

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

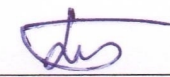
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

  
(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

(назва освітньої програми)

на тему: «Дослідження частотної системи керування електропривода  
пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів»

Виконав: студент IV курсу, групи 4361

Дирма Антон Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

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

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

Нормоконтроль Ст. викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

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

Рецензент

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

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

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

Студент

  
(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми,  
д-р техн. наук, проф.

Я.Б. Волянська

2026\_ року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4361 Дирмі Антону Костянтиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження частотної системи керування електропривода пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів»

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від від «22» квітня 2026 р.  
№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: стрічковий конвеєр, продуктивність - 2000 тонн/год;  
потужність електродвигуна 55 кВт; основні показники якості перехідного процесу:  
перерегулювання  $\sigma < 20 \%$ , час перехідного процесу  $T_{\max} \leq 2 \text{ с}$ ;  $N \leq 2$ , похибка  $\varepsilon = 0$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Стрічковий конвеєр типу БО-16080-КРУ4 у складі технологічного комплексу. 2 Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода. 3 Дослідження та аналіз динаміки системи. 4 Охорона праці при експлуатації електропривода стрічкового конвеєра

5. Перелік графічного матеріалу

1 Пересувний стрічковий конвеєр для портів. 2 Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним- керуванням. 3 Схеми системи керування електропривода. 4 Аналіз динаміки САК

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата             |                          |
|---------------|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|               |                                           | завдання видав           | завдання прийняв         |
| Охорона праці | Васильєв О.Г., к.т.н., доцент             | 04.05.26 <i>Васильєв</i> | 03.06.26 <i>Васильєв</i> |
|               |                                           |                          |                          |
|               |                                           |                          |                          |
|               |                                           |                          |                          |
|               |                                           |                          |                          |
|               |                                           |                          |                          |

## 7. Дата видачі завдання «06» лютого 2026

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                     | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Стрічковий конвеєр типу БО-16080-КРУ4 у складі технологічного комплексу | 16.03.2026                    |          |
| 2     | Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода                | 07.04.2026                    |          |
| 3     | Дослідження та аналіз динаміки системи                                  | 04.05.2026                    |          |
| 4     | Охорона праці при експлуатації електропривода стрічкового конвеєра      | 08.06.2026                    |          |
|       |                                                                         |                               |          |
|       |                                                                         |                               |          |

Студент

*Дирма*  
(підпис)

Дирма А.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

*Васильєв*  
(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 70 сторінок: з 63 сторінок пояснювальної записки, 4 розділів, 6 таблиць, 19 рисунків, 14 літературних джерел, 1 додатку на 7 сторінках.

**Ключові слова:** аналіз динаміки, математична модель, стрічковий конвеєр, тиристорний перетворювач, транспортуючі машини, система керування.

Об'єкт дослідження – система керування електропривода пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів на базі регульованого електропривода.

Мета роботи – удосконалення системи керування автоматизованого електропривода пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів.

У першому розділі розглянуті класифікація транспортуючих машин, устрій і принцип роботи стрічкових конвеєрів.

У розділі 2 проведений вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода. Зроблений огляд існуючих систем керування електропривода для конвеєрів, вибраний перетворювач серії Altivar 71 з частотною системою керування, наведені його технічні дані.

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

В результаті досліджень отримані перехідні характеристики системи частотного керування асинхронним двигуном з такими показниками якості системи керування, які пред'являються до електроприводів транспортуючих механізмів.

В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електропривода транспортуючого обладнання.

Додаток містить 7 слайдів мультимедійної презентації.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                 | 6  |
| РОЗДІЛ 1 СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР ТИПУ БО-16080-КРУ4 У СКЛАДІ<br>ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ.....                                   | 8  |
| 1.1 Класифікація транспортуючих машин, конструкція і основні вузли<br>стрічкових конвеєрів .....                           | 8  |
| 1.2 Опис та технічні характеристики стрічкового конвеєра КЛП<br>типу БО-16080-КРУ4 у складі технологічного комплексу ..... | 12 |
| 1.3 Існуюча система керування .....                                                                                        | 14 |
| РОЗДІЛ 2 ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО<br>ЕЛЕКТРОПРИВОДА .....                                                 | 18 |
| 2.1 Вибір типу електродвигуна .....                                                                                        | 18 |
| 2.1.1 Характеристика основних елементів приводів конвеєрних систем                                                         | 20 |
| 2.2 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму                                                          | 23 |
| 2.3 Електропривод на базі перетворювача серії Altivar 71 для керування<br>асинхронними двигунами .....                     | 30 |
| РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ<br>КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА .....                     | 37 |
| 3.1 Розробка функціональної схеми системи керування.....                                                                   | 37 |
| 3.2 Визначення параметрів регуляторів системи керування<br>електропривода.....                                             | 40 |
| 3.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням .....                                                         | 40 |
| 3.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів<br>структурної схеми.....                                              | 44 |
| 3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода<br>стрічкового конвеєра .....                          | 49 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА<br>СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА .....                                       | 54 |
| 4.1 Аналіз небезпек і шкідливостей при експлуатації електрообладнання                                                      |    |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| стрічкових конвеєрів .....                                                                       | 55 |
| 4.2 Заходи з охорони праці при роботі з електроустаткуванням<br>транспортуючого обладнання ..... | 57 |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                   | 60 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                                                   | 62 |
| Додаток А. Мультимедійна презентація.....                                                        | 64 |

## ВСТУП

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра досліджується пересувний стрічковий конвеєр для переміщення сипучих вантажів у річкових та морських портах.

Транспортери – це механізми безперервної дії. На сучасних підприємствах їх застосовують в якості: високопродуктивних транспортних машин, що передають вантажі з одного пункту в іншій; транспортних агрегатів потужних перевантажувальних пристроїв і навантажувально-розвантажувальних машин; машин для переміщення вантажів-виробів по технологічному процесу потокового виробництва від одного робочого місця до іншого; машин і передавальних пристроїв в технологічних і автоматичних лініях виготовлення і обробки деталей і складальних одиниць виробів.

Транспортери мають тісний зв'язок із загальним технологічним процесом виробництва, що обумовлює їх високу відповідальність. Ці машини повинні бути надійними і довговічними, зручними в експлуатації і здатними працювати в автоматичному режимі.

Пересувні (мобільні) стрічкові конвеєри (транспортери) є критично важливим обладнанням у портах, на терміналах та в логістичних центрах. Вони забезпечують гнучке та ефективне переміщення сипучих, кускових або тарних вантажів з транспорту (авто, вагонів-хоперів) до складів або безпосередньо на судна.

Нерідко стрічковий конвеєр є однією з частин транспортуючого пристрою. Також, під час руху матеріалів по стрічці можуть бути виконані певні дії, які є частиною технологічного процесу. Наприклад, під час руху готову продукцію знімають зі стрічки для пакування або додають якісь деталі. Тож принцип роботи конвеєра полягає у безперервному та швидкому виробництві.

Автоматизація електропривода портового конвеєра — це критично важливий процес для забезпечення ефективної перевалки вантажів (зерно, вугілля, руда), підвищення продуктивності та надійності роботи. Сучасні системи автоматизації дозволяють мінімізувати вплив людського фактора, зменшити простой та оптимізувати енергоспоживання.

Основним завданням автоматизації конвеєрних ліній є централізація керування

пуском і зупинкою конвеєрів при забезпеченні їх автоматичного захисту з метою скорочення витрат на транспортування вантажів у результаті вивільнення обслуговуючого персоналу, зменшення енерговитрат і зниження витрати матеріалів.

Внаслідок зносу технологічного встаткування й ряду інших причин, система стрічкового конвеєра є нестаціонарним об'єктом, властивості якого із часом значно змінюються, на роботу конвеєра впливають стрибкоподібні зміни навантаження та інші фактори.

Тому автоматичне регулювання продуктивності конвеєрів для стабілізації вантажопотоку й оптимізації режимів експлуатації є актуальним питанням.

Режим роботи конвеєра характеризується безперервною роботою без зупинок, тривалим режимом роботи, нерівномірністю завантаження, тому поставлене завдання забезпечити ефективну роботу стрічкового конвеєра за рахунок частотного регулювання швидкості електропривода.

У кожному робочому циклі мають місце несталі режими роботи електропривода: пуски, реверси, гальмування, що надають істотний вплив на продуктивність механізму, на ККД установки й на ряд інших факторів. Всі ці умови пред'являють до електропривода складні вимоги відносно надійності й безпеки. Від технічної досконалості електроприводів у значній мірі залежать продуктивність, надійність роботи, простота обслуговування.

Сучасний автоматизований електропривод - це регульований електропривод. Розвиток техніки у всіх галузях народного господарства значно підвищив потребу в електроприводах, які допускають регулювання кутової швидкості і розвиваючого моменту. У електроприводі транспортуючого обладнання досить широко почали застосовуватися різні системи тиристорного регулювання і дистанційного керування.

Завдання даної роботи полягає в тому, щоб підвищити точність керування стрічковим конвеєром, для цього необхідно замінити існуючу систему керування на систему з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики транспортуючого засобу, тобто удосконалити електропривод стрічкового конвеєра на основі застосування регульованих асинхронних двигунів (АД).

## РОЗДІЛ 1

### СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР ТИПУ БО-16080-КРУ4 У СКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

#### **1.1 Класифікація транспортуючих машин, конструкція і основні вузли стрічкових конвеєрів**

Підйомно-транспортне обладнання призначається для механізації праці при виконанні таких операцій: розвантаження і навантаження транспортних засобів; переміщення і підйом вантажів на різні рівні будівлі; укладання їх штабелями, на стелажі і в підсобні приміщення; внутрішньоскладське і внутрішньوماгазинне переміщення вантажів до місця їх дальшої обробки.

Підйомно-транспортне обладнання поділяють за такими основними ознаками: функціональним призначенням; ступенем механізації праці; періодичністю дії; родом перероблюваного вантажу; типом приводу.

За функціональним призначенням обладнання поділяють на три групи: вантажопідйомні машини (електричні талі, вантажні ліфти, вантажопідйомні крани); транспортувальні машини (конвеєри, транспортери); вантажно-розвантажувальні (електричні навантажувачі, штабелери, електричні візки) й штабелювальні машини (електрощтабелери, крани-штабелери).

За ступенем механізації праці розрізняють засоби механізації, комплексної механізації і автоматизації (вантажопідйомні крани, конвеєри, електронавантажувачі, автоматизовані крани-штабелери); засоби малої механізації (ручні вантажні візки, домкрати).

За періодичністю дії підйомно-транспортне обладнання поділяють на два види: машини безперервної дії (конвеєри, елеватори); машини циклічної (періодичної) дії (електричні навантажувачі, штабелери, вантажопідйомні крани, ліфти).

За родом перероблюваного вантажу розрізняють обладнання для перевантаження тарно-штучних вантажів у ящиках, бочках, мішках

(вантажопідйомні крани, електронавантажувачі, автонавантажувачі); обладнання для перевантаження масових насипних і навалочних вантажів (ківшеві навантажувачі, стрічкові транспортери); обладнання для перекачування й транспортування трубопроводами наливних вантажів.

За типом приводу обладнання поділяють на механізми ручної дії (ручні вантажні візки); машини з механічним приводом (електронавантажувачі), гравітаційні пристрої (роликові транспортери).

Основне призначення машин безперервної дії - переміщення вантажів по заданій трасі. Одночасно із транспортуванням вантажів вони можуть розподіляти їх по заданих пунктах, складувати, накопичуючи в обумовлених місцях, переміщати по технологічних операціях і забезпечувати необхідний ритм виробничого процесу.

На сучасних підприємствах конвеєри використовують у якості:

- високопродуктивних транспортних машин, що передають вантажі з одного пункту в інший на ділянках внутрішньозаводського й, у ряді випадків, зовнішнього транспорту;

- транспортних агрегатів потужних перевантажувальних пристроїв (наприклад, мостових перевантажувачів, відвалоутворювачів і т.п.) і вантажно-розвантажувальних машин;

- машин для переміщення вантажів-виробів по технологічному процесу потокового виробництва від одного робочого місця до іншого, від однієї технологічної операції до іншої, встановлюючи й регулюючи темп виробництва й сполучаючи, у ряді випадків, функції накопичувачів (рухливих складів) і розподільників вантажів-виробів по окремих технологічних лініях;

- машин і передатних пристроїв у технологічних автоматичних лініях виготовлення й обробки деталей і вузлів виробів [8].

Конвеєрні установки в наш час широко поширені у всіх сферах виробництва. Велика кількість промислових підприємств використовують різновиди транспортерів. Довжина самого конвеєра може становити як усього кілька метрів, так і кілометри траси.

Основна відмінність конвеєрів від вантажопідйомних машин полягає в способі переміщення вантажів. Машини переміщують вантаж тільки в один бік, назад вертаючись порожніми, що істотно знижує їх номінальний ККД, конвеєри переміщують вантажі безупинно, відповідно підвищується ККД і скорочується загальний час транспортування. Стрічкові конвеєри класифікуються таким чином.

За призначенням: для підземних гірничих роботах ( шахт, рудників); для відкритих гірничих робіт ( кар'єрів, розрізів );

- для інших галузей промисловості.

За типом переміщення: стаціонарні; пересувні; котні; переносні.

За розташуванням несучої гілки стрічки: з верхньою несучою гілкою (основний тип); з нижньою несучою гілкою.

За способом розвантаження: з розвантаженням на кінцевому барабані; з проміжним розвантаженням.

За видом вантажів: для насипних вантажів; для штучних вантажів.

За конструкцією приводу і кількістю приводних барабанів: з одним, двома, трьома приводними барабанами.

Типи стрічкових конвеєрів. Букви в позначенні стрічкового конвеєра вказують на його тип: Л – стрічкові горизонтальні; Б – бремсбергові; У – ухилові; Л – людські; Т – телескопічні.

Стрічкові горизонтальні конвеєри типу Л здійснюють перевезення самих різноманітних насипних та штучних вантажів на горизонтальних трасах. Конвеєри ЛБ (бремсбергові) та ЛУ (ухилові) застосовуються в основному на підземних гірничих підприємствах для переміщення корисних копалин та гірських порід, відповідно зверху-донизу та знизу-доверху з кутами нахилу до  $18^{\circ}$ – $20^{\circ}$ . Кожний тип стрічкового конвеєра повинен обґрунтовано вибиратися для конкретних умов роботи і експлуатації. Потужні стрічкові конвеєри КЛБ і КЛЮ застосовують на магістральних лініях транспортування корисних копалин і гірських порід на відкритих гірничих роботах.

Стрічкові конвеєри загального призначення за ДСТ 22644-77, що серійно випускаються, комплектуються заводами-виготовлювачами з окремих вузлів:

барабанів (приводних, натяжних і що відхиляють), приводів, роликів опор, натяжних пристроїв, очисних пристроїв для стрічок і барабанів (шкребків або обертових щіток), завантажувальних пристроїв і розвантажувальних пристосувань (барабанних візків, скидачів).

Принцип дії: у стрічкових конвеєрах стрічка служить водночас вантажонесучим та тяговим органом. Рух тягового органу (стрічки) конвеєра здійснюється за рахунок фрикційного зв'язку стрічки з приводним барабаном.

Стрічковий конвеєр складається із трьох основних частин: головної, середньої й хвостової. Гумовотканинна стрічка є тяговим і одночасно несучим органом. Стрічка з лежачим на ній вантажем переміщується по стаціонарним роликоопорам.

Ці конвеєри ще називають транспортерами. Тобто, стрічковий конвеєр і стрічковий транспортер – це одне й те саме складське устаткування.

Конвеєри пересувні стрічкові типу КЛ(П) – це сучасні мобільні конвеєри використовувані для переміщення сипучих продуктів з насипною щільністю до  $3,5 \text{ т/м}^3$  і штучних вантажів – мішків, коробок і т.п. у різних умовах. Найчастіше пересувні конвеєри використовуються для роботи на складах, базах, виробництві, а так само при вантажно-розвантажувальних роботах на довгомірному автотранспорті, де необхідна висока мобільність при часто мінливих умовах роботи.

Пересувні конвеєри зручні при потокових лініях сортування, пакування, при необхідності подачі вантажу до іншого встаткування. Даний тип конвеєра дуже зручний, коли потрібно доставити вантаж на інший рівень у підвальних і напівпідвальних приміщеннях, кут нахилу в такому випадку не повинен перевищувати 30 град.

В якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода пересувного стрічкового конвеєра типу БО-16080-КРУ4 продуктивністю 2000 тонн, що входить до складу технологічного комплексу вагоноперекидача ПРР-2 морського торгового порту (МТП) "Південний" [13].

## 1.2 Опис та технічні характеристики стрічкового конвеєра КЛП типу БО-16080-КРУ4 у складі технологічного комплексу

Технологічна схема технологічного комплексу ПРР-2 наведена на рисунку 1.1.

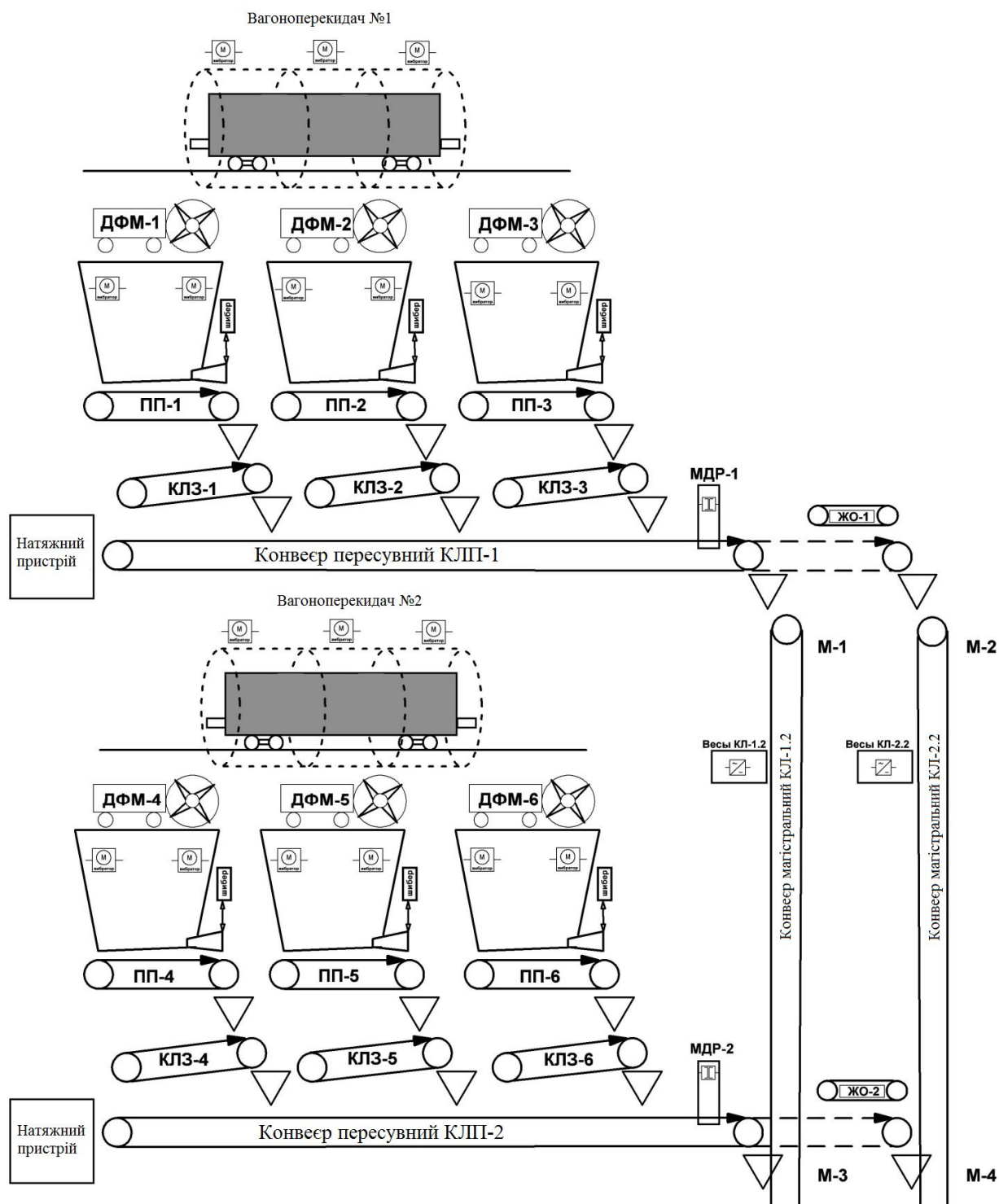
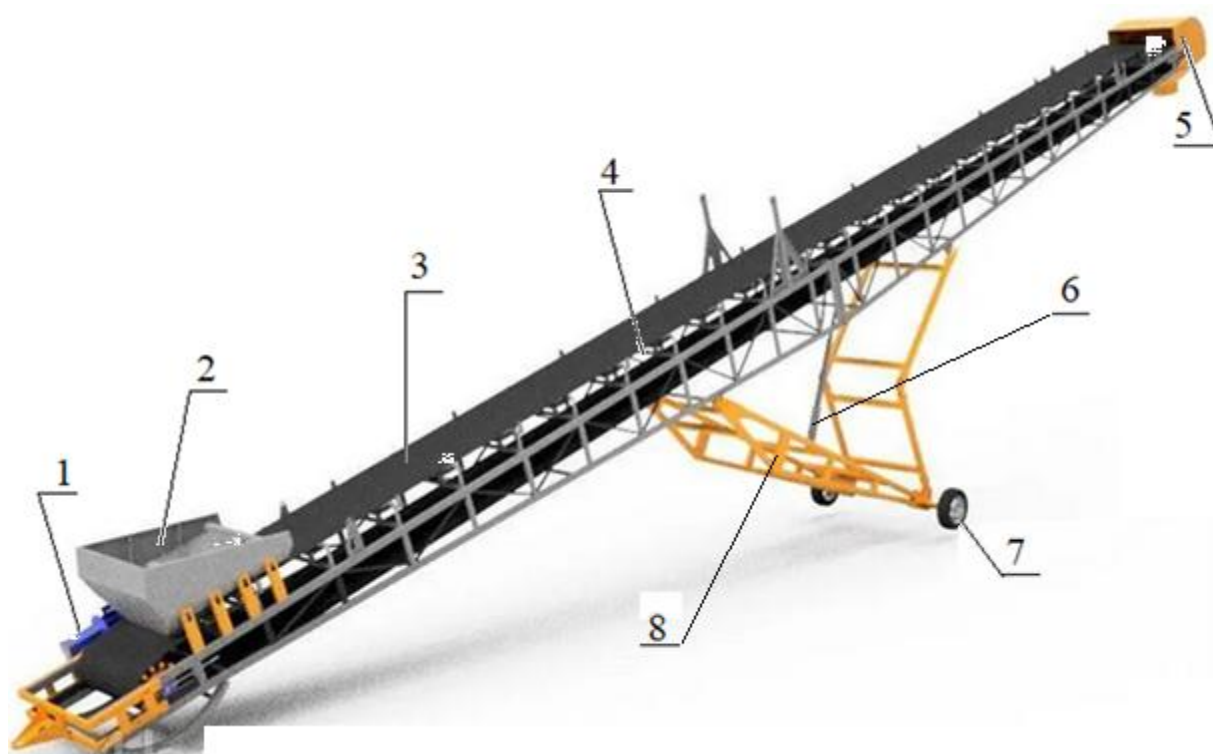


Рисунок 1.1 - Технологічна схема комплексу вагоноперекидача ПРР-2

**Стрічковий перевантажувач КЛП (КЛП-1, КЛП-2)** у складі комплексу широко використовується в кар'єрах, в портах (річкових та морських) для завантаження суден певного типу, для завантаження рухомого залізничного складу, автомобільного спецтранспорту, як потокове транспортування будматеріалів.

Схема основних складових частин пересувного стрічкового конвеєра наведена на рисунку 1.2.



1 – електропривод; 2 – бункер приймальний; 3 – стрічка конвеєра; 4 - конвеєрний став (рама); 5 – натяжний барабан; 6 – гідроциліндр; 7 – колесо (каток); 8 – рама візка

Рисунок 1.2 - Загальний вид пересувного стрічкового конвеєра

Мобільний конвеєр для навантаження суден або стрічковий конвеєр для навантаження зерна в судно, баржу або платформу переміщається вперед – назад на катках 7, підйом-опускання стріли похилого конвеєра провадиться гідроциліндром 6. Регулювання гідравлічної висоти дозволяє оперативно регулювати діяльність конвеєра під час перевантаження. Привод конвеєра 1 здійснює передачу тягового зусилля стрічці 3.

За допомогою буксирного гака тягач може переміщувати конвеєр у потрібне місце навантаження або зберігання.

Технічні характеристики пересувного стрічкового конвеєра типу БО-16080-КРУ4 наведені в таблиці 1.1 [13].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики стрічкового конвеєра типу БО-16080-КРУ4

| Найменування                                               | Значення                              |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Продуктивність                                             | 2000 т/год                            |
| Швидкість пересування                                      | 1,6±0,16 м/с                          |
| Швидкість руху стрічки                                     | 2,5 м/с                               |
| Габарити:<br>довжина<br>ширина                             | 53000 мм<br>1600 мм                   |
| Характеристика робочого органа                             | Стрічка гумотросова<br>РТЛО 2500-1600 |
| Діаметр приводного барабана                                | 840 мм                                |
| Діаметр натяжного барабана                                 | 800 мм                                |
| Робоча гілка<br>діаметр роликів<br>довжина                 | 159 мм<br>600 мм                      |
| Холоста гілка<br>діаметр роликів<br>довжина                | 159 мм<br>1800 мм                     |
| Електродвигун перемінного струму:<br>Потужність<br>Частота | 55 кВт.<br>1470 об/хв                 |

### 1.3 Існуюча система керування

Схема автоматизації конвеєра забезпечує подачу акустичного сигналу перед пуском; одночасне відключення всіх конвеєрів, що транспортують вантаж на зупинений конвеєр; підготовку до пуску після відключення; видачу інформації про причини зупинки на пульт керування; аварійне відключення конвеєра в наступних випадках: при несправності електродвигуна під дією відповідних електричних

захистів; при несправній механічній частині конвеєра (обрив або зупинка стрічки); при тривалому пуску конвеєра; при несправності ланцюгів керування, що веде до втрати керованості; при обриві заземлюючої жили (якщо вона використовується в ланцюзі керування); при зниженні швидкості стрічки до 75 % від нормальної (при пробуксовці) на деякий період часу; при сході стрічки убік; при підвищенні температури приводних барабанів (для запобігання запалення стрічки).

Схема повинна забезпечувати можливість простого переведення керування будь-яким конвеєром з автоматичного на місцеве із залишенням автоматичного керування іншими конвеєрами; місцевого деблокування, що запобігає пуску даного конвеєра з пульта керування; блокування роботи конвеєрної лінії з роботою навантажувального пункту; передачі сигналу про роботу конвеєрної лінії в систему диспетчерського контролю шахти.

Для контролю роботи конвеєра встановлюють ряд датчиків (рисунок 1.3).

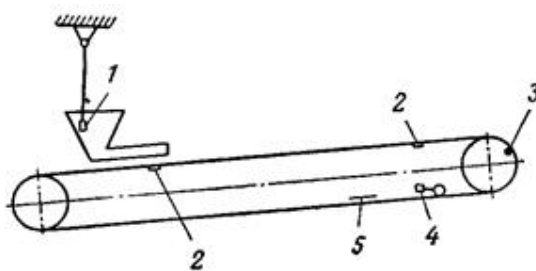


Рисунок 1.3 - Схема розташування датчиків автоматичного контролю на стрічковому конвеєрі

Зупинка стрічки, поперечний її розрив і пробуксовка на приводі контролюються датчиком швидкості 4, який встановлюють у приводної головки так, щоб ролик датчика стикався зі стрічкою по її чистій стороні. Датчик являє собою тахогенератор, який служить джерелом сигналу для реле швидкості. Для профілактичного контролю цілості тросів гумово-тросових стрічок є пристрої 5, що дозволяють виявити ділянки ушкодження тросів, визначити часткове або повне порушення їх цілості з видачею команди на відключення привода конвеєра й подачу світлового сигналу при виявленні ушкодження тросів, що перевищує встановлену межу. Датчики контролю сходження стрічки 2 встановлюють по обидва боки стрічки біля приводної і натяжної головок та у середній частині конвеєра.

Контактний датчик 1 контролює завал перевантажувального пристрою. Датчик температури приводного барабана 3 міститься безпосередньо в барабані й спрацьовує при  $t > 60 - 70^{\circ} \text{C}$ .

Пуск і динамічне гальмування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором здійснюється за схемою, зображеною на рисунку 1.4.

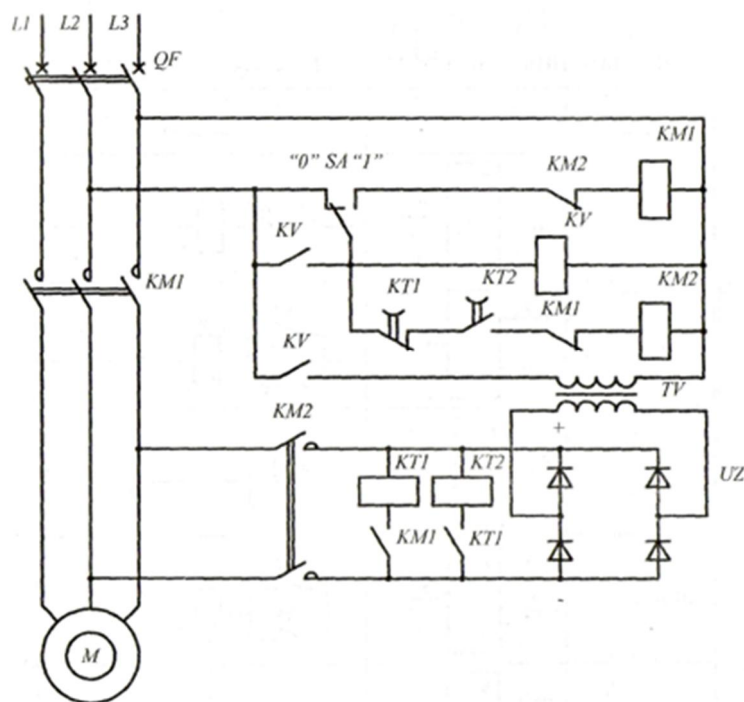


Рисунок 1.4 - Схема пуску та динамічного гальмування трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

У ній використовуються два контактори — лінійний KM1 і гальмівний KM2. Керування двигуном здійснює перемикач SA, а нульову блокіровку — реле KV. Для автоматичного керування процесом гальмування використовуються два електромагнітних реле часу KT1 і KT2. Постійний струм на статор подається від випрямляча UZ, що живиться від знижувального трансформатора TV.

Для пуску двигуна подають напругу на схему і ставлять перемикач SA в нульове положення. При цьому одержує живлення котушка реле KV, реле спрацьовує, один його замикаючий контакт шунтує контакти перемикача SA, а другий — вмикає трансформатор TV. Розмикаючий допоміжний контакт KM1 у колі котушки контактора KM2 розмикається, а замикаючий у колі котушки реле KT1 замикається, реле KT1 спрацьовує і своїм замикаючим контактом вмикає реле

КТ2. Реле КТ1 і КТ2 своїми контактами готують коло котушки контактора КМ2 до гальмування. У такому стані схема знаходиться при роботі двигуна.

Для зупинки двигуна перемикач SA потрібно повернути в нульове положення. При цьому розмикається коло котушки контактора КМ1, і статор двигуна вимикається з мережі. Також розмикається коло живлення котушки реле КТ1. Розмикаючий контакт КМ1 у колі котушки контактора КМ2 замикається. Залишившись без живлення, реле КТ1 з витримкою 1 — 1,5 с (достатньою для затухання магнітного потоку двигуна) відпускає свій якір, і через його замкнений розмикаючий контакт подається живлення на котушку контактора КМ2. Контактор КМ2 спрацьовує і подає постійний струм від випрямляча на статора двигуна. Ротор двигуна швидко загальмовується.

Одночасно з цим реле КТ1 своїм замикаючим контактом, що розмикається, знеструмлює котушку реле КТ2. Якір відпадає з витримкою, достатньою для повного гальмування двигуна (2 — 3 с). При цьому замикаючий контакт реле КТ2 розмикається і контактор КМ2 вимикається, припиняючи живлення статора двигуна постійним струмом [2,14].

Перехід на частотне керування електроприводами конвеєра забезпечує наступні переваги:

- плавне безступінчасте регулювання швидкості механізмів у всьому діапазоні;
- контрольований плавний розгін і гальмування двигунів, що приводить до істотного підвищення надійності обладнання, збільшенню строку його служби;
- висока якість регулювання швидкості горизонтального й вертикального переміщень при використанні сучасних алгоритмів векторного керування;
- підвищення коефіцієнта потужності майже до одиниці, тому що сучасні перетворювачі частоти практично не споживають реактивної енергії;
- безконтактне керування виконавчими механізмами, що забезпечує підвищення надійності електроустаткування;
- широкі можливості програмного налаштування параметрів роботи механізмів, контролю роботи, діагностики несправності.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

#### 2.1 Вибір типу електродвигуна

Завдяки своїм конструктивним особливостям асинхронна машина позбавлена ряду недоліків, властивим машинам постійного струму. Зокрема, відсутність колектору і щіток в асинхронному короткозамкненому двигуні (АД) обумовлює кращі масо-габаритні показники, більш високу перевантажувальну здатність і припустиму швидкість зміни моменту, більш високі швидкості обертання, ніж машини постійного струму. Переваги АД найбільш повно реалізуються при частотному керуванні, що обумовлює постійне витиснення регульованого електропривода постійного струму частотно-регульованим асинхронним електроприводом. Донедавна впровадження асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненими роторами в системи, де потрібен широкий діапазон регулювання швидкості, не представлялося можливим.

З розвитком напівпровідникової електроніки (розробка IGBT транзисторів), з'явилася можливість виробництва недорогих мікропроцесорних перетворювачів частоти (інверторів), за допомогою яких стало можливим повноцінно керувати швидкістю асинхронних двигунів у широкому діапазоні регулювання (1:1000). Тепер частота обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором не залежить від частоти живильної мережі, двигуни можна розганяти нижче й вище їхньої номінальної швидкості.

Системи керування рухом з використанням асинхронних двигунів і перетворювачів частоти виходять дешевше й простіше подібних систем із двигунами постійного струму. Асинхронний двигун - проста, недорога машина, що не вимагає обслуговування.

Відомо, що механічні і динамічні характеристики, енергетичні показники АД в частотно-регульованому електроприводі визначаються: прийнятим законом частотного керування, способом частотного керування, алгоритмічною й

апаратною реалізацією а системи регулювання електропривода [7].

В роботі розглядається стрічковий конвеєр, в якому застосований асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А потужністю 55 кВт.

Враховуючи характеристику даного транспортного засобу по пожежовибухонебезпечності, для подальшого дослідження системи керування електропривода конвеєра вибираємо більш сучасний електродвигун типу АІР зі ступенем захисту ІР44, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.1.

Згідно з технічною характеристикою для існуючих потужності та частоти обертання по каталогу [1] обираємо електродвигун типу АІР225М4У3 з наступними даними (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики електродвигуна типу АІР225М4У3

| Параметр                                        | Значення |
|-------------------------------------------------|----------|
| Тип                                             | АІР225М4 |
| Потужність, кВт                                 | 55       |
| Частота обертання валу $n$ , об./хв.            | 1480     |
| ККД, %                                          | 93       |
| Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$               | 0,87     |
| Струм $I_H$ , А (при $U=380В$ )                 | 103      |
| Число пар полюсів, $Z_p = 2p$                   | 4        |
| Ковзання $S_H$ , %                              | 1,4      |
| Критичне ковзання $S_{кр}$ , %                  | 10       |
| Кратність $I_n / I_H$                           | 7,2      |
| Кратність максимального моменту $M_{max} / M_H$ | 2,3      |
| Кратність пускового моменту $M_n / M_H$         | 2,2      |
| Момент інерції, $кг \cdot м^2$                  | 0,2      |
| Маса, кг                                        | 325      |

### 2.1.1 Характеристика основних елементів приводів конвеєрних систем

У цей час найпоширенішим типом привода стрічкових конвеєрів є нерегульований електропривод змінного струму на основі асинхронних машин переважно з короткозамкненим ротором. Асинхронний електропривод при цьому повинен забезпечувати плавне економічне регулювання швидкості із широким діапазоном, велику частоту включень і реверсів з високою швидкістю в перехідних режимах [3].

При пуску асинхронного електродвигуна відбуваються складні динамічні процеси. Струми у двигуні не миттєво досягають значень, що встановилися, а тому й моменти, що розвиваються в цей перехідний період, суттєво відрізняються від розрахованих по статичних характеристиках, тому що електромагнітний момент асинхронного двигуна визначається векторним добутком потокозчеплення статора на струм статора.

Магнітні поля від змушеної й вільної складових струму, взаємодіючи один з одним в умовах мінливості їх взаємного розташування, створюють електромагнітний перехідний момент асинхронного двигуна, що має, як правило, коливальний характер з максимальними значеннями, що набагато перевищують розраховані по статичних характеристиках.

Внаслідок чого величина динамічного моменту може в кілька разів перевищувати номінальну (максимальні ударні моменти перевищують пускові в 2-3 рази). При цьому рушання конвеєра з місця відбувається ривком, і виникають значні перенапруги в механічній частині, що позначається на скороченні термінів служби окремих елементів конвеєра. Крім того, у довгих конвеєрах наявність зазорів у вузлах приводить до значних механічних ударів.

Для плавного пуску й регулювання швидкості часто застосовується реостатне керування асинхронним двигуном з фазним ротором. Однак при реостатному способі керування двигуном плавність пуску забезпечується тільки за рахунок збільшення числа пускових ступенів, що змушує використовувати громіздкі релейно-контакторні панелі з великою кількістю важкої комутуючої апаратури.

Широко розповсюджений параметричний спосіб регулювання швидкості й моменту двигуна, здійснюваний за допомогою регуляторів напруги статора й струму ротора, дозволяє одержати досить жорсткі механічні характеристики привода. Зокрема, для приводів конвеєрів ця система керування дозволяє одержати низьку повзучу швидкість для вибірки величини зазорів у редукторі й у ланках ланцюга, здійснити пуск конвеєра з обмеженим прискоренням [4,9]. Однак даний спосіб не дозволяє одержати широкий діапазон регулювання швидкості конвеєра при використанні серійних асинхронних електродвигунів.

Для досягнення необхідних технологічних параметрів конвеєрів найбільш перспективними є методи частотного керування електроприводом. Дане керування дозволяє регулювати швидкість конвеєра залежно від параметрів технологічного процесу. Режим роботи асинхронного двигуна при заданій частоті визначається напругою або струмом (потокм) статора й значенням абсолютного ковзання.

Частотно-регульований асинхронний електропривод стрічкових конвеєрів може бути задіяний у реалізації всіляких технологічних процесів, що вимагають плавного регулювання швидкості в широких межах. Головне полягає в тому, що при переході на частотне регулювання швидкості електродвигунів з'являється можливість оптимізувати режим роботи технологічного обладнання.

Частотне керування дає максимальний ефект енергозбереження й забезпечує щадний, ресурсозаощаджуючий режим експлуатації як технологічного, так і електричного обладнання при значно знижених навантаженнях і динамічних впливах, які у свою чергу, сприяють підвищенню в кілька разів ресурсу роботи й зниженню експлуатаційних витрат на ремонт [9].

Застосування керованих перетворювачів частоти дозволяє створювати установки з високими динамічними властивостями й мінімальними додатковими втратами.

Порівняльний аналіз систем керування конвеєрами представлений у таблиці 2.2 [5,12].

Таблиця 2.2 - Порівняльний аналіз систем керування конвеєрами

| Спосіб керування    | Достоїнства                                                                                                                                      | Недоліки                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прямий пуск         | - простота і дешевина                                                                                                                            | - великі динамічні перенапруги і значні механічні удари;<br><br>- неможливість регулювання швидкості                                                                                                          |
| Реостатне керування | - більш плавний пуск з обмеженням прискорення і максимального моменту двигуна;                                                                   | - значні коливання моменту;<br><br>- м'які механічні характеристики;<br><br>- плавність пуску забезпечується тільки за рахунок збільшення числа пускових ступенів;<br><br>- громіздкість комутуючої апаратури |
| Фазове керування    | - жорсткі механічні характеристики привода;<br><br>- можливість пуску конвеєра з заданим обмеженням прискоренням                                 | - обмежений діапазон регулювання швидкості                                                                                                                                                                    |
| Частотне керування  | - широкий діапазон регулювання;<br><br>- потенціал енергозбереження;<br><br>- високі динамічні властивості;<br><br>- мінімальні додаткові втрати | - досить складна система керування                                                                                                                                                                            |

Висновки до порівняльного аналізу систем керування:

- у цей час, як у вітчизняній, так і в закордонній практиці, приділяється велика увага надійності роботи транспортуючих машин, у тому числі за рахунок удосконалювання систем керування.

- найбільш відповідає сучасним вимогам регульований привод конвеєра, який може бути створений на основі асинхронного двигуна з тиристорним перетворювачем частоти.

- одним з перспективних напрямків досліджень слід вважати вивчення динамічних режимів роботи конвеєра, що виникають при його пуску й гальмуванні, а також при скиданні й накиданні навантаження.

## **2.2 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму**

Частотно-регульований привод (ЧРП) — це тип контролера двигуна, який приводить у дію електродвигун, змінюючи частоту й величину напруги, що на нього подається. ЧРП також можуть керувати розгоном і уповільненням електродвигунів під час запуску й зупинки відповідно.

Хоча привод контролює частоту та величину напруги, що подається на двигун, часто цей процес називається «контролем швидкості», оскільки в результаті регулюється швидкість обертання двигуна.

Існує багато причин, через які може бути необхідно змінювати швидкість обертання двигуна. Наприклад, щоб:

- заощадити енергію й підвищити ефективність роботи системи;
- перетворювати потужність у рішеннях гібридизації;
- узгодити швидкість роботи привода з вимогами технологічного процесу;
- узгодити крутний момент або потужність двигуна з вимогами технологічного процесу;
- поліпшити умови праці;

- знизити рівень шуму, наприклад від роботи вентиляторів і насосів;
- зменшити механічне навантаження на машини, щоб продовжити термін їхньої служби;
- зрізати піки енергоспоживання, щоб уникнути оплати за пікової ціною й мати можливість використовувати двигуни менших розмірів.

Крім того, сучасні приводи мають інтегровані функції діагностики й мережевої взаємодії, що дозволяє ефективніше керувати робочими характеристиками та підвищити продуктивність. Отже, економія енергії, інтелектуальне керування двигуном і зменшення пікових значень струму — це три вагомі причини, щоб вибрати ЧРП контролером для будь-якої приводної системи.

У цей час існує багато різних способів регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна [12,14]:

- параметричне регулювання;
- зміною частоти живильної напруги;
- переключенням числа полюсів;
- частотне регулювання;
- векторне керування.

Найбільш поширені два останніх способи.

При частотному керуванні замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

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

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

Розрізняють два основних способи частотного керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти  $f_1$  і напруги  $U_1$  статора;

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота  $f_1$  і струм  $I_1$  статора.

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги впливає з формули

$$\omega = 2\pi \cdot f_1 \cdot (1 - s) / p.$$

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди джерела напруги, що впливає з виразу

$$UI \approx EI = k \cdot \Phi \cdot f_1.$$

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це приведе до насичення сталі ротора машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися припустимий момент.

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу, одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізовано тільки в замкнутих системах електропривода.

### **Основна перевага використання частотно-регульованого привода.**

Частотно-регульований привод (ЧРП) може змінювати потужність, що подається, відповідно до потреби в енергії обладнання, що приводиться в дію, і таким чином заощаджувати електроенергію або оптимізувати енергоспоживання.

Такий привод може істотно скоротити енергоспоживання порівняно з роботою за прямого підключення, коли двигун працює на повній швидкості

незалежно від необхідної потужності. Коли використовується ЧРП, економія електроенергії або палива зазвичай становить 40 %. Ефект скорочення означає, що в системах із встановленим приводом також забезпечується зниження викидів вуглекислого газу й оксидів азоту.

Отже, переваги систем із частотними перетворювачами (ПЧ):

- енергозбереження. Впровадження системи керування на базі ПЧ замість традиційних систем, реалізованих на релейно-контакторному устаткуванні, дозволяє знизити споживання електроенергії від 1,5 до 2 рази залежно від номінальної потужності електродвигунів. Поліпшення енергетичних показників електропривода;

- плавний запуск і зупинка електропривода конвеєра. Це забезпечує зменшення ударних навантажень (коливань пускового моменту) при запуску й зупинці, обмеження пускових струмів електродвигунів. Гальмування механізму відбувається електродвигуном. Гальма використовуються тільки для втримання механізму під час стоянки;

- надійність. Повний захист електродвигунів від перевантажень по струму перегріву, обриву фаз і втрати на землю. Збільшення строку використання електроустаткування й механічних частин електропривода (гальм, редукторів, валів і муфт) . Зменшення витрат на технічне обслуговування й ремонт, як електричних так і механічних частин конвеєра.

**Частотне регулювання** кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Наприклад, в установках текстильної промисловості, де за допомогою одного перетворювача частоти, що живить групу асинхронних двигунів, що знаходяться в однакових умовах, плавно і одночасно регулюються їх кутові швидкості. Прикладом іншої установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі конвеєри та ін.

Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібне отримання досить

високих кутових швидкостей (для приводу електрошпинделем в металорізальних верстатах з частотою обертання до 20 000 об / хв).

Економічні вигоди частотного регулювання особливо істотні для приводів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, де має місце часта зміна напрямку обертання з інтенсивним гальмуванням.

Для здійснення частотного регулювання кутової швидкості знаходять застосування перетворювачі, на виході яких по необхідному співвідношенню або незалежно міняється як частота, так і амплітуда напруги. Перетворювачі частоти можна розділити на електромашинні і вентильні. У свою чергу електромашинні перетворювачі можуть бути виконані з проміжною ланкою постійного струму і безпосереднім зв'язком. В останніх використовують колекторних машину змінного струму, на вхід якої подають змінну напругу з постійною частотою і амплітудою, а на виході її отримують напругу з регульованою частотою і амплітудою. Електромашинні перетворювачі з безпосереднім зв'язком практичного застосування не отримали.

Спрощена блок-схема частотного регульованого електропривода показана на рисунку 2.1.

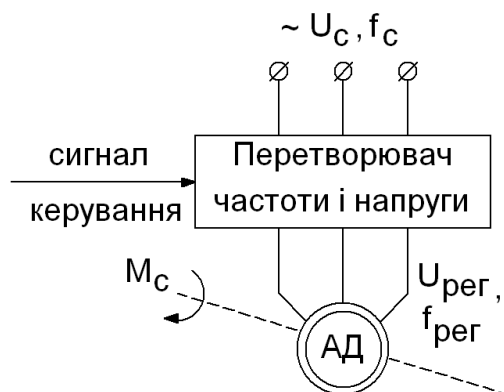


Рисунок 2.1 - Блок-схема частотного регульованого електроприводу

Необхідним елементом привода є перетворювач частоти (і напруги), на вхід якого подається стандартна напруга мережі  $U_c$  (220, 380 В і т.п.) стандартної промислової частоти  $f_c = 50$  Гц, а з його виходу знімається змінна напруга  $U_{рег}$  регульованої частоти  $f_{рег}$ , величини яких перебувають між собою в певному співвідношенні, обумовленому видом навантаження  $M_c$ .

Регулювання вихідної частоти і напруги перетворювача асинхронного електропривода здійснюється за допомогою керуючого сигналу, зміна якого визначає зміну частоти обертання асинхронного двигуна [5].

Другий спосіб називається **частотно-струмовим** керуванням. Формування механічних характеристик асинхронних двигунів при частотному керуванні, як і при керуванні двигунами постійного струму, служить задачам забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості.

Задана перевантажувальна здатність забезпечується шляхом виконання визначених співвідношень між частотою і напругою статора.

Жорсткість механічних характеристик може бути як завгодно високою при використанні зворотних зв'язків по швидкості. Варто підкреслити, що і без зворотних зв'язків по швидкості жорсткість механічних характеристик частотно-керованих електроприводів перемінного струму виявляється більш високою, ніж у приводів постійного струму. Ця обставина сприяє застосуванню простих систем керування асинхронними електроприводами, не оснащеними датчиками швидкості і контурами регулювання швидкості.

Крім вимог формування механічних характеристик двигунів, до систем керування можуть пред'являтися також вимоги відносного керування по енергетичних витратах, наприклад забезпечення необхідних моменту і швидкості при мінімумі струму статора чи мінімумі втрат, забезпечення максимального моменту при заданому струмі статора.

Такі задачі керування вирішуються при використанні екстремальних систем керування [3,5,12].

**Система векторного керування.** Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторам в обертовій системі координат. По цих

координатах і виконується керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектору потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруги статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектору потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектору потокозчеплення ротора.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;
- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

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

Серед чисельних способів регулювання швидкості асинхронного електродвигуна для безпечних механізмів з частим включенням виняткова роль належить частотному керуванню. В даний час цей спосіб дозволяє змінювати швидкість у широких межах.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування

електропривода стрічкового конвеєра доцільно використати тиристорний перетворювач з **частотною системою керування**.

На основі проведеного аналізу існуючих типів систем керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном конвеєра вибраний перетворювач типу Altivar.

### **2.3 Електропривод на базі перетворювача серії Altivar для керування асинхронними двигунами**

Для використовуваного нами двигуна необхідний не тільки плавний пуск і стоп, але і необхідне керування швидкістю обертання.

Частотні перетворювачі на базі силових модулів IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) розраховані на струми до декількох кіло ампер і частоти комутації до 30 кГц і вище.

Існує два основних типи частотних перетворювачів з безпосереднім зв'язком (частота на виході змінюється від 0-33 Гц) і з проміжним контуром (частота на виході змінюється від нуля до декількох тисяч герців). Для зміни швидкості обертання найчастіше використовують принцип зміни частоти й амплітуди напруги. При регулюванні частоти вниз можна підібрати таке співвідношення  $f$  і  $U$ , при якому буде підтримуватися максимальний момент двигуна. При регулюванні частоти нагору має місце зниження магнітного потоку, тобто зменшення амплітуди напруги.

Широка гама частотних перетворювачів Altivar, вироблених групою Шнейдер Електрик, дозволяє вирішити проблеми керування двигунами з однофазною або трифазною напругою живлення й потужністю 0,18-630 кВт.

Асинхронні частотно-регульовані приводи (АЧРП) забезпечують плавне регулювання швидкості обертання стандартних промислових асинхронних електродвигунів потужністю від 0,37 до 630 кВт у широкому діапазоні частот (від 0,1 до 500 Гц). Застосування АЧРП дозволяє оптимізувати режим роботи (продуктивність) промислової установки чи агрегата відповідно до виробничого

завдання і/чи поточних параметрів технологічного процесу. При цьому економія електроенергії досягається за рахунок роботи електропривода установки (агрегата) на знижених обертах у тих випадках, коли виробнича програма чи процес не вимагають постійної роботи механізму.

АЧРП забезпечують не тільки економію електроенергії, але й заощадження ресурсу при плавному пуску й зупинці механізмів.

Основними функціями перетворювача частоти є:

- пуск і регулювання швидкості двигуна;
- прискорення, зупинка;
- захист двигуна й перетворювача і т.п.

Завдяки сучасним алгоритмам управління і великим функціональним можливостям, перетворювачі Altivar допоможуть реалізувати частотно-регульовані електроприводи для механізмів із будь-яким характером навантаження. Наявність ручного й автоматичного режимів керування від ПК, ПЛК, панелі оператора дозволяє вмонтувати електропривод в автоматизовані системи будь-якої складності.

Розглянувши моделі перетворювачів Altivar, по каталогу [11] для досліджуваного устаткування вибираємо перетворювач Altivar 71 відповідно до необхідної потужності та габаритних розмірів для двигунів потужністю 0,37...630 кВт з трьохфазним живленням.

ATV71 розроблений для широкого застосування в таких областях:

- підйомно-транспортне встаткування;
- вантажно-розвантажувальні операції;
- фасовочно-пакувальне встаткування;
- текстильні машини;
- деревообробні машини;
- технологічне встаткування;
- і т.п.

### **Технічні характеристики Altivar 71.**

Діапазон вихідної частоти 0,1-500 Гц.

Стабільність частоти  $\pm 0,01$  % при 50 Гц .

Діапазон швидкості 1-100 (у конфігурації зі збільшеним моментом).

Статична точність.

У розімкнутій системі (без карти імпульсного датчика зворотного зв'язку по швидкості): 1 % номінальної швидкості без зворотного зв'язку по швидкості; 0,1 % зі зворотнім зв'язком по тахогенератору.

У замкнутій системі (із датчиком зворотного зв'язку): 0,1 % номінальної швидкості зі зворотнім зв'язком по тахогенератору; 0,02 % номінальної швидкості зі зворотнім зв'язком по імпульсному датчику.

Перевантажувальний перехідний момент 200% номінального моменту двигуна (типове значення  $\pm 10$  %) на протязі 2с.

Максимальний перехідний струм при 400 і 500 В: 150 % номінального струму зі збільшеним моментом протягом 60 с і далі 120% в сталому режимі; 120 % номінального струму з перемінним моментом протягом 60 с і далі 100 % в сталому режимі.

Обмеження струму залежить від температури радіатора. У випадку використання перетворювача вище його теплової здатності він автоматично зменшить частоту комутації і, при необхідності, обмеження перехідного струму.

Гальмовий момент: до 30 % номінального моменту двигуна без гальмівного резистора (типове значення); до 150 % з гальмівним резистором.

**Закон керування U/f** - векторне керування потоком без датчика зворотного зв'язку.

Електричні характеристики.

Трифазне живлення: напруга 240 В  $\pm 15$  %; частота 50/60 Гц  $\pm 5$  %.

Рівень шуму перетворювача 72 дБ.

ККД 97,5 % (включаючи втрати в мережному дроселі), при 50 Гц із номінальним навантаженням.

Наявність внутрішніх джерел:

- вихід  $+10\text{ В} \pm 20\%$ , максимального струму споживання 10 мА, захищений від коротких замикань;

- вихід  $+24\text{ В} \pm 25\%$  програмувальний як джерело живлення для логічних входів (максимальний струм споживання 150 мА) чи для логічного виходу який захищений від коротких замикань.

Технічні та експлуатаційні характеристики перетворювача Altivar 71 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні та експлуатаційні характеристики Altivar 71 [11]

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Потужність двигуна, кВт                       | 75 кВт при 380...480 В 3 фази                                                                                                                                                                                                                       |
| Номінальна напруга живлення $U$ , В           | 380...480 В (-15...10 %)                                                                                                                                                                                                                            |
| Число фаз мережі                              | 3 фази                                                                                                                                                                                                                                              |
| Лінійний струм                                | 167 А для 380 В 3 фази 75 кВт / 100 к.с.                                                                                                                                                                                                            |
| Фільтр перешкод                               | Вбудований                                                                                                                                                                                                                                          |
| Стиль збірки                                  | З радіатором                                                                                                                                                                                                                                        |
| Повна потужність                              | 109,9 кВА при 380 В 3 фази 75 кВт / 100 к.с.                                                                                                                                                                                                        |
| Номінальний вихідний струм                    | 160 А при 2,5 кГц 380 В 3 фази 75 кВт / 100 к.с.                                                                                                                                                                                                    |
| Макс. перехідний струм                        | 240 А для 60 з 3 фази 75 кВт / 100 к.с.<br>264 А для 2 з 3 фази 75 кВт / 100 к.с.                                                                                                                                                                   |
| Вихідна частота привода                       | 0,1...500 Гц                                                                                                                                                                                                                                        |
| Номінальна частота комутації                  | 2,5 кГц                                                                                                                                                                                                                                             |
| Профіль керування асинхронним електродвигуном | ЕНА (адаптування енергії) система для незбалансованих навантажень;<br>Векторне регулювання (FVC) з датчиком (вектор струму);<br>Безсенсорне векторне керування (SFVC) (вектор напруги або струму);<br>Відношення напруга / частота (2 або 5 точок). |

На рисунку 2.2 наведено загальну схему підключення перетворювача Altivar типу ATV-71, рекомендовану виробником [11].

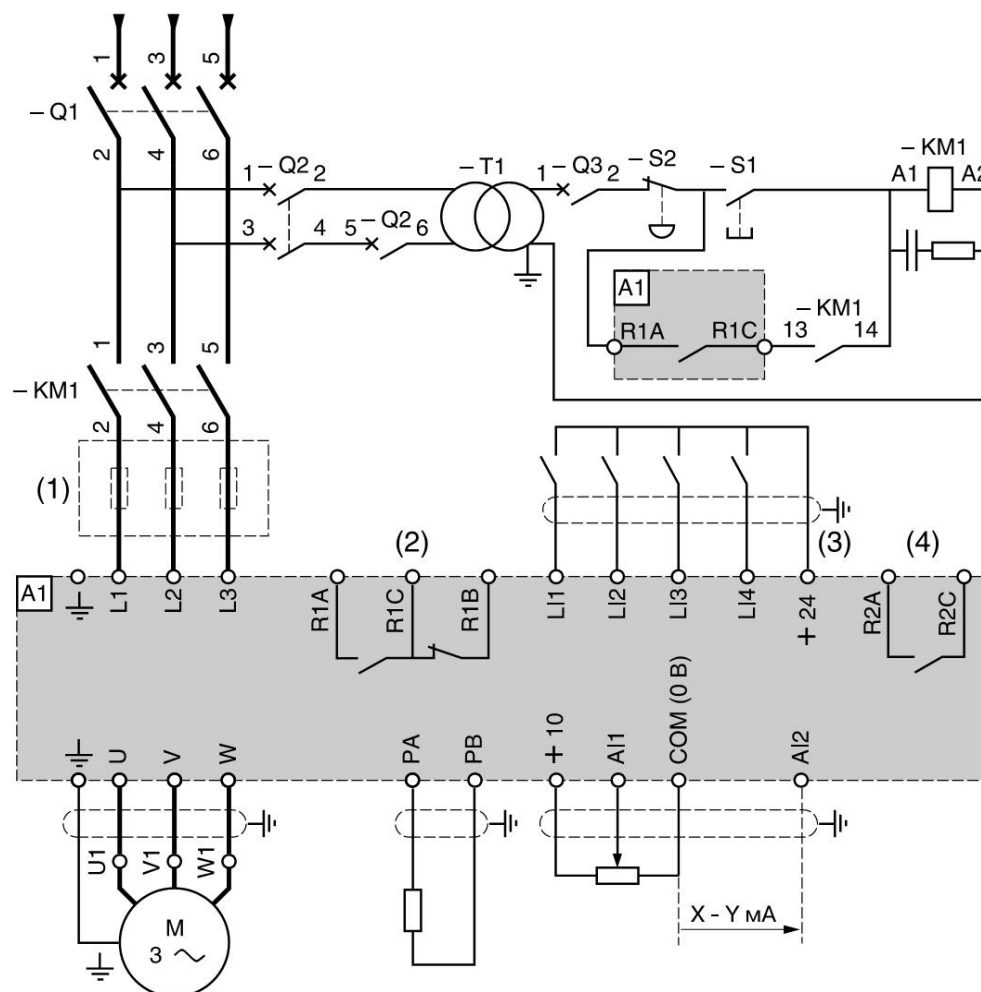


Рисунок 2.2 - Схема підключення електродвигуна до перетворювача частоти

Типова схема включення ATV71 з керуванням від контролера по дискретних та аналогових входах і виходах представлена на рисунку 2.3.

У перетворювача є шість дискретних входів – LI1-LI6. На них можуть бути подані логічні сигнали напругою 0/24 В прямої або зворотної логіки, з виходів контролера, модулів розподіленого введення-виводу або інших логічних устроїв. При керуванні від транзисторних виходів контролера, шину «0V» живлення виходів контролера або інших логічних устроїв необхідно з'єднати із клемою «0V» ПЧ.

Для керування перетворювачем можна так само використовувати контакти проміжних реле. При цьому при позитивній логіці керування вибирається позиція

перемикача «Source» і контакти реле комутують напругу 24 В, між контактом «+24» і входними контактами перетворювача. При негативній логіці керування вибирається позиція перемикача «Sink» і контакти реле комутують входні контакти перетворювача, із загальним проводом-контактом «0V».

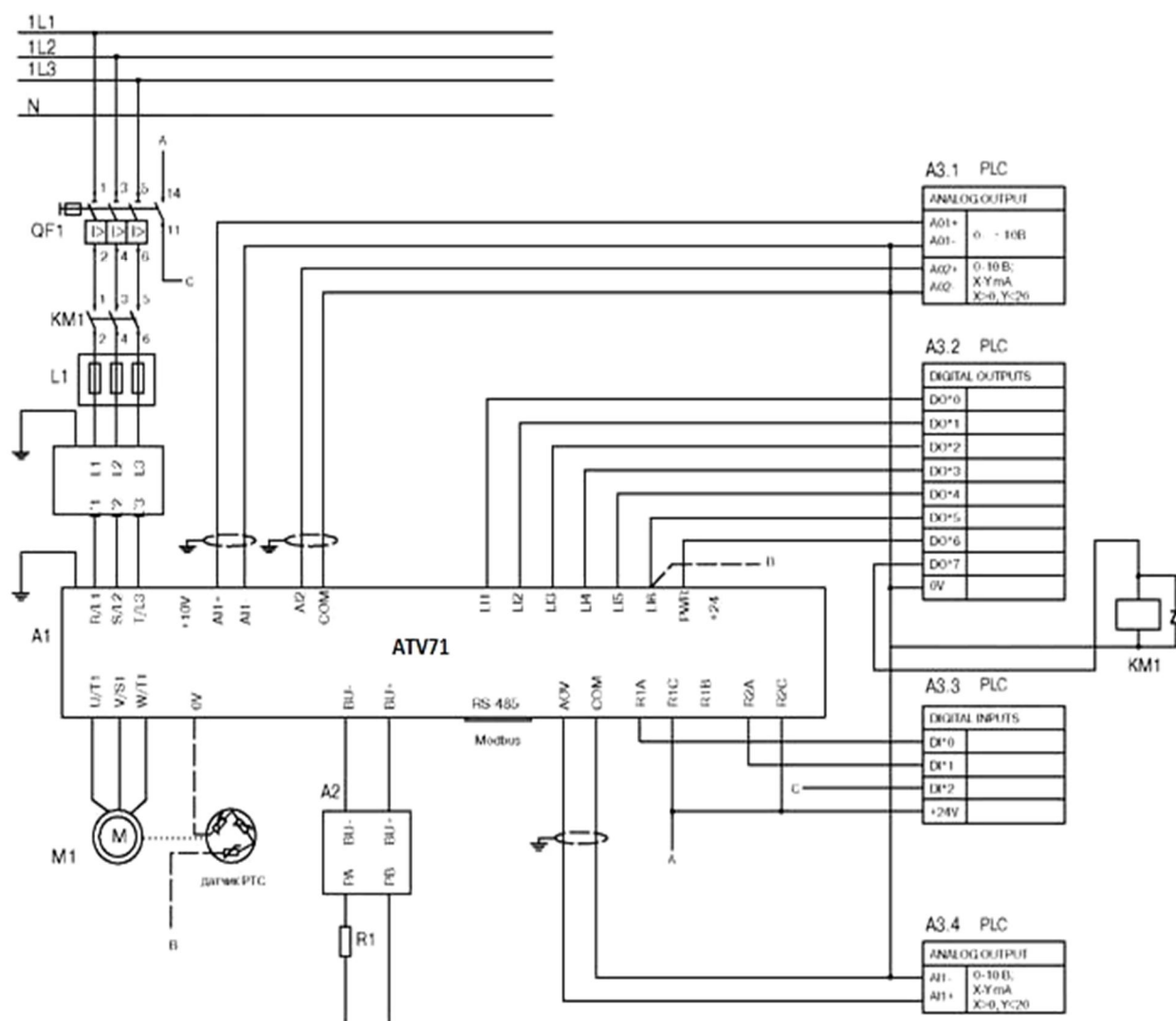


Рисунок 2.3 – Типова схема включення ATV71 з керуванням від контролера по дискретних і аналогових входах і виходах

Принципова схема електрична схема комплектного електропривода Altivar 71 наведена на рисунку 2.4 [11].

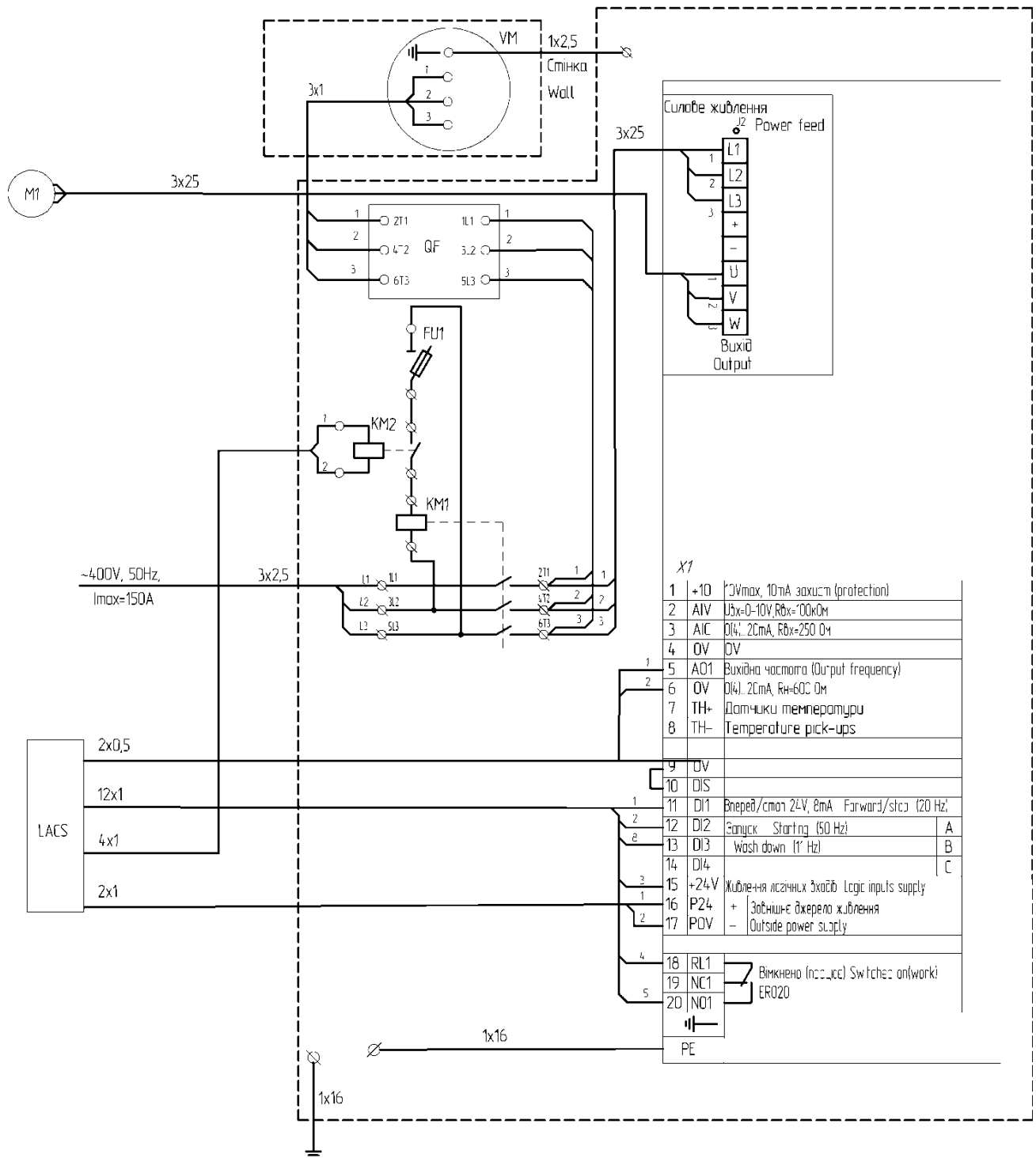


Рисунок 2.4 - Принципова схема електрична схема комплектного електропривода

Altivar 71

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

#### 3.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування наведена на рисунку 3.1 [14].

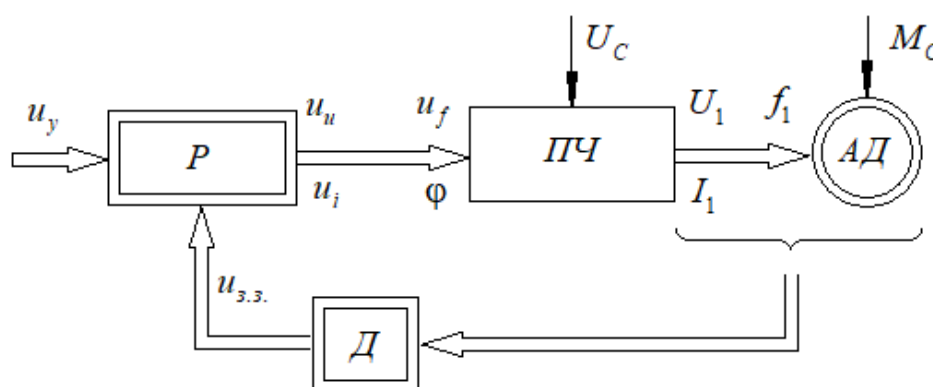


Рисунок 3.1 - Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування

Узагальнена функціональна схема містить керований перетворювач частоти (ПЧ), регулятори Р і датчики Д змінних електропривода. Керуючими впливами  $u_y$  на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору  $M_c$  на валу АД або коливання напруги живильної електропривод мережі  $U_c$ . Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік в повітряному зазорі АД) або визначені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків  $u_{з.з.}$  і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами

керування частотою  $u_f$ , вихідною напругою  $u_u$  і струмом  $i_i$  перетворювача частоти.

Функціональна схема частотного регулювання зі зворотнім зв'язком по швидкості при живленні від ПЧ, як джерела напруги, наведена на рисунку 3.2.

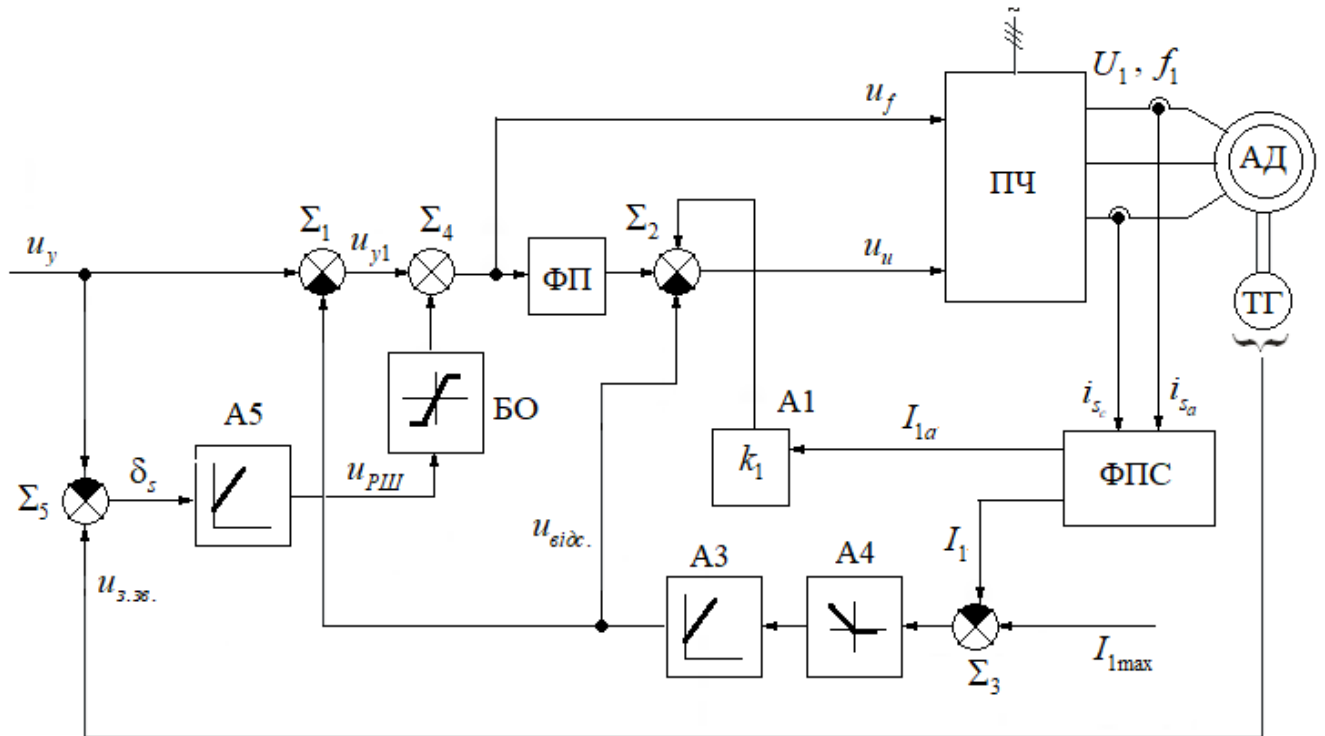


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи частотного керування ПЧ -АД зі зворотним зв'язком по швидкості

Тут канал негативного зворотного зв'язку по швидкості включає в себе тахогенератор ТГ, як датчик зворотного зв'язку, вузол  $\Sigma_5$  підсумовування напруг керування швидкістю АД  $u_y$  і зворотного негативного зв'язку за швидкістю  $u_{3.3.}$ , регулятор абсолютного ковзання АЗ, блок БО обмеження його вихідної напруги  $u_{PШ}$ , а також вузол  $\Sigma_4$  підсумовування напруги  $u_{PШ}$  і результуючої напруги  $u_{y1}$  з виходу суматора  $\Sigma_1$ .

У міру збільшення навантаження на валу АД (від моменту  $M_1$  до моменту  $M_2$  на рисунку 3.3) за рахунок зменшення швидкості АД і, отже, сигналу  $u_{3.3.}$  збільшується сигнал неузгодженості  $\delta_s = u_y - u_{3.3.} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$ , пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут  $\omega_{00}$  - задана швидкість

ідеального холостого ходу АД, відповідна вихідному сигналу управління  $u_y$ ;  $\omega$  - реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При  $\delta_s \neq 0$  сигнал  $u_{PII}$  на виході регулятора ковзання, підсумовуючись з сигналом  $u_{y1} = u_y$  (при  $I_1 < I_{1\max}$ ), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора А5 забезпечує таке прирощення сигналу керування  $u_f$  перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною  $f_{10}(1 + s_a)$ .

Одночасно зі зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою  $U_{10}$  і вихідна напруга перетворювача  $U_1$  (рисунок 3.3, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення  $\omega_{00}$ , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рисунку 3.3, а).

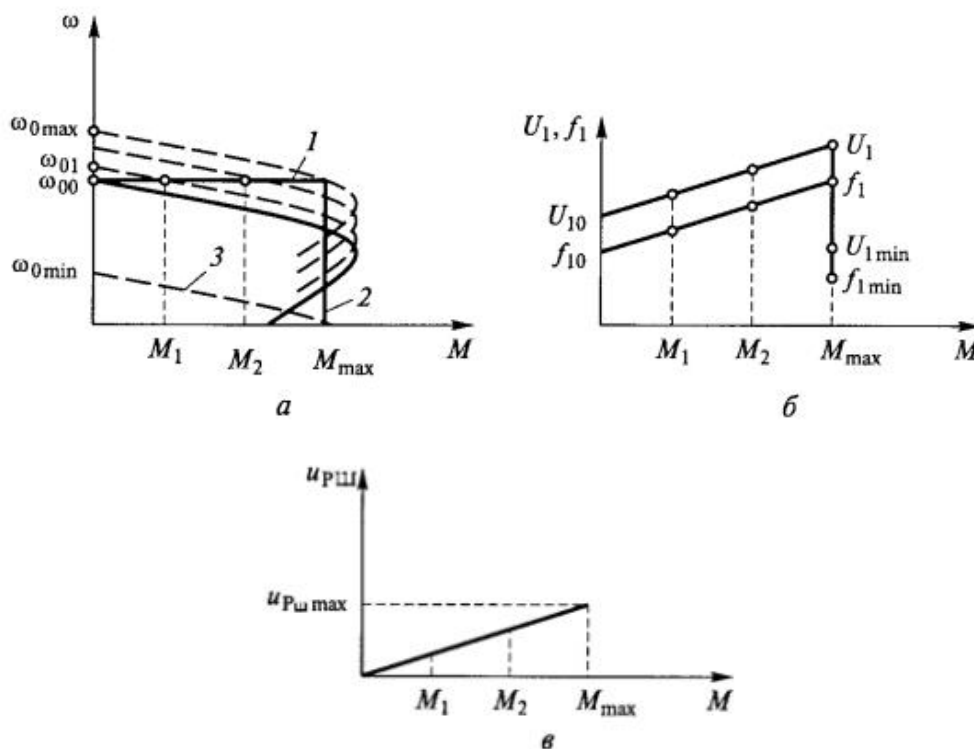


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики (а), залежності вихідної напруги і частоти ПЧ (б), напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі ПЧ-АД із зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ( $I_1 > I_{1\max}$  і відповідно,  $M > M_{\max}$ ), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу  $u_{PIII}$  на рівні  $u_{PIII\max}$  (рисунок 3.3, в). При цьому вступають в роботу негативні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором А4, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напруги статора АД до їх мінімальних значень  $f_{1\min}$  і  $U_{1\min}$  обмеження моменту АД при  $\omega = 0$  на рівні  $M_{\max}$  (лінія 2 на рисунку 3.3, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна  $\omega_{0\min}$  буде відповідати значенням  $f_{1\min}$  і  $U_{1\min}$ , а механічна характеристика - лінії 3 (рисунок 3.3, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складових передавальних функцій регуляторів А5 і А4 [9,14].

## 3.2 Визначення параметрів регуляторів системи керування електропривода

### 3.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень [4,9,12]:

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);

- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не брати до розрахунків.

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої

системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

У відповідності з функціональною схемою (рисунок 3.2) складена структурна схема такого привода (рисунок 3.7) зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

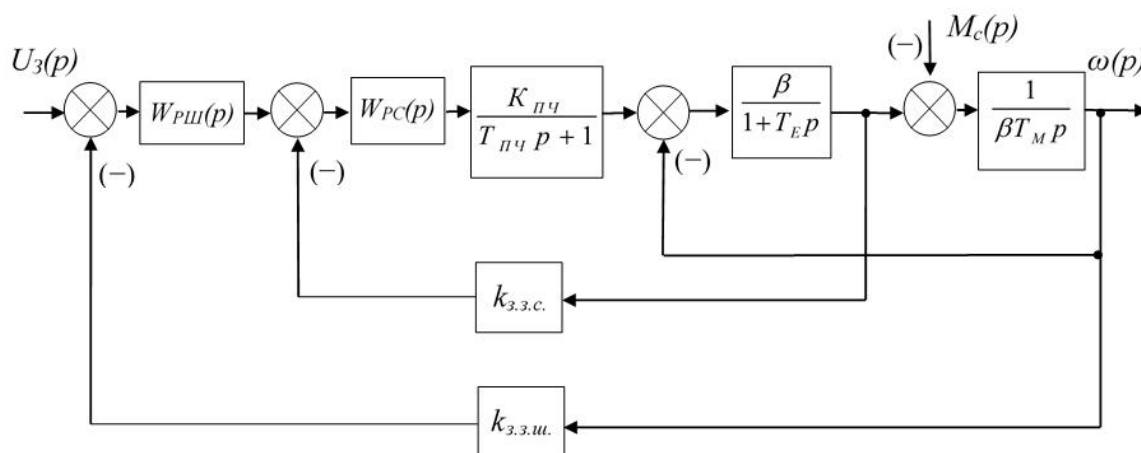


Рисунок 3.7 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.7.

На схемі прийняті наступні позначення:

$W_{рш}(p)$  – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{рс}(p)$  – передатна функція регулятора струму;

$\beta$  – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

$T_E$  – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора та ротора АД;

$T_M$  – електромеханічна постійна часу асинхронного двигуна;

$k_{пч}$  – передатний коефіцієнт перетворювача частоти;  $k_{пч} = 50$ ;

$T_{пч}$  – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,005с.  $T_{пч} = 0,005$  с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами  $k_{3.3.с}$  і  $k_{3.3.ш}$  відповідно.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтом передачі  $k_{рш}$  і  $k_{рс}$  та постійними часу  $T_{рш}$  і  $T_{рс}$  відповідно.

Коефіцієнти підсилення регуляторів  $k_{PC}$  і  $k_{PI}$ , що відповідають датчикам струму і швидкості, вважаємо рівними 10.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості  $T_{PI}$  дорівнює величині постійної часу двигуна  $T_M$ , а регулятора струму  $T_{PC}$  – постійній часу частотного перетворювача  $T_{ПЧ}$ .

Передатна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{PI}(p) = k_{PI} + \frac{1}{T_{PI} \cdot p};$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю двигуна:

$$W_{3.3.ш}(p) = \frac{\Delta u_{3.3.ш}}{\Delta \omega} = k_{3.3.ш}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора струму

$$W_{PC}(p) = \frac{\Delta u_{PC}}{\Delta u_K} = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} p}.$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за струмом двигуна

$$W_{3.3.C}(p) = \frac{\Delta u_{3.3.C}}{\Delta M} = k_{3.3.C}.$$

Передатна функція перетворювача частоти разом з випрямлячем  $W_{ПЧ}(p)$ ,

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1},$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 3.8.

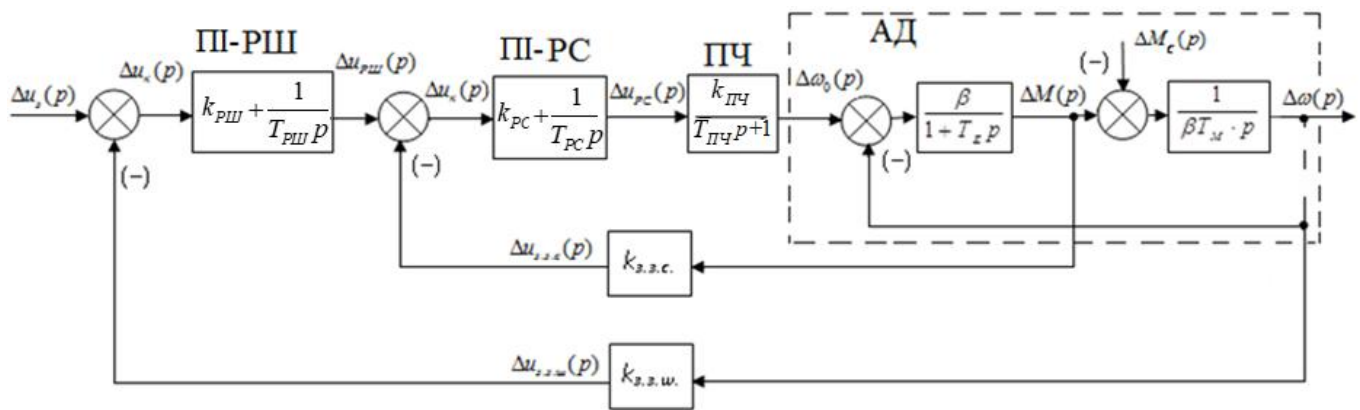


Рисунок 3.8 – Структурна схема електропривода

У відповідності зі структурною схемою передатна функція асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p},$$

де  $T_E$  – електромагнітна постійна часу асинхронного двигуна, с;

$T_M$  – електромеханічна постійна часу двигуна.

Для того, щоб змодельовати систему керування електропривода, приймаємо нелінійну характеристику АД у вигляді лінійної залежності, прийнявши наступні допущення:

- навантаження має стрибкоподібний характер свого зміни (накид і скидання статичного моменту навантаження);

- значення збурення не перевищує максимального моменту, що розвивається двигуном, тобто до і після збурення асинхронний двигун працює на стійкій частині своєї механічної характеристики.

Так як двигун працює спільно з перетворювачем частоти, то робота відбувається на стійкій частині механічної характеристики, яка описується наступним виразом

$$\frac{M_H}{2 \cdot M_{\max} \cdot \omega_c} \cdot p + \frac{S_{кр} \cdot M_H}{2 \cdot M_{\max}} = S_H.$$

Напишемо рівняння в такому вигляді

$$\frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_c \cdot S_H}{Z_p} \cdot p + M_H = M_{CT}.$$

Ці рівняння спільно складають систему, що описує поведінку асинхронного двигуна в перехідних процесах з урахуванням електромагнітних явищ. Якщо прийняти, що до стрибка навантаження двигун працював в сталому режимі, то цю точку можна покласти точкою з нульовими початковими умовами для подальшого перехідного процесу. Після відповідних перетворень, розглянута система прийме вигляд:

$$(T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1) \cdot M_H = M_{CT},$$

$$\frac{S_{kp}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot (T_E \cdot p + 1) \cdot M_H = S_H.$$

З цих рівнянь можна отримати передатну функцію розглянутої системи електропривода. Вхідною величиною тут є статичний момент опору  $M_{CT}$ , а вихідною – значення кутової швидкості і моменту двигуна. Передатна функція по ковзанню має вигляд

$$W_s(p) = \frac{S_{kp}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot \frac{T_E \cdot p + 1}{T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}.$$

### 3.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Сформована структурна схема асинхронного двигуна при частотномуструмовому керуванні (рисунок 3.8) є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування електропривода згідно з функціональною схемою (рисунок 3.2).

Вихідні дані для розрахунку параметрів структурної схеми (таблиця 3.1) взяті з таблиці 2.1. розділу 2.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів структурної схеми

| Параметр                                        | Значення |
|-------------------------------------------------|----------|
| Потужність електродвигуна АИР225М4УЗ, кВт       | 55       |
| Частота обертання валу $n$ , об./хв.            | 1480     |
| ККД, %                                          | 93       |
| Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$            | 0,87     |
| Струм $I_H$ , А (при $U=380В$ )                 | 103      |
| Число пар полюсів, $Z_p = 2p$                   | 4        |
| Ковзання $S_H$ , %                              | 1,4      |
| Критичне ковзання $S_{кр}$ , %                  | 10       |
| Кратність $I_n / I_H$                           | 7,2      |
| Кратність максимального моменту $M_{max} / M_H$ | 2,3      |
| Кратність пускового моменту $M_n / M_H$         | 2,2      |
| Момент інерції, $кг \cdot м^2$                  | 0,2      |

Для розрахунку параметрів структурної схеми необхідно попередньо визначити відсутні параметри двигуна, технічні данні якого наведені в таблиці 3.1 [4].

Кутова номінальна частота напруги, підведеної до статора при його номінальній частоті живлення ( $f_{1ном} = 50$  Гц) (синхронна частота)  $\omega_c$ , рад/с,

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c,$$

$$\omega_c = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 314 \text{ рад/с}.$$

Кутова швидкість холстого ходу електродвигуна,  $\omega_{ДВ}$ ,  $\text{с}^{-1}$ ,

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30}; \quad \omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1480}{30} = 154,9 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальна момент двигуна  $M_H$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}},$$

$$M_H = \frac{55000}{154,9} = 355 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент двигуна  $M_{II}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ,

$$M_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} \cdot M_H,$$

$$M_{II} = 2,2 \cdot 355 = 781 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент двигуна  $M_{\max}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ,

$$M_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_H} \cdot M_H,$$

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 355 = 816,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент електродвигуна,  $M_{\kappa}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ,

$$M_{\kappa} = 3M_H;$$

$$M_{\kappa} = 3 \cdot 355 = 1065 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичене ковзання двигуна  $S_{\kappa p} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$  за спрощеною формулою

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H},$$

де  $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H} = 2,3.$

$$S_{\kappa p} = 0,014 \cdot (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,061 = 6,1\%.$$

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики,  $\beta, \frac{H \cdot m}{c^{-1}}$ ,

$$\beta = \frac{2M_{\kappa}}{\omega_{ДВ} \cdot S_{\kappa p}},$$

де  $S_{\kappa p} = 0,061$  - критичне ковзання.

$$\beta = \frac{2 \cdot 1065}{154,9 \cdot 0,061} = 225,4 \frac{H \cdot m}{c^{-1}}.$$

Електромагнітна постійна часу  $T_E$ , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_c \cdot S_{\kappa p}};$$

$$T_E = \frac{1}{314 \cdot 0,061} = 0,052 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу двигуна  $T_M$ , с,

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta},$$

де  $J_{\Sigma}$  - сумарний момент інерції електропривода,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ,

$$J_{\Sigma} = J_{\partial} + 0,6 \cdot J_{\partial},$$

$$J_{\Sigma} = 0,2 + 0,6 \cdot 0,2 = 0,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді

$$T_M = \frac{0,32}{225,4} = 0,0014 \text{ с.}$$

Постійна часу частотного перетворювача  $T_{ПЧ}$ , с,

$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f},$$

де  $f$  – частота живлення двигуна (номінальна), Гц.

У нашому випадку:  $f = 50$  Гц,

тоді 
$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0033 \text{ с.}$$

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості  $T_{РШ}$  дорівнює величині постійної часу двигуна  $T_{Д} = T_{М}$ , а регулятора струму  $T_{РС}$  – постійній часу частотного перетворювача  $T_{ЧП}$ .

Коефіцієнти підсилення регуляторів приймаємо  $K_{РШ} = 10$ ,  $K_{РС} = 10$ .

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо  $K_{ПЧ} = 50$ .

У якості ланок, що відповідають датчикам струму і швидкості застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами підсилення регуляторів:

$$K_{ДС} = k_{3.3.с} \text{ і } K_{ДШ} = k_{3.3.ш}.$$

Приймаємо вхідну напругу  $U_3 = 10$  В.

Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівною 0, маємо коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за швидкістю  $k_{3.3.ш}$ , В·с

$$k_{3.3.ш} = \frac{u_{3.3.ш.ном}}{\omega_H},$$

де  $u_{3.3.ш.ном}$  – напруга зворотного зв'язку за швидкістю,  $u_{3.3.ш.ном} = 10$  В.

$$k_{3.3.ш} = \frac{10}{154,9} = 0,0646 \text{ В·с.}$$

Аналогічно при розрахунку коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за струмом  $k_{3.3.с}$ ,  $\frac{B \cdot A}{H \cdot M}$ ,

$$k_{3.3.с} = \frac{u_{3.3.с.ном}}{M_H / I_H},$$

де  $u_{з.з.с.ном}$  – напруга зворотного зв'язку за струмом,  $u_{з.з.с.ном} = 10$  В.

$$k_{з.з.с} = \frac{10}{355/103} = 2,9 \frac{В \cdot А}{Н \cdot м}.$$

### 3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода стрічкового конвеєра

Сформована структурна схема обраного електропривода є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування.

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

| Параметр                                                   | Одиниці виміру                | Значення             |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики | $\frac{Н \cdot м}{с^{-1}}$    | $\beta = 225,4$      |
| Електромагнітна стала часу                                 | с                             | $T_E = 0,052$        |
| Електромеханічна постійна часу                             | с                             | $T_M = 0,0014$       |
| Постійна часу регулятора швидкості                         | с                             | $T_{PII} = 0,0014$   |
| Постійна часу перетворювача                                | с                             | $T_{ПЧ} = 0,0033$    |
| Постійна часу регулятора струму                            | с                             | $T_{PC} = 0,0033$    |
| Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача             | -                             | $K_{ПЧ} = 50$        |
| Передатний коефіцієнт по швидкості                         | В·с                           | $k_{з.з.ш} = 0,0646$ |
| Передатний коефіцієнт по струму                            | $\frac{В \cdot А}{Н \cdot м}$ | $k_{з.з.с} = 2,9$    |
| Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості                 | -                             | $K_{PII} = 10$       |
| Коефіцієнт підсилення регулятора струму                    | -                             | $K_{PC} = 10$        |

Передатні функції ланок.

Асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p};$$

$$W_{AD}(p) = \frac{225,4}{0,052 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{225,4 \cdot 0,0014 \cdot p} = \frac{225,4}{0,052 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,316 \cdot p}$$

Перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,0033 \cdot p + 1}$$

Регулятора струму

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

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

Регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,0014 \cdot p}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку  
за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{ззс}$$

$$k_{з.з.с} = 2,9$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку  
за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш}$$

$$k_{з.з.ш} = 0,0646$$

При дослідженні динамічних характеристик системи керування прийнято:

- напруга завдання швидкості є стрибкоподібною зі значенням:

$$u_{з.ш.} = k_{з.з.ш} \cdot \omega_H;$$

$$u_{з.з.ш.} = 0,0646 \cdot 154,9 = 10 \text{ В};$$

- статичний момент, що прикладений до валу двигуна  $M_C$ , складає:

$$M_C = 30\% \cdot M_H;$$

$$M_{CT} = 0,30 \cdot 355 = 106,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

- у момент часу  $t = 4$  с подається вплив, що обурює, у вигляді стрибкоподібного навантаження номінального моменту на валу ЕД.

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 3.8), вони були внесені у розрахункову модель для дослідження динаміки системи керування електропривода стрічкового конвеєра (рисунок 3.9).

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету «MATLAB» [7].

На схемі зображено: «Step» – джерело східчастого впливу величиною 10 В; «Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ–регуляторів швидкості та струму відповідно;

«Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ–регуляторів швидкості та струму відповідно.

«Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно;

За допомогою блоків «Gain3» та «Gain6» виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

«Scope1» та «Scope2» – використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

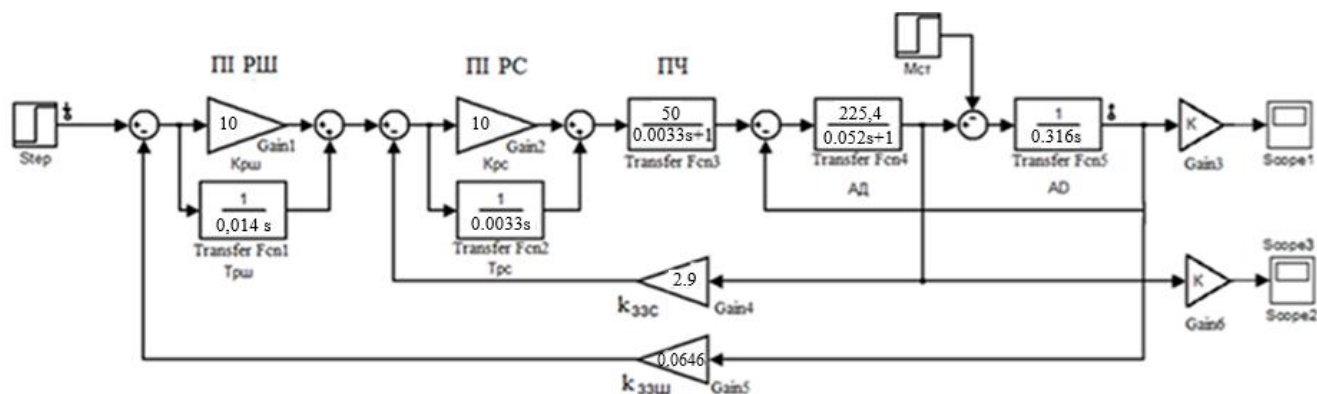


Рисунок 3.9 – Динамічна розрахункова модель системи керування

На рисунку 3.10 показаний перехідний процес системи на виході контуру швидкості.

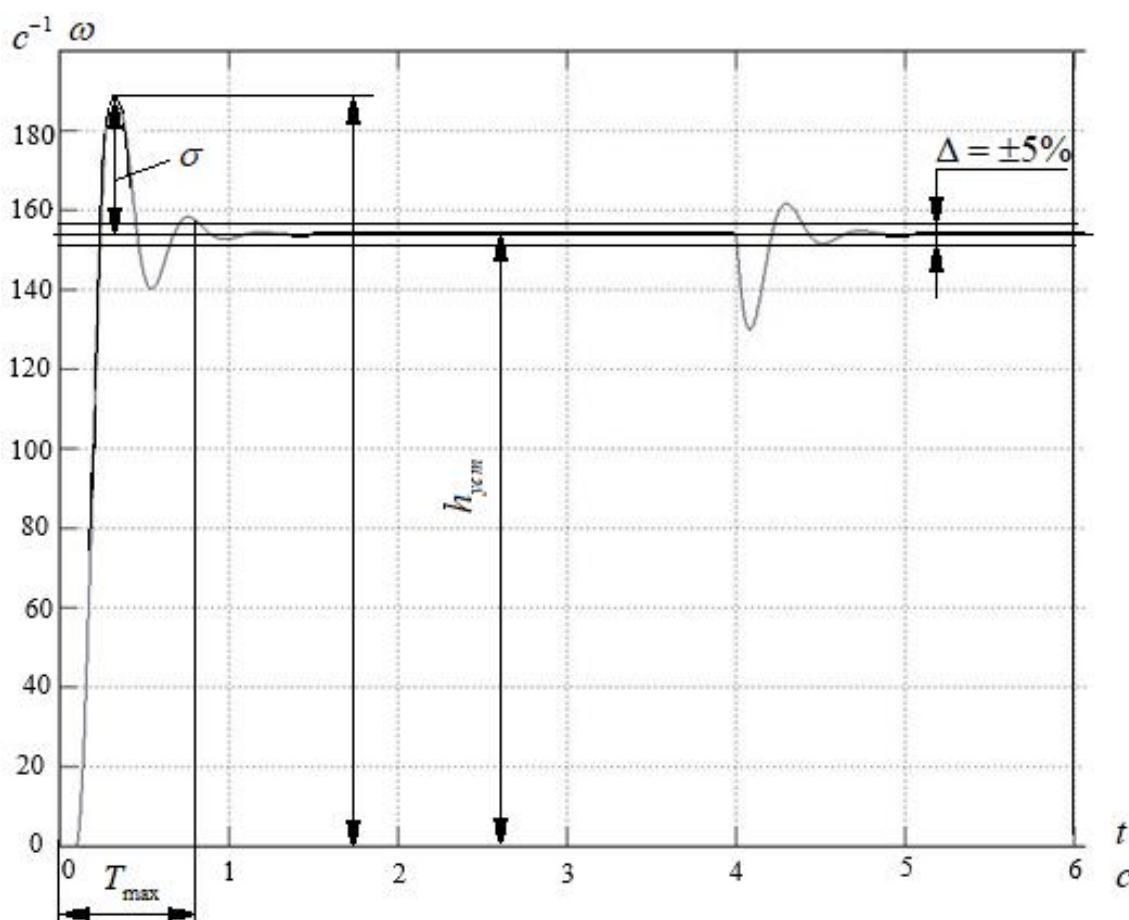


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу по швидкості

З рисунку 3.10 визначені показники якості для перехідного процесу по швидкості.

З графіку видно, що система має наступні показники якості перехідного процесу:

- перегулювання  $\sigma_{\max} = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = 18,5 \%$ ;
- час перехідного процесу  $T_{\max} = 0,75 \text{ с}$ ;
- коливальність  $N = 1$ ;
- статична похибка – похибка в сталому режимі роботи системи при дії на неї постійного сигналу,  $\varepsilon = 0 \%$ .

При зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився, перехідний процес повертається до заданого значення без помилки.

Такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування.

На рисунку 3.11 показаний перехідний процес системи на виході контуру струму.

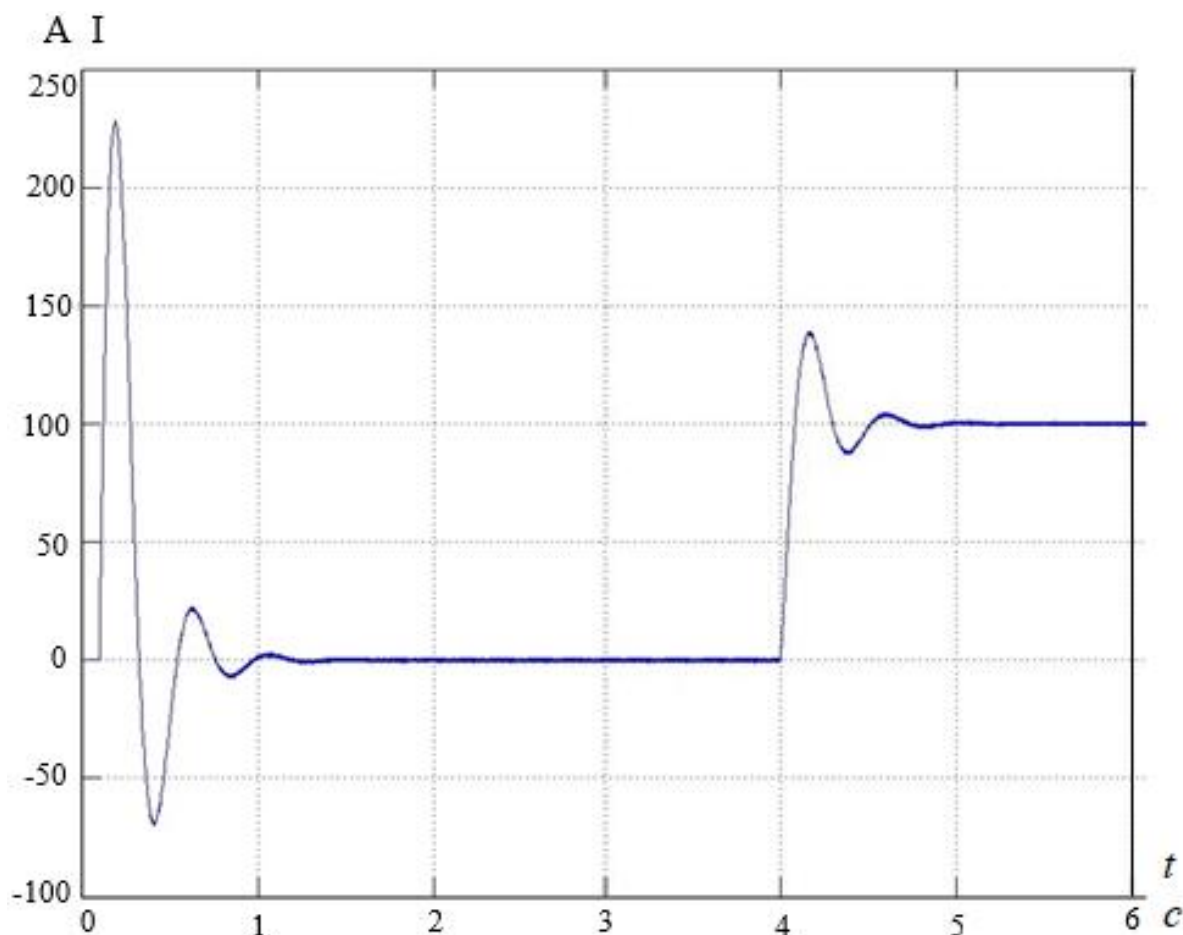


Рисунок 3.11– Графік перехідного процесу по струму

З характеристики перехідного процесу по струму (Рисунок 3.11) видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм  $I_{\text{пуск}}$  не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА**

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.

Закон України про охорону праці визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Дія Закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності (далі - підприємство), на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах. Законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів.

У разі, коли міжнародними договорами або угодами, в яких бере участь Україна, встановлено більш високі вимоги до охорони праці, ніж ті, що передбачено законодавством України, то застосовуються правила міжнародного договору або угоди.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі національних програм;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;
- використання економічних методів управління охороною праці;
- здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- міжнародного співробітництва в галузі охорони праці, використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці.

Сутність охорони праці полягає у визначенні можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть проявитися при проведенні запланованих для виконання робіт; прогнозуванні моментів прояву зазначених факторів; проведенні необхідних профілактичних заходів.

#### **4.1 Аналіз небезпек і шкідливостей при експлуатації електрообладнання стрічкових конвеєрів**

У процесі трудової діяльності на людину впливає, як правило, комплекс несприятливих факторів виробничого середовища, в результаті чого можливі виробничі травми і професійні захворювання.

До шкідливих і небезпечних факторів відносяться ті фактори, вплив яких на працюючого у визначених умовах приводить до захворювань, зниження 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 [10].

Небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на людей при роботі стрічкового конвеєра поділяються на:

- безпеку ураження людей електричним струмом;
- безпеку, яка з'являється при роботі та обслуговуванні частин машин і механізмів, що пересуваються у просторі;
- пожежну безпеку;
- безпеку, яка викликана шкідливим впливом шуму та вібрації.

Розглянемо більш детально вплив цих факторів на людину.

При роботі транспортуючих машин та механізмів виникають наступні небезпечні фактори:

- - підвищена запиленості повітряного середовища (пил вугілля, руди);
- вплив рухомих і обертових частин устаткування (передавальних механізмів, редукторів, муфт зчеплення, шківів, натяжних і приводних барабанів, рухомої стрічки конвеєра, ланцюгів, шестерень);
- вплив електричного струму (при відсутності або несправності захисного заземлення або занулення, ушкодженні ізоляції струмоприймачів);
- травмування обслуговуючого персоналу незагородженими частинами механізмів, що пересуваються.

Ще одним небезпечним фактором на крані є можливість ураження людей електричним струмом. На крані є велика кількість електричних кабелів, мереж, джерел струму та напруги, а також електричних приводів.

Працюючі машини та механізми створюють вібрації та шум. Все це приводить до зниження працездатності і втомленості людей. Для усунення цих негативних наслідків всі механізми необхідно оснастити амортизаційними пристроями.

## **4.2 Заходи з охорони праці при роботі з електроустаткуванням транспортуючого обладнання**

Вимоги охорони праці працівників при експлуатації стрічкових конвеєрів викладено в ПОТ Р М-029-2003.

Для усунення можливості впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників передбачено ряд заходів [10].

Огородження всіх частин і деталей машин, що обертаються, муфт і ремінних передач, інших небезпечних зон, знімати і працювати при відсутності яких забороняється.

Вивішування попереджувальних знаків безпеки на всіх пускачах для попередження випадкового пуску устаткування, що знаходиться в ремонті, наладці або очистці.

Установка і монтаж електроустаткування транспортуючих машин, а також пристрої освітлення, заземлення і захисту повинні відповідати вимогам "Правил устрою електроустановок" .

Контактори для реверсування електродвигунів повинні мати механічні й електричні блокування.

Практика експлуатації електроприводів показує, що найбільша кількість нещасних випадків відбувається при виявленні несправностей та наладці систем електропривода під струмом. Для запобігання цього роботи слід проводити в гумових калошах або стояти на ізолюючій основі. При ремонті електропривода напруга попередньо знімається з головного розподільного щита шляхом відключення. На вимикачі вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди".

ДСТУ ГОСТ 12.1.038-82 "Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов" установлює гранично допустимі рівні напруги та струмів доторкання. При нормальних режимах роботи електроустановок змінний струм, діючий на людину, не повинен перевищувати 0,3мА, а постійний – 1,0мА при загальній тривалості дії не більше 10хв. за добу. В аварійних режимах допустимі рівні сили струму змінюються в доволі широких

межах в залежності від тривалості його дії. Так, допускається дія змінного струму частотою 50Гц 500мА протягом 0,1с і 6мА більше 1с. Постійний струм в 3 – 4 рази безпечніше.

Для персоналу, обслуговуючого електроустановки і такого, що знаходиться в зоні впливу створюваного ними електричного поля, ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах." установлює гранично припустимий рівень напруженості електричного поля частотою 50Гц 25кВ/м; перебування людини в електричному полі більшої напруженості без застосування засобів захисту заборонено.

Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно:

- струмоведучі частини, які знаходяться під напругою мають бути відгороджені ізолюючими прокладками;
- ремонтні роботи необхідно проводити у діелектричних рукавичках, інструментом з діелектричними ручками;
- на конвеєрі обов'язковим являється захисне заземлення;
- для живлення переносного інструмента дозволяється застосовувати напругу не вище 36 В;
- своєчасна перевірка знань обслуговуючого персоналу.

Всі кабельні мережі, а також електрообладнання повинні мати ізоляцію струмоведучих частин корпусу.

Опір ізоляції відповідно до ПУЕ-84 повинен складати: 0.5 Ом для ланцюгів на напругу більше 1000 В; 4 Ом для ланцюгів на напругу менше 1000 В;

Небезпека, пов'язана з обслуговуванням обертаючих машин та механізмів, ліквідується звичайно за допомогою наступних заходів: захисна огорожа та попередження, попереджувачі надписи; захисне та блокуюче обладнання; звукова та світлова сигналізація.

Для зменшення небезпеки від пожеж проводиться два види заходів: технічні та організаційні.

До технічних заходів відносяться: система об'ємного пожежогасіння;

водяного зрошення; вентиляції; вогнегасники.

До організаційних заходів відносяться: зберігання вогнебезпечних матеріалів в відведених для цього місцях; навчання особового складу правилам пожежогасіння; ретельна очистка конвеєра.

На конвеєрі також обов'язковим є захисне заземлення. Воно призначене для захисту обслуговуючого персоналу від ураження струмом.

Захисному заземленню підлягають: корпуси електричних машин і трансформаторів, кожухи пускачів реостатів, командоконтролери, пульти магнітних контролерів, пульт керування і таке інше.

Необхідно також забезпечити ізоляцію відкритих струмоведучих частин, установку захисних електричних і механічних блокувань; установок приборів автомагнітного відключення, реагуючих на напругу або струм замикання на корпус (землю). НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила будови і безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

Електроустаткування повинне бути оснащено пусковою апаратурою, що незалежно від положення органів керування виключає мимовільне включення обладнання при відновленні раптово зниклої напруги.

Приводний і натяжний барабани відгороджують; встановлюють на них два кінцеві вимикачі, що зупиняють систему при перевантаженні тягових органів чи при обриві стрічки. На муфті, що з'єднує електродвигун приводу з приводним барабаном, улаштовують запобіжний палець, що працює на зріз при підвищенні тягового зусилля на 25% порівняно з нормальним.

При спрацьовуванні блокувань пристрій керування повинен переводитися автоматично на ручний режим роботи.

Для регулювання натягу, очищення та змащування окремих вузлів конвеєрів, виймання продукту чи сторонніх предметів з кожуха конвеєра, усунення перекосу стрічки чи ланцюга необхідно вимкнути конвеєр та вивісити попереджувальний плакат "Не вмикати працюють люди!"

При загорянні електроустаткування використовувати тільки вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі з метою модернізації досліджена система керування електропривода пересувного стрічкового конвеєра типу БО-16080-КРУ4 продуктивністю 2000 тонн.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

наведена класифікація транспортуючих машин, наведені дані про їх конструкцію, роботу та електричне обладнання;

- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів та вибраний більш сучасний електродвигун АИР225М4У3 потужністю 55 кВт;

- на основі проведеного аналізу систем керування двигунами перемінного струму для керування електродвигуном стрічкового конвеєра вибраний перетворювач типу Altivar 71;

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням;

- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотної системи керування;

- виконаний розрахунок та вибір параметрів основних елементів системи керування електропривода;

- в математичній програмі Simulink пакету Matlab була побудована розрахункова модель структурної схеми для дослідження динамічних характеристик системи керування;

- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання  $\sigma_{\max} = 18,5 \%$ , час перехідного процесу  $T_{\max} = 0,75$  с, коливальність  $N = 1$ , статична похибка  $\varepsilon = 0 \%$ .

Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів транспортуючих механізмів.

Крім того, з графіку перехідного процесу по струму електродвигуна видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм  $I_{\text{пуск}}$  не перевищує допустимий струм короткого замикання.

Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням стрічкових конвеєрів.

На підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електронного устаткування були визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на стрічкових конвеєрах.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Асинхронні електродвигуни із короткозамкненим ротором серії АІР. Каталог загальнопромислових двигунів. URL: <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehopisanie-air-ru.pdf> . Назва з екрана.
2. **Баховець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.
3. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
4. **Грабко В. В.** Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.
5. **Григоров О. В.** Рациональные приводы подъемно-транспортных, дорожных машин та логистических комплексов : монография / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, Н.О. Петренко та ін.; за ред. Григорова О.В. – Х. : НТУ «ХП», 2016. – 352 с.
6. **Закладной А. Н.** Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. – К. : «ДИЯ», 2001. – 343 с.
7. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
8. **Козуб Ю.Г., Маслійов С.В.** Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ю.Г. Козуб, С.В. Маслійов – Старобільськ: вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2018. – 277с.
9. **Ловеїкін В.С.** Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловеїкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с.

**10. Основи охорони праці:** Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.:Основа, 2006 — 448 с.

**11. Преобразователь частоты Altivar 71.** Каталог DIA2ED2050704UA. – К.: SchneiderElectric, 2007. – 210с..

**12. Регульований електропривод: Підручник** / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.

**13. Стрічкові конвейєри.** Інструкція з експлуатації. Тип БО-16080-КРУ4.

**14. Теорія автоматичного керування :** навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонтьєва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.

## ДОДАТОК А

### Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Дирма Антон Костянтинович

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:

"Дослідження частотної системи керування електропривода  
пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

## АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

**Актуальність теми.** Тема перевантаження та доставки вантажів річковим транспортом завжди була й буде актуальною, особливо для портів і спеціалізованих терміналів, які виконують перевантаження мінеральних добрив, зернопродуктів, вугілля та інших сипучих матеріалів.

Автоматизація операцій перевантажувального транспорту шляхом впровадження частотно-регульованих асинхронних електроприводів для керування конвеєрними лініями є актуальною задачею.

**Мета роботи** – удосконалення системи керування автоматизованого електропривода пересувного стрічкового конвеєра для сипких матеріалів.

**Задачі роботи:**

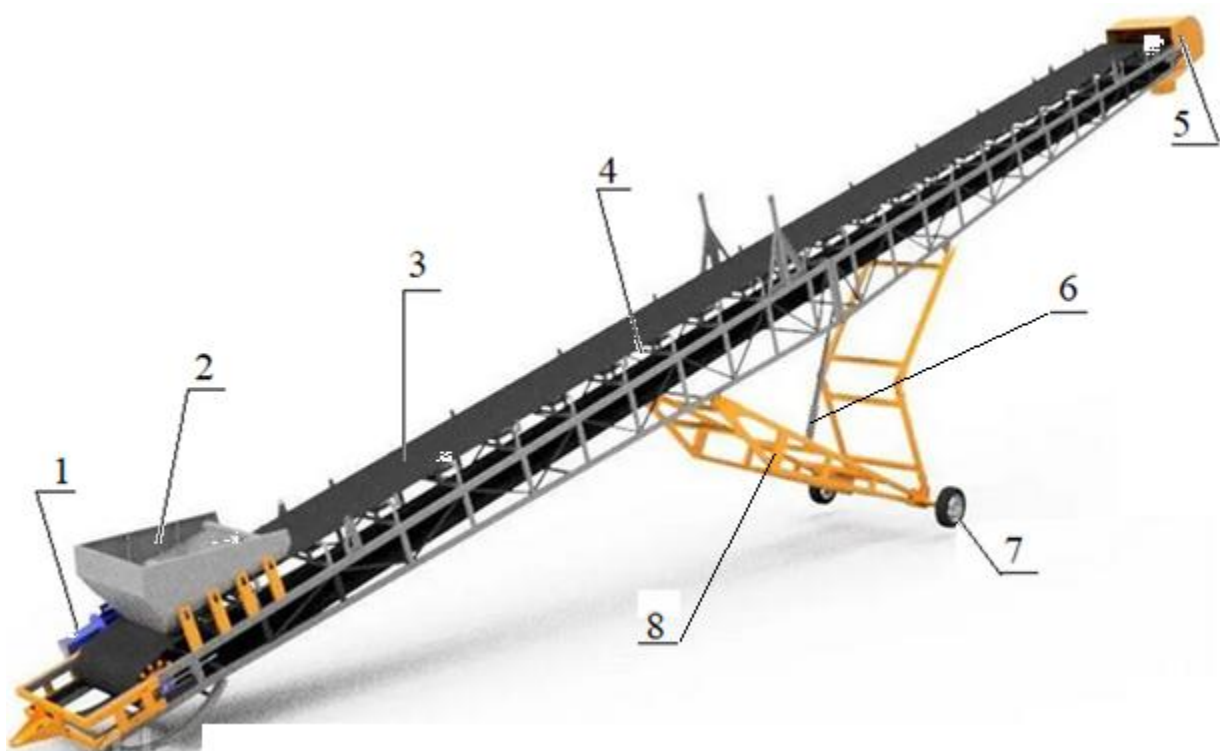
- розглянути автоматизовану систему керування електропривода конвеєра;
- провести розрахунок необхідної потужності електродвигуна для привода конвеєра;
- провести аналіз існуючих, сучасних засобів та систем керування електродвигунами змінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном конвеєра;
- провести аналіз динамічних властивостей системи керування;
- привести загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання стрічкового конвеєра.

Слайд 2 мультимедійної презентації

## ПЕРЕСУВНИЙ СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР ДЛЯ ПОРТІВ

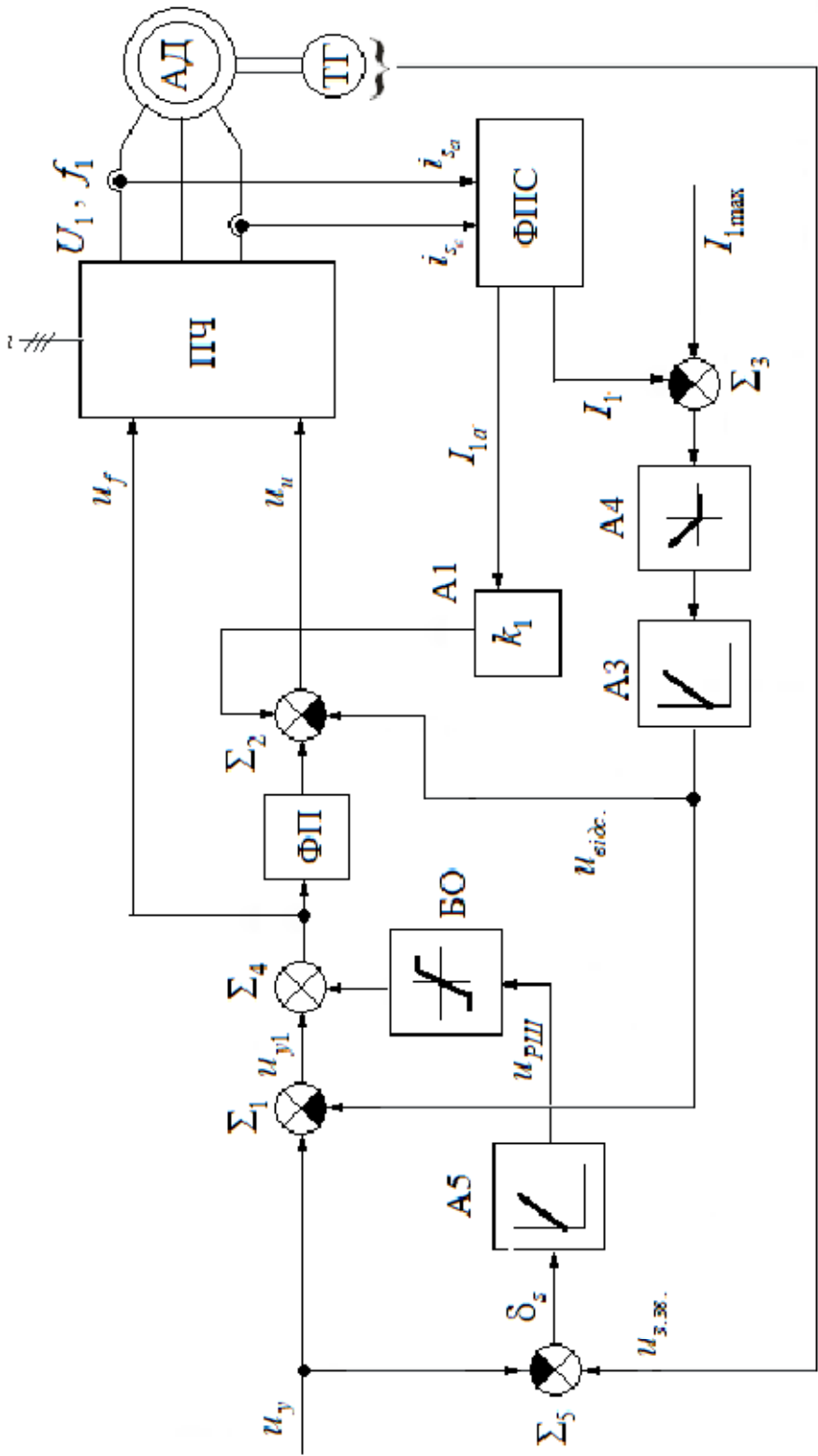


Загальний вид стрічкового пересувного конвеєра типу БО 16080 із зазначенням складових частин



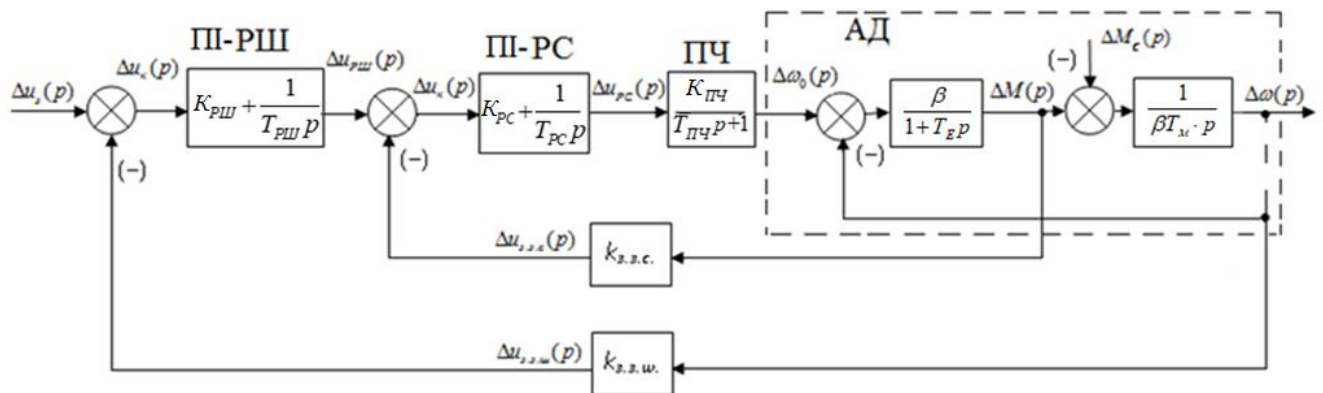
1 – електропривод; 2 – бункер приймальний; 3 – стрічка конвеєра;  
4 - конвеєрний став (рама); 5 – натяжний барабан; 6 – гідроциліндр;  
7 – колесо (каток); 8 – рама візка

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЧ-АД  
З ЧАСТОТНИМ- КЕРУВАННЯМ

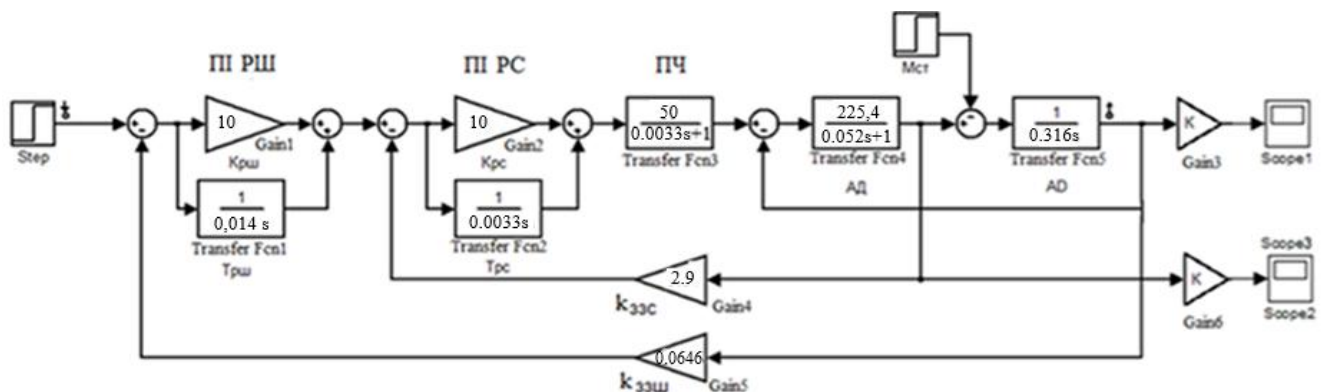


Слайд 4 мультимедійної презентації

# СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

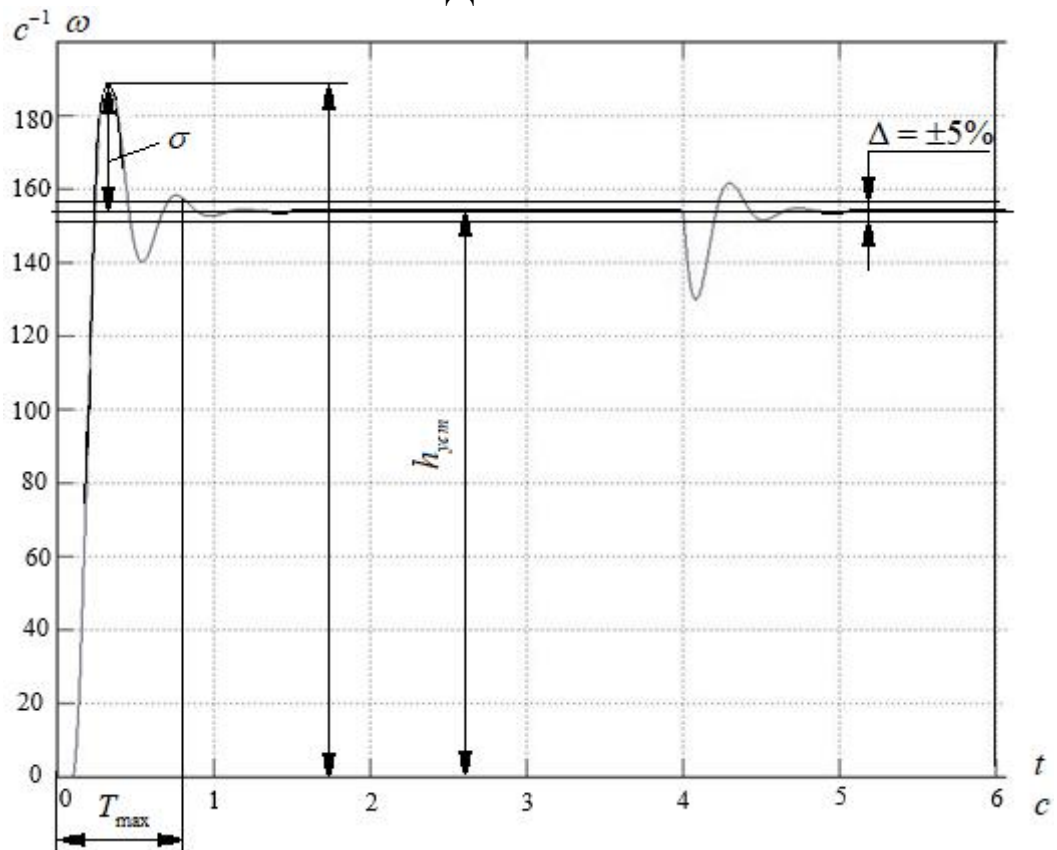


Структурна схема системи керування електропривода

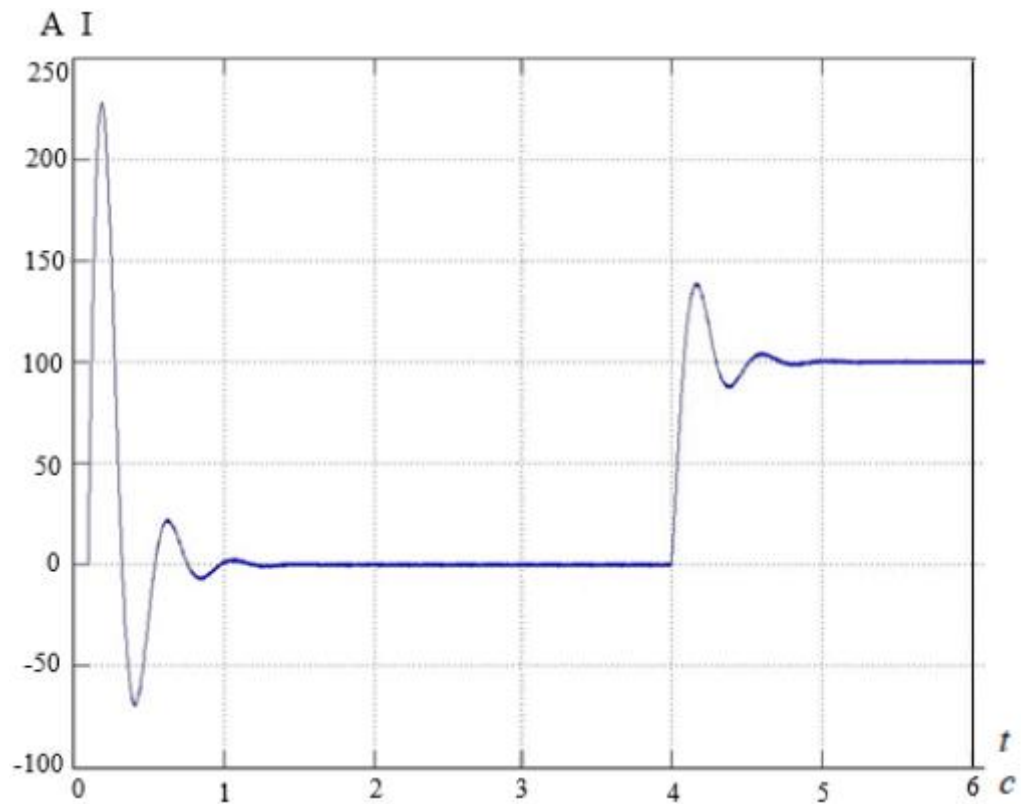


Розрахункова динамічна модель системи керування

# АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Графік перехідного процесу по швидкості



Графік перехідного процесу по струму

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода пересувного стрічкового конвеєра типу БО-16080-КРУ4 продуктивністю 2000 тонн.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

наведена класифікація транспортуючих машин, наведені дані про їх конструкцію, роботу та електричне обладнання;

- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів та вибраний більш сучасний електродвигун АИР225М4У3 потужністю 55 кВт;

- на основі проведеного аналізу систем керування двигунами перемінного струму для керування електродвигуном стрічкового конвеєра вибраний перетворювач типу Altivar 71;

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням, а на її основі складена структурна схема частотної системи керування, виконаний розрахунок та вибір параметрів основних елементів системи керування електропривода;

- побудована розрахункова модель структурної схеми для дослідження динамічних характеристик системи керування;

- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання  $\sigma_{\max} = 18,5 \%$ , час перехідного процесу  $T_{\max} = 0,75$  с, коливальність  $N = 1$ , статична похибка  $\varepsilon = 0 \%$ .

Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів транспортуючих механізмів.

Крім того, з графіку перехідного процесу по струму електродвигуна видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм  $I_{\text{пуск}}$  не перевищує допустимий струм короткого замикання. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням стрічкових конвеєрів.

Слайд 7 мультимедійної презентації