


Рисунок 3.5 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Таблиця 3.1 – Параметри при завантаженні двигуна на 50%

$P_{2,50}, кВт$	$\eta_{50}, \%$	$\cos \varphi_{50}$
55	0.93	0.71

Кутова частота струму статора:

$$\omega_{0c} = 2\pi f_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад} / \text{с}$$

Синхронна швидкість двигуна

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0c}}{p} = \frac{314}{1} = 314 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальна швидкість ротора:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - s_n) = 314 \cdot (1 - 0,03) = 304,73 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{2200}{304,73} = 7,22 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критичний момент двигуна

$$M_{\kappa} = m_{\kappa} \cdot M_n = 3,3 \cdot 7,22 = 23,82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент двигуна

$$M_n = m_n \cdot M_n = 3,2 \cdot 7,22 = 23,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальна фазна напруга статора

$$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номінальне значення фазного струму статора

$$I_{\phi} = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0,866 \cdot 0,87} = 4,43 \text{ А}$$

Амплітудне значення фазної напруги статора

$$U_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

Амплітудне значення фазного струму статора

$$I_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot I_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 4,43 = 6,26 \text{ А}$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{\phi a}}{\omega_{0c}} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ Вб}$$

Пусковой струм статора

$$I_n = k_i \cdot I_\phi = 8,5 \cdot 4,43 = 37,66 \text{ А}$$

Струм статора при 50% навантаження

$$I_{\phi 50} = \frac{P_{2,50}}{3 \cdot U_\phi \cdot \eta_{50} \cdot \cos \varphi_{50}} = \frac{1100}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,71} = 2,77 \text{ А}$$

Струм холостого ходу

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{\phi 50}^2 - \left(\frac{k_3 \cdot (1 - s_H)}{(1 - k_3 \cdot s_H)} \cdot I_\phi \right)^2}{1 - \left(\frac{k_3 \cdot (1 - s_H)}{(1 - k_3 \cdot s_H)} \cdot I_\phi \right)^2}} = \sqrt{\frac{2,77^2 - \left(\frac{0,5 \cdot (1 - 0,03)}{(1 - 0,5 \cdot 0,03)} \cdot 4,43 \right)^2}{1 - \left(\frac{0,5 \cdot (1 - 0,03)}{(1 - 0,5 \cdot 0,03)} \cdot 4,43 \right)^2}} = 1,96 \text{ А}$$

Критичне ковзання

$$\begin{aligned} s_K &= s_H \cdot \frac{m_K + \sqrt{m_K^2 - (2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)} = \\ &= 0,03 \cdot \frac{3,3 + \sqrt{3,3^2 - (2 \cdot 0,03 \cdot 1,2 \cdot (3,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1,2 \cdot (3,3 - 1)} = 0,233 \end{aligned}$$

де $\beta = (0,6 \div 2,5)$ попередньо приймаємо 1,2;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_\phi} = 1 + \frac{1,96}{2 \cdot 8,5 \cdot 4,43} = 1,026$$

Математичними перетвореннями отримане квадратне рівняння

$$\beta^2 + B \cdot \beta + C = 0,$$

$$\text{де } B = \frac{1}{s_n} + \frac{1}{s_k} - \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_1}{s_n}$$

$$C = \frac{1}{s_n s_k} - A_0 A_1 \cdot \left(\frac{1}{s_n^2} + \frac{1}{s_k^2} \right)$$

$$A_0 = \frac{I_{\phi_n} \cos \varphi_n - I_0 \cdot \cos \varphi_0}{U}$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U^2 (1 - s_n)}{2 C_1 m_k P_{2n}}$$

Приймаємо $\varphi_0 = 88^\circ$.

Тоді

$$A_0 = \frac{4,43 \cdot 0,87 - 1,96 \cdot \cos(88^\circ)}{220} = 0,0173$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0,03)}{2 \cdot 1.026 \cdot 3,3 \cdot 2,2 \cdot 10^3} = 9,4$$

$$B = \frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,2327} - \frac{1 \cdot 0,0173 \cdot 9,4}{0,03} = 26,8$$

$$C = \frac{1}{0,03 \cdot 0,2327} - 0,0173 \cdot 9,4 \cdot \left(\frac{1}{0,03^2} + \frac{1}{0,2327^2} \right) = -40,28$$

Остаточню вирішуючи квадратне рівняння

$$\beta = -\frac{40,28}{2} + \sqrt{40,28^2 - 4 \cdot (-40,28)} = 1,427$$

Активний опір ротора

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_\kappa}\right) C_1} = \frac{9.4}{\left(1.427 + \frac{1}{0.2327}\right) 1.026} = 1.6 \text{ Ом}$$

Активний опір статора

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1.026 \cdot 1.6 \cdot 1.427 = 2.344 \text{ Ом}$$

Для серійний асинхронних двигунів індуктивності статора і ротора визначаються:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_\kappa$$

$$X_2 = 0,58 \cdot \frac{X_\kappa}{C_1},$$

$$X_2 = 0,58 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{0.2327^2} - 1.427^2} \cdot 1.026 \cdot 1.6}{1.026} = 6.47 \text{ Ом}$$

Тоді

$$X_1 = 0,42 \cdot 6,47 = 2,717 \text{ Ом}$$

$$X_2 = 0,58 \cdot \frac{6,47}{1,026} = 3,75 \text{ Ом}$$

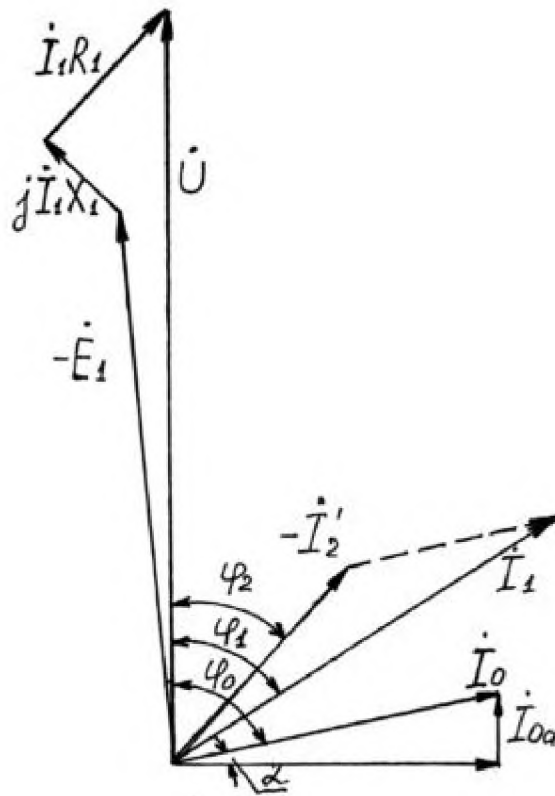


Рисунок 3.6 – Векторна діаграма АД

Згідно з векторною діаграмою (рисунок 3.6), ЕРС гілки намагнічування, наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі, дорівнює:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \sqrt{\left(U \cos \varphi_{1н} - R_1 I_{1н}\right)^2 + \left(U \sin \varphi_{1н} - X_1 I_{1н}\right)^2} = \\
 &= \sqrt{\left(220 \cdot 0.87 - 2.344 \cdot 4.43\right)^2 + \left(220 \cdot 0.49 - 2.717 \cdot 4.43\right)^2} = 204.47 \text{ В}
 \end{aligned}$$

Тоді опір вітки намагнічування

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204,47}{1,956} = 104,56 \text{ Ом}$$

Передавальна функція перетворювача частота

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_\mu p + 1}.$$

Передавальна функція двигуна:

$$W_{\partial s}(p) = \frac{\frac{\beta k_\partial}{J_\Sigma p (T_\epsilon p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_\Sigma p (T_\epsilon p + 1)}} = \frac{\beta k_\partial}{J_\Sigma T_\epsilon p^2 + J_\Sigma p + \beta} = \frac{k_\partial}{T_M T_\epsilon p^2 + T_M p + 1},$$

де

$$k_\partial = \frac{2 \cdot \pi}{p} - \text{коефіцієнт передачі двигуна};$$

$$\beta = \frac{M_n}{\omega_0 - \omega_n} - \text{модуль статичної жорсткості};$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0c} s_\kappa} - \text{електромагнітна стала часу двигуна};$$

$$T_e = \frac{J_\Sigma}{\beta} - \text{електромеханічна стала часу двигуна};$$

$$J_\Sigma = J_\partial + J_{nac} - \text{сумарний момент інерції}.$$

Коефіцієнт передачі по тиску

$$K_m = \frac{I_{m.H.\max} - I_{m.H.\min}}{H_{m.H.\max} - H_{m.H.\min}},$$

де $I_{m.H.\max}, I_{m.H.\min}$ – діапазон датчика струму;

$H_{m.H.\max}, H_{m.H.\min}$ – діапазон вимірювань напору.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за тиском

$$K_3 = \frac{1}{K_m}$$

3.3 Синтез контуру регулювання тиску

Синтезувати контур регулювання тиску будемо методом послідовної корекції. Налаштування контуру регулювання виконаємо на модульний оптимум.

Передавальну функцію об'єкта регулювання (відсутній регулятор і датчик тиску) запишемо:

$$W_o(p) = W_{пч}(p) \cdot W_{\partial}(p) \cdot W_{нас}(p)$$

$$W_o(p) = \frac{k_{пч} \cdot k_{\partial} \cdot k_{нас}}{(T_{\mu}p + 1) \cdot (T_m T_e p^2 + T_m p + 1)}$$

При синтезі регулятора тиску відштовхуються від бажаної передавальної функції розімкненої системи $W_{р.баз}(p)$, в якій виконані компенсації всіх великих сталих часу об'єкта, які виключаються з розімкненого контуру регулювання. За аналогічним принципом ми можемо вивести зі складу розімкненого контуру регулювання також усі коефіцієнти підсилення, а, також, з метою усунення статичної похибки передбачити в його складі інтегруючий елемент із малою сталою часу.

Узагальнюючи написане, вихідний розімкнений контур регулювання цілком можна замінити на результуючий контур, що має загальний коефіцієнт підсилення, на рівні $1/K_m$, проте в ньому присутній астатизм 1-го порядку і забезпечується висока швидкодія, яка викликана незначними величинами постійних часу, які не можуть бути компенсовані.

Отже, налаштована на модульний оптимум, бажана передатна функція розімкненої системи має вигляд:

$$W_{p.базис}(p) = W_{p\partial}(p) \cdot W_0(p) = \frac{1 / K_{\partial\partial}}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}$$

Тоді

$$\begin{aligned} W_{PII}(p) &= \frac{W_{p.базис}(p)}{W_0(p)} = \frac{\frac{1 / K_{\partial\partial}}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}}{\frac{k_{nc}k_{\partial}k_{нас}}{(T_{\mu}p + 1)(T_mT_ep^2 + T_mp + 1)}} = \\ &= \frac{(T_{\mu}p + 1)(T_mT_ep^2 + T_mp + 1)}{K_{\partial\partial}2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1) \cdot k_{nc} \cdot k_{\partial} \cdot k_{нас}} = \frac{(T_mT_ep^2 + T_mp + 1)}{2T_{\mu}p \cdot k_{nc} \cdot k_{\partial} \cdot k_{нас} \cdot K_{\partial\partial}} \end{aligned}$$

де T_{μ} – мала некомпенсована стала часу.

З виразу для передавальної функції зрозуміло, що за структурою це пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор) із відповідними коефіцієнтами пропорційної, інтегральної та диференціальної складової регулятора.

Система керування, що розробляється, за своєю структурою є одноконтурною, де єдиним зовнішнім контуром виступає контур тиску.

Реалізація регулятора тиску проводиться за допомогою ПІД-регулятора, передбаченого в перетворювачі частоти виробником. Перевіркою успішності результату синтезу регулятора тиску буде моделювання зібраної системи в Simulink пакету MATLAB.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

Потрібно зауважити, що у реальних умовах пуск насосного агрегату, зміни тиску в мережі водопостачання не можуть відбуватися миттєво чи стрибкоподібно, проходять достатньо плавно та тривало. За мету даного розділу взято дослідження функціонування насосного агрегату в типових робочих режимах, і як наслідок перевірка адекватності синтезу регулятора тиску.

Перехідні процеси, що протікають в системі стабілізації тиску виконаємо використовуючи спрощену модель асинхронного двигуна та врахуванням сталої часу насоса. Дослідження динаміки системи в Simulink відбувались у розробленій моделі насосної установки, яка дає змогу проводити моделювання, з урахуванням (і без) обмежень регулятора тиску та із можливістю задавати на вході системи завдання різних видів. Зібрану схему моделі системи автоматичного керування відцентрового насоса приведено на рис. 4.1.

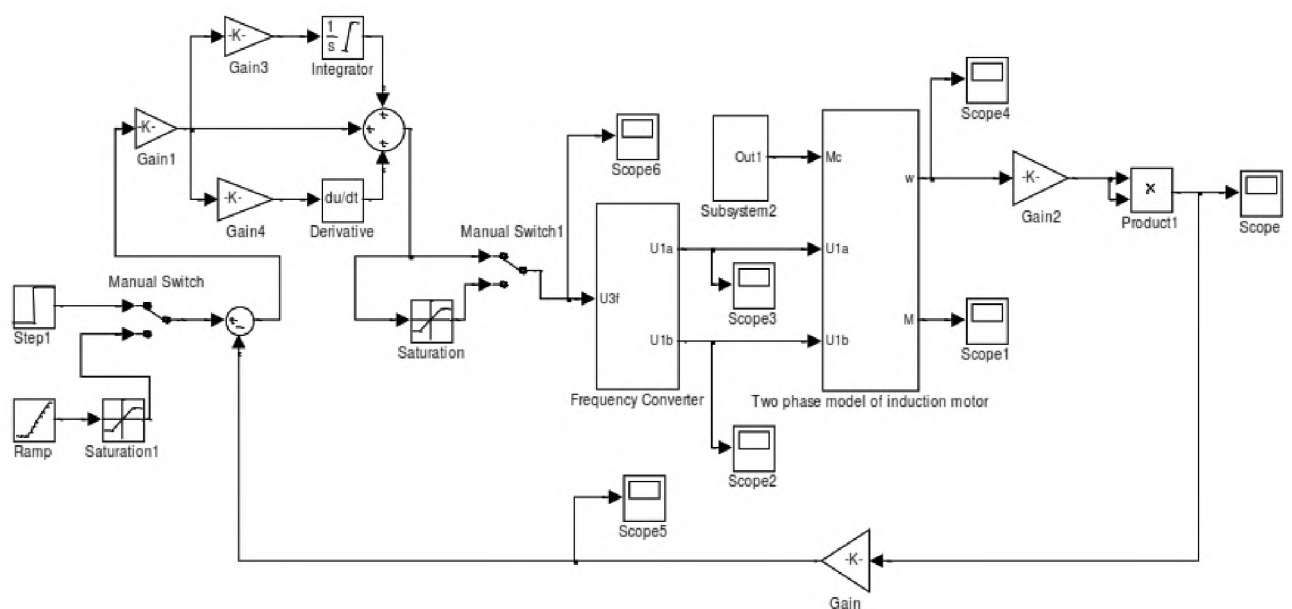


Рисунок 4.1 – Схема моделі системи автоматичного керування відцентрового насоса

Потрібно проаналізувати розроблену систему без обмеження регулятора тиску та з обмеженням в таких режимах:

- Стрибкоподібний пуск на неробочому ходу ($M_c = 0$);
- Накидання навантаження, на рівні $M_c = 0,9 \cdot M_n$
- Плавний наростання сигналу на пуск від задавача інтенсивності із наступним накиданням навантаження.

Обмежувати сигнал будемо використовуючи блок Saturation.

Модель насосної системи складена з чисельної кількості окремих блоків. Для кожного блоку існує відповідна ланка структурної схеми. У склад моделі входять також інші компоненти, призначення яких полягає в забезпеченні працездатності файлу та візуального представлення результатів моделювання.

Графік зміни тиску та швидкості, як реакції на стрибок сигналу на вході без врахування обмежень на виході регулятора тиску наведені на рис. 4.2, а і б, відповідно. Аналогічні графіки отримані для моменту та струму на рисунку 4.3, а і б, а напруги на рис. 4.4.

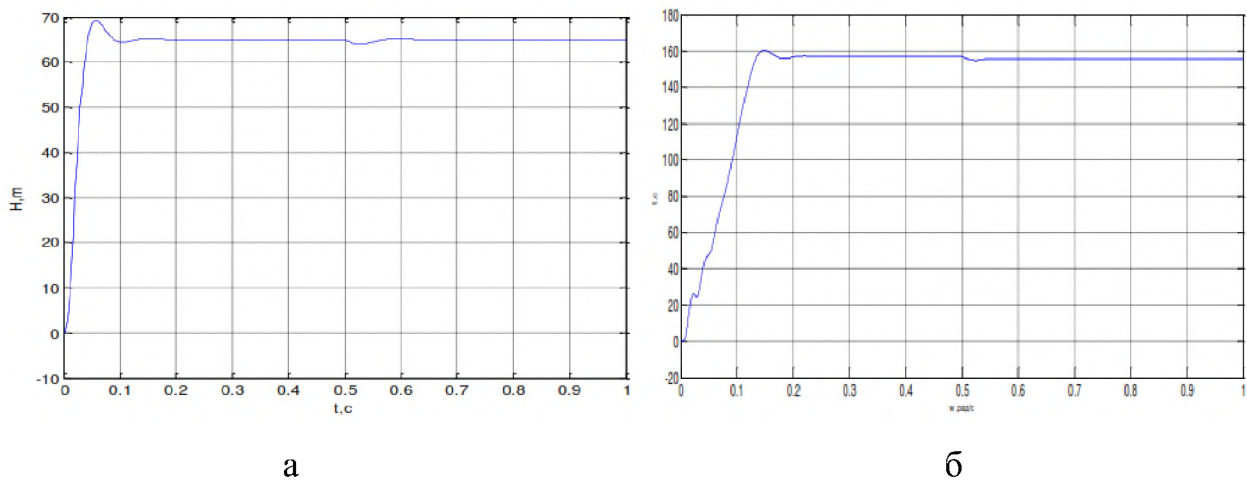
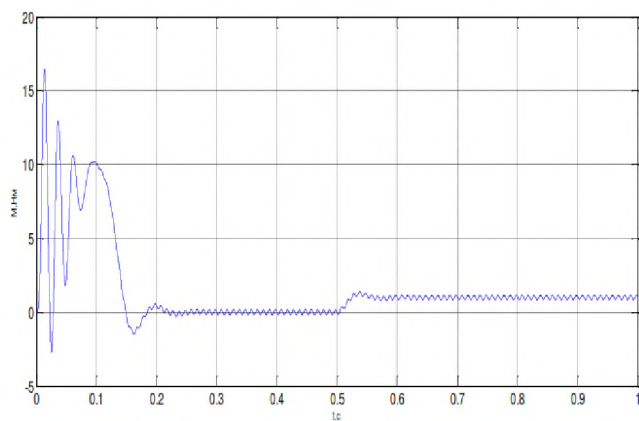
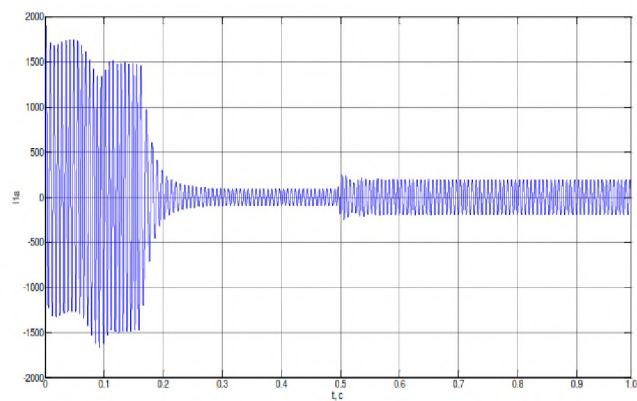


Рисунок 4.2 – Графіки перехідних процесів зміни тиску (а) та швидкості (б), при реакції на стрибок сигналу завдання



а



б

Рисунок 4.3 – Графіки перехідних процесів зміни моменту (а) та струму статора (б), при реакції на стрибкоподібний сигнал завдання і накидання навантаження

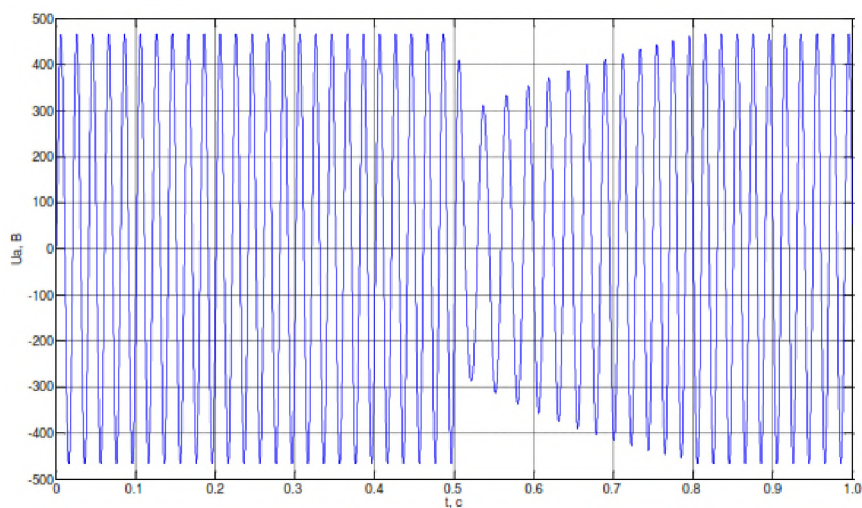


Рисунок 4.4 – Графіки перехідних процесів зміни напруги при реакції на стрибкоподібний сигнал завдання і накидання навантаження

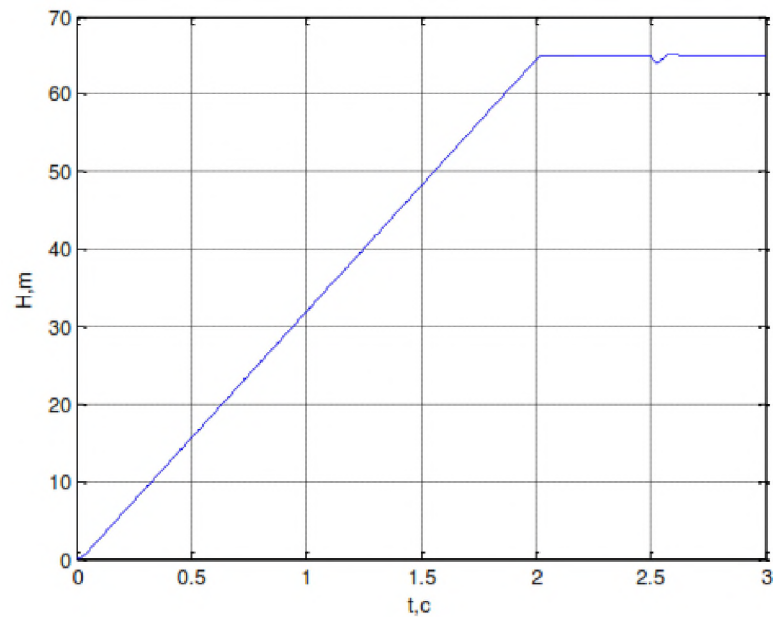


Рисунок 4.5 – Графік зміни тиску при плавному наростанні завдання

Виконане імітаційне моделювання системи автоматичного керування насосної установки в пакеті MATLAB, підтвердило правильність складеної структурної схеми відцентрового[8] насосного агрегату. В той же час характерні показники якості перехідних процесів свідчать про коректність синтезу контуру регулювання тиску.

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі проведена розробка та моделювання системи автоматизації відцентрового насосу. Основою розробленої системи став регульований асинхронний електропривод з керуванням від частотного перетворювача.

Визначивши за вихідними даними водоспоживання житлового комплексу, користуючись типовим графіком нерівномірності споживання води були обрані 2 насоси GEJ405M2ME2.2 та GEK505M2ME3.7, які здатні забезпечити потрібні значення напору та продуктивності для надійного цілодобового водопостачання.

Приведення у рух обраного насоса відведено для асинхронного двигуна W22 IE3 2.2 kW 2P L100L 3Ph 220/380V 50 Hz IP55 з синхронною частотою 3000 об/хв. Для керування асинхронним приводом насоса був обраний перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC 51 2,2 кВт/3ф. Він здатний забезпечити потрібний скалярний закон керування двигуна.

Для синтезу системи керування проведений математичний опис асинхронного двигуна, перетворювача частоти, контуру регулювання тиску. Як результат отримано одноконтурну систему керування на основі ПІД-регулятора тиску.

За допомогою програмного забезпечення Mathworks MATLAB в бібліотеці Simulink проведені дослідження режимів роботи системи керування.

За результатами моделювання можна зробити висновок, що дана система цілком може забезпечити потрібні характеристики стабілізації величини тиску води під час змін витрати води.

Вищевикладене дає змогу прийти до висновку, що поставлене завдання на дипломну роботу успішно виконано. Спроектований електропривод із системою керування на базі перетворювача частоти задовольняє вимогам електромеханічних систем насосних установок за критеріями якості перехідних процесів та швидкодії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. J. B. Rishel, Water Pumps and Pumping Systems. McGraw-Hill Education, 2002.
2. Catalogue of Kawamoto Centrifugal Pump Series / Kawamoto Pump MFG., LTD.
3. V. S. Lobanoff and R. R. Ross, Centrifugal Pumps: Design and Application. Elsevier Science, 2013.
4. Гончаров Ю.П. Перетворювальна техніка : підр. Ч.2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов та ін. . – Х.: Фоліо, 2000. - 360 с.
5. Ткаченко, С. Й. Гідрогазодинаміка (прикладі і задачі) : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 180 с.
6. Петухова О. А. Спеціальне водопостачання: підручник (навчальне видання виправлене та доповнене) / О. А. Петухова, С. А. Горносталь, Ю. В. Уваров – Х.: НУЦЗУ, 2015 – 256 с.
7. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74:2013. – [Чинний від 01-01-14]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 172 с. (Державні будівельні норми України).
8. Карелин В. Я., Новодережкин Р. А. Насосные станции с центробежными насосами.— М.: Стройиздат, 1983.—204 с.

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Правила роботи з відцентровим насосом

Перед пуском необхідно впевнитись в правильному складанні насоса, правильному приєднанні до ємності, положенні кранів на трубопроводі, наявності справного заземлення.

Під час пуску насоса повністю відкривають кран 2 на всмоктувальному трубопроводі, потім вмикають електродвигун і, якщо насос працює нормально, відкривають кран 4 на нагнітальній лінії. З появою сторонніх звуків при роботі насоса його зупиняють і перевіряють правильність зборки. Продуктивність насоса регулюють краном 4 на нагнітальному трубопроводі. Використовувати цей кран 2 на всмоктувальному трубопроводі не можна, тому, що при цьому в грубі перед насосом буде створюватися вакуум і відбуватися підсмоктування повітря через нещільності, що призведе до утворення піни молока на нагнітальній лінії.

Під час роботи насос з гумовими ущільнювальними манжетами та торцевими ущільненнями не повинен працювати без рідини (молока або води) більше 1... 1,5 хв, тому, що в результаті тертя і нагрівання ущільнення вийдуть із ладу (згорять). У випадку припинення подачі рідини в насос його варто негайно зупинити. З появою течії насос зупиняють і перевіряють ущільнення вала й кришки.

Гарячі рідини (температурою вище 60° С) гірше засмоктуються насосом тому, що у всмоктувальному трубопроводі утвориться пара. У цьому випадку для поліпшення роботи насоса піднімають рівень молока в баці або, якщо це припустимо, знижують температуру рідини.

Перед зупинкою насоса для видалення залишків продукту через нього пропускають теплу воду, після чого вимикають електродвигун.

Після закінчення роботи насоса допускається його попереднє миття виконувати безрозбірним способом, але з обов'язковим наступним розбиранням робочого колеса й промиванням його вручну. При щоденному розбиранні насоса

від'єднують трубопроводи від всмоктувального і нагнітального патрубків, знімають затискне кільце, кришку, гумове ущільнювальне кільце й розбирають рознімне робоче колесо. При розбиранні, притримуючи робоче колесо рукою, викручують конусну ковпачкову гайку, виймають втулку (упорну шайбу), знімають передній диск, середній диск з лопатями та задній диск. Збирають насос у зворотному порядку.

А.2 Неполадки в роботі та способи їхнього усунення

Електронасос не качає рідину. Це може бути викликане наступними причинами:

- робоче колесо обертається у зворотний бік;
- вийшло з ладу або не затиснуте ущільнювальне кільце в кришці,
- немає герметичності з'єднань кришки з корпусом;
- вийшло з ладу ущільнення між валом і корпусом;
- не забезпечена герметичність усмоктувального трубопроводу;
- перед пуском насос не залитий рідиною при установці насоса вище рівня рідини;
- немає герметичного з'єднання між кришкою і корпусом повітровідділювача у самовсмоктувальних насосах;
- температура рідини вище 60° С.

Для усунення зазначених неполадок необхідно перевірити напрямок обертання робочого колеса (вала електродвигуна). Обертання повинно бути проти вартової стрілки, якщо дивитися з боку кришки насоса. Для створення герметичності між кришкою насоса і корпусом необхідно розібрати насос, оглянути прокладку (зношену замінити новою), установити кришку й надійно закріпити.

При зношуванні ущільнення між валом і корпусом варто розібрати насос, зношені деталі ущільнення замінити новими й ретельно зібрати насос. Після

зборки насоса для прискорення притирання тертьових поверхонь торцевого ущільнення варю обкатати насухо (без води) протягом не більше 5 хв. У перший період роботи насоса може протікати невелика кількість рідини до повного притирання.

Для усунення негерметичності і підсмоктування повітря на усмоктувальному трубопроводі варю розібрати трубопровід, оглянути ущільнювальні кільця з'єднання, усунути, якщо можливо, зайві повороти (коліна, трійники) і ретельно зібрати, затягти гайки. Потрібно прагнути до гою, щоб усмоктувальний трубопровід був прямим і мав по можливості менше з'єднань.

Для одержання надійного, усмоктування насоси для забору рідини з ємностей, розташованих нижче насосів, варто залити через заливний патрубок, при цьому для насосів відцентрових не самовсмоктувальних на кінці усмоктувального трубопроводу варто встановити клапан і заливання виконувати щоразу перед пуском насоса.

При засмоктуванні рідини температурою вище 60°C під дією вакууму відбувається значне паротворення і насос перестас перекачувати рідину. У цьому випадку насос необхідно розташувати так, щоб він був під заливом, і знизити температура рідини.

При роботі насоса змінюються подача та напір. Це відбувається в результаті наступних причин:

- порушення герметичності на усмоктувальному трубопроводі, у сальнику, кришці насоса та з'єднанні повітровідділювача з корпусом;
- неповного заповнення усмоктувального трубопроводу;
- потраплення в робоче колесо стороннього предмета;
- перекачування рідини температурою вище 60°C ;
- ушкодження гнучкого шланга (він притиснутий);
- наявності в напорному трубопроводі повітряних мішків.

Крім того, подача та напір можуть змінюватися, якщо не витримана висота горизонтальних ділянок усмоктувальних і нагнітального трубопроводів, або застосований зайво довгий усмоктувальний і трубопровід великого діаметра.

Способи усунення зазначених неполадок наступні:

- ущільнити місця з'єднань усмоктувального трубопроводу, сальника, кришки насоса, з'єднання повітровідділювача з корпусом і усунути негерметичність;
- відкрити повністю кран на усмоктувальному трубопроводі (не самовсмоктувальні насоси повинні бути під заливом);
- розібрати насос і видалити з колеса сторонній предмет;
- усунути повітряні мішки в нагнітальному трубопроводі й розташувати його на необхідній висоті;
- зменшити довжину та діаметр усмоктувального трубопроводу до нормальних розмірів.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____
