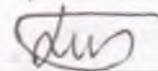


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 20 » 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

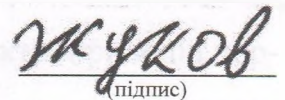
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод компресора
кабельного дегідратора

Виконав: студент групи 6372м

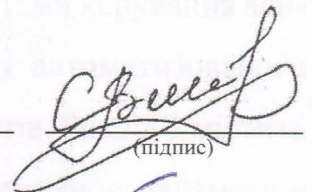
Жуков Владислав Денисович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

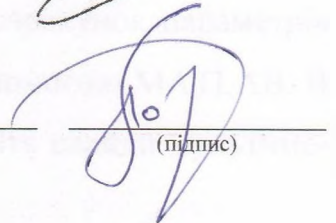
Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н.
Шевчук С. В.

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


(підпис)

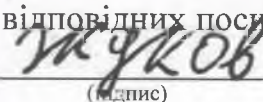
Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,
доц. Новогрецький С. М.

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


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 72 с., 4 р., 19 рис., 7 табл., 1 дод., 18 джерел.

Ключові слова: автоматизований електропривод, кабельний дегідратор, компресор, перехідна характеристика, частотне керування.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в асинхронному електроприводі компресора кабельного дегідратора.

Мета роботи – синтез системи керування асинхронного електропривода компресора кабельного дегідратора.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі компресора кабельного дегідратора з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто системи утримання кабелів під надлишковим тиском. Наведено опис та склад кабельного дегідратора. Розглянуто способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів. У розділі 2 проведено аналіз сучасних системи керування асинхронних електроприводів. Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода компресора та обґрунтовано вибір його елементів. Розділ 3 містить математичний опис автоматизованого електропривода та розрахунок параметрів його елементів. Досліджено динаміку електропривода за допомогою MATLAB. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОПИС КАБЕЛЬНОГО ДЕГІДРАТОРА	5
1.1 Загальна характеристика систем утримання кабелів під надлишковим тиском.....	5
1.2 Опис і робота кабельного дегідратора	11
1.3 Способи регулювання режимів роботи компресорів.....	15
1.4 Електропривод поршневих компресорів	18
1.5 Висновки до розділу 1	20
2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	22
2.1 Аналіз системи керування асинхронних електроприводів.....	22
2.2 Функціональна схема автоматизованого електропривода компресора.....	28
2.3 Обґрунтування вибору елементів.....	34
2.4 Висновки до розділу 2	37
3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	39
3.1 Побудова структурної схеми автоматизованого електропривода	39
3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми.....	44
3.3 Побудова моделі та аналіз якості керування автоматизованого електропривода в MATLAB	47
3.4 Висновки до розділу 3	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
4.1 Техніка безпеки при роботах на кабельних лініях	54
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину при експлуатації компресорів.....	61
4.3 Техніка безпеки при обслуговуванні компресорів.....	62
4.4 Висновки до розділу 4.....	68
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	73

ВСТУП

Актуальність теми. Очевидною тенденцією розвитку техніки є все більш широке застосування регульованого електропривода з метою енерго- і ресурсозбереження, підвищення надійності устаткування, автоматизації технологічних процесів. Для компресорів зберігаються всі переваги приводів змінного струму при запуску під повною напругою. Знижується загальна витрата енергії і скачки напруги під час пусків, і система може забезпечити більш сталий тиск в залежності від потреб.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування асинхронного електропривода компресора кабельного дегідратора. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) розглянути системи утримання кабелів під надлишковим тиском. Навести опис та склад кабельного дегідратора. Проаналізувати способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів;
- 2) провести аналіз сучасних системи керування асинхронних електроприводів. Побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода компресора та обґрунтувати вибір його елементів;
- 3) скласти структурну схему автоматизованого електропривода компресора, виконати розрахунок параметрів її елементів;
- 4) провести моделювання автоматизованого електропривода компресора в MATLAB.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в асинхронному електроприводі компресора кабельного дегідратора.

Предмет роботи. Структура та параметри регулятора тиску асинхронного електропривода компресора, які впливають на якість керування.

Методи дослідження. Моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі компресора кабельного дегідратора з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

1 ОПИС КАБЕЛЬНОГО ДЕГІДРАТОРА

1.1 Загальна характеристика систем утримання кабелів під надлишковим тиском

1.1.1 Методи і засоби утримання кабелів під тиском [1]

Утримання кабелів під постійним надлишковим газовим тиском є найбільш ефективним засобом підвищення надійності кабельних ліній.

Найбільш часто пошкодження кабелю виникають через проникнення в нього води при порушенні герметичності оболонки внаслідок корозії, порушення правил прокладки, недоброякісної пайки кабельних муфт та механічних пошкоджень, викликаних зсувами ґрунту або недбалими земляними роботами на трасі кабелю. Для запобігання кабелю від проникнення в нього води при порушенні цілості оболонки кабельні лінії утримують під постійним надлишковим тиском, що дозволяє контролювати герметичність оболонки і визначати місце її пошкодження. Крім цього, при незначних пошкодженнях оболонки потік газу, що виходить в місці її пошкодження, перешкоджає проникненню всередину кабелю води, що підвищує надійність кабельних ліній.

При утриманні кабелю під постійним надлишковим тиском кабельну лінію ділять на герметизовані ділянки, звані газовими секціями. Для кабелів багатоканального зв'язку довжина секцій, як правило, дорівнює довжині підсилювальної ділянки високочастотних ланцюгів. По кінцях газової секції, а також по всіх відгалуженнях від магістрального кабелю встановлюють газонепроникні муфти. У середині газових секцій створюють надлишковий газовий тиск.

Існують дві системи утримання кабелів під надлишковим тиском: з автоматичним і періодичним наповненням кабелів газом. На кабельних лініях багатоканального зв'язку найбільшого поширення набула система з автоматичним наповненням. У цій системі по кінцях газової секції розміщують автоматичні контрольно-осушувальні установки АКОУ, а останнім часом – установки УСКД. В якості газу використовують сухе повітря.

1.1.2 Системи утримання кабелів під тиском [1]

1.1.2.1 Установка типу УСКД-1 (рисунок 1.2) забезпечує автоматичну подачу в кабель сухого повітря, контроль за витратою газу, подачу сигналу про порушення герметичності і зниженні тиску в балоні з газом. З балона 1 високого тиску (10, 15 або 20 МПа) (або від компресора) через осушувальну камеру високого тиску 2 газ подається в редуктор 4 із зворотним клапаном (зворотний клапан необхідний для відключення балона від установки при зниженні тиску до 2 МПа), потім в редуктор низького тиску 5, на виході якого утворюється стабільний тиск 50 ± 2 кПа, підтримуваний автоматично при витраті газу не більше $3 \text{ м}^3/\text{хв}$. Далі газ проходить через осушувальну камеру низького тиску 12, пневматичний сигналізатор 6 і блок ротаметрів 7. У блоці ротаметрів після проходження через індикатор вологості 10 газ надходить в ротаметри 9 для контролю за витратою газу кожним кабелем і через штуцери 8 – в кабелі. Безпека роботи установки забезпечується запобіжними клапанами. Сигналізація контролю герметичності кабелю здійснюється за допомогою пневматичного сигналізатора 6, а сигналізація зниження тиску в балоні – електроконтактним манометром 3. Манометр 11 контролює тиск газу, що подається в кабель.

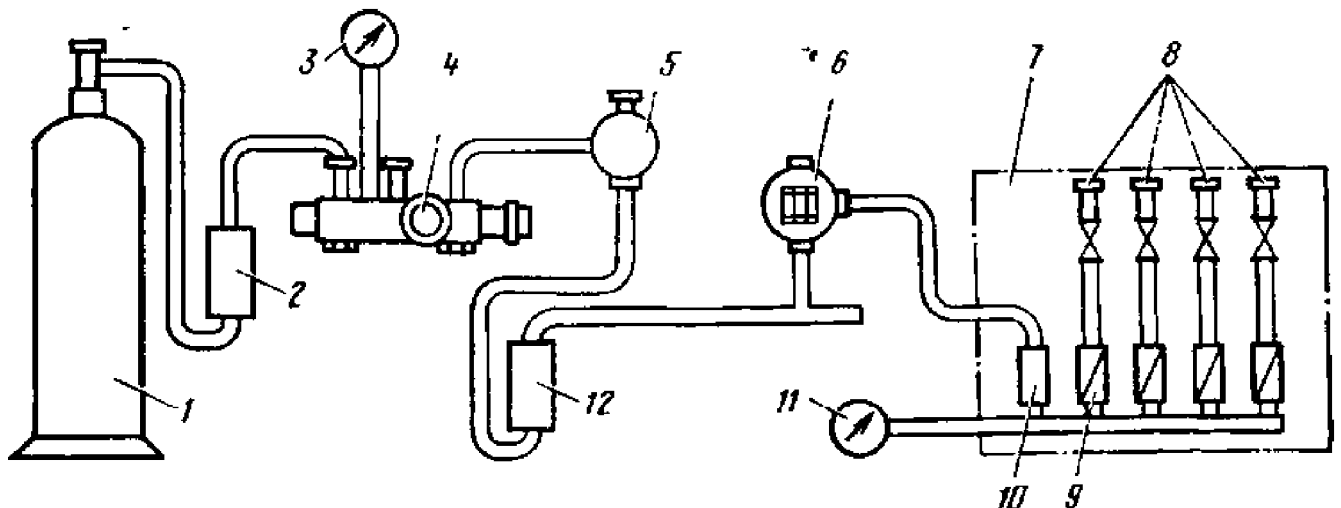


Рисунок 1.2 – Схема установки типу УСКД-1

Користуючись індикатором і спостерігаючи за кольором силікагелю, можна періодично контролювати кількість вологи, яка присутня в газі. Зміни темно-синього або світло-синього кольору силікагелю на сірий свідчить про необхідність заміни силікагелю або камери на резервну.

Апаратура типу УСКД-1 передбачає підключення повітряного контрольного приладу типу ВКП-1 для визначення району негерметичності оболонки кабелю за витратою газу.

1.1.2.2 Для утримання міських телефонних кабелів під надлишковим тиском призначена компресорно-сигнальна установка (КСУ). Остання встановлюється на АТС і дозволяє утримувати під тиском до 30 кабелів і стежити за герметичністю оболонки кожного кабелю. В якості джерела живлення використовується змінний струм напругою 220 В або постійний струм напругою 60 В. До кабелів подається надлишковий тиск порядку 50 кПа.

Структурну схему КСУ приведено на рисунку 1.3. Установка складається з компресорної групи 1, блоку осушки і автоматики 2 і розподільного статива 3. При зниженні тиску в кабелі і ресивері 4 до гранично допустимої величини спрацьовує манометр 5, який регулює тиск в ресивері, за допомогою пристроїв автоматики 18 включається електродвигун 6 і запускаються компресори 7. У разі підвищення тиску в ресивері до верхньої межі компресори зупиняються. Контроль за величиною тиску на виході здійснюється манометром 15. За допомогою ротаметра 14 по витраті газу можна визначати район пошкодження оболонки кабелю. Установка має загальну звукову і оптичну сигналізацію при появі аварійного витoku. Герметичність решт кабелів забезпечується газонепроникними муфтами.

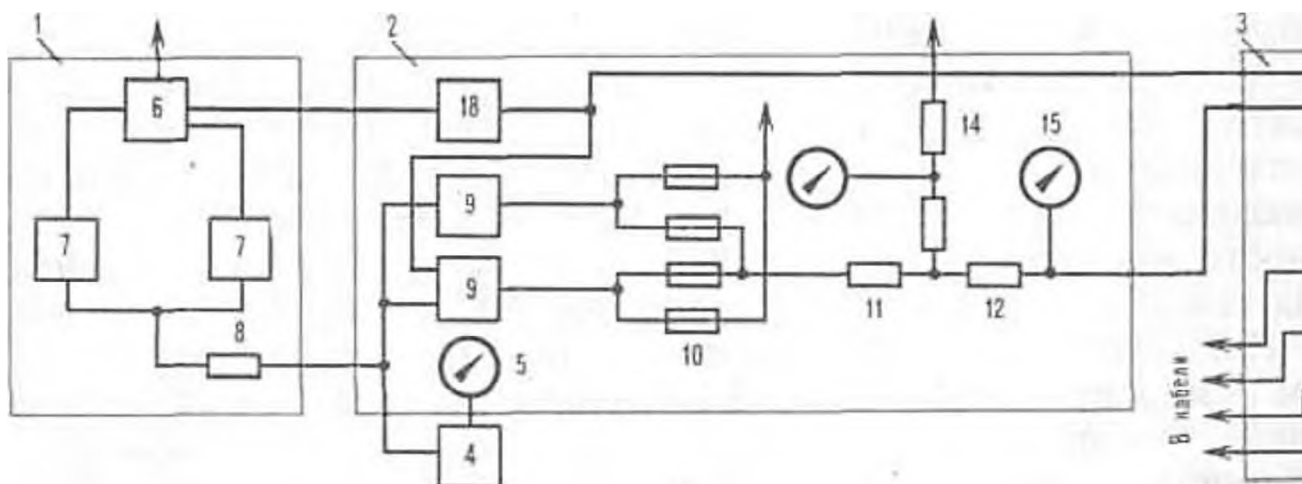


Рисунок 1.3 – Структурна схема КСУ

1.1.3 Технічне обслуговування та ремонт кабельних ліній [1]

Точне визначення місця пошкодження оболонки встановлюють за допомогою індикаторних газів. Для цього в муфту, найближчу до границі пошкодженої ділянки, впаюють вентиль і знижують надлишковий тиск (на 20-30 хв відкривають вентиль). Протягом 5-10 хв в кабель вводять фреон під тиском 50-60 кПа. Для забезпечення руху газу уздовж кабелю нагнітають сухе повітря під тиском 50-60 кПа. Через 12-15 год після введення фреону починають обстежувати трасу, для чого попередньо через 1,5-2 м над кабелем влаштовують шурфи діаметром 2 см і глибиною 25-30 см. За допомогою детектора шукаємо (прилад, що реагує на присутність фреону) беруть пробу повітря в шурфах. Максимальна концентрація газу буде безпосередньо над місцем ушкодження кабелю.

Найбільш характерним пошкодженням кабелю, що знаходиться в експлуатації, є поступове або різке зниження опору ізоляції між жилами кабелю і між жилами і землею (металевою оболонкою). Причиною виникнення цих ушкоджень є проникнення в кабель вологи, якщо він не утримується під постійним повітряним тиском. Спостерігаються також такі пошкодження, як обрив однієї або декількох жил кабелю, замикання частини жил між собою або зі свинцевою оболонкою.

Спочатку необхідно точно визначити місце пошкодження. У разі якщо кабель знаходиться під надлишковим повітряним тиском, при системі з автоматичною подачею газу досить знати кількість доз газу, поданих в кабель при пошкодженні його

оболонки. Це визначають за допомогою автоматичних дозаторів установок АКОУ або УСКД, розміщених на станціях, що обмежують пошкоджену ділянку кабелю.

Якщо кабель не утримується під надлишковим газовим тиском, то місце пошкодження кабелю визначають електричними вимірами або за допомогою індикаторного газу. Більш досконалим методом є виявлення місця пошкодження за допомогою фреону, коли точно відзначають трасу кабелю в районі його пошкодження.

Для відшукування траси кабелю найзручніше використовувати кабелешукач, який складається з генератора тональної частоти, який може працювати в імпульсному режимі і в режимі безперервних коливань. Один вихід генератора підключають до жил кабелю, які на протилежному кінці заземляють, а інший вихід приєднують до заземлення. Від генератора змінний струм проходить по жилах кабелю, трасу якого шукають, і по землі повертається назад до генератора. При цьому навколо жил струм створює змінне магнітне поле, яке змінюється з частотою близько 1000 Гц.

Індикатором траси кабелю є котушка шукача (феритова антена), підключена до входу транзисторного підсилювача тональної частоти, на виході якого підключений головний телефон. Феритова антена закріплена на секторі, який в свою чергу шарнірно укріплений на рукоятці шукача (штоку). Обертаючи сектор, феритову антену можна повертати у вертикальне і горизонтальне положення, а також фіксувати її під кутами 30, 45 і 60.

Трасу кабелю попередньо відшукують по максимуму гучності сигналу в телефоні, коли вісь антени перпендикулярна осі кабелю, а уточнюють її по мінімуму гучності сигналу, коли вісь антени паралельна осі кабелю.

Після визначення траси кабелю на прямих ділянках її позначають віхами, що встановлюються через 5-10 м, на криволінійних ділянках – через більш короткі проміжки. Потім на трасі через кожні 1,5-2 м в ґрунті роблять шурфи – отвори діаметром 1,5-2 см і глибиною 30 см і визначають місце негерметичності оболонки кабелю за допомогою фреону. Для цього поблизу від передбачуваного місця пошкодження оболонки розкривають сполучну чавунну муфту, а в свинцеву муфту впаюють вентиль, через який під тиском близько 60-103 Па вводять від 400 до 800 г

фреону. Фреон вводять за допомогою польової установки для введення індикаторного газу (ПУВІГ), що складається з балона з фреоном, осушувальної камери з індикатором вологості і двох манометрів. Повітря накачують з кінців кабелю, що прискорює поширення фреону. Фреон поширюється по кабелю і через місце пошкодження оболонки до поверхні землі від 12-15 год до однієї доби в залежності від щільності ґрунту.

Після закінчення цього часу визначають місце пошкодження оболонки. Для цього використовують батарейний галоїдний течешукач, що складається з вимірювального блоку, блоку живлення і виносного щупа. Переміщаючись по трасі кабелю, по черзі вставляють щуп приладу в підготовлені раніше шурфи.

У місця пошкодження оболонки кабелю в шурф буде накопичуватися фреон і галоїдний течешукач просигналізує про це. Виявивши місце пошкодження оболонки кабелю, приступають до його ремонту.

При виникненні в кабелі інших пошкоджень (обрив жил або замикання жил між собою) місце пошкодження кабелю визначають за допомогою електричних вимірювань.

1.2 Опис і робота кабельного дегідратора

Дегідратори кабельні ДК6Д призначені для утримання кабелів зв'язку під надлишковим тиском сухого повітря в автоматичному режимі. Виріб може застосовуватися на міжміських і міських кабельних лініях зв'язку там, де є електроживлення 220 В змінного струму частотою 50 Гц.

1.2.1 Загальний вигляд кабельного дегідратора ДК6Д-300 представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд кабельного дегідратора

1.2.2 Технічні характеристики кабельного дегідратора ДК6Д-300 наведено в таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики дегідратора кабельного ДК6Д-300

Найменування	ДК6Д-300
Продуктивність, м ³ /с (л/год)	0,0001 (360)
Кількість кабелів, що підключаються, шт.	4-12
Тиск на виході (витрата 50 %), МПа (кгс/см ²)	0,05±0,002 (0,5±0,02)
Вологість стисненого повітря, г/м ³	0,3
Витрата електроенергії при максимальній продуктивності, кВт·год/добу	2,72
Об'єм ресивера, л	48
Споживана потужність, ВА	≤350
Маса, кг	35

Кількість кабелів є рекомендованою величиною, зазначеною з розрахунку: менше значення – з розрахунку 30 л/год на кожен кабель, що обслуговується; більше значення – з розрахунку 60 л/год.

1.2.3 Дегідратор ДК6Д складається з безмасляного компресора промислового типу, розрахованого на роботу в тривалих режимах, блоку осушки, ресивера, контрольної апаратури, автоматики і розподільної арматури. Пристрій виконаний у вигляді моноблока і встановлюється в закритих приміщеннях. Регульовані по висоті опори дозволяють монтувати дегідратор безпосередньо на перекриття без спеціально підготовленого фундаменту.

1.2.4 Безмасляний поршневий компресор Atlas Copco LFx 0,7 [3]

В дегідраторі ДК6Д використано компресор з лінійки компактних безмасляних поршневих компресорів Atlas Copco LFx. Загальний вигляд компресора Atlas Copco LFx 0,7 (виконання на рамі) представлено на рисунку 1.5.

Компресори LFx забезпечують на 100% чисте повітря, що відповідає вимогам сертифікації ISO 8573-1 CLASS 0 (2010). CLASS 0 означає нульовий ризик забруднення.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд компресора Atlas Copco LFx 0,7

Технічні характеристики компресора Atlas Copco LFX 0,7 наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики Atlas Copco LFX 0,7

Параметр	Значення
Продуктивність, л/сек (л/хв)	1,02 (61,2)
Потужність електродвигуна, кВт	0,55
Напруга живлення, В	230
Робочий тиск, МПа (бар)	1 (10)
Вага, кг	25

1.2.5 Атмосферне повітря стискається до необхідного тиску в компресорному блоці, після чого потрапляє в камеру осушення, де відбувається відділення конденсату шляхом короткоциклової адсорбції. Після цього повітря потрапляє в ресивер, що виконує функції накопичення і згладжування пульсацій тиску. Далі відбувається його розподіл відповідно до кількості підключених кабелів.

Регенерація абсорбенту, в якості якого використовується силікагель, відбувається автоматично і не вимагає участі оператора. Під час неї стиснене повітря витрачається з ресивера, обладнаного зворотним клапаном, що запобігає догляд повітря в компресорний блок.

1.2.6 Функціональні можливості:

- візуальний контроль величини тиску, витрати і вологості повітря, яке подається в кабелі;
- контроль тиску в ресивері;
- наявність лічильника сумарного напрацювання компресора;
- наявність системи самодіагностики;
- автоматичне вимкнення компресора за таймером при витраті повітря, що перевищує максимальний об'єм на 20 %;
- захист компресорів від перевантаження;
- захист кабелів від попадання вологи (з приладом IBV-2);

- наявність додаткового виходу для підключення аварійних кабелів;
- компактність і простота підключення.

1.2.7 Дистанційні сигнали:

- наявність/відсутність напруги живлення;
- зниження тиску на виході нижче номінального значення;
- перевантаження/відмова компресора;
- підвищення вологості повітря, що подається в кабелі з можливістю припинення його подачі.

1.3 Способи регулювання режимів роботи компресорів [4]

Спочатку найоптимальнішим режимом роботи будь-якої компресорної установки є її номінальний розрахунковий режим. Але обсяг виробленого компресором на номінальному режимі стислого повітря не завжди є точно відповідним обсягом забору повітря споживачами. Як правило, навіть протягом однієї робочої зміни рівень споживання повітря може значно коливатися. Тому продуктивність компресора необхідно регулювати відповідно до цих змін.

Є кілька методів регулювання рівня продуктивності компресора, і вони сильно різняться і за витратами на реалізацію, і за ефективністю.

1.2.1 Увімкнення-вимкнення компресорної установки. Увімкнення-вимкнення компресорної установки є самим елементарним способом регулювання продуктивності, що передбачає вимкнення електродвигуна при підвищенні тиску до максимального рівня і увімкнення його при досягненні мінімально допустимого рівня тиску. Під час простою компресора він не споживає електроенергію, що є позитивною стороною даного методу, але постійні увімкнення і вимкнення електродвигуна в цілому негативно відбиваються на роботі системи і в результаті можуть спричинити за собою перегрів обмотки електродвигуна. Подібний спосіб найчастіше застосовують по відношенню до малопотужних компресорних установок.

1.2.2 Скидання зайвого повітря в атмосферу. Скидання надлишків повітря вважається самим неекономічним способом регулювання продуктивності, але не

дивлячись на це, деякі виробничі підприємства все ще користуються ним. Суть методу полягає в наявності спеціального клапана, який відкривають, як тільки тиск в системі досягає максимальних показників. Це вкрай нераціонально, так як в результаті весь енергоресурс, витрачений на стиск даного повітря, виявляється розтраченим даремно. Тому такий спосіб доцільно застосовувати лише в дуже потужних компресорних установках, в яких до того ж вкрай рідко досягається максимальний рівень тиску.

1.2.3 Підключення додаткового об'єму. Ще один спосіб регулювання продуктивності компресора – підключення додаткового «мертвого об'єму». Він застосовується тільки для компресорів поршневого типу і заснований на використанні зазору, який завжди передбачливо залишають між поршнем і кришкою циліндра для того, щоб компенсувати теплові деформації. Якщо штучно збільшувати цей так званий «мертвий об'єм», продуктивність компресора буде зменшуватися. Але цей спосіб також складно віднести до економічних, адже стиснення повітря, що знаходиться в «мертвому об'ємі», також вимагає енерговитрат.

1.2.4 Робота «на холостому ході». В машинах роторного типу (гвинтових, спіральних чи пластинчато-роторних) застосовується спосіб, при якому регулювання здійснюється за допомогою переходу на «холостий хід». Це стандартна методика регулювання продуктивності гвинтових компресорів – при досягненні максимальних показників тиску в системі спрацьовує реле, яке закриває заслінку всмоктувального клапана. При цьому робота компресора не зупиняється, він продовжує споживати близько 20 % звичайної кількості енергоресурсів, але тиск в системі не нагнітається.

1.2.5 Дроселювання. Існує також спосіб регулювання продуктивності, заснований на дроселювання. Він здійснюється за допомогою пропорційного всмоктувального клапана, який не дає тиску в системі підвищуватися надмірно, перекриваючи шлях всмоктуваному повітрю за допомогою газодинамічного опору. Продуктивність компресора при цьому значно знижується, а тиск в системі незабаром досягає номінального рівня. Цей метод зручний тим, що система регулює продуктив-

ність практично самостійно – заслінка пропорційного всмоктувального клапана відкривається під впливом тиску повітря в системі. Крім того, він більш ефективний, ніж метод «холостого ходу», але в той же час обходиться дорожче.

1.2.6 Використання частотного перетворювача для регулювання частоти обертання електричного двигуна. Найзручніший і економічний спосіб регулювання продуктивності компресорної установки, який відомий на сьогоднішній день – це регулювання частоти обертання електродвигуна за допомогою використання частотного перетворювача. Втрати енергії при використанні цього методу мінімізуються, а межі регулювання продуктивності розширюються і складають від 20 % до 100 % (інші методи не створюють такого широкого діапазону регулювання). Але в той же час цей спосіб є найбільш дорогим. Він застосовується для всіх компресорних установок об'ємного типу, але його використання в установках динамічного типу (осьових, відцентрових і т.д.) нерідко викликає проблеми – може виникнути резонанс з власними частотами коливань турбокомпресора установки.

1.2.7 Дискретний метод регулювання частоти обертання електричного двигуна. Схожим методом є дискретне регулювання частоти обертання електродвигуна, за допомогою якого регулюється загальна продуктивність компресора. Основна відмінність від попереднього методу полягає в тому, що замість плавної зміни швидкості обертання валу тут має місце дискретне зміна, засноване на застосуванні спеціальних багатошвидкісних двигунів. Це обходиться значно дешевше, ніж використання частотного перетворювача, а ефективність майже рівнозначна.

Оскільки способів регулювання продуктивності компресорних установок багато, вибрати оптимальний необхідно на підставі всіх існуючих чинників, в першу чергу – економічної доцільності та періоду окупності обраного методу.

1.4 Електропривод поршневих компресорів [5]

Особливості поршневих компресорів як робочих машин, що приводяться в рух електричними двигунами, пов'язані в першу чергу з наявністю в їх складі кінематичного ланцюга кривошипно-шатунного механізму.

Це обумовлює: 1) пульсації моменту опору компресора. Характер цих пульсацій визначається конструктивними особливостями компресора; в загальному випадку вони не синусоїдальної, причому суттєвий вплив на роботу електропривода надають гармоніки не більше четвертого порядку. Амплітуда коливань моменту на валу приводного двигуна в значній мірі залежить від частоти його обертання: наявність великих махових мас обертального руху згладжує коливання моменту. Згладжування виявляється тим сильніше, чим більше частота обертання двигуна. При малих її швидкостях (в процесі розгону або особливо при глибокому регулюванні швидкості) пульсації моменту проявляються в повній мірі; 2) великий пусковий момент опору. Незважаючи на те що зазвичай компресор запускається, будучи розвантаженим, значні сили тертя поршня об циліндр, а також зусилля в самій кривошипношатунній передачі обумовлюють підвищений пусковий момент; 3) наявність великих махових мас на валу приводного двигуна. Підвищеними маховими масами має механізм зворотно-поступального руху з поршнем і, крім того, для згладжування пульсацій моменту опору на валу приводного двигуна компресорні установки часто оснащуються додатковим маховиком. З цього компресори відносять до робочих машин з важкими умовами запуску. В процесі роботи компресора виникає необхідність регулювання його подачі.

Регулювання ведеться, як правило, шляхом впливу на регулюючі органи, що встановлюються на комунікаціях або передбачені в самій конструкції компресора. При цьому зі збільшенням глибини регулювання підвищуються питомі витрати енергії на стиснення газу. Значні можливості в напрямку зниження питомих витрат надає електропривод, виконаний по одній з сучасних економічних регульованих систем. Частоти обертання поршневих компресорів, як правило, невеликі – у компресорів великої потужності вони не перевищують 500 об/хв і тільки компресори

малої потужності мають номінальну швидкість 1000-1500 об/хв. В даний час для привода компресорів застосовуються: асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором – при потужності до 100 кВт; з фазним ротором – при більшій потужності; для найбільш потужних компресорів – синхронні електродвигуни. Вибір того чи іншого типу електропривода для компресорів залежить від вимог, що пред'являються до нього в кожній конкретній ситуації. Він повинен проводитися на основі техніко-економічного порівняння варіантів.

Нижче наведено основні властивості синхронних і асинхронних двигунів.

1.4.1 Синхронний двигун здатний працювати з випереджаючим струмом, виконуючи функцію джерела реактивної потужності. При регулюванні струму збудження реактивна потужність, що виробляється ним, може покрити її постійно змінювану витрату іншими споживачами або – при слабких мережах – забезпечити регулювання напруги, зменшуючи її посадку. Асинхронні двигуни із природною схемою включення, тобто при живленні від мережі стандартної як за частотою, так і за діючим значенням напруги і при закороченому роторі, споживають реактивну енергію з мережі живлення.

1.4.2 Синхронні двигуни, коефіцієнт корисної дії яких на 1,5-3% вище, ніж у асинхронних, економніше останніх. Крім того, хоча ККД синхронних двигунів зберігає загальну для всіх електричних машин тенденцію зростання зі збільшенням частоти обертання, синхронні двигуни можуть бути виконані високоекономічними при великому числі пар полюсів і, отже, зниженій частоті обертання. Завдяки цій властивості синхронних двигунів компресорні установки з синхронним приводом, як правило, безредукторні. Асинхронні двигуни з великим числом пар полюсів мають великий струм холостого ходу і низький ККД.

1.4.3 Синхронні двигуни мають повітряний зазор в 2-4 рази більший, ніж асинхронні. Це забезпечує кращі умови їх охолодження, зручність монтажу, підвищує надійність. У асинхронних двигунів повітряний зазор вибирається мінімальним, так як з ростом зазору значно зростає струм холостого ходу і погіршуються енергетичні показники в цілому.

1.4.4 Синхронні двигуни мають більш складний ротор, для живлення якого передбачається спеціальна система збудження. Запуск синхронного двигуна виконується під контролем системи автоматичної подачі збудження, що ускладнює схему його включення. До недоліків синхронних двигунів слід віднести обмеження на тривалість асинхронного режиму під час пуску, а також на час між двома послідовними пусками. Це пов'язано з перегрівом пускової білячої клітини при пуску і необхідністю відводу від неї теплоти. Пускова біляча клітина, що розраховується на короткочасний тепловий режим запуску, є одним із слабких ланок синхронної машини. У асинхронних короткозамкнених двигунів проблема перегріву білячої клітини ротора також існує, але вона виражена значно слабкіше.

1.4.5 У асинхронних двигунів залежність максимального моменту від напруги мережі квадратична, у синхронних – лінійна. Крім того, за рахунок формування струму збудження можна підняти перевантажувальну здатність синхронних двигунів в динамічних режимах посадки напруги мережі або накиданні навантаження. З іншого боку, наслідки випадання синхронного двигуна із синхронізму значно серйозніше, ніж наслідки перекидання асинхронного двигуна, а при сучасних потужних мережах живлення перекидання при правильно обраному двигуні виключно рідкісні.

1.4.6 Частота обертання синхронних двигунів жорстко пов'язана з частотою напруги живлення, тоді як у асинхронних вона знижується з ростом навантаження, хоча це зниження, особливо у потужних двигунів, невелике.

1.4.7 У асинхронних двигунів вибір способів і засобів регулювання швидкості значно ширше, ніж у синхронних.

1.5 Висновки до розділу 1

1.5.1 Розглянуто загальну характеристику систем утримання кабелів під надлишковим тиском. Виявлено, що існують дві системи утримання кабелів під надлишковим тиском: з автоматичним і періодичним наповненням кабелів газом. На

кабельних лініях багатоканального зв'язку найбільшого поширення набула система з автоматичним наповненням.

1.5.2 Наведено опис та склад кабельного дегідратора ДК6Д-300. Дегідратори кабельні ДК6Д призначені для утримання кабелів зв'язку під надлишковим тиском сухого повітря в автоматичному режимі. Дегідратор складається з безмасляного компресора промислового типу, розрахованого на роботу в тривалих режимах, блоку осушки, ресивера, контрольної апаратури, автоматики і розподільної арматури.

1.5.3 Проаналізовано способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів. Виявлено, що найзручніший і економічний спосіб регулювання продуктивності компресорної установки, який відомий на сьогоднішній день – це регулювання частоти обертання електродвигуна за допомогою використання частотного перетворювача.

Аналіз особливостей роботи електроприводів поршневих компресорів показав, що в даний час для привода компресорів застосовуються: асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором – при потужності до 100 кВт; з фазним ротором – при більшій потужності; для найбільш потужних компресорів – синхронні електродвигуни.

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Аналіз системи керування асинхронних електроприводів [6]

Характерною тенденцією автоматизованого електропривода є все більш широке застосування асинхронних двигунів (АД). Вони прості і надійні в експлуатації, можуть довгостроково працювати при підвищених швидкостях і температурах, в агресивних і вибухонебезпечних середовищах, для їх виготовлення потрібно менше кольорових металів, вони мають менші масу, габарити і вартість. Розширюються й можливості систем керування асинхронних електроприводів за рахунок створення керованих перетворювачів напруги і частоти, а також мікропроцесорних пристроїв з високою швидкодією і великим обсягом пам'яті.

2.1.1 Скалярне керування. Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є в даний час найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати швидкість обертання валу двигуна (при цьому використовується датчик швидкості) або технологічний параметр (наприклад, тиск у трубопроводі). Скалярним регулюванням, або U/f -регулюванням швидкості електропривода з асинхронним двигуном називають регулювання, при якому зміна швидкості досягається шляхом впливу на частоту напруги на статорі при одночасній зміні модуля цієї напруги. Спосіб регулювання базується на схемі заміщення асинхронного двигуна і на виразі для електромагнітного моменту. Керованість АД при цьому може забезпечуватися спільним регулюванням або частоти і напруги, або частоти і струму обмотки статора. Перший спосіб прийнято трактувати як частотне керування, другий – як частотно-струмове. Вибір способу і принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних та енергетичних вимог до асинхронного електропривода. Основний недолік згаданих принципів керування полягає в труднощі реалізації бажаних законів регулювання швидкості та моменту двигуна в динамічних режимах. Пов'язано це з дуже складними електромагнітними процесами, що

протікають в асинхронному двигуні. Скалярне частотно-струмове керування АД характеризується малим критичним ковзанням і сталістю критичного моменту при сталості напруги двигуна, струму та зміні його частоти. Однак в розімкнених системах подібне керування практично виключено, оскільки із збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік АД і для забезпечення бажаних перевантажувальних здібностей АД з моменту потрібно помітне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора. У разі якщо до динаміки привода не пред'являється особливих вимог, а статичні характеристики відповідають умовам поставленої задачі, то найбільш простим і ефективним рішенням є використання частотного регулювання в розімкненій системі. У подібних системах частота і напруга живлення АД формуються пропорційно напрузі керування в перетворювачі частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруги (АІН). Функціональна схема такої системи наведена на рисунку 2.1.

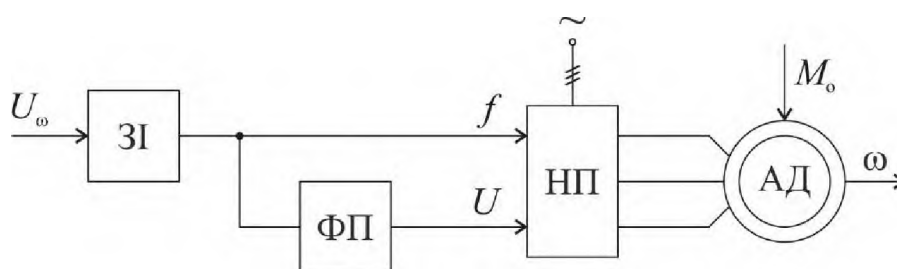


Рисунок 2.1 – Функціональна схема розімкненої системи частотного керування

Тут статор АД підключений до ПЧ з напівпровідниковим перетворювачем НП, що має два незалежних канали керування амплітудою U і частотою f вихідної напруги або струму. НП зазвичай являє собою АІН з широтно-імпульсною модуляцією ШІМ. Функціональний перетворювач ФП необхідний для формування закону керування напругою або струмом статора АД в залежності від частоти, тобто частота в такій системі є незалежним параметром, що визначає швидкість обертання АД з точністю до ковзання. Задатчик інтенсивності ЗІ служить для налаштування швидкості наростання і спаду вхідного сигналу, що виключає електричні та механічні перевантаження. Ретельне його налаштування особливо необхідно, якщо ПЧ неререверсивний, тобто не володіє здатністю двостороннього обміну енергією

між мережею живлення і АД, оскільки в цьому випадку кінетична енергія, накопичена обертовими масами, при гальмуванні буде розсіюватися в перетворювачі, створюючи неприпустимі перевантаження або навіть аварійні режими. При частотно-струмовому керуванні, тобто коли ПЧ працює в режимі джерела струму, механічні характеристики АД не залежать від частоти і володіють істотно меншим критичним ковзанням. Крім того, АД розвиває значно більший момент на валу при тім же струмі статора. Тим не менш позитивні властивості частотно-струмового керування можна використовувати тільки в замкненій системі з струмом статора, що змінюється в функції абсолютного ковзання, так як в протилежному випадку необхідна перевантажувальна здатність досягається значним збільшенням напруги та струму, що неприпустимо в тривалому режимі. Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкненій системі регулювання. Такими координатами можуть бути струм та ЕРС статора (I_s , E_s), основний магнітний потік АД (ψ_δ), частота обертання (ω) і частота ротора або абсолютного ковзання (β). Функціональна схема замкненої системи частотного керування показана на рисунку 2.2.

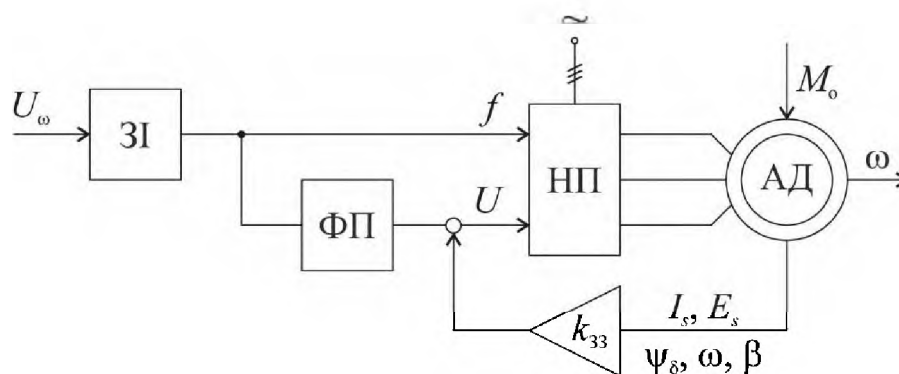


Рисунок 2.2 – Функціональна схема замкненої системи частотного керування

Вибір сигналу зворотного зв'язку визначається безліччю умов: характером навантаження, технічними вимогами до привода, можливістю використання сигналів, що формуються в інших контурах керування. Створення зворотного зв'язку з магнітного потоку в зазорі вимагає установки датчиків Хола, за ЕРС статора – укладання вимірювальної обмотки (витків) у пази статора. Сигнали абсолютного

ковзання і частоти обертання вимагають встановлення тахогенератора, що найчастіше виправдано тільки у випадку необхідності використання зворотного зв'язку по швидкості для отримання заданого статизму механічних характеристик. Найбільш доступним сигналом для частотного керування є струм статора, і саме він використовується в більшості приводів широкого застосування. В даний час при розробці електроприводів спостерігається наступна тенденція: для ПЧ, що реалізують просте скалярне керування електродвигуном пропонуються найпростіші схемотехнічні рішення, при цьому не ускладнюються програмне забезпечення та алгоритми роботи IGBT-модулів. Варто зазначити, що важливою перевагою скалярного методу є можливість одночасного керування групою електродвигунів.

2.1.2 Векторне керування. У 1971 р. Ф. Блешки запропонував новий принцип керування. У відповідності з ним рівняння руху розглядаються не в стаціонарній системі координат, а в системі координат Парка-Горєва, пов'язаній з потокозчеплення ротора. В цій обертовій системі координат всі основні змінні змінюються не за гармонійним законом, а як в двигуні постійного струму. Це дозволило будувати системи керування АД за тим же принципами, що і системи керування двигунів постійного струму, зокрема за принципом підлеглого керування, який отримав назву Field Oriented Control (керування по полю машини). У відповідності з цим принципом керування всі багатозначні змінні (струми, напруги, потокозчеплення) формують відповідні вектори, поведінка яких розглядається або у векторному вигляді, або в проекціях на дві осі обертової системи координат. Векторне керування теоретично дозволяло досягти в АД тих же регульовальних характеристик, що і в двигунах постійного струму. Однак для реалізації векторного керування треба мати інформацію про всі вектори стану асинхронного двигуна. У 1970-х роках це пропонувалося забезпечувати за рахунок установки всередині АД датчиків Хола, з допомогою яких вимірюється потокозчеплення в повітряному зазорі АД, і тахогенераторів або імпульсних датчиків, які дають можливість виміряти кутову швидкість ротора. Однак встановлення цих датчиків вимагало заміни або доопрацювання величезного парку загальнопромислових АД, які не призначалися для регулювання і не були забезпечені цими датчиками. Наявність тахогенератора і датчиків Хола

системи координат α, β відносно нерухомої системи координат x, y , яке використовується в схемі ПК, порівнюється з сигналом завдання ψ^* на вході регулятора потоку РП, а момент двигуна M – з сигналом завдання моменту M^* на вході регулятора моменту РМ. Контур регулювання моменту виконаний як внутрішній по відношенню до зовнішнього контуру швидкості з регулятором швидкості РШ.

Система з непрямою орієнтацією по полю (рисунок 2.4) не містить вузлів вимірювання або розрахунку потокозчеплення ротора ψ_r . Необхідні сигнали завдання складових струму статора формуються на підставі заданих значень потокозчеплення ψ та електромагнітного моменту M_{EM} . При визначенні задаються значення струмів та використовується математичний опис двигуна у вигляді структурної схеми з орієнтацією вектора ψ_r по осі α .

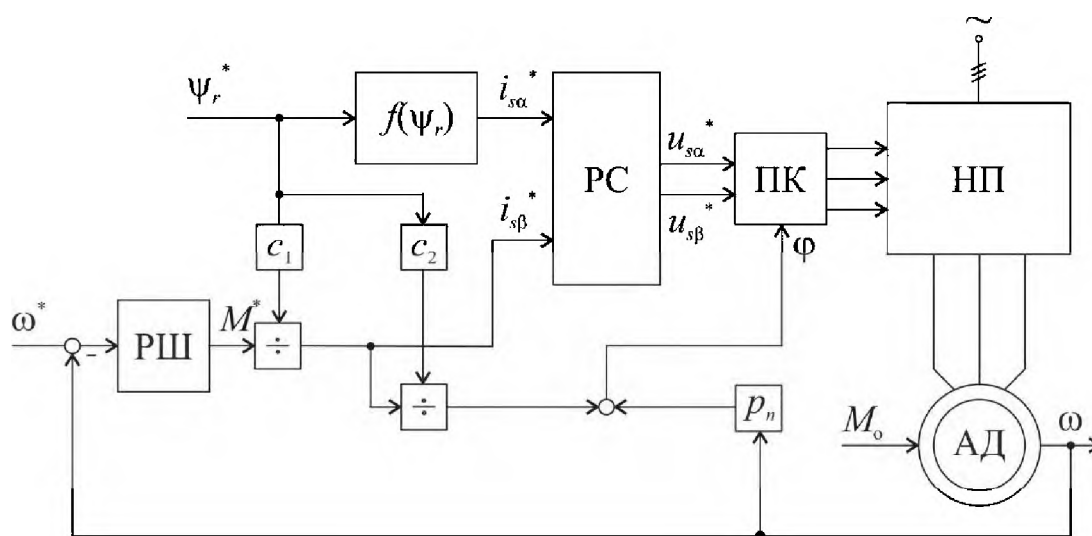


Рисунок 2.4 – Структура привода з непрямою орієнтацією по полю

Як в системах векторного керування з прямим вимірюванням потоку, так і в системах з непрямим вимірюванням потоку відсутність датчиків потокозчеплення компенсується обчисленнями з диференціальних рівнянь, що описують роботу АД, і до яких входять неточно відомі та змінні параметри, такі як опори ротора і статора, приведений момент інерції ротора, момент навантаження. Власні індуктивності ротора і статора, а також їх взаємна індуктивність внаслідок ефекту магнітного насичення мають складну залежність від струму намагнічування. У зв'язку з цим

системи векторного керування без спеціальних заходів є дуже чутливими до невідзначеності цих параметрів.

2.2 Функціональна схема автоматизованого електропривода компресора

2.2.1 Щоб перетворити повітря з навколишнього середовища в робоче тіло пневматичного привода, над ним необхідно провести ряд послідовних дій: стиснути до необхідного тиску, охолодити, очистити і осушити.

Для забезпечення пневмопривода якісним стисненим повітрям в джерело живлення стисненим повітрям повинні входити (рисунок 2.5) [7]:

- компресор;
- пристрої охолодження стисненого повітря;
- фільтри для очищення повітря від твердих забруднювачів, масла і води;
- пристрої осушення (використовуються в основному в централізованих системах подачі стисненого повітря);
- ресивер;
- контрольно-вимірювальні прилади і запобіжні пристрої.

Розшифровку умовних позначень, які представлені на рисунку 2.5 наведено в [8].

Оптимальним режимом експлуатації компресора, як і будь-якого іншого обладнання, є його номінальний розрахунковий режим. Однак рідко буває так, що споживачі витрачають рівно стільки стисненого повітря певного тиску, скільки його виробляє компресор на номінальному режимі. Щоб продуктивність компресора відповідала змінюваному споживанню стисненого повітря, необхідно регулювати тиск, що розвивається компресором, в діапазоні від максимального до мінімального.

На практиці застосовують різні види регулювання [7]:

- 1) по навантаженню;
- 2) періодичним відключенням;
- 3) холостим ходом.

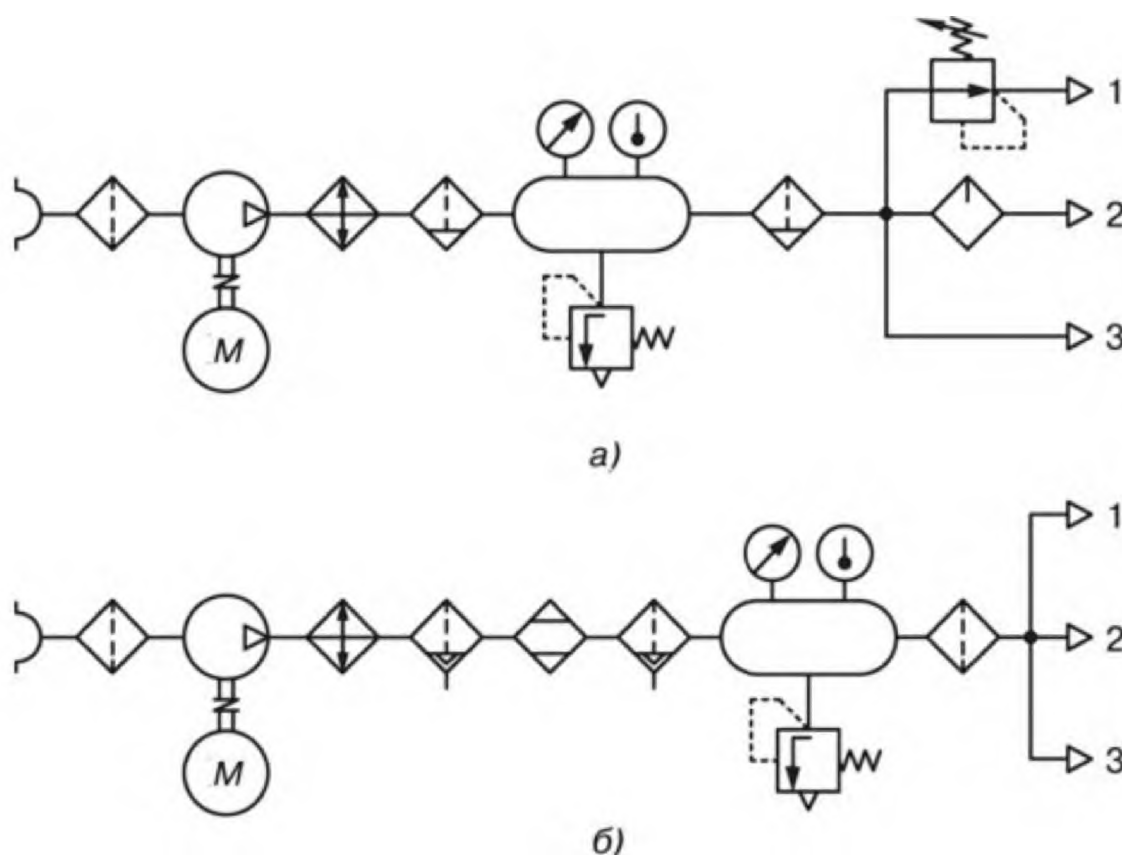


Рисунок 2.5 – Схема джерела живлення стисненим повітрям децентралізованої (а) і централізованої (б) мережі

2.2.1.1 Регулювання по навантаженню. Рівень тиску в напірній магістралі регулюється шляхом зміни частоти обертання приводного вала компресора. При застосуванні для привода електродвигуна регулювання частоти обертання приводного вала може бути забезпечено перетворювачем частоти.

Втрати енергії в даному випадку мінімальні і пов'язані лише з роботою самого перетворювача частоти. Можливо регулювання продуктивності в дуже широких межах – 20...100 %.

2.2.1.2 Регулювання періодичним вимкненням. Це найпростіший спосіб регулювання, при якому при підвищенні тиску до верхньої межі електродвигун

вимикається, а при зниженні тиску вмикається знову. Переваги такого способу регулювання в тому, що при відсутності споживання повітря компресор вимкнений і електроенергія не витрачається. Недолік – постійні вмикання-вимикання електро-двигуна, що призводять до перегріву його обмоток пусковими струмами і передчасного виходу з ладу. Такий спосіб застосовується в основному для низькопродуктивних компресорів, обладнаних малопотужними електродвигунами.

2.2.1.3 Регулювання холостим ходом. Розрізняють регулювання на вході, на виході і коротким замиканням.

Регулювання на вході виконують наступними способами:

- припинення подачі здійснюється шляхом перекриття всмоктувальної магістралі компресора;
- всмоктувальний клапан компресора утримується відкритим за допомогою вбудованого привода, що не дозволяє повітрю в робочій камері стискатися.

Регулювання на виході полягає в тому, що на лінії нагнітання компресора встановлюють пристрій розвантаження, через який стиснене повітря починає стра-влюватись в атмосферу при досягненні максимально допустимого тиску.

Регулювання коротким замиканням полягає в тому, що вхід і вихід компресора закріплюють і компресор працює «сам на себе».

Регулювання холостим ходом – один з найбільш неекономічних способів регулювання, при якому велика частина енергії, витрачена на привод компресора, використовується неефективно, зменшуючи і без того низький ККД пневмопривода. Спосіб може бути виправданий для великих компресорів при дуже малій різниці між продуктивністю компресора і споживанням повітря, коли тиск підвищується до верхньої межі в рідкісних випадках.

2.2.1.4 Вибір способу регулювання в кожному конкретному випадку проводять виходячи з його технологічної та економічної доцільності. Частотно-регульований електропривод компресора дає певні переваги.

При використанні частотного перетворювача компресор споживає рівно стільки енергії, скільки необхідно при поточному рівні споживання стисненого

повітря. При зміні витрати стисненого повітря електродвигун компресора лише знижує або підвищує число обертів. Таким чином забезпечується [9]:

- більш точна підтримання рівня тиску;
- висока ефективність роботи компресора в режимі часткового навантаження;
- відсутність додаткової запірної-регулюючої арматури;
- точне підтримання тиску стисненого повітря;
- відповідність споживаної потужності фактичній витраті стиснутого повітря;
- виключення фаз холостого ходу;
- виключення надлишкового стиснення і втрат повітря при розвантаженні системи;
- зниження пускових струмів і виключення коливань в електричній мережі під час пусків.

2.2.2 Побудова функціональної схеми. На рисунку 2.6 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода компресора. На схемі введені такі позначення: К – компресор; АД – асинхронний двигун; ПЧ – перетворювач частоти; ФП – функціональний перетворювач; ФПС – функціональний перетворювач струму; РТ, ДТ – регулятор та датчик тиску відповідно.

На схемі сигнали i_{sa} і i_{sc} пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків ДТ_а і ДТ_с надходять в функціональний перетворювач струму, де формуються вихідні сигнали I_1 і I_{1a} , пропорційні відповідно діючому значенню струму статора та активній складовій цього струму. У вузлах Σ_1 та Σ_2 підсумовуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що надходять з функціональних пристроїв А1 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вихід А3 лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу I_{1max} , пропорційного діючим значенням максимально допустимого струму статора АД.

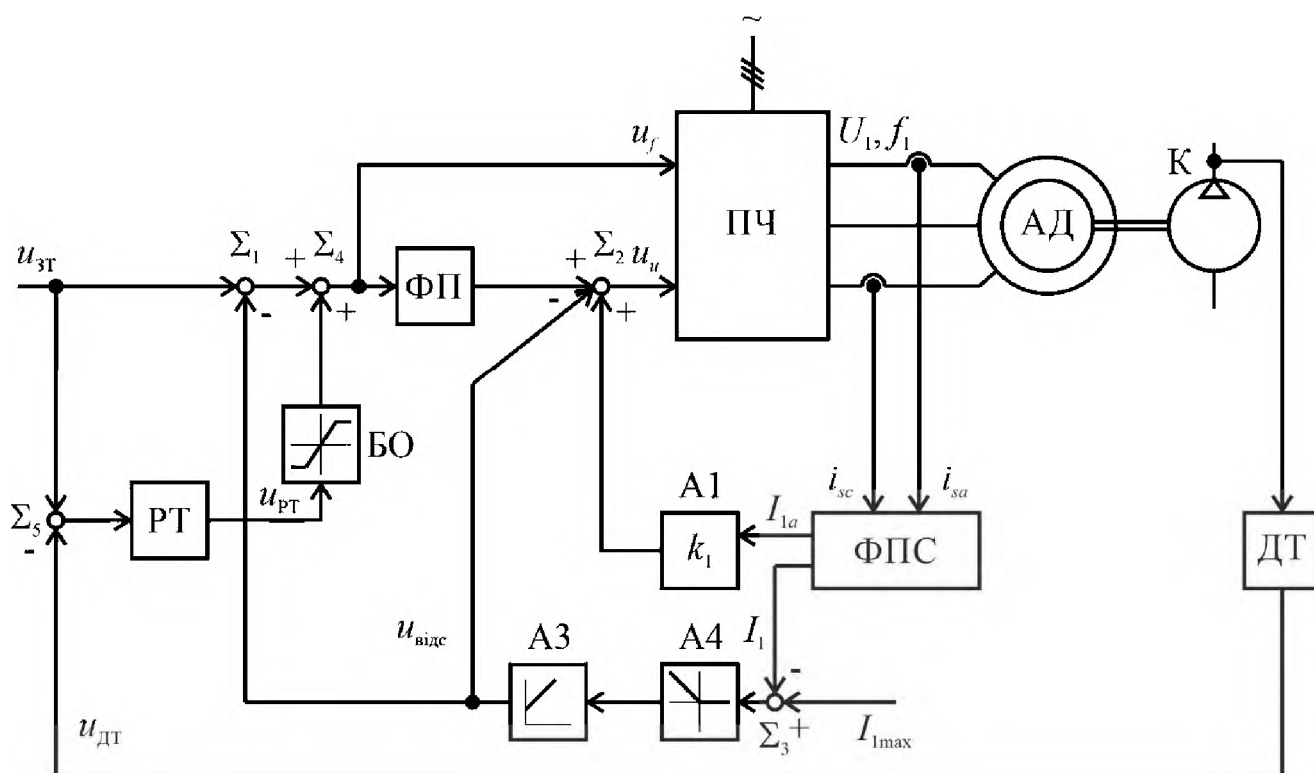


Рисунок 2.6 – Функціональна схема автоматизованого електропривода компресора

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків та їх вплив на властивість електропривода доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку за струмом з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора Σ_2 надходить додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . Отже, в міру збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, яка визначається сигналом u_f , залишається постійною, підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 ланцюга позитивного зворотного зв'язку за струмом. Очевидно, чим більше k_1 , тим більше буде потік при цьому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкненої системи керування та допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

У міру зниження частоти напруги живлення повний опір ланцюга намагнічування а, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічування в замкненій за повним струмом системи ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 , треба зменшувати в бік зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень за струмом використовується режим струмового відсічення за допомогою суматора Σ_3 . Вихідний сигнал АЗ $u_{\text{відс}}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол Σ_2), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол Σ_1).

Канал від'ємного зворотного зв'язку за тиском містить у собі датчик тиску, вузол Σ_5 підсумовування напруг керування тиском (швидкістю АД) $u_{\text{зт}}$ й зворотного від'ємного зв'язку за тиском $u_{\text{дт}}$, регулятор тиску РТ, блок БО обмеження його вихідної напруги $u_{\text{РТ}}$, а також вузол Σ_4 підсумовування напруги $u_{\text{РТ}}$ і результуючої напруги з виходу суматора Σ_1 .

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості АД й, отже, сигналу $u_{\text{РТ}}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta = u_{\text{зт}} - u_{\text{дт}} \equiv p_0 - p$. Тут p_0 – заданий тиск, що відповідає вихідному сигналу керування $u_{\text{зт}}$; p – дійсний тиск. При $\delta \neq 0$ сигнал $u_{\text{РТ}}$ на виході регулятора тиску, підсумовуючись із сигналом $u_{\text{зт}}$ (при $I_1 < I_{1\text{max}}$), за рахунок інтегральної передавальної функції РТ забезпечує збільшення сигналу керування u_f перетворювачем частоти. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача струму ФП змінюється у порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 . При цьому тиск в системі відновлюється до заданого значення p_0 , тобто забезпечується сталість тиску.

2.3 Обґрунтування вибору елементів

2.3.1 Асинхронний електродвигун. В якості приводного електродвигуна в поршневому компресорі використано асинхронний двигун MDFMAXX071-42 [10]. Технічні характеристики асинхронного двигуна приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики асинхронного двигуна MDF-MAXX071-42

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_H , Вт	550
Номінальна частота обертання n_H , об/хв	1405
Номінальна напруга U_H , В	220
Частота мережі f_{1H} , Гц	50
Кількість пар полюсів p_{Π}	2
Номінальний струм I_H , А	2,4
Кратність $I_{\text{пуск}}/I_H$	3,5
Номінальний момент M_H , Н·м	3,74
Кратність $M_{\text{пуск}}/M_H$	2,1
Кратність $M_{\text{max}}/M_H (\lambda)$	2,44
$\cos\varphi$	0,77
Момент інерції $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	0,00128

2.3.2 Перетворювач частоти. Для електропривода компресора обрано перетворювач 8400 Motec, зовнішній вигляд якого приведено на рисунку 2.7. Перетворювачі цієї серії монтуються безпосередньо на клемник двигуна або поблизу на корпусі машини, що є перевагою при виборі місця розташування для монтажу перетворювачів. Змінні функціональні модулі розширення забезпечують просту інтеграцію 8400 Motec в завдання керування і автоматизації.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд перетворювача 8400 Motec

Перетворювачі серії 8400 Motec володіють багатьма можливостями перетворювачів серії 8400 Vector: керування, діагностика, функціональні можливості і поведінка перетворювачів ідентичні. Для керування можна використовувати на вибір або панель керування (пульт) і налаштування ПЧ, або ПК з використанням програмного забезпечення GDC easy.

Технічні характеристики перетворювача 8400 Motec E84DVBM5514SNNN2P приведено в таблиці 2.2 [11].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювача E84DVBM5514SNNN2P

Параметр	Значення
Потужність, Вт	550
Напруга мережі, В	380
Частота мережі, Гц	50
Частота комутації, кГц	2, 4, 8, 16
Вид захисту	IP65
Температура навколишнього середовища, град	-20...+ 60 °C
Режими керування	Векторне керування, U/F-керування (лінійне, квадратичне), керування моментом

Закінчення таблиці 2.2

Параметр	Значення
Стандартні технічні характеристики	РТС-вхід, ПД-регулятор, вбудований гальмівний резистор, автоналаштування, програмований релейний вихід, S-ramp, активізація нулем або одиницею, заборонені частоти, фіксована швидкість, чотири набори параметрів з можливістю перемикання в режимі онлайн
Приводні характеристики	Діапазон регулювання числа обертів 1:50 з M_n (50 Гц), точність ходу/обертання $\pm 0,1$ Гц
Функціональні модулі шин зв'язку з периферією	PROFIBUS-DP, INTERBUS, CAN (системна шина), CAN-I/O (системна шина; два програмовані входи), AS-інтерфейс, LECOM-B
Опції	Потенціометр, об'єднаний з вимикачем, програмний пакет налаштування параметрів «GDC easy», пульт ручного керування з модулем керування або інтерфейсом RS-232, керуючий модуль зовнішнього гальма (випрямляч гальма), зовнішній гальмівний резистор, силовий роз'єм мережі

2.3.3 Датчик тиску. Компактний датчик тиску MBS3000 розроблений для використання в широкому переліку видів промислового обладнання і забезпечує надійне і точне вимірювання тиску навіть в найнесприятливіших і важких умовах роботи. Корпус і деталі датчика, які вступають в контакт з робочим середовищем, виконані з кислотостійкої нержавіючої сталі (AISI 316L). Загальний вигляд датчика тиску MBS3000 060G3813 представлено на рисунку 2.8 а його технічні характеристики – в таблиці 2.3 [12].



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд MBS3000 060G3813

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика тиску MBS3000 060G3813

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	10-30
Діапазон тиску, МПа (бар)	0-1,6 (0-16)
Макс. надлишковий тиск, МПа (бар)	9,6 (96)
Вихідний сигнал, В	активний 0...10
Розмір приєднання тиску	G 1/4 A
Похибка, ± діапазону вимірювань, %	0,5
Середовище	Нейтральна, або злегка корозійні рідини і газу
Допустима температура середовища, °C	-40...+85
Стандарт захисту	IP 65 EN 60 529

2.4 Висновки до розділу 2

2.4.1 Проведено аналіз сучасних системи керування асинхронних електроприводів. Встановлено, що асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є в даний час найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів компресорів, для яких важливо підтримувати технологічний параметр – тиск.

2.4.2 При побудові функціональної схеми автоматизованого електропривода компресора використано канал від'ємного зворотного зв'язку за тиском, який містить у собі датчик та регулятор тиску.

2.4.3 В якості приводного електродвигуна в поршневому компресорі використано асинхронний двигун MDFMAXX071-42. В роботі для електропривода компресора обрано перетворювач 8400 Motec, який монтується безпосередньо на клемник двигуна або поблизу на корпусі компресора, що є перевагою при виборі місця розташування для монтажу перетворювачів. Змінні функціональні модулі розширення забезпечують просту інтеграцію 8400 Motec в завдання керування і автоматизації роботи компресора.

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Побудова структурної схеми автоматизованого електропривода

3.1.1 Оскільки при стабілізації тиску система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна [13], яку наведено на рисунку 3.1. На схемі прийнято наступні позначення: $\omega_3(p)$, $\omega(p)$ – задана та дійсна кутові швидкості обертання валу асинхронного двигуна, рад/с; $M(p)$, $M_o(p)$ – механічний момент двигуна і момент опору відповідно, Н·м.

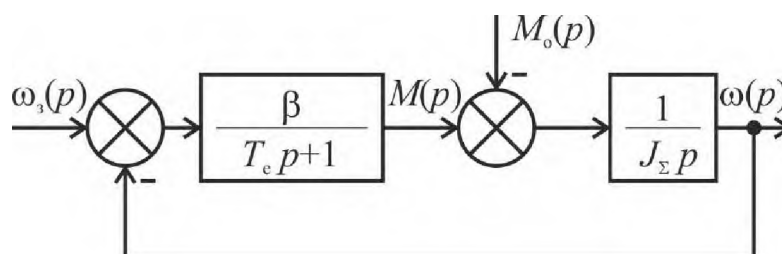


Рисунок 3.1 – Структурна схема лінеаризованої моделі асинхронного двигуна

Передавальна функція лінеаризованої моделі асинхронного двигуна $W_{\text{дв}}(p)$ буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\frac{\beta}{J_{\Sigma}p(T_e p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma}p(T_e p + 1)}} = \frac{\beta}{J_{\Sigma}T_e p^2 + J_{\Sigma}p + \beta} = \frac{1}{T_m T_e p^2 + T_m p + 1}, \quad (3.1)$$

де β – модуль статичної жорсткості (жорсткість лінійної ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна), Н·м·с;

J_{Σ} – сумарний момент інерції, який приведено до валу двигуна, кг·м²

T_e – електромагнітна стала часу, с;

T_m – електромеханічна стала часу, с.

Модуль статичної жорсткості β , Н·м·с,

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_0 s_K}, \quad (3.2)$$

де ω_0 – кутова швидкість холостого ходу асинхронного двигуна, рад/с;
 s_K – критичне ковзання.

Швидкість холостого ходу ω_0 , рад/с,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{p_H},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Критичне ковзання s_K

$$s_K = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (3.3)$$

де s_H – номінальне ковзання двигуна.

Номінальне ковзання двигуна s_H розраховуємо за формулою

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}, \quad (3.4)$$

де ω_H – номінальна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Номінальна кутова швидкість ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1405}{60} = 147,131 \text{ рад/с.}$$

Розраховуємо за формулою (3.4) номінальне ковзання двигуна s_H

$$s_H = \frac{157,08 - 147,131}{157,08} = 0,063.$$

За формулою (3.3) знаходимо s_K

$$s_K = 0,063 \cdot \left(2,439 + \sqrt{2,439^2 - 1} \right) = 0,295.$$

Отже знаходимо за формулою (3.2) модуль статичної жорсткості β

$$\beta = \frac{2 \cdot 9,12}{157,08 \cdot 0,295} = 0,393 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}.$$

Електромагнітна стала часу T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{ел}} s_K},$$

де $\omega_{0\text{ел}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті напруги живлення $f_{1H}=50$ Гц, $\omega_{0\text{ел}}=314$ рад/с;

Отже знаходимо електромагнітну сталу часу T_e

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,295} = 0,011 \text{ с}.$$

Електромеханічна стала часу T_m , с,

$$T_m = \frac{J_\Sigma}{\beta}, \quad (3.5)$$

де J_Σ – сумарний момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Сумарний момент інерції J_{Σ}

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{к}},$$

де $J_{\text{к}}$ – момент інерції компресора, $J_{\text{к}}=0,005 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

$$J_{\Sigma} = 0,00128 + 0,005 = 0,00628 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

За формулою (3.5) знаходимо $T_{\text{м}}$

$$T_{\text{м}} = \frac{0,00628}{0,393} = 0,016 \text{ с.}$$

На основі результатів розрахунків параметрів асинхронного двигуна, передавальна функція двигуна (3.1) буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{0,000172p^2 + 0,016p + 1}. \quad (3.6)$$

3.1.2 Як відомо, перетворювач частоти являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю. Однак можна говорити, що специфіка перетворювача, як нелінійного об'єкта суттєво не позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру регулювання в якому він знаходиться, значно нижче частот, суттєвих для динаміки самого перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше, перетворювач частоти при розрахунках систем керування електроприводів представляють у вигляді аперіодичної ланки з передавальною функцією виду

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p + 1}, \quad (3.7)$$

де $k_{\text{ПЧ}}$ – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, $1/\text{В}\cdot\text{с}$;

$T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу перетворювача частоти, $T_{\text{ПЧ}}=0,01 \text{ с}$.

Коефіцієнт передачі перетворювача частоти $k_{ПЧ}$, 1/В·с,

$$k_{ПЧ} = \frac{2\pi f_{1H}}{p_H U_{PT}},$$

де U_{PT} – напруга на виході регулятора тиску, $U_{PT}=10$ В.

$$k_{ПЧ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,708 \text{ 1/В} \cdot \text{с}.$$

Звідси передавальна функція перетворювача частоти (3.7) буде мати вигляд

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{15,708}{0,01p+1}.$$

3.1.3 Передавальна функція ступені поршневого компресора як об'єкта регулювання відповідає аперіодичній ланці першого порядку

$$W_K(p) = \frac{k_K}{T_K p + 1},$$

де k_K – коефіцієнт передачі ступені компресора, Па·с;

T_K – стала часу компресора, с.

Сталою часу T_K допустимо знехтувати при синтезі системи і вважати компресор безінерційною ланкою з передавальною функцією

$$W_K(p) = k_K. \quad (3.8)$$

Постійний коефіцієнт k_K

$$k_K = \frac{p_H}{\omega_H},$$

де p_H – робочий тиск компресора, $p_H=1$ МПа.

$$k_K = \frac{1000000}{147,131} = 6797 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

3.1.4 Коефіцієнт передачі датчика тиску $k_{\text{ДТ}}$, В/Па,

$$k_{\text{ДТ}} = \frac{U_{\text{ДТ}}}{p_{\text{н}}}. \quad (3.9)$$

Прийmemo для подальших розрахунків $U_{\text{ДТ}}=U_{\text{ЗТ}}=10$ В, тоді

$$k_{\text{ДТ}} = \frac{10}{100000} = 0,00001 \text{ В/Па}.$$

3.1.5 На базі математичного опису елементів автоматизованого електропривода компресора складено структурну схему системи (рисунок 3.2). Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром – контуром тиску. На рисунку прийняті наступні позначення: $U_{\text{ЗТ}}(p)$ – напруга на виході задатчика тиску, В; $W_{\text{РТ}}(p)$ – передавальна функція регулятора тиску; $U_{\text{РТ}}(p)$ – напруга на виході регулятора тиску, В; $U_{\text{ДТ}}(p)$ – напруга на виході датчика тиску, В; $k_{\text{ДТ}}$ – коефіцієнт передачі датчика тиску, В/Па.

3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

При оптимізації контурів регулювання систем керування електроприводів широке поширення набули два методи стандартного налаштування: оптимум за модулем і симетричний оптимум. В процесі синтезу регулятора надаються певні динамічні властивості, тобто здійснюється вибір його параметрів [14].

Передавальна функція скоригованої розімкненої системи

$$W_{\text{роз}}(p) = W_{\text{РТ}}(p)W_{\text{НЧ}}(p),$$

де $W_{\text{НЧ}}(p)$ – передавальна функція незмінної частини системи.

$$W_{\text{НЧ}}(p) = W_{\text{ПЧ}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{к}}(p)k_{\text{ДТ}} = \frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{к}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}.$$

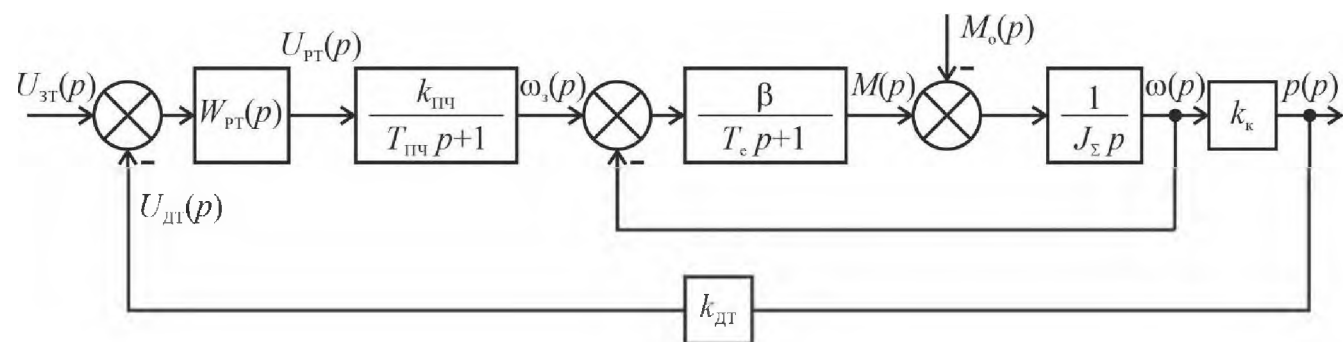


Рисунок 3.2 – Структурна схема автоматизованого електропривода компресора

При налаштуванні на оптимум по модулю передавальна функція розімкненого контуру тиску буде мати вигляд

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)},$$

де T_{μ} – мала некомпенсована стала часу, $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{W_{\text{роз}}(p)}{W_{\text{НЧ}}(p)},$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{\frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}}{\frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{К}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{М}}T_{\text{Е}}p^2+T_{\text{М}}p+1)}} = \frac{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{М}}T_{\text{Е}}p^2+T_{\text{М}}p+1)}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)k_{\text{ПЧ}}k_{\text{К}}k_{\text{ДТ}}}.$$

Стала часу перетворювача частоти мала і становить 0,01 с, тому можна вважати, що $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}$. Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{(T_{\text{М}}T_{\text{Е}}p^2+T_{\text{М}}p+1)}{2T_{\mu}pk_{\text{ПЧ}}k_{\text{К}}k_{\text{ДТ}}}. \quad (3.10)$$

Очевидно, що передавальна функція (3.10) є передавальною функцією пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ПІД-регулятора) з відповідними коефіцієнтами передачі пропорційної $k_{\text{п}}$, інтегральної $k_{\text{і}}$ і диференціальної $k_{\text{д}}$ складових регулятора.

Коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора $k_{\text{п}}$

$$k_{\text{п}} = \frac{T_{\text{М}}}{2T_{\mu}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{К}}k_{\text{ДТ}}},$$

$$k_{\text{п}} = \frac{0,016}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 6797 \cdot 0,00001} = 0,748.$$

Коефіцієнт передачі інтегральної частини регулятора $k_{\text{і}}$

$$k_{\text{і}} = \frac{1}{2T_{\mu}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{К}}k_{\text{ДТ}}},$$

$$k_{\text{і}} = \frac{1}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 6797 \cdot 0,00001} = 46,83.$$

Коефіцієнт передачі диференціальної частини регулятора k_d

$$k_d = \frac{T_m T_e}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_n k_{ДТ}},$$

$$k_d = \frac{0,016 \cdot 0,011}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 6797 \cdot 0,00001} = 8,062 \cdot 10^{-3}.$$

Підставивши розраховані значення параметрів налаштування регулятора тиску в (3.10), отримаємо

$$W_{РТ}(p) = 0,748 + \frac{46,83}{p} + 0,008p.$$

3.3 Побудова моделі та аналіз якості керування автоматизованого електропривода в MATLAB

3.3.1 Побудова схеми моделювання. Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода компресора скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотек стандартних блоків створює модель системи і здійснює розрахунки [15].

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.2) складена модель для середовища Simulink. Схема моделювання представлена на рисунку 3.3.

Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи, розраховані в п. 3.1, 3.2 та зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри елементів моделі автоматизованого електропривода

Коефіцієнт	$k_{ПЧ}$, 1/В·с	$T_{ПЧ}$, с	β , Н·м·с	T_e , с	J_Σ , кг·м ²	k_k , Па·с	$k_{ДТ}$, В/Па
Значення	15,708	0,01	0,393	0,011	$6,28 \times 10^{-3}$	6797	1×10^{-5}

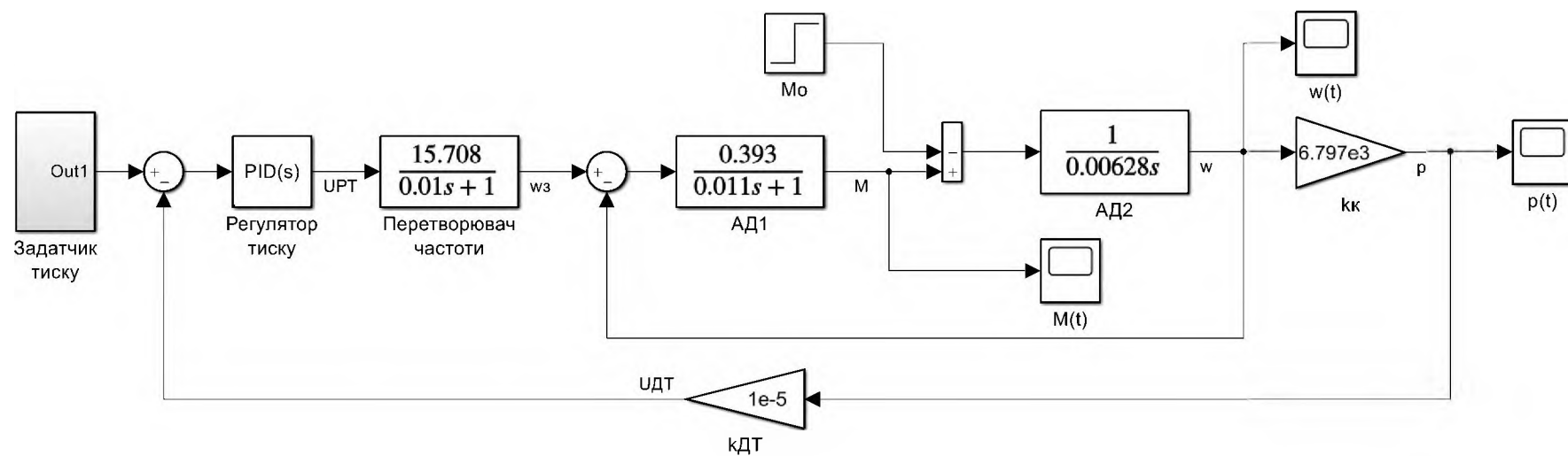


Рисунок 3.3 – Схема моделювання автоматизованого електропривода компресора

3.3.2 Аналіз якості керування. Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення, час наростання, час максимуму та усталену похибку [16].

Швидкодія системи напряду пов'язана з часом наростання t_n та часом максимуму перехідної характеристики t_m . Для недодемпфованих систем, перехідна характеристика яких має перерегулювання, час наростання визначається як час зміни реакції від 0 до 100 % заданого значення вихідної величини. Якщо система передемпфована, то перерегулювання відсутнє, час максимуму не має значення, а в якості часу наростання розглядається інтервал, протягом якого перехідна характеристика змінюється від 10 до 90 % її значення.

Наскільки добре дійсна реакція системи відповідає керуючому впливу, оцінюється по відносному перерегулюванню σ і часу встановлення t_p .

Відносне перерегулювання σ представляє собою максимальне відхилення від усталеного значення, яке виражається у відносних одиницях або процентах,

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100 \%,$$

де $h_{\max}$ — максимальне значення вихідної величини;

$h_{\text{уст}}$ — усталене значення вихідної величини.

Час встановлення t_p визначається моментом, після якого перехідна характеристика залишається повністю в межах зони, яка відрізняється від усталеного значення на $\pm\delta$.

Отже, реакцію системи на керуючий вплив можна охарактеризувати двома факторами:

- швидкодією, яка визначається часом наростання і часом максимуму;
- близькістю до бажаного вигляду, яка визначається перерегулюванням і часом встановлення.

Наведені вище показники можуть бути доповнені іншими, якщо цього вимагають специфічні технічні завдання на розробку або дослідження систем керування.

Статичний момент (момент опору) поршневого компресора не залежить від частоти обертання, а залежить від траєкторії руху виконавчого механізму (від кута повороту) [17]. Для пуску і прискорення такого механізму приводний електродвигун повинен розвивати пусковий момент значно більший їх статичного моменту. Відповідно завданню до кваліфікаційної роботи момент опору в схемі моделювання встановимо рівним $M_0=2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

У результаті моделювання були отримані перехідні характеристики автоматизованого електропривода, які представлені на рисунках 3.4-3.6. Отримані показники якості зведені в таблицю 3.2.

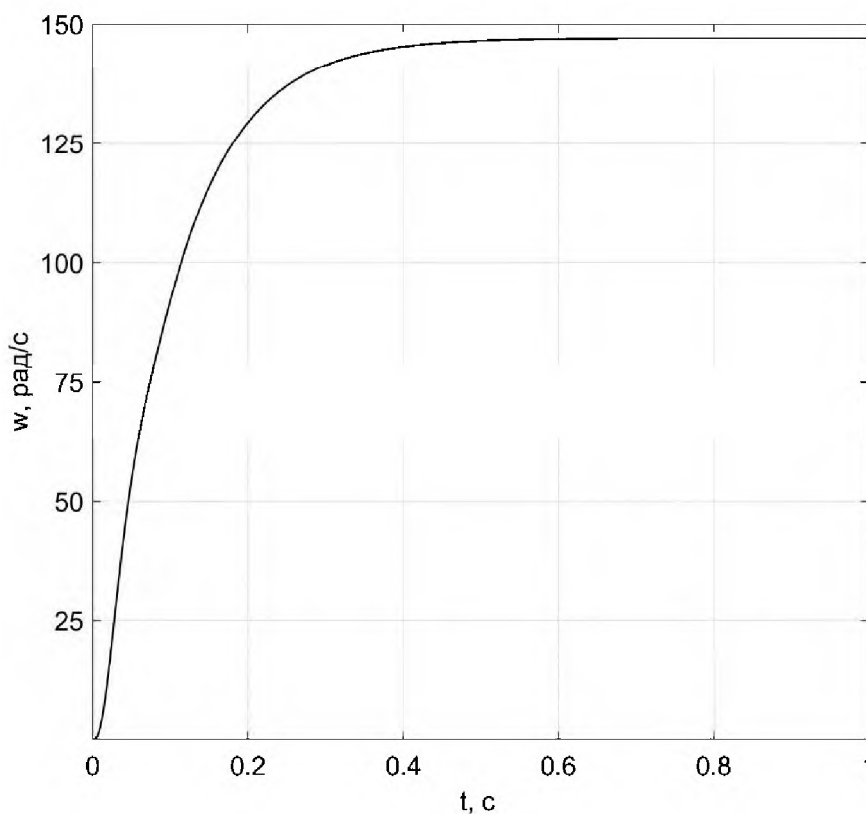


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна

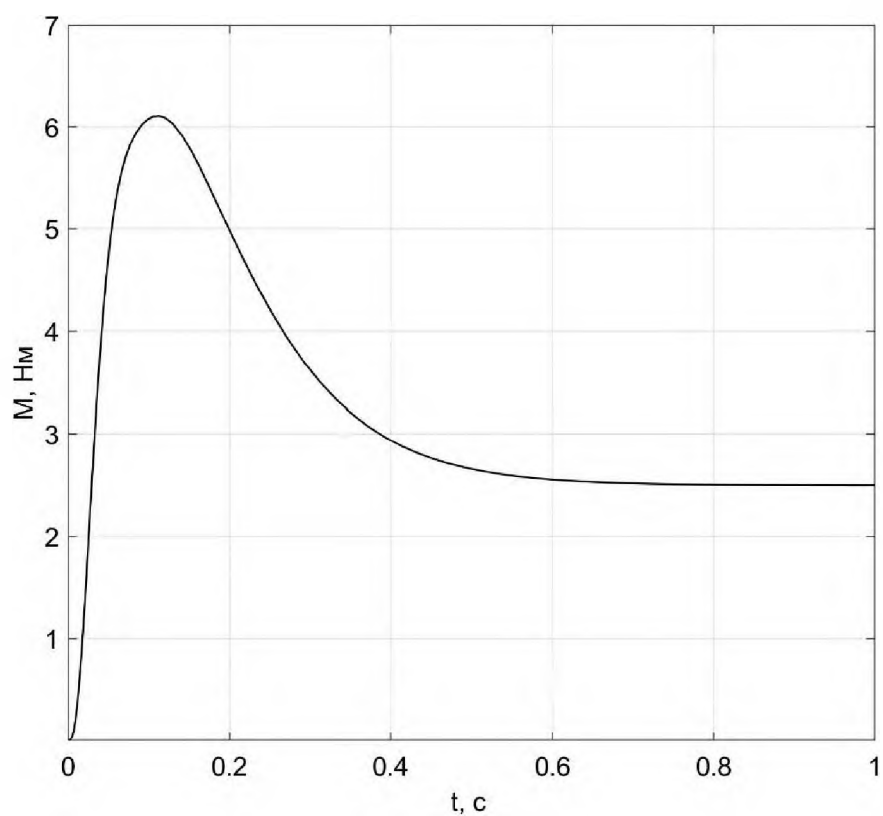


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна

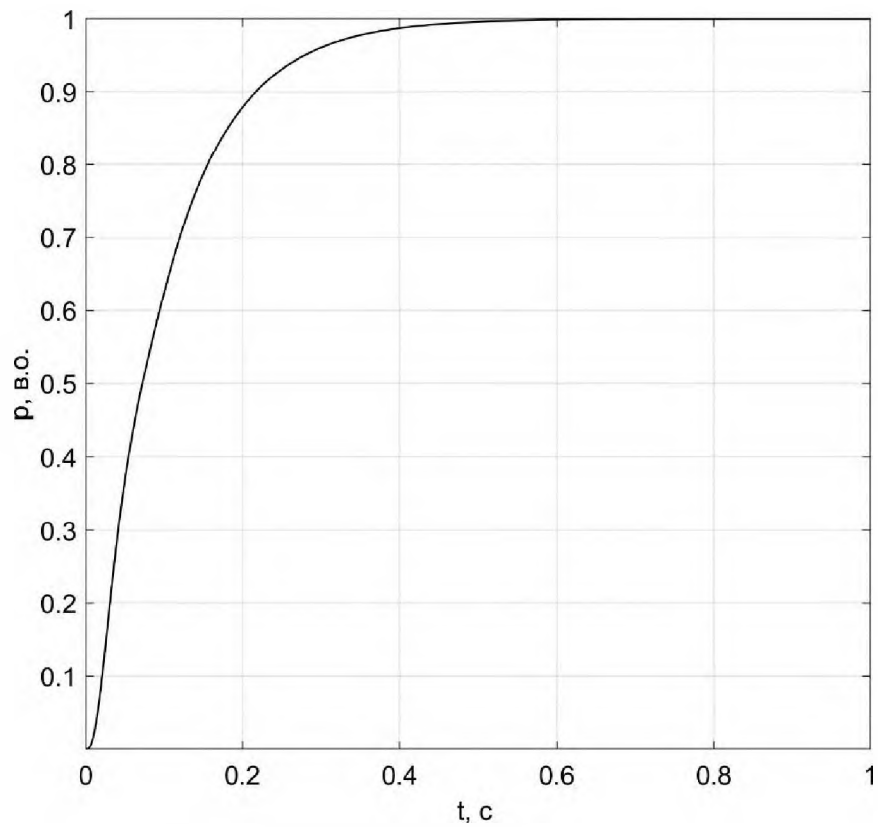


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика тиску

Таблиця 3.2 – Показники якості

Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , с	Час наростання t_n , с	Усталена похибка $\varepsilon_{уст}$
Значення	0	0,34	0,2	0

Відповідно завданню до кваліфікаційної роботи перехідний процес повинен відповідати таким показникам: $\sigma \leq 5\%$, $t_p \leq 0,6$ с. Згідно таблиці 3.2 отримані значення не перевищують задані, отже, перехідний процес задовольняє сформульованим у завданні вимогам.

3.4 Висновки до розділу 3

3.4.1 Побудовано структурну схему автоматизованого електропривода компресора. Використано лінійну модель асинхронного двигуна оскільки при стабілізації тиску система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром – контуром тиску.

3.4.2 При оптимізації контуру регулювання тиску системи керування електропривода компресора обрано метод стандартного налаштування за модулем. В процесі синтезу регулятора тиску здійснено вибір його параметрів.

3.4.3 Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода компресора побудовано модель системи керування в програмі Simulink. У результаті моделювання було побудовано перехідні характеристики автоматизованого електропривода. Отримані показники якості задовольняють сформульованим у завданні вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Задачами охорони праці є безпека праці, попередження травматизму, професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві, правової охорони праці, інженерної психології й організації праці.

Робота людини повинна проходити в умовах, що сприяють розвитку всіх його можливостей і забезпечують високу продуктивність праці.

До шкідливих і небезпечних факторів відносяться ті фактори, вплив яких на працюючого у визначених умовах приводить до захворювань, зниженню працездатності а також до травм або інших раптових погіршень здоров'я. Зведення до мінімуму ймовірності захворювань працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній ефективності праці є першочерговим завданням охорони праці.

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

4.1 Техніка безпеки при роботах на кабельних лініях [1]

4.1.1 Риття траншей, транспортування і прокладка кабелів. За умовами техніки безпеки в межах залізничного полотна на перегонах і станціях траншеї починають рити тільки після отримання письмового дозволу. Спочатку робочих знайомлять з кабельною трасою, підземними спорудами, з пристроями, що зустрічаються на трасі, і місцями, де роботи слід виконувати з особливою обережністю. На території, де прокладені залізничні колії, рити траншеї і прокладати кабель можна тільки в світлий час доби і при погоді, яка забезпечує нормальну видимість. Не можна завалювати землею ходові рейки, стічні решітки, люки, пожежні крани і інші підземні споруди, а також пристрої СЦБ. У населених пунктах розриту траншею і котловани необхідно захищати щитами, а вночі додатково освітлювати лампами червоного вогню.

В межах залізничного полотна траншеї розробляють вручну тільки в присутності майстра або бригадира після огороження місця робіт сигналами. При отриманні сигналу про наближення поїзда всіх працівників необхідно вивести з траншеї в безпечну зону.

При роботах поблизу колій слід дотримуватися особливої обережності і вживати заходів до запобігання обвалів і зсувів країв траншей. Матеріали і інструменти повинні бути укладені не ближче 0,5 м від краю траншеї. Скласти матеріали та інструменти на схилі відвалу землі з боку траншеї або котловану забороняється. У місцях проходу пішоходів через траншеї укладають містки з поручнями і бортовими дошками.

При наявності підземних комунікацій на трасі кабелю дозволяється користуватися ломом, кирками і т. п. Тільки на глибину 0,3 м від поверхні землі. Далі всі роботи потрібно виконувати лопатою. Під час риття котлованів стінки котлованів в будь-якому ґрунті закріплюють. Місця котлованів захищають і вночі освітлюють червоною лампою.

Забороняється спускатися у виритий котлован до того, як його стінки будуть укріплені щитами, і спускатися в котлован і вилазити з нього по кріпильних розпорах. Спускатися в колодязі і котловани глибиною понад 1 м дозволяється тільки по надійно встановлених сходах. Цеглу слід подавати в котловани по жолобах, зробленим з двох дошок, а цементний розчин і воду – відрами, які опускають в котловани і траншеї на мотузці. Брати відро дозволяється лише тоді, коли воно буде знаходитися на дні котловану, траншеї або на підмостках.

Барабани з кабелем необхідно занурювати і вивантажувати за допомогою механізмів і на рівній місцевості. При наявності ухилу під щоки барабана укладають упори таким чином, щоб виключалась можливість самовільного руху барабана. Під час навантаження барабана з кабелем в кузов автомобіля краном влізати в кузов дозволяється тільки тоді, коли барабан буде опущений на платформу автомобіля. Барабан, занурений на автомобіль або інші транспортні засоби, необхідно ретельно закріпити за допомогою розтяжок і спеціальних черевиків або обтесаних колод, які підкладають під щоки барабана.

Спосіб прокладки підземних кабелів залежить від перешкод, що зустрічаються на трасі, а також наявності засобів механізації.

Під час ручного прокладання кабелю його подають з барабанів один або двоє робітників, які, повільно обертаючи барабан, передають кабель робітникам, які йдуть попереду. Число робітників повинно бути таким, щоб маса кабелю, яка припадає на одного чоловіка, не перевищувала 35 кг, а на одну жінку – 20 кг.

Сигнальні і силові кабелі прокладають, як правило, при плюсовій температурі повітря. Однак для безперервного процесу функціонування пристроїв залізничної автоматики, телемеханіки і зв'язку іноді потрібно прокладати кабель і при мінусовій температурі з дотриманням необхідних запобіжних заходів. При цьому кабель необхідно підігріти прямо на барабані.

Якщо кабель прокладають кабелеукладальником, то до роботи на кабелеукладальнику допускають осіб, які вивчили технологічний процес укладання кабелю і перевірених в знанні техніки безпеки при роботі на кабелеукладальнику. Пі-

дійом і заглиблення ножа кабелеукладальника може виконувати бригада, що складається не менше ніж з трьох осіб. Під час роботи багатоковшового або скребкового траншейного екскаватора очищати ківш або скребки забороняється.

4.1.2 Оброблення і монтаж кабелів, роботи в колодязях. При ремонтних роботах з силовими кабелями високої напруги додатково слід дотримуватися таких правил: роботу на таких кабелях повинні виконувати не менше двох осіб: приступати до роботи можна тільки після того, як з кабелю буде відключено високу напругу, жили кабелю на обох кінцях заземлені та встановлені плакати «Не вмикати! Працюють люди».

Якщо необхідно розрізати кабель ножівкою, то металеву частину ножівки гнучким ізольованим проводом з'єднують із заземлювачем, який тимчасово владнається в місці робіт. Електромонтер, який розрізає кабель або розкриває чавунну сполучну муфту, повинен надіти калоші, діелектричні рукавички і захисні окуляри, а під ноги підкласти дошки або діелектричний килимок. Після зняття кришки муфти електромонтер по індикатору переконується у відсутності напруги в жилах кабелю, з'єднує затискачі або гільзи на жилах із землею і тільки після цього може продовжувати працювати без діелектричних рукавичок і окулярів.

При розкритті свинцевих муфт необхідно дотримуватися тих самих заходів безпеки, що і при розкритті чавунних муфт. При знятті заземлення після закінчення робіт спочатку заземлюючі проводи відключають від кабельних жил, а потім – від заземлювачів.

Перед початком монтажних або ремонтних робіт в розподільчих шафах місцевої мережі необхідно за допомогою газоаналізатора переконатися у відсутності газу в колодязі, найближчому до розподільної шафи, і в підземній шафовій коробці. Якщо буде виявлено хоча б незначну кількість газу, то розводити вогонь близько розподільної шафи забороняється. При виявленні газу в розподільній шафі необхідно повідомити про це в аварійну службу газової мережі по телефону, а потім письмово.

Працювати з кабелем, розташованим близько кабелів, з яких не вимикається живлення, необхідно так, щоб не пошкодити їх. При роботі на магістралях, організованих по двокабельній системі, живлення з кабелю, на якому проводимуть роботи, слід вимкнути.

Кабель, що залишається під напругою, в котлованах повинен бути присипаний землею, а в колодязях на цей кабель необхідно повісити плакат «Під напругою! Небезпечно для життя».

При протягуванні кабелю в каналізації не можна перебувати у вигинів траса і торкатися голими руками до рухомого кабелю або тросу.

Під час установки на стінки колодязя залізобетонного перекриття (цілого або збірного) забороняється перебувати в колодязі. Спускатися в колодязь дозволяється тільки після того, як перекриття буде надійно встановлено і займе належне положення. Люк повинен бути опущений на горловину колодязя і закритий тимчасовою або постійною кришкою.

При відкриванні колодязя необхідно дотримуватися обережності, щоб не вишло іскри від ударів ломом, молотком і т. д., які можуть викликати вибух при наявності всередині колодязя вибухонебезпечних газів. Взимку, якщо потрібно зняти примерзлу кришку люка, можна використовувати окріп, гарячий пісок або негашене вапно. До закінчення провітрювання колодязя забороняється наближатися до люка з відкритим вогнем, сірником, цигаркою, що горить і т. п.

Незалежно від того, є в колодязі газ чи ні, до початку роботи слід провентилувати колодязь, в якому будуть проводити роботу, а також сусідні колодязі (по одному з кожного боку). Вентилювання підземних пристроїв кабельної мережі перед початком роботи і під час роботи обов'язково в усіх пунктах, в тому числі і в тих, де немає газових мереж.

При розтині каналів забороняється користуватися відкритим вогнем, так як в каналах може бути газ. Під час роботи в колодязях слід застосовувати переносні лампи, що працюють при напрузі 12 В. Якщо при відкритті колодязів небезпечні гази не були в них виявлені, то під час роботи їх слід провітрювати не менше трьох чотирьох раз за зміну. При виявленні газу вентилювати колодязі слід до тих пір,

поки не буде встановлено, що небезпечні гази відсутні. Під час прошпарювання і пайки кабелю колодязі повинні бути забезпечені механічною припливною вентиляцією.

Біля колодязя, де проводять роботи, повинен перебувати черговий, який зобов'язаний стежити за станом осіб, що спустилися в колодязь.

Необхідно, щоб на кожному працівникові, що спускається в колодязь, був надітий рятувальний пояс з лямками і рятувальною мотузкою. Спускатися в колодязь можна тільки по сходах. При перших же ознаках поганого самопочуття працюючого в колодязі черговий повинен негайно допомогти йому вибратися або виїняти його з колодязя за допомогою рятувальної мотузки.

4.1.3 Робота з кабельними масами і ручним інструментом. Прошпарювальну масу потрібно розігрівати в безшовному чайнику (звареному металевому або емальованому) на поверхні землі не ближче 2 м від люка колодязя (або від котловану і т. п.).

Масу для заливки чавунних муфт слід розігрівати на жаровнях у відрі з носиком і кришкою або в металевому звареному або емальованому чайнику з кришкою. Якщо масу розігрівають для заливки декількох великих муфт, то можна використовувати спеціальні пересувні котли з подвійними стінками. Готувати, розігрівати і знімати з жаровні котел або чайник, а також працювати з кабельною масою потрібно в спецодязі, рукавицях і захисних окулярах.

Чайник з гарячою прошпарювальною масою слід опускати в колодязь у відрі. Брати цей чайник можна лише після того, як відро буде опущено на дно колодязя. Перемішувати прошпарювальну масу дозволяється металевою ложкою, скляною або металевою паличкою. Щоб уникнути швидкого випаровування з дерев'яної палички вологи та розбризкування маси перемішувати нею масу не можна.

Прошпарювати паперові гільзи, нитки і бинти потрібно на поверхні землі. Виконувати цю роботу в кабельних колодязях і наметах не допускається.

Палаючу паяльну лампу дозволяється подавати в колодязь тільки у відрі і тільки після ретельної вентиляції колодязя при впевненості, що в колодязі немає газу і всі вільні і зайняті канали закриті.

Необхідно, щоб протягом всього часу, поки прошпарюють кінці кабелів і за-
паюють свинцеву муфту, безперервно працював витяжний вентилятор. Всі вільні
канали повинні бути закриті пробками, а канали з кабелем закладені технічною за-
мазкою. Під час виконання робіт в котлованах або колодязях напівлежачи, сидячи
на колінах, необхідно застосовувати підстилку з повсті або іншого подібного мате-
ріалу.

Розпалювати паяльні лампи слід на поверхні землі на відстані не менше 2 м
від колодязя. При роботі з паяльними лампами забороняється заливати лампу бен-
зином більш ніж на 3/4 місткості її резервуара, застосовувати для заливки лампи
етилований бензин, користуватися лампою з не повністю загвинченою пробкою,
наливати або виливати пальне та розбирати паяльну лампу поблизу відкритого во-
гню, наливати пальне в неостиглого лампи.

Електричні паяльники повинні бути напругою не вище 36 В. Їх включають в
мережу через переносні трансформатори, укладені в сталеві коробки, які мають ви-
ходи для заземлення та забезпечені шланговим кабелем.

При користуванні електродрилем слід дотримуватися наступних правил без-
пеки і вимог. Корпус електродрилі повинен бути заземлений, перехід з електрод-
рилем на інше місце роботи допускається тільки після відключення її від мережі.
Виправляти і регулювати електричні інструменти можна тільки тоді, коли вони від-
ключені. У разі заїдання або заклинювання робочих частин інструментів робота по-
винна бути негайно зупинена.

До робіт з пневматичним інструментом допускаються особи, які пройшли
спеціальне навчання.

Ручки напилків, ножівок, викруток, буравів і іншого інструменту повинні
бути міцно закріплені і мати на торцях металеві кільця, зубила, борідки, керни – не
мати скошених і збитих потилиць. Гайкові ключі повинні строго відповідати роз-
мірам гайок, робочі поверхні – не мати збитих скосів.

4.1.4 Робота на кабельних лініях і мережах при електротязі змінного струму.
Будь-які роботи з кабелем, що знаходяться в зоні небезпечного впливу контактної

мережі змінного струму (10-80 м від контактної мережі), повинні виконувати не менше ніж два працівники, один з яких є наглядачем.

Всі роботи на кабельних лініях сигналізації і зв'язку, пов'язані з дотиком до кабелів (за винятком бездіяльних, що знаходяться на барабанах), слід здійснювати в діелектричних рукавичках і калошах або ботах.

Монтаж і ремонт кабелю, а також всі роботи під водно-кабельних шафах проводять працівники, одягнені в комбінезон з рукавами, застебнутими у кистей рук, і в головному уборі.

Торкатися до броні, оболонці і незаземленим жилах кабелю дозволяється тільки в діелектричних рукавичках. При знятті джуту, броні і екранують покривів з кабелю, а також при розмотування кабелю з барабана і його прокладанні поверх діелектричних рукавичок слід надягати бавовняні рукавиці. Кабелі та кабельну арматуру необхідно відкопувати в діелектричних рукавичках з натягнутими поверх них бавовняними рукавицями і в діелектричних калошах. Починаючи з глибини 0,4 м, цю роботу можна виконувати тільки лопатами. У котловану необхідно вивішувати плакат, що попереджає про небезпеку дотику до відкопали кабелю.

Перед початком робіт по ремонту кабелю на дно котловану укладають дерев'яний щит, поверх якого кладуть діелектричні килимки. Такий же щит з діелектричними килимками встановлюють у одній зі стін котловану з боку робочого місця спаявальника.

На час робіт в котловані повинно бути обладнане тимчасове заземлення. Для цього в ґрунт забивають три сталевих стержня (кутового профілю) або три газові труби діаметром не менше 20 мм. Глибина забивання стержня або труб повинна бути не менше 1 м, а відстань між ними – не менше 1,5 м. Заземлювачі повинні бути електрично з'єднані між собою ізольованим багатожильним мідним дротом з площею поперечного перерізу не менше 10 мм². Перед розкриттям кабелю його броню захищають і надійно підключають до заземлення мідним дротом.

Всі працівники, зайняті на монтажі кабелів, повинні бути забезпечені монтажними інструментами з ізолюючими ручками.

При усуненні пошкодження на кабельних лініях сигналізації і зв'язку, що вимагає розкриття муфти, роботи в котловані виконують наступним чином. На діелектричний килимок встановлюють дерев'яні козли і укладають на них чавунну муфту, що підлягає розкриттю; паяльними лампами нагрівають чавунну муфту і кабельну масу, яка знаходиться в ній (ці роботи виконують без діелектричних рукавичок). Знявши чавунну муфту, змивають бітум з бандажів на броні кабелю, накладають на бандажі заземлюючі хомути і підключають до них заземлюючі проводи і шунтуючу шину. Після цього перевіряють відсутність напруги на оболонці кабелю, розпаюють муфту і дроти броньового покриття (якщо вони є), знімають свинцеву муфту, а потім зі зростків жив видаляють поясний ізоляцію.

Обережно зміщуючи один кінець кабелю вправо від осі зростків і повертаючи його назад, зближують кінці кабелю, що дозволяє розкрити четвірки і отримати до них вільний доступ. Коротке замикання жил усувають без накладання заземлюючих затискачів тільки в тих випадках, якщо це не вимагає переробки скруток; при переробці скручування з кожної жили послідовно зрушують гільзу і по обидва боки скрутки підключають заземлюючі затискачі.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на людину при експлуатації компресорів [18]

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, підрозділяються по природі дії на наступні групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

4.2.1 На персонал, який виконує роботи з обслуговування стаціонарних компресорних установок, з групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів можуть впливати:

- вибухо- і пожежонебезпека;

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, що пересуваються;
- конструкції, що руйнуються;
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях інструментів і обладнання.

4.2.2 Один і той же небезпечний і шкідливий виробничий фактор за природою своєї дії може належати одночасно до різних груп, перерахованих в п. 4.2.1.

4.3 Техніка безпеки при обслуговуванні компресорів [18]

4.3.1 Загальні вимоги безпеки

4.3.1.1 До обслуговування стаціонарних компресорів стиснутого повітря допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли спеціальну підготовку, навчання, склали іспит з перевірки знань, які отримали допуск до самостійної роботи і які мають відповідну кваліфікаційне посвідчення.

4.3.1.2 Стаціонарна компресорна установка являє собою агрегат, що складається з компресора, приводного електродвигуна, допоміжного обладнання і контрольно-вимірювальних приладів.

4.3.1.3 На КС з газомотокомпресорами компресори стисненого повітря встановлюються в окремому приміщенні – компресорній пускового повітря, на КС з електроприводом компресори стисненого повітря встановлюються в машзалі.

4.3.1.4 Приміщення компресорної пускової повітря повинне задовольняти вимогам безпечного обслуговування і ремонту компресорів і допоміжного устаткування. Підлоги в приміщенні повинні бути рівними з нековзною поверхнею, маслостійкими, з вогнетривкого зносостійкого матеріалу. Проходи між компресорами повинні забезпечувати можливість демонтажу і обслуговування компресора і мати ширину не менше 1,5 м, а відстань між устаткуванням і стінами не менше 1 м.

4.3.1.5 Компресор, встановлений в машзалі КС, повинен бути огорожений знімними металевими поручнями з труб діаметром 1/2", троса або ланцюга.

4.3.1.6 Всі рухомі і обертові частини компресора, електродвигуна, вентилятора обдування і інших механізмів повинні бути надійно огорожені. Корпуси компресорів і електродвигунів повинні бути заземлені.

4.3.1.7 Всі компресорні установки повинні забезпечуватися наступними контрольно-вимірювальними приладами:

- манометрами, встановленими на кожному ступені стиснення;
- термометрами для вказівки температури газу після кожного ступеня стиснення. Вимірювання температури повинно проводитися стаціонарними (в металевому кожусі) термометрами. Застосування переносних ртутних термометрів для регулярного виміру температур забороняється;
- приладами для вимірювання тиску і температури масла мастила компресора.

4.3.1.8 На повітрозбірнику повинні встановлюватися манометри діаметром не менше 150 мм, класу точності не нижче 2,5. На шкалі манометра повинна наноситися червоною фарбою риса по поділу, відповідному вищому допустимому робочому тиску.

4.3.1.9 Запобіжні клапани повинні встановлюватися на кожному ступені стиснення і спрацьовувати при тиску, що перевищує робочий не більше ніж на 0,5 кгс/см² для компресорів з робочим тиском до 3 кгс/см², не більше ніж на 15 % перевищує робочий для компресорів з робочим тиском від 3 до 60 кгс/см² і на 10 % при робочому тиску понад 60 кгс/см². Всі запобіжні клапани на тиск до 12 кгс/см² повинні щодоби перевірятися на спрацювання шляхом примусового їх відкриття

під тиском. Терміни перевірки запобіжних клапанів, які працюють при тиску понад 12 кгс/см^2 встановлюються інструкцією заводу-виробника і повинні бути не рідше 1 разу на півроку.

4.3.1.10 Натяжні гайки пружинних запобіжних клапанів повинні бути запломбовані, вантажі важільних запобіжних клапанів надійно закріплені, запломбовані і закриті металевими кожухами. Спосіб пломбування гайок і вантажів не повинен перешкоджати перевірці клапанів на спрацьовування.

4.3.1.11 Встановлена на компресорі і повітроводах арматура повинна бути доступна для зручного і безпечного обслуговування і ремонту, і забезпечувати можливість швидкого і надійного припинення подачі стисненого повітря. Арматура повинна бути пронумерована і мати ясно видимі стрілки, що вказують напрямки обертання маховиків, а також стрілки, що позначають положення «відкрито» і «закрито».

4.3.1.12 На електродвигунах привода компресорів, що працюють в автоматичному режимі, повинна бути закріплена табличка «Вмикається автоматично».

4.3.1.13 Зовні біля входних дверей в приміщення компресорної пускового повітря повинен бути укріплений плакат «Стороннім вхід заборонено».

4.3.1.14 У приміщенні компресорної повинні бути відведені і відповідно обладнані спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтиральних матеріалів, інструменту та запчастин, а також для зберігання тижневого запасу масла.

У приміщенні повинна бути аптечка першої допомоги.

4.3.2 Вимоги безпеки перед початком робіт

4.3.2.1 До виконання робіт необхідно провести підготовку робочого місця і перевірити:

- наявність, справність і чистоту табельних засобів захисту,
- використовуваної спецодягу і спецвзуття;
- освітленість робочого місця;
- справність інструменту, пристроїв та обладнання.

4.3.2.2 Провести зовнішній огляд компресорної установки:

- встановити наявність та справність огорож вентилятора;
- випробувати вручну запобіжні клапани компресора;
- перевірити наявність масла в повітряному фільтрі і картері;
- перевірити натяг ременів клиноременною передачею привода вентилятора.

4.3.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

4.3.3.1 Для включення компресорної установки необхідно:

- відкрити продувальні вентиля на ресивері;
- включити електродвигун компресора, перевірити роботу вентилятора;
- переконатися в нормальній роботі компресорної установки;
- переконатися в правильному напрямку обертання, вказаному на кришці маслонасоса;

- переконатися в наявності тиску масла в системі змащення (0,5-1,5 кг);
- поступово закрити продувальні вентиля;
- ввести компресорну установку в нормальний режим роботи.

4.3.3.2 Ремонтні роботи на компресорі повинні проводитися після виконання регламентних організаційно-технічних заходів, що забезпечують безпеку виконання робіт.

Якщо роботи виконуються на нерухомих частинах компресора і випадкове раптове увімкнення електродвигуна привода компресора не грозить травмою персоналу, то досить вимкнути вимикач, а на кнопках або ключі керування вивісити плакат: «Не вмикати – працюють люди».

4.3.3.3 Якщо роботи виконуються на рухомих частинах компресора, вимикач повинен бути вимкнений або від нього повинні бути від'єднанні кінці кабелю живлення, на кнопках або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати – працюють люди».

Вимкнення електродвигуна і кабелю проводиться електротехнічним персоналом.

4.3.3.4 Продування вологомастиловідділювача повинно проводитися два рази на зміну, якщо заводською інструкцією не передбачено більш часті продувки. Збірники повітря повинні продуватися не рідше одного разу в зміну.

4.3.3.5 При внутрішньому огляді або ремонті повітрозбірників, вони повинні бути відокремлені від мережі заглушками, повністю звільнені від повітря і продуті стисненим повітрям протягом не менше 10 хв. Всі люки апарату під час перебування там працює повинні бути постійно відкриті. Роботи повинні виконуватися бригадою не менше 3-х осіб, два з яких повинні перебувати зовні і стежити за станом працюючого всередині.

4.3.3.6 Роботи по внутрішньому огляду або ремонту повітрозбірника відносяться до особливо небезпечних і повинні проводитися під керівництвом особи, відповідальної за експлуатацію компресорів.

4.3.3.7 При проведенні ремонтних робіт необхідно стежити, щоб масло не потрапляло на фундамент, кабелі, електродвигуни, що пролилося масло необхідно прибирати дрантям.

4.3.3.8 Забороняються ремонтні роботи на трубопроводах, що знаходяться під тиском.

4.3.3.9 Затягування болтів фланцевих з'єднань і підтяжку сальникових ущільнень слід проводити повільно і рівномірно, щоб уникнути перенапружень в деталях і їх пошкодження. Різьблення болтів фланцевих з'єднань повинні регулярно змащувати графітним мастилом.

4.3.3.10 Обслуговуючий персонал не повинен знаходитися безпосередньо у обертових частин, фланцевих з'єднань і запобіжних клапанів, довше ніж це потрібно для виконання роботи.

4.3.3.11 При обслуговуванні компресорної установки робітники повинні мати «беруші» або навушники.

4.3.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.3.4.1 При виявленні аварійної ситуації або загрози її виникнення працівник зобов'язаний:

- забезпечити власну безпеку, застосувавши відповідні засоби захисту;

- оповістити про небезпеку знаходяться в небезпечній зоні людей і керівника робіт;
- вжити першочергових заходів з ліквідації аварії відповідно до ПЛА, працівники, які не пов'язані з прийняттям першочергових заходів, повинні негайно покинути небезпечну зону.

4.3.4.2 При виникненні аварійної ситуації керівник робіт зобов'язаний:

- забезпечити оповіщення, висновок персоналу з небезпечної зони і надання долікарської допомоги потерпілим;
- оповістити керівництво об'єкта (цеху) про аварійну ситуацію;
- організувати роботи по локалізації та ліквідації аварії відповідно до ПЛА.

4.3.4.3 Подальші роботи по ліквідації аварії повинні проводитися відповідно до ПЛА і вказівками керівника робіт по ліквідації аварії.

4.3.4.4 Компресор повинен бути негайно зупинений в наступних випадках:

- якщо подальша робота компресора може привести до травмування обслуговуючого персоналу;
- якщо манометри на будь-якому рівні показують тиск вище допустимого;
- якщо манометри в системі змащення показують тиск нижче допустимого;
- при раптовому припиненні подачі охолоджуючої води або зупинки вентилятора повітряного охолодження;
- якщо чутні стуки, удари в компресорі або електродвигуні або виявлені їх несправності, які можуть привести до аварії;
- при температурі стисненого повітря понад гранично допустимої, встановленої заводом-виробником;
- при помітному збільшенні вібрації компресора або електродвигуна.

4.3.4.5 При загорянні компресорної установки слід негайно зупинити (вимкнути) її і приступити до гасіння пожежі порошковим вогнегасником, піском.

4.3.4.6 Всі працівники повинні вміти надавати першу долікарську медичну допомогу потерпілим при травмуванні, отруєнні, раптовому погіршенні самопочуття.

4.3.5 Вимоги безпеки під час закінчення робіт

4.3.5.1 Порядок безпечного вимикання, зупинення обладнання:

- для зупинки компресора необхідно відкрити продувальні вентиля ресивера;

- вимкнути електродвигуни вентилятора і компресора;

4.3.5.2 По закінченні робіт персонал зобов'язаний:

- повідомити про всі помічені недоліки, виявлені під час роботи, керівнику зміни, ділянки (при необхідності зробити запис у змінному журналі).

- відключити всі механізми, використані при ремонті;

- перевірити, чи не залишено чи інструмент на робочому місці;

- привести в порядок робоче місце, очистити обладнання від забруднень;

- зібрати відпрацьовані рідини, використаний обтиральний матеріал, інші відходи в спеціальну тару і здати їх на утилізацію в установленому порядку;

- здати робоче місце, пристосування, інструмент і засоби захисту керівнику робіт;

- очистити і укласти в призначене місце спецодяг;

- вжити необхідних заходів особистої гігієни (ретельно вимити руки, прийняти душ і т.д.).

4.4 Висновки до розділу 4

4.4.1 Розглянуто питання з техніки безпеки при роботах на кабельних лініях.

4.4.2 Проаналізовано небезпечні і шкідливі фактори, що впливають на людину при експлуатації компресорів.

4.4.3 Розглянуто техніку безпеки при обслуговуванні компресорів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження асинхронного електропривода компресора кабельного дегідратора.

1. В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, розглянуто системи утримання кабелів під надлишковим тиском. Встановлено, що утримання кабелів під постійним надлишковим газовим тиском є найбільш ефективним засобом підвищення надійності кабельних ліній. Кабельний дегідратор ДК6Д-300 призначений для утримання кабелів зв'язку під надлишковим тиском сухого повітря в автоматичному режимі. До складу дегідратора входять безмасляний компресор, блок осушки, ресивер, контрольна апаратура, автоматика і розподільна арматур.

Проаналізовано способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів. Виявлено, що найзручніший і економічний спосіб регулювання продуктивності компресорної установки, який відомий на сьогоднішній день – це регулювання частоти обертання електродвигуна за допомогою використання частотного перетворювача. При використанні частотного перетворювача компресор споживає рівно стільки енергії, скільки необхідно при поточному рівні споживання стисненого повітря. При зміні витрати стисненого повітря електродвигун компресора лише знижує або підвищує число обертів. Таким чином забезпечується:

- більш точна підтримання рівня тиску;
- висока ефективність роботи компресора в режимі часткового навантаження;
- відсутність додаткової запірно-регулюючої арматури;
- точне підтримання тиску стисненого повітря;
- відповідність споживаної потужності фактичній витраті стиснутого повітря;
- виключення фаз холостого ходу;

- виключення надлишкового стиснення і втрат повітря при розвантаженні системи;
- зниження пускових струмів і виключення коливань в електричній мережі під час пусків.

2. Встановлено, що асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є в даний час найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів компресорів, для яких важливо підтримувати технологічний параметр – тиск.

При побудові функціональної схеми автоматизованого електропривода компресора використано канал від'ємного зворотного зв'язку за тиском, який містить у собі датчик та регулятор тиску.

3. При описі елементів системи частотного керування наведено технічні характеристики електродвигуна та перетворювача частоти.

При вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум. Реалізація замкненого контуру регулювання тиску здійснюється за допомогою програмного ПІД-регулятора перетворювача частоти.

4. В роботі розглянуто динаміку автоматизованого електропривода компресора за допомогою MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють сформульованим у завданні вимогам: $\sigma=0\%$ (≤ 5), $t_p=0,34$ с ($\leq 0,6$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Михайлов, А. Ф.** Электропитающие устройства и линейные сооружения автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта. Учебник для техникумов ж.-д. трансп. [Текст] / А. Ф. Михайлов, Л. А. Частоедов. – М.: Транспорт, 1987. – 383 с.
2. Дегидраторы кабельные ДК6Д // Сайт ООО «Поликрат». – Режим доступа: <https://polikrat.com/degidratory-kabelnye-dk6d>
3. Компактные безмасляные поршневые компрессоры LFX // Сайт «Атлас Копко». – Режим доступа: <https://www.atlascopco.com/ru-ua/compressors/products/air-compressor/oil-free-air-compressors/lfx-compact-oil-free-piston-compressors#metric>
4. Способы регулирования производительности компрессоров // Сайт Компрессоры и компрессорное оборудование – ООО ПневмоТехника. – Режим доступа: http://www.pnevmotech.ru/articles/kompr_oborud/
5. Электропривод компрессоров // Сайт ООО «Мой компрессор». – Режим доступа: <http://mycompressor.by/elektroprivod-kompressorov.html>
6. **Гуляев, И. В.** Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронизированного вентильного двигателя: монография / И. В. Гуляев, Г. М. Тутаев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 200 с.
7. **Исаев, Ю. М.** Гидравлика и гидропневмопривод: [учебник для учреждений среднего профессионального образования] / Ю. М. Исаев, В. П. Коренев. – 5-е изд., стереотип. – Москва : Академия, 2016. – 174 с.
8. Условные обозначения элементов гидро- и пневмопривода (ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.782-96).
9. Промышленные компрессоры с частотным преобразователем // Сайт ООО «НижегородТехЦентр». – Режим доступа: <http://gk-ntc.ru/novosti-i-akcii/promyshlennyye-kompressory-s-chastotnym-preobrazovatelem/>

10. Асинхронные электродвигатели Lenze MD // Сайт Lenze. Приводная техника в Украине. – Режим доступа:
http://www.lenze.org.ua/pdf/motors/cat_mt_md_en.pdf
11. Каталог: асинхронные электродвигатели MD с преобразователями частоты 8400 Motec // Сайт Lenze. Приводная техника в Украине. – Режим доступа:
http://www.lenze.org.ua/pdf/motors/cat_mt_md_motec_en.pdf
12. Pressure transmitter, MBS 3000 060G5561 // Сайт Danfoss Engineering Tomorrow. – Режим доступа:
<https://store.danfoss.com/en/Industrial-Automation/Pressure-Transmitters/Pressure-Transmitters%C2%A0/Pressure-transmitter%2C-MBS-3000/p/060G5561>
13. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов [Текст] / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
14. **Башарин, А. В.** Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов [Текст] / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
15. **Герман-Галкин, С. Г.** Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК [Текст] / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
16. **Дорф, Р.** Современные системы управления [Текст] / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
17. **Дементьев, Ю. Н.** Электрический привод [учебное пособие] / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.
18. Типовая инструкция по охране труда при обслуживании стационарных компрессоров сжатого воздуха // Сайт Портал газовиков. – Режим доступа:
<https://ch4gaz.ru/tipovaya-instrukciya-po-oxrane-truda-pri-obslyuzhivanii-stacionarnyx-kompressorov-szhatogo-vozduxa/>

ДОДАТОК А
Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України
Навчально-науковий
ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ НУК
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра
на тему:
**«Автоматизований електропривод компресора
кабельного дегідратора»**
Студент магістратури: Жуков В. Д.
Керівник кваліфікаційної
роботи магістра: доц. каф. автоматики,
к.е.н. Шевчук С. В.
Миколаїв
2024

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

Метою роботи є синтез системи керування асинхронного електропривода компресора кабельного дегідратора.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в асинхронному електроприводі компресора кабельного дегідратора.

Предмет дослідження. Структура та параметри регулятора тиску асинхронного електропривода компресора, які впливають на якість керування.

Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Завдання дослідження

- Розглянути системи утримання кабелів під надлишковим тиском. Навести опис та склад кабельного дегідратора. Проаналізувати способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів.
- Провести аналіз сучасних системи керування асинхронних електроприводів. Побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода компресора та обґрунтувати вибір його елементів.
- Скласти структурну схему автоматизованого електропривода компресора, виконати розрахунок параметрів її елементів.
- Провести моделювання автоматизованого електропривода компресора в MATLAB.

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Загальна характеристика об'єкта керування

4



Загальний вигляд кабельного дегідратора

Технічні характеристики дегідратора кабельного ДК6Д-300

Параметр	Значення
Продуктивність, м³/с (л/год)	0,0001 (360)
Кількість кабелів, що підключаються, шт.	4-12
Тиск на виході (витрата 50 %), МПа (кгс/см²)	0,05±0,002 (0,5±0,02)
Вологість стисненого повітря, г/м³	0,3
Витрата електроенергії при максимальній продуктивності, кВт·год/добу	2,72
Об'єм ресивера, л	48
Споживана потужність, ВА	≤350

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

Загальна характеристика об'єкта керування



Загальний вигляд компресора
Atlas Copco LFX 0,7

Технічні характеристики
компресора Atlas Copco LFX 0,7

Параметр	Значення
Продуктивність, л/сек (л/хв)	1,02 (61,2)
Потужність електродвигуна, кВт	0,55
Напруга живлення, В	230
Робочий тиск, МПа (бар)	1 (10)

Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматизованого електропривода компресора

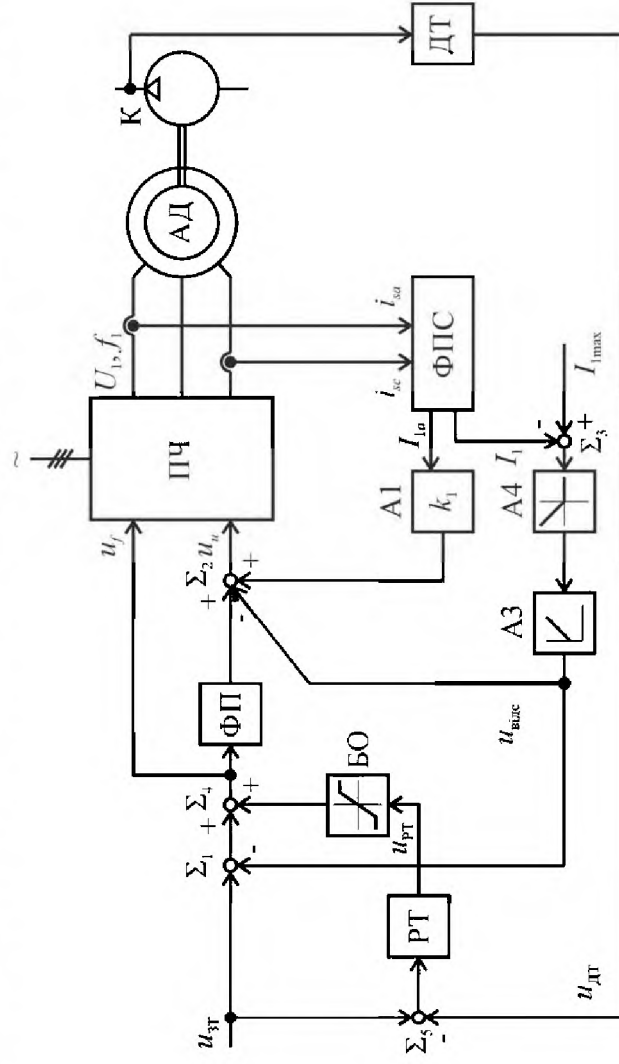


Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

Схема моделювання автоматизованого електропривода компресора

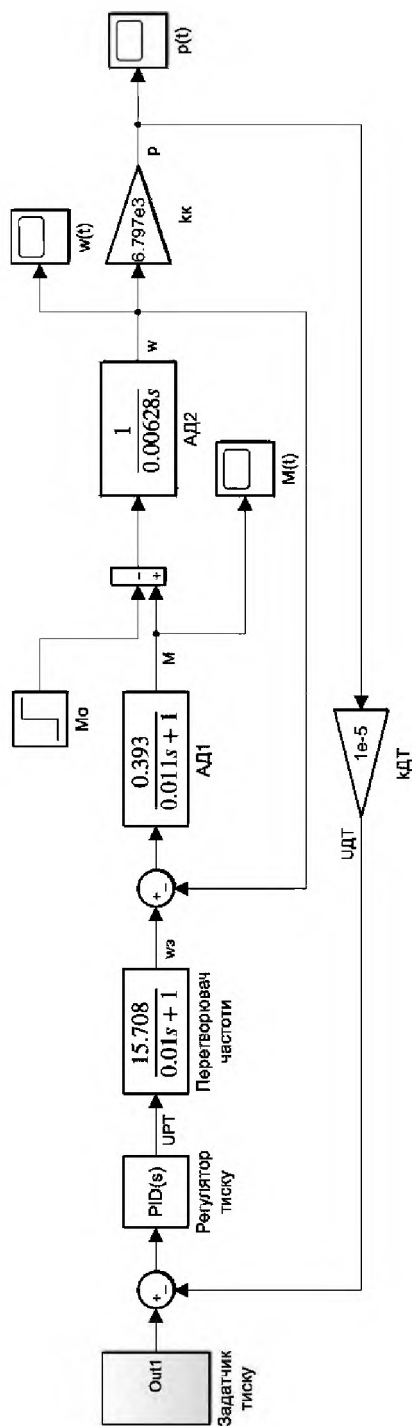


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

9 **Дослідження динаміки автоматизованого електропривода компресора**

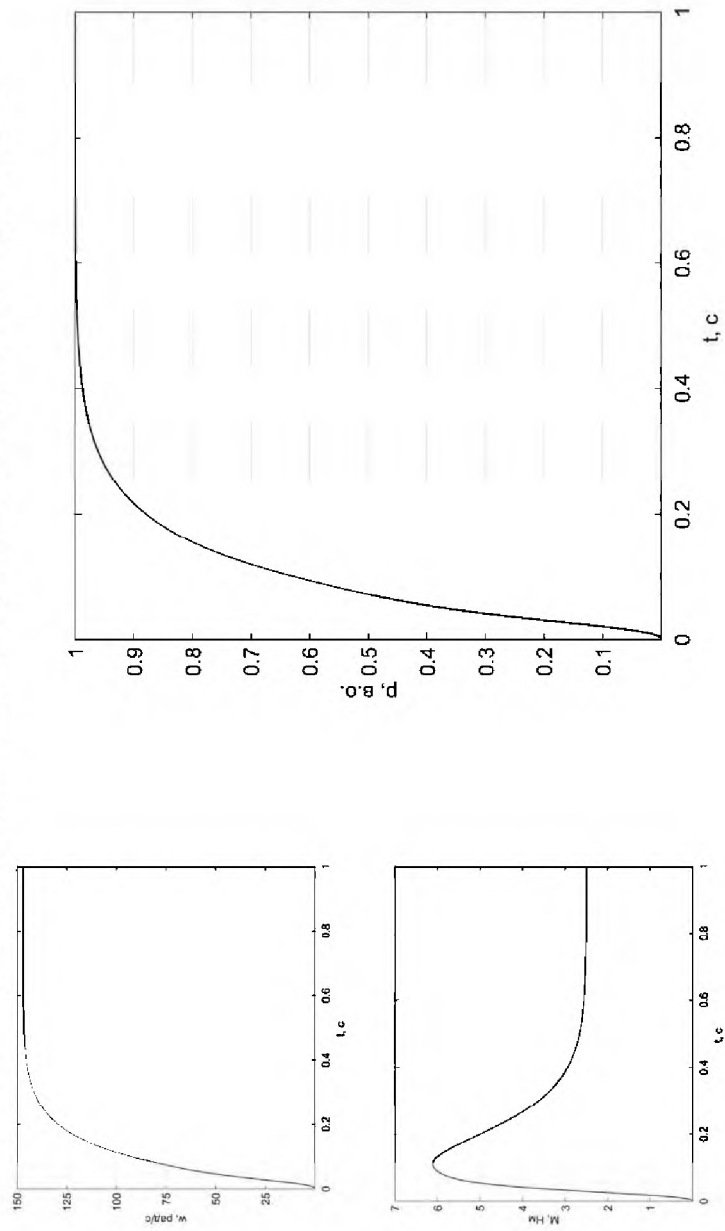


Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження асинхронного електропривода компресора кабельного дегідрататора.

- В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, розглянуто системи утримання кабелів під надлишковим тиском. Встановлено, що утримання кабелів під постійним надлишковим газовим тиском є найбільш ефективним засобом підвищення надійності кабельних ліній. Кабельний дегідратор ДК6Д-300 призначений для утримання кабелів зв'язку під надлишковим тиском сухого повітря в автоматичному режимі. До складу дегідрататора входять безмасляний компресор, блок осушки, ресивер, контрольна апаратура, автоматика і розподільна арматура. Проаналізовано способи регулювання режимів роботи компресорів та особливості роботи електроприводів поршневих компресорів. Виявлено, що найзручніший і економічний спосіб регулювання продуктивності компресорної установки, який відомий на сьогоднішній день – це регулювання частоти обертання електродвигуна за допомогою використання частотного перетворювача. При використанні частотного перетворювача компресор споживає рівно стільки енергії, скільки необхідно при поточному рівні споживання стисненого повітря.

ВИСНОВКИ

- Встановлено, що асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є в даний час найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів компресорів, для яких важливо підтримувати технологічний параметр – тиск. При побудові функціональної схеми автоматизованого електропривода компресора використано канал від'ємного зворотного зв'язку за тиском, який містить у собі датчик та регулятор тиску.
- При описі елементів системи частотного керування наведено технічні характеристики електродвигуна та перетворювача частоти. При вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум. Реалізація замкненого контуру регулювання тиску здійснюється за допомогою програмного ПІД-регулятора перетворювача частоти.
- В роботі розглянуто динаміку автоматизованого електропривода компресора за допомогою MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють сформульованим у завданні вимогам: $\sigma=0\%$, $t_p=0,34$ с.