

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматки, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр .
(ступінь вищої освіти)

на тему

**Розроблення та дослідження частотно-регульованого електроприводу
багатомоторного взаємопов'язаного шарового конвеєру**

Виконав: студент 2 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ковган Р.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.
(прізвище та ініціали)


Рецензент Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
 робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
 електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер
 “ 02 ” “ 09 ” 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Ковгану Роману Максимовичу

1. Тема проекту (роботи) «Розроблення та дослідження частотно-регульованого електроприводу багатомоторного взаємопов'язаного шарового конвеєру»
 керівник проекту (роботи) Кожушко Григорій Мефодійович, д.т.н., проф.
 затверджена наказом вищого навчального закладу від “09” 08 2024 року № 818-ф.а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Стрічковий конвеєр
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Огляд літератури Електроприводи стрічкових конвеєрів. Огляд проблеми та досвіду використання. Математична та комп'ютерна розробка стрічкового конвеєрного багатомоторного частотно-регульованого електроприводу. Розробка математичної моделі багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу з урахуванням пружних зв'язків. Розробка комп'ютерної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків. Математичне моделювання багатомоторного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєру в сталих режимах роботи. Розробка математичної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу в сталих режимах роботи. Розробка технічного рішення управління та розподілу навантаження між частотно-регульованими приводами багатомоторного багатострічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 - 1) Загальний вигляд та основні вузли стрічкового конвеєра
 - 2) Схеми трас стрічкових конвеєрів
 - 3) Результати моделювання процесу запуску головного електроприводу багатопровідного стрічкового конвеєру
 - 4) Результати моделювання динамічного процесу головного електроприводу стрічкового конвеєра в режимі пуску

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Огляд літератури, Електроприводи стрічкових конвеєрів. Огляд проблеми та досвіду використання	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Математична та комп'ютерна розробка стрічкового конвеєрного багатомоторного частотно-регульованого електроприводу	16.10.24	I	25%	Пл. 2
3	Розробка математичної моделі багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу з урахуванням пружних зв'язків	05.11.24		40%	Пл. 4
4	Розробка комп'ютерної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків	12.11.24		50 %	Пл. 5
5	Математичне моделювання багатомоторного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєру в сталих режимах роботи	19.11.24	II	60%	Пл. 6
6	Розробка математичної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу в сталих режимах роботи	26.11.24		70%	Пл. 7
7	Розробка технічного рішення управління та розподілу навантаження між частотно-регульованими приводами багатомоторного багатострічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу	11.12.24		90%	Пл. 9
8	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	Пл. 10

Магістрант

(підпис)

Ковган Р.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

	4
Зміст	стор
Вступ.....	6
1. Електроприводи стрічкових конвеєрів. Огляд проблеми та досвіду використання.....	8
1.1. Досвід використання стрічкових конвеєрів	8
1.2. Огляд та аналіз наукових досліджень у галузі розробки електроприводів стрічкових конвеєрів	14
1.3. Аналіз роботи з дослідження динаміки електроприводів стрічкових конвеєрів	17
1.4. Аналіз роботи з дослідження стійких режимів використання електроприводів ланцюгових конвеєрів	19
1.5 Доведення актуальності дослідження та визначення основних завдань.....	23
2. Математична та комп'ютерна розробка стрічкового конвеєрного багатомоторного частотно-регульованого електроприводу	30
2.1 Загальна характеристика сучасних перетворювачів частоти.....	30
2.2 Розробка математичної моделі багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу з урахуванням пружних зв'язків	32
2.3 Розробка комп'ютерної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків.....	40
3. Математичне моделювання багатомоторного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєру в сталих режимах роботи	48
3.1. Підвищення енергоефективності транспортування корисних копалин при стабілізованому режимі використання стрічкового конвеєра	48
3.2. Розробка математичної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу	

стрічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу в сталих режимах роботи	51
3.3. Розробка комп'ютерної моделі багатомоторного частотно-регульованого електроприводу взаємопов'язаного стрічкового конвеєра в стійких режимах роботи	56
4. Інженерні рішення для ефективного використання стрічкового конвеєрного взаємоп'єданого багатомоторного частотно-регульованого електроприводу	62
4.1 Врахування пружних властивостей тягово-несучого органу, забезпечення безперебійної роботи взаємопов'язаного частотно-регульованого двомоторного електроприводу стрічкового конвеєру.	62
4.2. Контроль пуску взаємозв'язаного чотиримоторного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягово-несучого органу.....	67
4.3 Розробка технічного рішення управління та розподілу навантаження між частотно-регульованими приводами багатомоторного багатострічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу.....	70
Висновки.....	73
Література.....	75
Додатки.....	78

ВСТУП

Актуальність роботи. На глибоких родовищах і кар'єрах застосування стрічкових конвеєрів дозволяє скоротити обсяг робіт за рахунок можливості роботи цих типів конвеєрів у вертикальних похилих виробках з кутом підйому до 30 град. Висока міцність тягово-несучого корпусу стрічкового конвеєра, можливість транспортування корисних копалин на значні відстані по криволінійних лініях, легкість збільшення довжини конвеєра є його перевагами в порівнянні з іншими видами конвеєрів.

Застосування частотно-регульованих електроприводів змінного струму в конвеєрних транспортних засобах, у тому числі стрічкових конвеєрах на основі серійних асинхронних електродвигунів для гірничодобувної промисловості, використовується для регулювання швидкості конвеєра, управління розподілом навантаження між приводами, уникнення врівноваження зусиль в тяговому ланцюзі конвеєра, пружині тяговоза – забезпечує автоматичний пуск багатоприводного конвеєра з урахуванням в'язкостних властивостей і ряду інших факторів.

Таким чином, використання стрічкових конвеєрів з багатомоторним частотно-регульованим електроприводом призводить до зниження собівартості видобутку при потоковій технології та, відповідно, до зниження собівартості видобутку відкритим способом, що підтверджує актуальність даного дослідження. .

Метою роботи є зменшення динамічних навантажень та керування роботою стрічкового конвеєра з урахуванням конструктивних особливостей його тягово-несучого органу за допомогою взаємозв'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра та підвищенні ресурсу головного стрічкового конвеєра в складних гірничо-геологічних умовах відкритої розробки корисних копалин за рахунок використання багатомоторного частотно-регульованого електроприводу та управління робочим статико-динамічним станом тяги.

Задачі роботи

1. Аналіз основних напрямків досліджень і розробок в галузі розробки електроприводів;
2. Розробка математичних моделей пускового та стабілізованого режимів багатоприводного стрічкового конвеєра;
3. Розробка підходу, спрямованого на модернізацію пускових режимів використання електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра;
4. Розробка підходу, спрямованого на модернізацію стійких режимів використання електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра;
5. Розробка технічних рішень для забезпечення безперебійної роботи взаємозв'язаного частотно-регульованого багатодвигунного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягово-несучого органу;
6. Розробка технічних рішень вирівнювання та розподілу навантажень у багатомоторному електроприводі взаємопов'язаного багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням особливостей тягово-несучого органу.

1 ЕЛЕКТРОПРИВОДИ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ТА ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Досвід використання стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри застосовуються в гірничодобувній, машинобудівній, металургійній, хімічній, енергетичній та інших галузях промисловості для транспортування різноманітних сипучих вантажів у прямолінійних і похилих напрямках [1,2].

Стрічковий конвеєр – це нескінченна гнучка стрічка, яка огинає приводний барабан і натяжний барабан, а в прольоті між ними спирається на ряд роликів опор робочої гілки, і нижні підтримують прямі ролики, встановлені з певним інтервалом на рамі (рисунок 1.1).

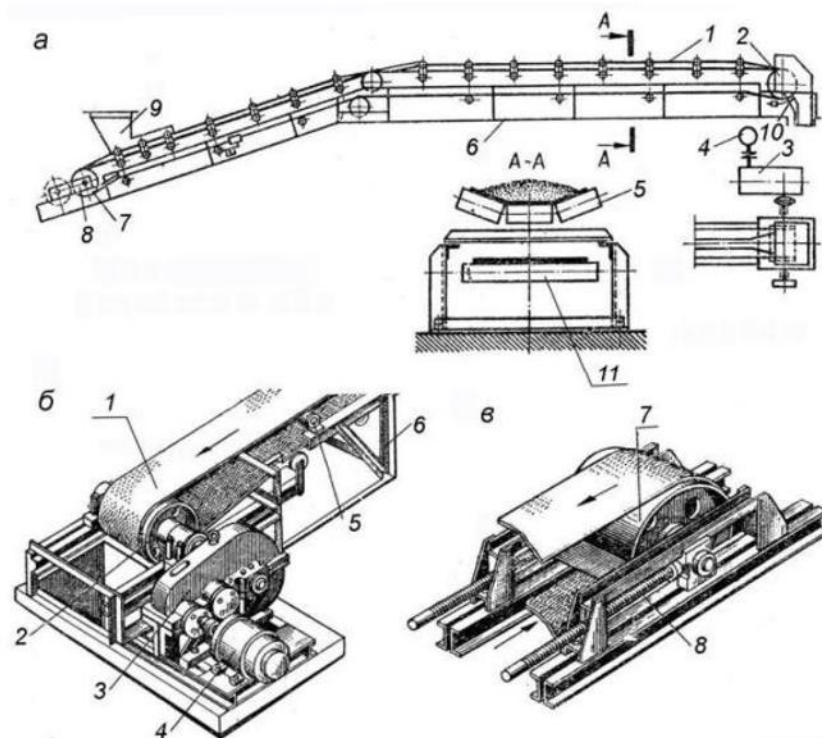


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд та основні вузли стрічкового конвеєра
 1 - стрічка; 2 - привід; 3 – редуктор; 4 - електродвигун; 5, 11 – роликоопори;
 6 – станина; 7 – натяжний барабан; 8 – натяжний пристрій;
 9 - завантажувальний пристрій; 10 – очисний пристрій

Роликові опори можуть бути різних типів: на конвеєрах загального призначення використовують роликоопори з жорстким кріпленням осей, вони можуть бути одно-, дво-, три-, п'ятироликівими (рис. 1.2). Однороликові (рис. 1.2 а) використовуються для транспортування штучних вантажів, а дво-, три-, п'ятироликові (рис. 1.2 б, г, в) для сипучих вантажів найбільш поширені трироликові опори. У гірничодобувній промисловості застосовують підвісні роликоопори (рис. 1.2 е), які кріплять до натягнутих сталевих канатів, дана конструкція знижує динамічні навантаження при зіткненні з великокусовим вантажем, проте їх конструкції складні, а шарніри мають схильність до втрати рухливості. У даних роликоопор вище опір руху стрічки, ніж на опорах із жорсткою віссю. Існують підвісні опори з гнучкою віссю (рис. 1.2 д) зі сталевого троса, їх конструкція має аналогічні недоліки, що і у підвісних роликоопор .

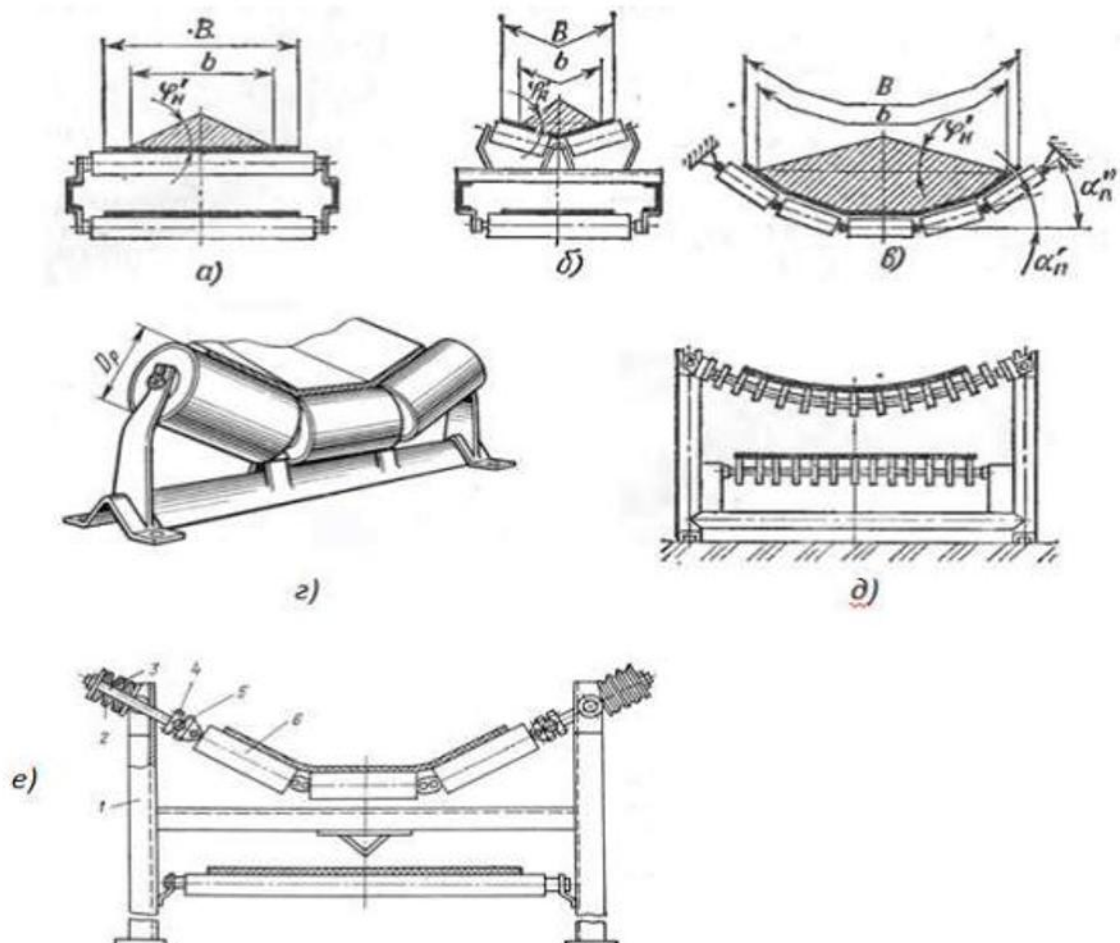


Рисунок 1.2 – Типи опор стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри умовно поділяють на три групи: загального призначення; спеціальні та конвеєри, призначені для підземних та відкритих гірничих робіт. Стрічкові конвеєри можуть бути стаціонарними та пересувними, вони призначені для транспортування у горизонтальному та похилому (до 24°) напрямках штучних та тарних вантажів, що забезпечується можливістю компонування приводів праворуч і ліворуч, одно- та двопривідних виконань.

За профілем траси стрічкові конвеєри класифікують на горизонтальні (рис. 1.3, а), похилі (рис. 1.3, б) і комбіновані (рис. 1.3, в).

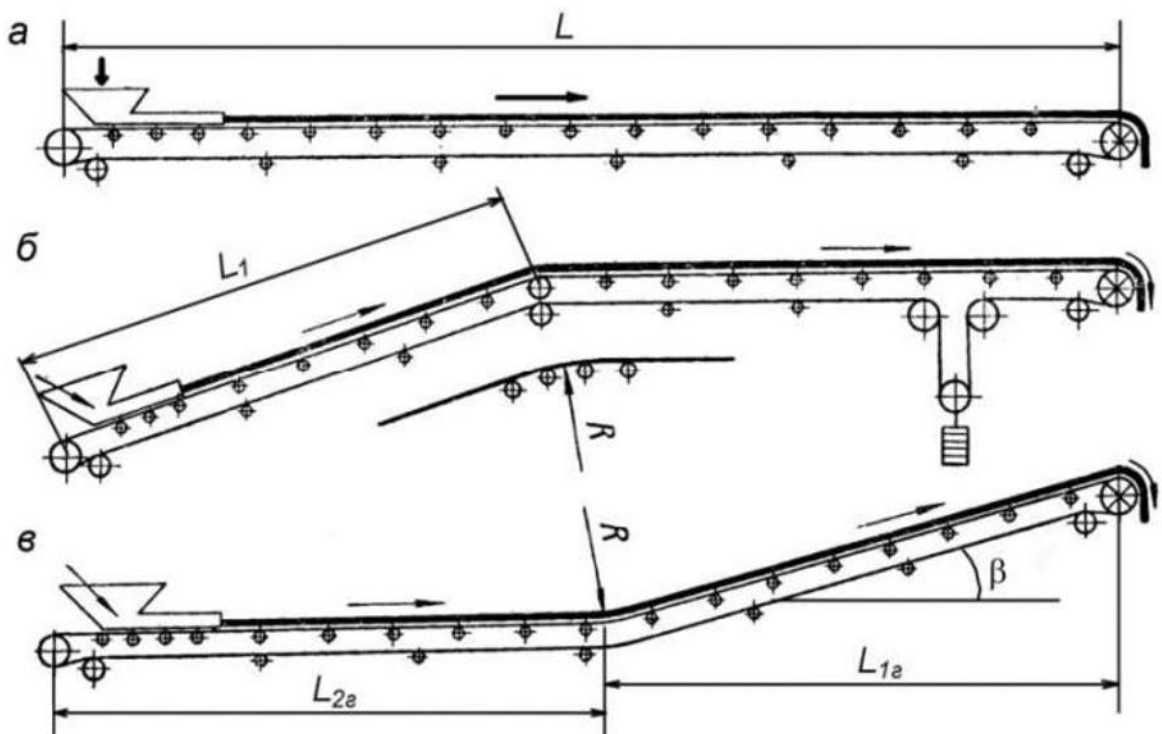


Рисунок 1.3 – Схеми трас стрічкових конвеєрів

L – дальність транспортування; L_1 - Довжина похилої ділянки конвеєра;

$L_{1г}$ - Довжина горизонтальної проекції похилої ділянки;

$L_{2г}$ - довжина горизонтальної ділянки конвеєра; H – висота підйому вантажу;

β – кут нахилу траси (похилої ділянки для складної траси)

У напрямку руху вантажу стрічкові конвеєри бувають підйомні з нахилом вгору і з нахилом вниз. За формою стрічки та розміщення вантажу

конвеєри можуть бути з плоскою та жолобчастою стрічкою, а також з верхньою (основний тип) та нижньою або обома несучими гілками. По кутку нахилу траси конвеєри поділяють на похилі, крутонахилі (більше 22°) і вертикальні [7 – 9].

При відносно низьких витратах на обслуговування та ремонт, термін служби стрічкових конвеєрів може становити 25-35 років, також вони мають такі переваги в порівнянні з іншими конвеєрами [10]:

1. Широкий асортимент вантажів, що транспортуються.
2. Нижчі витрати, особливо при великій продуктивності, на одну тонну (відповідно на 1 м³) вантажу, що транспортується.
3. Великі відстані транспортування з мінімальним числом перевантажувальних пунктів, що дозволяє краще оберігати вантаж.
4. Можливість використання завантажувальних та розвантажувальних пристроїв у будь-якому місці конвеєрної установки.
5. Можливість зважування вантажу, сушіння, сортування, охолодження під час транспортування. Можливість диспетчерського керування всією конвеєрною лінією.
6. Уніфікація конвеєрного обладнання.

Однак є і недоліки, це складність транспортування абразивних великокускових вантажів і необхідність попереднього дроблення, що виникає, інтенсивне зношування гнучких вантажонесучих органів;

Тісний взаємозв'язок конвеєрів із технологічним процесом чи циклом для підприємства обумовлює їхню високу відповідальність. Хотілося б відзначити, що, як правило, конвеєри з транспортно-технологічного призначення не мають дублюючих систем. Тому в загальній транспортній системі вихід з ладу хоча б одного конвеєра викликає порушення роботи всієї мережі чи підприємства.

Більшість стрічкових конвеєрів у добувній промисловості (видобуток вугілля, гравію, вапняку, різних рудних порід) працюють в екстремальних умовах перепаду температур взимку, високої вологості та запиленості

навколишнього середовища влітку, при цьому ці фактори впливають на різні вузли конвеєрів по-різному. Так на трироликовій опорі при роликах рівних довжин, навантаження на середній ролик, становить близько 70% від сумарного погонного навантаження вантажу, стрічки і ваги частин роликоопори, що обертаються. На бічні ролики припадає близько 30%, звідси навантаження на підшипники середнього ролика в 2,5 рази більше, ніж підшипники бічних роликів [11]. Неправильний вибір конструкції роликоопор призводить до передчасного виходу з ладу стрічки та роликів. Збільшення ширини стрічки призводить до зростання навантаження на підшипники роликів, особливо горизонтальних опорних роликів, це призводить до збільшення кількості відмов та зниження загальної надійності стрічкового конвеєру.

Аналізуючи надійність вузлів стрічкових конвеєрів на різних шахтах, гравійних, вапнякових та інших підприємствах з'ясувалося, що мають найменший ресурс, при цьому вимагають найбільших трудових витрат і коштів такі вузли конвеєра як конвеєрні ролики та конвеєрна стрічка. Згідно зі статистичними даними на частку роликів конвеєрів припадає до 40% усіх витрат на ремонт та обслуговування та до 30% від вартості всього конвеєра. Ресурс конвеєрних роликів на гірничорудних підприємствах у вузлах завантаження становить від 0,5 до 1 року, за станом конвеєра від 0,7 до 2,5 років, становлячи середньому 1,7 року. Розрахунковий термін служби середнього опорного ролика як найбільш навантаженого в середньому становить від 25 до 35 тис. годин, що перевищує фактичний термін служби у кілька разів. У середньому протягом терміну служби кожен ролик у конвеєрі змінюють від 3 до 5 разів, тобто потреба у роликах існує постійно і з збільшенням довжини конвеєрів вона зростає [3].

Таким чином, опорні ролики є одними з масових складових стрічкового конвеєра. Ролики є однією з найважливіших складових, що визначають працездатність та надійність стрічкового конвеєра. Конвеєрні ролики використовуються не тільки у стрічкових конвеєрах, вони застосовуються у

роликів конвеєрах для транспортування штучних та пакетованих вантажів, де вартість роликів становить 50-80% від вартості машин безперервного транспорту, у міжконвеєрних передавальних пристроях, які мають роликівий настил, також широко застосовуються у різних видах елеваторів накопичувачів.

Таким чином, досвід використання стрічкових конвеєрів на гірничодобувних підприємствах України і досвід використання цього типу конвеєрів за кордоном показує, що стрічкові конвеєри призначені для транспортування широкого спектру вантажів (вугілля, твердих порід, агломератів, скельних порід і руд) по криволінійні колії, що характеризуються великими ухилами завдяки конструктивним особливостям, показали, що їх можна успішно використовувати в різних галузях промисловості в геологічних і промислових умовах.

До переваг стрічкових конвеєрних конструкцій відносяться: використання металевої обшивки необхідної міцності, що дозволяє транспортувати великогабаритні і важкі матеріали, в тому числі в умовах високої температури навколишнього середовища; використання високоміцних тягових ланцюгів, які дозволяють реалізувати значні тягові зусилля, необхідні при великих відстанях доставки (до 2 км) і значному (до 70°) підйомі; можливість транспортування вантажу по маршрутах різного радіусу; забезпечення прямого завантаження піддонів з бункерів без використання живильників [3]. При цьому до недоліків конструкцій конвеєрів можна віднести значну металоємність і високу вартість виробництва.

Постійне збільшення глибини кар'єрів, що використовуються при розробці корисних копалин відкритим способом, підвищення їх продуктивності по рудній масі, циклічна технологія з автомобільним і залізничним транспортом призводить до погіршення техніко-економічних показників роботи. Собівартість видобутку корисних копалин зростає внаслідок збільшення собівартості за рахунок використання циклічних видів транспорту.

Досвід експлуатації показує, що на кожні 100 м глибини котловану експлуатаційні витрати автомобіля вантажопідйомністю 30-40 т збільшуються в середньому в 1,5 рази [3]. Застосування залізничного транспорту в багатьох глибоких кар'єрах виключається через те, що рухомий склад не може бути введений у відносно невеликі розміри рудних тіл і параметри кар'єру.

Сучасні стрічкові конвеєри в найближчі десять років здатні обробляти вантажопотоки найбільших шахт і кар'єрів. Однак стрічкові конвеєри не можуть нахилитися на спланованій магістралі з кривою трасою, а також під великими кутами, що характерно для кар'єрів і шахт. Можливість збільшення кута транспортування покращує техніко-економічні показники видобутку корисних копалин на відкритих гірничих роботах, оскільки при цьому можна змінювати геометрію секцій, що призводить до зниження невиробничих витрат за рахунок U зв'язку з цим, при відкритих гірничих роботах безсумнівною актуальністю є використання циклічних потокових технологій з використанням стрічкового конвеєра з конструктивною можливістю роботи в виробках великого кута. Висока міцність і надійність робочого органу стрічкових конвеєрів з ланцюговим тяговим пристроєм, можливість транспортування рудної маси по крутосхилих виробках, легкість подовження довжини конвеєра ефективно відрізняють його від інших типів конвеєрів. Зрозуміло, що магістральні відкидні конвеєри, оснащені сучасним багатосистемним електроприводом, здатні забезпечити достатньо високу продуктивність, щоб задовольнити виробничі вимоги використання конвеєрних транспортних вузлів.

1.2 Огляд та аналіз наукових досліджень у галузі розробки електроприводів стрічкових конвеєрів

Проведено багато наукових досліджень в області створення різноманітних креслень електроприводів конвеєрних установок і створення систем керування, в тому числі багато робіт для стрічкових конвеєрів.

Результати дослідження двомоторної системи електроприводу конвеєрів для транспортування сипучих матеріалів наведено в роботі [16]. Зокрема, автором розроблено спосіб багатоканального керування електроприводом конвеєра, а також структуру системи синхронізації виконавчих елементів багатомоторного електроприводу, яка відрізняється дискретним перемиканням під час запуску і в стабільному режимі. Крім того, в роботі проведено аналіз негативних впливів на виконавчі елементи конвеєра та визначено шляхи їх зменшення. Запропоновані рекомендації дозволили зменшити поломку механізму та дорогу стрічку, що збільшило термін служби як транспортного елемента, так і конструкції приводної станції для сипучих матеріалів.

У роботі [17] розроблено алгоритм системи керування багатодвигунним частотно-регульованим електроприводом конвеєра з корекцією сигналів завдання з урахуванням випадкового характеру потоку навантаження, що дозволяє економити ресурси конвеєрної установки за рахунок перерозподілу та вирівнювання навантажень двигуна конвеєра. Автором встановлено залежність зміни електромагнітного моменту електродвигуна від динамічних навантажень на електроприводний вал конвеєра в пусковому режимі та режимах роботи, що дозволяє обґрунтувати необхідний алгоритм багаторазового - система керування електроприводом двигуна, що забезпечує енергоефективний режим роботи всієї транспортної одиниці. На мікропроцесорних засобах апробовано алгоритми керування багатомоторним електроприводом, для нього розроблено програмне забезпечення програмованого контролера.

Система заснована на асинхронному електроприводі, машини можуть справлятися зі штабелевими навантаженнями, передбаченими подвійними живильними конвеєрами, і в цій системі двигун може працювати як на високій, так і на низькій синхронній швидкості. Тому немає необхідності збільшувати задану потужність електроприводу, якщо потрібно короткочасне підвищення частоти обертання валу до синхронного значення. У металургійному

виробництві встановлення системи на основі конвеєрів завантаження шихти в агломераційну стрічку показало можливість компенсації динамічних змін, що впливають на рівномірність потоку матеріалу в часі. При цьому знижується собівартість і підвищується якість виробленого агломерату [18].

Пропозиції щодо дослідження асинхронного електроприводу гірського транспорту та ескалаторів метрополітену з трансформаторно-тиристорними пристроями регулювання полягають в основному в створеній схемі асинхронного електроприводу трансформаторно-тиристорних пристроїв регулювання до підвищення ККД асинхронних двигунів.

Відомо, що підвищити продуктивність конвеєрної установки можна за рахунок збільшення маси вантажу на одиницю довжини тягового ланцюга або збільшення швидкості транспортування. При цьому за інших рівних умов швидкість обмежена величиною динамічних навантажень на тягові ланцюги та інші елементи конвеєра. Застосовувана в ланцюгових конвеєрах низька швидкість руху, зазвичай не більше 1,2 м/с, створює найбільш несприятливі умови експлуатації. Високі навантаження на лінію, висока статична напруга в ланцюзі призводять до створення великих вимог до металу машин. Швидкість транспортування вантажу часто визначається технологічним процесом, умовами навантаження і розвантаження, особливостями конструкції конвеєра, властивостями вантажу, а також швидкістю обробки інформації електронною системою управління за допомогою автоматизованої системи розподілу вантажу і керування на багатомоторному конвеєрі.

У зв'язку з цим для розробки відповідних математичних моделей багатоприводного багатострічкового конвеєра, що враховують вимоги вищезазначеного технологічного процесу та інші взаємопов'язані фактори, необхідно детально проаналізувати динаміку електричного приводу конвеєра та його стабілізовані режими роботи.

1.3 Аналіз роботи з дослідження динаміки електроприводів стрічкових конвеєрів

Слід відзначити роботи [2-6], де на фундаментальному рівні визначено та сформульовано основні завдання, пов'язані зі створенням та динамікою мультисистемних конвеєрів. Багато досліджень використання приводів конвеєрів, проведені багатьма авторами, пов'язані в основному з нестійкими режимами роботи: пуском, зупинкою конвеєрів, а також раптовими зупинками тягового ланцюга. При розгляді динамічних моделей конвеєрів згадані автори ігнорують маси їх робочих органів, що певною мірою вносить суттєві спотворення у фізику досліджуваних процесів. Динамічні та кінематичні характеристики його елементів при дослідженні динаміки конвеєра, при цьому параметри навантаження по довжині штанги зазвичай приймалися незмінними. Водночас різні умови експлуатації, зношеність тягових ланцюгів та інших елементів конвеєрів вимагають зміни його динамічних характеристик.

Науково обґрунтована методика розрахунку багатоприводних конвеєрних установок у наступних роботах [3-9] дозволила вирішити важливі теоретичні та практичні проблеми динаміки головних стрічково-ланцюгових і ланцюгових конвеєрів та їх проміжних приводів. Залежність допустимої довжини конвеєра від кількості проміжних станцій, обладнаних регульованими приводами, отримано авторами на основі аналізу статичних зусиль у тяговому органі багатоприводних конвеєрів з прямими та криволінійними коліями. При обладнанні багатоприводних ланцюгових конвеєрів нерегульованими приводами збільшення статичного моменту опору при пуску викликає збільшення величини ковзання і зменшення частоти обертання електродвигуна, а також зменшення статичного моменту опору призводить до зменшення величини ковзання і збільшення обертів двигунів.

У роботі [3] описано теоретичні та експериментальні дослідження динаміки конвеєрів з ланцюговим тяговим пристроєм на встановленому

режимі роботи. Розглянуто умови виникнення горизонтальної вібрації робочих органів і лап ланцюгових конвеєрів. Автор враховує спільну дію робочого органу і штока на рух механічної системи приводу, що змінює кінетичні характеристики в процесі використання, тому конвеєр розглядається як єдина електромеханічна система з повільно змінними параметрами.

У системі технологічного оснащення відкритих гірничих виробок обґрунтування та проектне обґрунтування типу конвеєра для скельних порід і складних транспортних шляхів, впровадження циклічної потокової технології, створення та впровадження методики ефективного використання стрічкових конвеєрів та розрахунок розрахункових параметрів, проблеми їх динаміки в різних режимах роботи, [17].

У роботі [18] розглянуто перехідні режими та оптимальні закони керування регульованими приводами в багатоприводних стрічкових конвеєрах. Запропонований автором комплекс науково обґрунтованих раціональних технічних рішень, реалізованих у конструкціях елеваторів безперервної дії для глибоких кар'єрів з похилими багатоприводними ланцюговими конвеєрами, дозволив сформулювати нову концепцію розробки високотехнологічного комплексного транспортного засобу та ефективності їх використання. Розроблені заходи щодо збільшення та прогнозування ресурсу елементів ланцюгових конвеєрів, що застосовуються в гірничо-металургійній промисловості.

У роботі [19] розглянуто вплив пружних елементів на роботу автоматизованих електроприводів. Наведено оцінки, які дозволяють визначити умови нехтування ефектом пружності. Описано будову та способи регуляції субординованих систем регуляції під впливом пружних з'єднань. Показано можливості цифрової реалізації, адаптивності та ідентифікації з пружними муфтами електроприводу. Розглянуто адаптивні електроприводи та системи стеження.

У ході досліджень [4-5] обґрунтовано використання автоматизованого електроприводу гірничих машин, що дозволяє вирішувати наступні задачі:

керування технологічними процесами; ефективне використання потужності та енергії приводу та обмеження його параметрів до заданого рівня; управління динамічними процесами в робочих органах механізмів і зниження динамічного навантаження в усталеному і перевантажувальних режимах, зменшення зносу осьових з'єднань робочих механізмів за рахунок ефективного використання енергії. У ряді робіт особливу увагу приділено проблемам використання частотно-регульованого електроприводу скребкових конвеєрів. [3, 5].

Важливе практичне значення мають результати розробки та дослідження систем з активним обмеженням і демпфуванням динамічних навантажень у динамічних зв'язках [6], які внесли прикладний характер у розробку задач динаміки конвеєрних установок.

Таким чином, аналіз багатьох робіт з динаміки конвеєрів з ланцюговим тяговим органом дозволив авторам визначити, що вплив обертових мас приводу або вплив рухомих мас робочого органу практично не враховувався. При цьому передбачається, що їх динамічні та кінематичні характеристики залишаться незмінними під час використання конвеєрів.

1.4 Аналіз роботи з дослідження стійких режимів використання електроприводів ланцюгових конвеєрів

В [8] розроблено теорію, методику розрахунку та досвід експлуатації багатоприводних ланцюгових конвеєрів для гірничої промисловості. Зокрема, послідовно розглянуто конструкції та складові конвеєра, статику та динаміку, питання забезпечення надійності роботи. Через відмінності механічних характеристик, які використовуються в проміжних приводах електродвигунів, виявлено, що навіть між асинхронними електродвигунами однієї серії здійснюється передача навантаження на наступний привод. При цьому ступінь нерівномірності розподілу перевантаження залежить від величини буксування

двигуна і величини заповнення порожнини гідромуфти, встановленої між двигуном і коробкою передач приводної станції.

У роботах [7-10] для опису динамічних процесів у тягово-підйомному органі багатопровідних конвеєрів використовувалося наближення, згідно з яким уся механічна система розбивалась на скінченну кількість секцій, а лінійні. На межі кожного з них був прийнятий закон зміни швидкості деформації. Проте проблеми компенсації пружних додаткових подовжень тягово-несучого органу багатопровідних ланцюгових конвеєрів у зазначених роботах не вирішено.

Крім того, у дослідженнях [7] вперше тяговий ланцюг конвеєра розглядався як система з розподіленими параметрами. Результати дослідження показали значний вплив динамічних характеристик тягового органу на коливальні процеси, на основі чого запропоновано методіку визначення динамічних зусиль у тяговому ланцюзі з урахуванням їх пружних властивостей.

У наступній роботі [3] було зазначено, що найбільш прийнятним способом регулювання, який забезпечує зниження вирівнювальних зусиль у тяговому ланцюзі до мінімальних значень, є змішаний і водночас прямий спосіб керування приводи конвеєрів. При цьому контролюється поєднання кутів повороту валів ведучих зірочок приводного ланцюга і при цьому компенсується пружне розтягнення тягового підйомного органу в кожному інтервалі з проходженням зусилля різниця між фактичним значенням тяги в кінцевій точці приводної ділянки і його значенням, відповідним даному режиму навантаження.

Щоб зменшити динамічні сили в ланцюзі, рекомендується розділити між приводами так, щоб кожен двигун був навантажений на свою гілку. У системі розподілу навантажень між приводами конвеєра приводом керування є основний електропривод, навантажений на робочу гілку. Цей привод закритий зворотним зв'язком по частоті. Завдання другого приводу – підтримувати

коефіцієнт струму. Для цього вводиться зворотний зв'язок по струму керуючого і керованого приводів.

З метою зменшення навантаження на електропривод було зазначено, що доцільно використовувати системи параметричного регулювання. Для демпфування динамічних навантажень у ланцюговій передачі може бути використана двоконтурна система. Внутрішній контур – це контур керування крутним моментом навантаження, а зовнішній контур – це контур керування швидкістю двигуна. У зв'язку з необхідністю обмеження струму в перехідних режимах замість третього кола регулювання краще використовувати систему обмеження струму.

У роботі [8] досліджено та розроблено варіанти вирішення задачі перерозподілу та балансування навантаження в багатомоторному асинхронному електроприводі гірських машин: метод розподілу навантаження в двомоторній електричній або генераторній установці з електромагнітною муфтою. ; Розглянуто спосіб балансування навантаження в багатодвигунному електроприводі шляхом регулювання напруги живильної лінії.

У статті [9] було запропоновано розподіляти навантаження між основним і периферійним електроприводами розділеного конвеєра за допомогою керування перетворювачами частоти, що живлять асинхронні двигуни (АД) основного і периферійного приводів. При розгляді роботи електроприводу приймається закон частотного регулювання підтримання постійного потоку змінного струму, активний опір статора змінного струму приймається рівним нулю, а навантаження механічних характеристик в робочій ділянці АД розглядаються.

Через різницю в параметрах головного і периферійного приводів їх механічні характеристики виходять з однієї точки на осі частот і мають різний нахил на осі моментів. При цьому розподіл навантажень між приводами пропорційний жорсткості механічних характеристик. Щоб збалансувати

навантаження головного і периферійного приводів, було запропоновано регулювати частоту обертання двох приводів одночасно.

Як зазначено в наступній роботі [8], оцінкою нерівномірності навантаження від статичної несиметрії та динамічних впливів є співвідношення моментів головного та периферійного приводів конвеєра: від різниці електричних параметрів асинхронних двигунів та мережі до 1,42; при різних передавальних числах коробок передач - до 1,44; коли розділове коло зірок різне - до 1,49; нерівномірне подовження ланцюга - до 2,1. Автором запропоновано таку систему керування електроприводами конвеєра, яка забезпечує вирівнювання навантажень головного та кінцевого приводів за допомогою частотно-регульованого електроприводу. У систему управління входять датчики, що визначають різні значення крутних моментів, регулятор балансування навантаження і логічна частина.

В наступній роботі [8] було зазначено, що найбільш прийнятним способом покращення динаміки електромеханічних систем, а саме скребкових конвеєрів, є керування їх динамічним станом. Ця проблема вирішується використанням частотно-регульованого електроприводу на конвеєрах, що дає такі можливості: різко знизити відмову електродвигунів при поступальному русі навантаженого конвеєра; виключити виникнення пускових струмів електродвигунів, що запобігає зниженню напруги живлення; дозволяє звести до мінімуму обривання тягових ланцюгів конвеєра; встановити необхідний коефіцієнт заміщення як видобутого вугілля, так і перевезених вантажів.

Аналіз проведених досліджень проблеми розподілу навантаження між електроприводами ланцюгових конвеєрів дозволив виявити недоліки використовуваних систем керування електроприводами конвеєрів. Це дозволяє забезпечити необхідну продуктивність багатомоторного багатострічкового конвеєра, а також контролювати динамічний стан вільної гілки його тягово-несучого органу.

1.5 Доведення актуальності дослідження та визначення основних завдань

Стрічкові конвеєри – це складне гірничо-геологічне обладнання для транспортування широкого спектру вантажів (вугілля, вапняк, агломерати, кам'янисті породи і руди). Конструкції конвеєру, що характеризуються великими ухилами завдяки конструктивним особливостям, показали, що можуть успішно використовуватися в різних галузях промисловості в умовах виробництва.

До переваг конструкцій стрічкових конвеєрів відносяться:

- використання металевої станини необхідної міцності, що дозволяє транспортувати великокускові і важкі матеріали, в тому числі в умовах високої температури навколишнього середовища;
- використання високоміцних тягових ланцюгів, що дозволяє реалізувати необхідні значні тягові зусилля при великих відстанях доставки до 2 км і значному до 70° підйомі ;
- можливість перевезення вантажів по складних маршрутах з невеликим радіусом;
- забезпечення прямого завантаження лотків для підстилки з бункерів без використання живильників.

У той же час недоліками стрічкових конвеєрних конструкцій можна вважати значну металомісткість і високу собівартість продукції.

З технологічної точки зору основною сферою застосування стрічкових конвеєрів в нашій країні є гірничо-металургійна промисловість і, в першу чергу, розробка корисних копалин відкритим способом.

1. При безперервному збільшенні глибини кар'єрів, що використовуються на відкритих гірничих роботах, і необхідності підвищення їх продуктивності по рудній масі циклічна технологія з автомобільним і залізничним транспортом призводить до погіршення техніко-економічних

показників роботи. Собівартість видобутку корисних копалин зростає внаслідок подорожчання використання циклічних видів транспорту.

Досвід експлуатації показує, що на кожні 100 м глибини котловану витрати на використання автомобіля вантажопідйомністю 30-40 т збільшуються в середньому в 1,5 рази. Застосування залізничного транспорту в багатьох глибоких кар'єрах виключається через те, що рухомий склад не може бути введений у відносно невеликі розміри рудних тіл і параметри кар'єру.

Сучасні стрічкові конвеєри здатні вже в найближче десятиліття обробляти вантажопотоки найбільших шахт і кар'єрів. Однак стрічкові конвеєри не можуть працювати на спланованій магістралі з кривою траєкторією, а також не можуть працювати на похилих дорогах під великими кутами, що характерно для кар'єрів. Можливість збільшення кута транспортування покращує техніко-економічні показники видобутку корисних копалин при розробці корисних копалин відкритим способом, оскільки можна не змінювати геометрію виробок, що призводить до зниження невиробничих витрат за рахунок зменшення в обсязі гірничих робіт.

3. У зв'язку з цим, при відкритих розробках корисних копалин безумовно актуальним є застосування циклічних потокових технологій з використанням стрічкового конвеєрного транспорту з конструктивною можливістю роботи в кутових виїмках кар'єрів. Висока міцність і надійність робочого органу стрічкових конвеєрів з ланцюговим приводом, можливість транспортування рудної маси по твердих укосах і виїмках, легкість подовження довжини конвеєра ефективно відрізняють його від інших типів конвеєрів.

Крім того, технологічні схеми з використанням стрічкових конвеєрів економічніші, ніж конвеєри з стрічковим тягово-підйомним органом. Це пояснюється необхідністю встановлення додаткових дробильних комплексів при використанні стрічкових конвеєрів, а також додаткових пунктів навантаження, пов'язаних із застосуванням цих конвеєрів на кривих

транспортних шляхах. Значно скорочується кількість механізмів і машин при використанні відкидної конструкції в плані стрічкових конвеєрів, що значно спрощує технологічний план транспортування і підвищує надійність роботи всього комплексу.

Важливою перевагою стрічкових конвеєрів по пропускній здатності є можливість транспортування великої частини гірської маси в одну рейку без перевантаження точок з низькими значеннями опору переміщенню вантажонесучого органу по похилій колії. Як зазначалося вище, ще одна технологічна особливість стрічкових конвеєрів полягає в тому, що вони можуть використовуватися при складній колії радіусом 20 м і вертикальним підйомом до 30° .

4. При застосуванні довгих стовбурових стрічкових конвеєрів (довжиною від 1000 м до 6000 м) застосовуються конструкції за багатоприводною схемою. При цьому забезпечення безперебійної роботи багатомоторного ланцюгового конвеєра є важливим практичним завданням, а управління та забезпечення працездатного статичного та динамічного стану конструкції головного стрічкового конвеєра, що використовується в складних гірничо-геологічних умовах, безперечно, важливе. У зв'язку з великою кількістю проміжних приводів у стрічковому конвеєрі при схемі транспортування рудної маси без перевантаження необхідно вирішити задачу автоматичного розподілу загального навантаження між його електроприводами.

Вивчений досвід експлуатації багатоприводних ланцюгових конвеєрів, висока ефективність їх використання забезпечується при дотриманні наступних умов: доведено, що загальне навантаження конвеєра між електроприводами забезпечується засобами автоматичного розподілу та системи, регулюється швидкість переміщення тягового і несучого шару, знімаються врівноважувальні сили в тяговому контурі конвеєра та ін і ряд факторів.

5. Приведення в дію довгого багатоприводного конвеєра є дуже складним завданням, оскільки цей процес характеризується надмірною слабкістю тягового органу. Зокрема, умови роботи стрічкового конвеєра є несприятливими з наступних причин – наявність у нього звисаючих частин футеровки, внаслідок чого жорсткість робочого органу, його розтягувальна функція та навантаження на нього знижуються.

Відомо, що ланцюгові конвеєри мають кінематичні зазори між окремими ланками механізму і слабкі тягові ланцюги. Наявність слабких, отворів, а також пружних властивостей тягово-несучого органу викликає значні механічні навантаження на деталі конвеєра та вібрації тягово-несучого органу при запуску електроприводів. Часто ці навантаження досягають таких високих значень, що якась частина конвеєра виходить з ладу. У цьому випадку процеси, що відбуваються, дуже складні та непостійні. Слід зазначити, що зниження динамічних навантажень на елементи приводу та тяговий носій ланцюгового конвеєра на практиці можна досягти за рахунок зменшення кінематичного зазору механізму та початкового пускового моменту електроприводу.

Початкова величина зазначеного кінематичного зазору визначається технологією виготовлення елементів конвеєра і відповідно збільшується зі збільшенням терміну служби внаслідок зношування. У зв'язку з цим найбільш ефективним способом зниження механічних навантажень є штучне зниження моменту опору до невеликого значення при запуску двигуна. Такий момент двигуна називається моментом попереднього плавного пуску. Тільки кінематичний зазор і провисання ланцюга приводу конвеєра враховуються з попереднім крутним моментом під час з'єднання.

Для електроприводів, у тому числі нерегульованих асинхронних електроприводів конвеєрів, найбільш жорсткі пускові режими, для яких характерні великі пускові струми, що в кілька разів перевищують номінальне значення, і коливання пускового моменту. З одного боку, це є причиною перегріву обмоток електродвигуна і зниження його ресурсу, а з іншого –

призводить до перевантаження редуктора і тягового робочого органу ланцюга. На електричні мережі також негативно впливають великі пускові струми.

6. Аналіз роботи в області багатoprиводних конвеєрних установок показав, що в процесі їх використання в тягово-несучому органі, крім розрахункових зусиль (напруження, статичної та динамічної складових сил опору руху), додаються додаткові виникають сили врівноважування.

Основними причинами їх появи є: зміна режиму навантаження конвеєра, зміна значень геометричних параметрів приводних частин в процесі експлуатації, вплив зовнішніх кліматичних умов на значення коефіцієнта основного опору. Крім того, крім основних факторів, можуть бути застосування, які проявляються в певних режимах роботи під час експлуатації системи електроприводу. Ними є відсутність однакового кроку ланок тягового ланцюга, статична похибка системи регулювання частоти обертання роторів двигунів провідного та підпорядкованих електроприводів.

У процесі експлуатації ланцюгових конвеєрів можуть виникати аварійні ситуації, пов'язані зі збільшенням кроку шарнірів тягових ланцюгів, інтенсивністю зношування рухомих частин, у зв'язку з чим виникають ударні навантаження в тяговому органі і викликають вихід з ладу окремі елементи конвеєра. Імпульсне збільшення струмів у силових частинах електроприводу призводить до перегріву електродвигуна. При досягненні певного граничного збільшення кроку тягового органу внаслідок значного зниження запасу міцності ланцюгової передачі, нерівномірного переміщення або виходу з ладу зчеплення шарнірів ланцюга із зірочками і кулачками проміжних передач часто призводить до збоїв у використанні тягово-несучого органу конвеєра.

7. Перспектива використання регульованого електроприводу постійного струму для електроприводу вивчалася в багатьох спеціалізованих роботах, але подальше поширення технології з використанням цієї системи не вдалося отримати через складність організації серійного виробництва вибухозахищених електродвигунів постійного струму в Україні. конвеєрні машини гірничодобувної та вугільної промисловості.

Досягнутий прогрес завдяки розвитку технології силових напівпровідників, створенню високоякісних силових і частотних перетворювачів з використанням широтно-імпульсної модуляції, впровадженню швидкодіючих і високорозрядних промислових контролерів, виробництву змінного струму для стрічкових конвеєрів на основі асинхронних електродвигунів для гірничої промисловості дозволило використовувати частотно-регульовані електроприводи.

Перспективним напрямком удосконалення багатопровідних стрічкових конвеєрів є сучасні частотне регулювання, що забезпечує можливість регулювання швидкості руху підйомного механізму, управління розподілом навантаження між приводами, усунення врівноважуючої сили в тяговій схемі конвеєра, врахування динамічних властивостей і ряду інших факторів.

8. Враховуючи викладене, основними актуальними проблемами використання частотно-регульованого асинхронного електроприводу в багатопровідних стрічкових конвеєрах є:

- контроль динамічного стану тягово-несучого органу в пусковому та стабілізованому режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків;
- керування продуктивністю стрічкового конвеєра з урахуванням фактичного завантаження робочої гілки тягово-несучого органу в заданих режимах роботи;
- в основних режимах роботи шляхом регулювання швидкості перемикання тягово-несучого органу, знімаючи невироблені витрати електроенергії холостого ходу.

9. У зв'язку з цим були визначені наступні завдання даного дослідження.

1. Створення математичних та комп'ютерних моделей взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків.

2. Розробка технічних рішень для забезпечення плавного пуску багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягово-несучого органу.
3. Створення математичних та комп'ютерних моделей частотно-регульованого багатодвигунного електроприводу з урахуванням навантаження тягово-несучого органу в сталих режимах роботи.
4. Розробка технічних рішень управління та розподілу навантаження між частотно-регульованими приводами багатомоторного багатострічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягового транспортного органу.

2 МАТЕМАТИЧНА ТА КОМП'ЮТЕРНА РОЗРОБКА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРНОГО БАГАТОМОТВОРНОГО ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1 Загальна характеристика сучасних перетворювачів частоти

Сучасні перетворювачі частоти – це високотехнологічні пристрої, що складаються з елементів на основі напівпровідників. Крім того, існує електронна система керування, побудована на мікроконтролерах, за допомогою якої регулюються всі важливі параметри асинхронного електродвигуна [12].

Будь-який перетворювач частоти складається з чотирьох основних модулів (рис. 2.1):

- випрямний блок,
- фільтр постійної напруги,
- інверторний концентратор,
- мікропроцесорна система керування.

Блок відладчика Фільтруючий пристрій Інверторний вузол

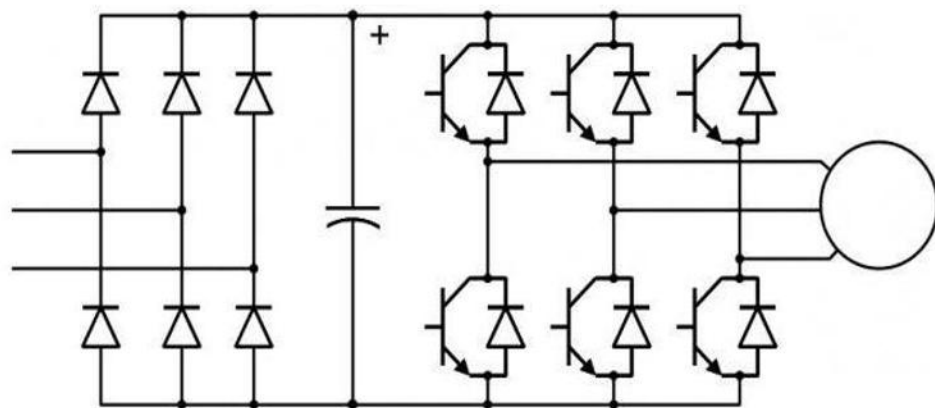


Рисунок 2.1 Основні модулі перетворювача частоти [12]

Вхідний каскад випрямляє задану синусоїдну мережеву напругу, яка після випрямлення індуктивно-ємнісним фільтром служить джерелом живлення для керованого інвертора. А інвертор видає сигнал з імпульсною

модуляцією під час дії цифрових команд управління, що викликає генерацію синусоїдальних струмів в обмотках статора з параметрами, що забезпечують необхідну роботу електродвигуна.

Цифрове управління силовим перетворювачем здійснюється за допомогою мікропроцесорних апаратно-програмних засобів відповідно до завдань. Обчислювальний блок формує сигнали керування модулями в режимі реального часу, а також обробляє сигнали вимірювальних систем, що контролюють роботу накопичувача.

У промисловому обладнанні використовуються два основних типи перетворювачів частоти [12-14]:

- фірмові перетворювачі під конкретні види обладнання;
- універсальні перетворювачі частоти для універсального керування роботою асинхронних двигунів у режимах, що визначаються користувачем.

Таким чином, підсумовуючи низку переваг використання перетворювачів частоти, можна відзначити наступне:

1. Плавне регулювання частоти обертання електродвигуна в більшості випадків дає можливість відмовитися від використання коробок передач, варіаторів, дроселів та іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує керовану механічну (технологічну) систему, підвищує її надійність і зменшує експлуатаційні витрати.
2. Частотний пуск керованого двигуна забезпечує його плавний розгін без великих пускових струмів і механічних ударів, що знижує навантаження на двигун і пов'язані з ним механізми передачі, збільшує термін їх служби. У цьому випадку за умов можна почати знижувати потужність приводних двигунів навантажених механізмів. За допомогою вбудованого мікропроцесорного ПД-регулятора можлива реалізація швидкості керованих двигунів і відповідних систем керування технологічними процесами.
3. Використання системи зворотного зв'язку з перетворювачем частоти забезпечує якісну підтримку швидкості двигуна або регульованого

технологічного параметра при змінних навантаженнях та інших руйнівних впливах. Для заміни приводів постійного струму можна використовувати перетворювач частоти з асинхронним електродвигуном;

4. Перетворювач частоти в комплекті з програмованим мікропроцесорним контролером може бути використаний для створення багатофункціональних систем керування електроприводами, в тому числі механічними вузлами з резервуванням [12, 13].
5. Використання частотно-регульованого електроприводу дозволяє економити за рахунок усунення невиправданих витрат електроенергії, які виникають при альтернативних способах регулювання за допомогою гідromуфт та інших механічних регулюючих пристроїв з використанням дроселювання технологічних потоків.

2.2 Розробка математичної моделі багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу з урахуванням пружних зв'язків

2.2.1 Математична модель двоприводного стрічкового конвеєра в режимі пуску з урахуванням пружних зв'язків

Ефективність транспортної машини оцінюється за її продуктивністю – тобто за кількістю одиниць маси/об'єму вантажу, що перевозиться на певну відстань за одиницю часу [3]. Продуктивність конвеєрної машини залежить від питомого навантаження тягово-несучого органу і швидкості руху. Застосовувана в ланцюгових конвеєрах низька швидкість переміщення менше 1 м/с є найбільш несприятливим режимом роботи з точки зору технології експлуатації. Необхідність високого лінійного навантаження і, відповідно, наявність великих початкових напруг в ланцюзі, призводить до створення великогабаритних і важких транспортних одиниць.

Основною причиною, що призводить до малого терміну служби ланцюгового тягового пристрою конвеєра, є недовговічність [7]. Втомна довговічність визначається коливальними процесами, що відбуваються в ланцюзі при стабілізованих режимах експлуатації. Зношення елементів конвеєра залежить від нормального зменшення їх габаритів і часу роботи механізму або машини [3]. Фізична величина «інтенсивність зношування» дозволяє знайти закономірності її зміни та розрахувати термін її служби за відносно короткий період часу роботи механізму.

При цьому визначається інтенсивність зношування елементів конвеєра за стабілізованого режиму роботи. При транспортуванні абразивної, кам'яної гірничої маси стрічкоими конвеєрами активніше зношуються тяговий орган і крайові зірочки конвеєра. У роботі [9] зазначалося, що на інтенсивність зношування ланцюга і зірочок впливають такі фактори, як збільшення натягу тягового органу, температура навколишнього середовища, поверхнева твердість матеріалів, швидкості руху конвеєрної стрічки, погонної маси вантажу та механічної міцності на розрив абразивних частинок.

Швидкість переміщення вантажу залежить від технологічного режиму роботи, конвеєра, фізичного навантаження та механічних властивостей. Продуктивність конвеєрної машини залежать від швидкості обробки. При цьому, за інших рівних умов, швидкість в тягових ланцюгах та інших частинах конвеєра залежить від динамічних навантажень. Динамічні навантаження на конвеєри в процесі пуску і гальмування з'являються під час вантажно-розвантажувальних процесів, що здійснюється кінематикою зчеплення механізму приводу.

Приведення в дію відкидного конвеєра великої довжини є складним завданням, оскільки тяговий орган надмірно розслаблений перед приводом (від руху станини). Зокрема, несприятливими є умови роботи стрічкового конвеєра, його футерівка має висячі ділянки, внаслідок чого жорсткість робочого органу, його розтяжна функція і навантаження на нього порівняно невеликі.

На рис. 2.2 показана схема процесу запуску конвеєра. При запуску конвеєра включається привід першої головки. Через деякий час після запуску двигуна обертання головної ведучої зірочки, яка з робочою колодкою переміщається від головної до зовнішньої, викликає утворення пружної хвилі. Для забезпечення безпечного пуску конвеєра передбачається режим підготовки, згідно з яким перед кожним пуском створюється тяговий пристрій, визначений початковим розрахунком тяги, після чого тяговий пристрій міцно закріплюється.

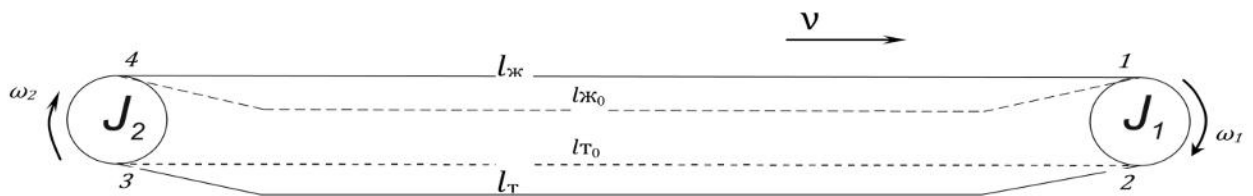


Рисунок 2.3 – Схема процесу запуску конвеєра

- l_{y_0} - довжина верхньої гілки тягового органу до витягування;
- l_t - довжина верхньої гілки тягового органу після витягування;
- l_{t_0} - довжина нижньої гілки тягового органу після витягування;
- l_l - довжина нижньої гілки тягового органу до витягування

Вирішити проблему приводу у випадку багатопровідних конвеєрів ще складніше. Наявність проміжних приводів не дозволяє керувати початковим натягом тягового органу заданим чином. Такий контроль можливий лише при встановленні на кожному приводі натяжного пристрою, що виконано конструктивно, але це складно. Для забезпечення натягу робочого органу використовуються різні способи і технічні рішення, але всі вони пов'язані зі складністю систем приводів конвеєрів. Альтернативою є використання різних систем регульованого електроприводу. Це дає можливість контролювати режими роботи за рахунок зменшення надмірного навантаження на робочий орган за рахунок контролю його натягу.

Запропонований спосіб плавного підключення багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра базується на вимірюванні струмів

навантаження та їх розділення активних складових, а також керуванні приводами в режимі пуску. Суть підходу полягає в наступному алгоритмі, тобто запуск електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра в початковий момент процесу дає найменшу стартову частоту обертання, далі, якщо активна складова інтенсивно зростає струм навантаження керуючого електроприводу, швидкість обертання головної та керованої бортових передач на заданому до номінального значення.

Крім компенсації статичних перешкод для двигуна під час роботи конвеєра, необхідно витратити силу інерції вантажу та енергію для переміщення частин конвеєра [9].

Таким чином, при запуску конвеєра електродвигун повинен розвивати наступний крутний момент

$$M_k = M_c + M'_d + M''_d, \quad (2.5)$$

де: M_s – момент подолання статичних перешкод конвеєра;

M_d - динамічний момент на подолання навантаження сили інерції робочого органу конвеєра (без приводу) і обертових частин;

M_d - динамічний момент на подолання сил інерції приводних частин конвеєра.

M_s , початковий крутний момент гвинта ведучої зірочки

$$M_{\pi} = \frac{P_{ст.п.} \cdot D_0}{2}, \quad (2.6)$$

де: $P_{ст.п.}$ - статична сила тяги періоду пуску;

D_0 - розрахунковий діаметр ведучої зірочки.

У режимі пуску величина тягового зусилля конвеєра більше значення в стабілізованому режимі, оскільки значення опорів тертя у відповідному режимі перевищують один одного приблизно в 1,5 рази.

Крутний момент на валу двигуна

$$M_c = \frac{P_0 \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot \eta_0}. \quad (2.7)$$

$\vartheta = D_0 \cdot w_{\kappa} / 2i_{0, \text{вала}}$ $P_{\kappa \text{двигуна}}$

Крутний момент (Н· м)

$$M'_d = \frac{P_d \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot \eta_0} = \frac{G_3 \cdot w_d \cdot D_0^2}{4 \cdot i_0^2 \cdot t_n \cdot \eta_0}, \quad (2.8)$$

де: G_3 - додана маса вантажу і рухомих частин конвеєра;

P_d - додаткове зусилля, що діє на механізм за рахунок прискорення вантажів робочого органу та обертових частин конвеєра.

Динамічний крутний момент для прискорення руху обертових частин електроприводу

$$M''_d = \frac{P_k \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot \eta_0} = \frac{c_i (G_i \cdot D_0)^2 \cdot w_d}{4 \cdot t_n}, \quad (2.9)$$

де: $c_i = 1, 1 \div 1, 5$ - кутова швидкість w_k - обертається менше ніж коефіцієнт, що враховує прискорення деталей механізму передачі; $(G_i \cdot D_0)^2$ крутний момент на валу двигуна з урахуванням маси ротора, муфт і гальмівного шківа, кг·м².

Електромагнітний момент асинхронного двигуна створюється взаємодією струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем. Електромагнітний момент M_k прямо пропорційний електромагнітній потужності і обернено пропорційний частоті струму

$$M_k = \frac{P_{эм} \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (2.10)$$

тут: P - електромагнітна потужність, p - кількість пар полюсів обмотки в статорі, f - частота змінного струму.

При застосуванні багатоприводного стрічкового конвеєра вважається необхідним рівномірний розподіл навантаження між приводами. З метою поліпшення динаміки приводи зазвичай розміщують на кінцях конвеєра. Через різні коефіцієнти опору руху навантаження на навантажену і ненавантажену гілки відповідно неоднакові. Найбільш ефективний режим роботи, коли кожен електропривод навантажений на свою гілку.

Реалізація цього режиму дозволяє використовувати двигун меншої потужності і відповідно меншого об'єму для порожньої гілки. У разі

перевантаження в порожній гілці цю частину навантаження може взяти на себе електропривод навантаженої гілки. Приклади математичного та комп'ютерного моделювання електромеханічних систем електроприводів ланцюгових конвеєрів наведені в наступних роботах [9-10].

Розглянемо математичну модель запуску конвеєра з головним приводом і кінцевим приводом. Перший головний електропривод (великої потужності) працює для транспортування верхньої підйомної гілки тягового органу. У момент початкового пуску електроприводу верхня висяча гілка працює на тягу, і цей процес описується рівнянням (в цьому випадку $l_{x0} > l$ (рис. 2.2)):

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{AK1} - M_{c1}, \quad (2.11)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{AK2} - M_{c2}, \quad (2.12)$$

тут: M_1 - електромагнітний момент, що розвивається першим провідним двигуном; M_{c1} - статичний крутний момент, прикладений до валу першого двигуна; M_2 - електромагнітний момент, що розвивається другим провідним двигуном; M_{c2} - статичний крутний момент, прикладений до валу другого двигуна.

У способі пуску конвеєра приводи не мають кутового прискорення роторів електродвигунів.

Після досягнення необхідного рівня тяги верхньої гілки при уповільненій швидкості тягового органу швидкість обертання роторів електродвигунів поступово збільшується до номінального режиму роботи. Цей процес описується такою системою рівнянь:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{AK1} - M_{c1} - c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt + c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt \quad (2.13)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{AK2} - M_{c2} - c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt + c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt \quad (2,14)$$

де: J_1 - момент інерції першого двигуна; J_2 - момент інерції другого двигуна; c_1 і c_2 - коефіцієнти жорсткості валів 1-го і 2-го електроприводів відповідно; ω_1, ω_2 - кутова швидкість обертання роторів першого і другого електродвигунів відповідно.

Під час пуску після повного втягування верхньої гілки тягового органу ротори двох електродвигунів починають обертатися з певним синхронним кутовим прискоренням. Розглянуті в цьому розділі математичні моделі були використані в комп'ютерному моделюванні .

2.2.2 Математична модель чотириприводного стрічкового конвеєра в режимі пуску з урахуванням пружних зв'язків

Запуск багатоприводного стрічкового конвеєра є більш складним завданням. Четвертий електропривід буде в стані гальмування. Перший провідний, другий проміжний і третій проміжні електроприводи поступово підтягують слабкі місця тягового ланцюга і доводять його до моменту повного натягу верхньої гілки тягового водила, про що свідчить спрацьовування всіх трьох датчиків струму. Математична модель пускового моменту багатоприводного (чотириприводного) стрічкового конвеєра представлена такими рівняннями:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{AK1} - M_{c1} - c_1 \int (\omega_1 - \omega_2 - \omega_4) dt + c_2 \int (\omega_4 - \omega_1 - \omega_3) dt, \quad (2,15)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{AK2} - M_{c2} + c_1 \int (\omega_2 - \omega_1) dt \pm c_1 \int (\omega_2 - \omega_3) dt, \quad (2,16)$$

$$J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = M_{AK3} - M_{c3} + c_1 \int (\omega_3 - \omega_2) dt, \quad (2,17)$$

$$J_4 \frac{d\omega_4}{dt} = 0, \quad (2,18)$$

де: J_1 - момент інерції першого двигуна; J_2 - момент інерції другого двигуна; J_3 - момент інерції третього двигуна; J_4 - момент інерції четвертого

двигуна; $c_1 c_2$ - коефіцієнти жорсткості 1-го і 2-го електроприводів відповідно; $c_3 c_4$ - коефіцієнти твердості 3-го і 4-го електроприводів відповідно; ω_1, ω_2 - кутова швидкість обертання роторів першого і другого електродвигунів відповідно; ω_3, ω_4 - кутова швидкість обертання роторів відповідно третього та четвертого електродвигунів; M_1 - електромагнітний момент, що розвивається першим провідним двигуном; M_{c1} - статичний момент, прикладений до валу першого двигуна; M_{K2} - електромагнітний момент, що розвивається другим проміжним двигуном; M_{c2} - статичний момент, прикладений до валу другого двигуна; M_3 - електромагнітний момент, що розвивається третім проміжним двигуном; M_{c3} - статичний момент, прикладений до валу третього двигуна; M_4 - електромагнітний момент, що розвивається четвертим останнім двигуном; M_{c4} - статичний момент, прикладений до валу четвертого двигуна.

Після повного втягування робочої гілки від контролера ПЛК через відповідні блоки керування надходить сигнал на розгін до номінальної швидкості всіх чотирьох електроприводів.

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{AK1} - M_{c1} - M_{ж} - c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt + c_2 \int (\omega_4 - \omega_1) dt, \quad (2.19)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{AK2} - M_{c2} - M_{ж} + c_1 \int (\omega_2 - \omega_1) dt \pm c_1 \int (\omega_2 - \omega_3) dt, \quad (2.20)$$

$$J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = M_{AK3} - M_{c3} - M_{ж} + c_1 \int (\omega_3 - \omega_2) dt \pm c_1 \int (\omega_3 - \omega_4) dt, \quad (2.21)$$

$$J_4 \frac{d\omega_4}{dt} = M_{AK4} - M_{c4} + c_2 \int (\omega_4 - \omega_1) dt + c_1 \int (\omega_4 - \omega_3) dt. \quad (2.22)$$

Таким чином, запропоновані математичні моделі багатомоторного стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних властивостей тягового органу дозволяють отримати необхідний режим пуску конвеєра шляхом плавного розтягування робочої гілки для зменшення динамічних перевантажень тягово-несучого органу, що дозволяє подовжити ресурс і, як наслідок, впливає на термін служби всього електроприводу конвеєра.

2.3 Розробка комп'ютерної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних зв'язків

2.3.1 Проектування моделі режиму роботи головного електропривода конвеєра у MATLAB Simulink

На основі розширеного представлення матричних операцій, які широко використовуються для розв'язування задач технічного спрямування та широко використовуються у складних математичних розрахунках, зокрема, створено пакет прикладних програм, що дозволяє розв'язувати задачі лінійної алгебри та математичне моделювання статичних і динамічних систем і об'єктів. Моделювання режиму роботи електроприводу виконано в MATLAB. Програмний комплекс MATLAB інтегрований із Simulink, а Simulink, у свою чергу, призначений для моделювання складних пристроїв і надання точних результатів на основі принципів моделювання блочно-заданих динамічних систем і пристроїв, візуально-орієнтованого програмування.

При створенні моделі процесу пуску головного електроприводу багатопровідного стрічкового конвеєра за допомогою ПІ-регулятора було змодельовано процес рівномірного збільшення моменту опору верхньої гілки тягово-несучого органу (рисунок 2.3).

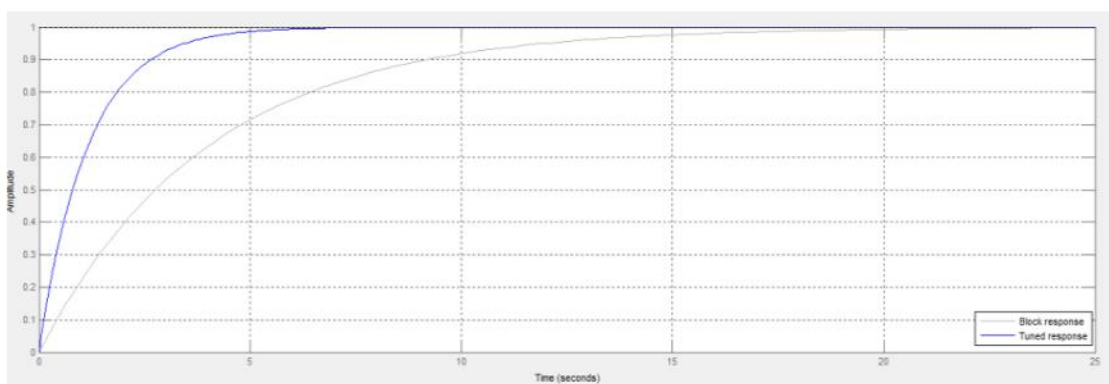


Рисунок 2.3 - Налаштування ПІ-регулятора (процес рівномірного збільшення резистивного моменту, що надається верхньою гілкою тягово-несучого органу))

В якості вихідних даних були прийняті наступні значення:

- $M_{c1} = 1,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$ момент опору від верхньої гілки тіла, що несуть натяг,
- крутний момент, що розвивається провідним електродвигуном, $M_{AK1} = 4 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

На рисунку 2.4 наведено результати моделювання процесу запуску головного електроприводу багатоприводного стрічкового конвеєра. Спочатку послідовно на графіку показано зміну електромагнітного моменту асинхронного електродвигуна. Третій графік описує зміну величини моменту опору внаслідок натягу верхньої гілки тягово-несучого органу конвеєра.

На другому графіку видно, що значення динамічного моменту електроприводу зменшується, а згідно з першим графіком, але після повного натягу тягового водила значення динамічного моменту основного електроприводу зростає до заданого номінального значення $4 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

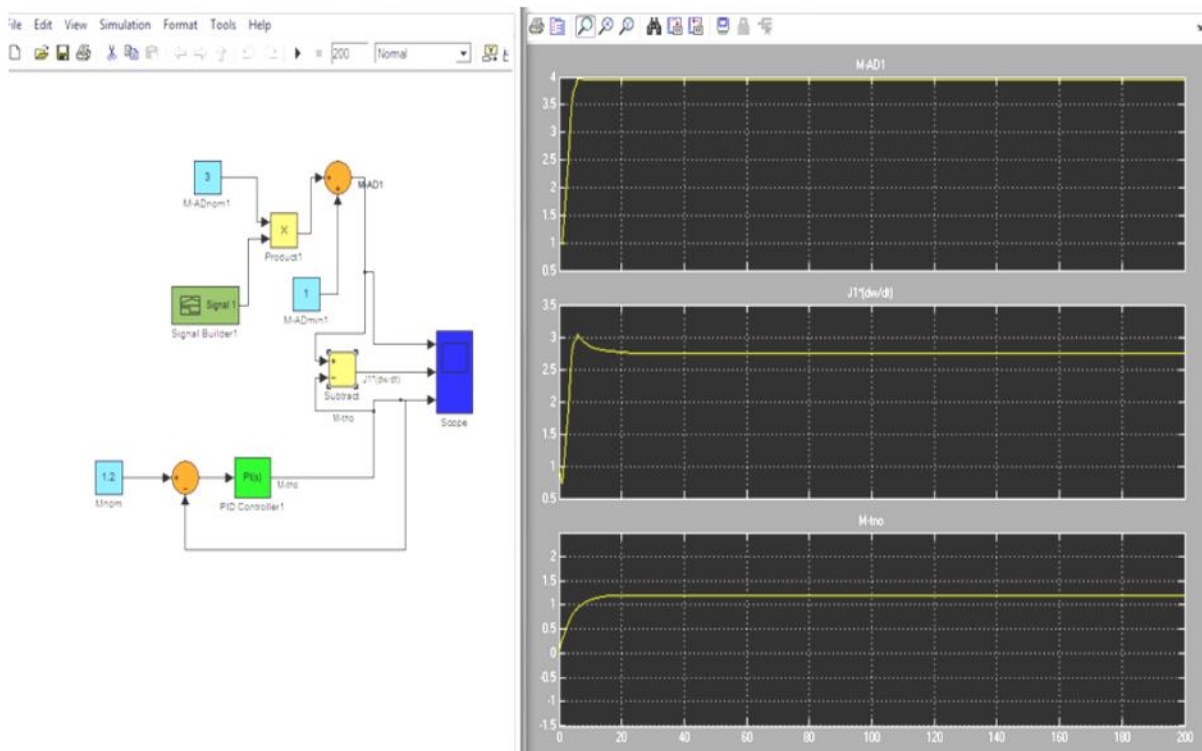


Рисунок 2.4 – результати моделювання процесу запуску головного електроприводу багатоприводного стрічкового конвеєру

2.3.2 Результати моделювання динамічного процесу системи керування головним електроприводом багатомоторного стрічкового конвеєра в пусковому режимі роботи

Для розробки комп'ютерної моделі системи керування багатомоторним конвеєром з частотно-регульованим електроприводом необхідно перевести диференціальні рівняння (2.19-2.22) у відносні одиниці.

Після відповідних перетворень отримуємо систему рівнянь функції передачі стрічкового конвеєра:

$$T_1 \frac{d\omega_1^*}{dt} = (M_{AK1}^* - M_{c1}^*) - \frac{1}{T_2} \int (\omega_1^* - \omega_2^*) dt + \frac{1}{T_3} \int (\omega_2^* - \omega_1^*) dt, \quad (2.23)$$

$$T_4 \frac{d\omega_2^*}{dt} = (M_{AK2}^* - M_{c2}^*) - \frac{1}{T_3} \int (\omega_2^* - \omega_1^*) dt + \frac{1}{T_2} \int (\omega_1^* - \omega_2^*) dt, \quad (2.24)$$

де: $T_1 = \frac{\omega_{n1}}{M_{n1}} * J_{\Sigma 1} - 1$ постійна часу основного електроприводу;

$T_2 = \frac{M_{n1}}{\omega_{n1} * c_1}$ - верхньої гілки трахеонсія

стала часу пружного моменту; $T_3 = \frac{M_{n2}}{\omega_{n2} * c_2}$ -

постійна часу моменту пружних коливань нижньої гілки несучого тіла;

$T_4 = \frac{\omega_{n2}}{M_{n2}} * J_{\Sigma 2} - 2$ стала часу електропривода.

$$T_1 = \frac{\omega_n}{M_n} * J_{\Sigma 1} = \frac{152}{707} * (2,2 + 7,8) = 2,15 \text{ с}, \quad (2.25)$$

$$T_2 = \frac{M_{n1}}{\omega_{n1} * c_1} = 0,17 \text{ с}, \quad (2.26)$$

$$T_3 = \frac{M_{n2}}{\omega_{n2} * c_2} = 0,09 \text{ с}, \quad (2.27)$$

$$T_4 = \frac{\omega_n}{M_n} * J_{\Sigma 2} = \frac{152}{356} * (0,5 + 2,86) = 1,43 \text{ с}. \quad (2.28)$$

При створенні моделі системи керування головним електроприводом дотримуються наступного були використані значення: $T_1 = 2,15 \text{ с}$ і $T_2 = 0,17 \text{ с}$.

На рисунках 2.5-2.10 наведено результати моделювання динамічного процесу головного електроприводу стрічкового конвеєра в режимі пуску за допомогою програми MATLAB Simulink.

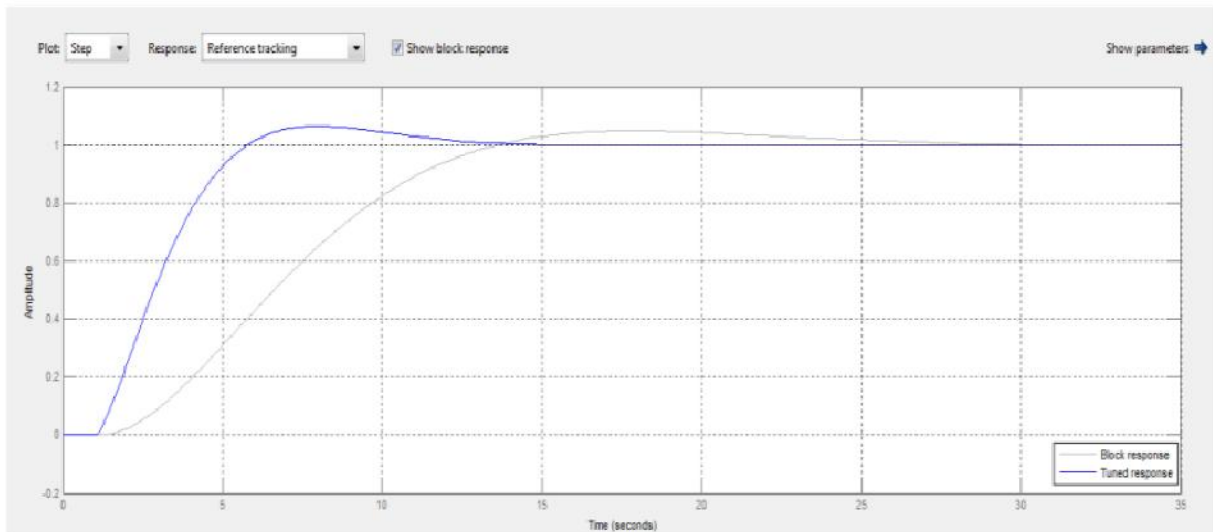


Рисунок 2.5 - настройка ПІ-регулятора системи керування головним електроприводом

Налаштування регулятора системи керування електроприводом моделюється в 3 варіантах: $M_{\text{ном}}$ - номінальний крутний момент електроприводу (вхідний сигнал - позначено жовтим), $M_{\text{дин}}$ - динамічний крутний момент (вихідний сигнал - позначено блакитним).

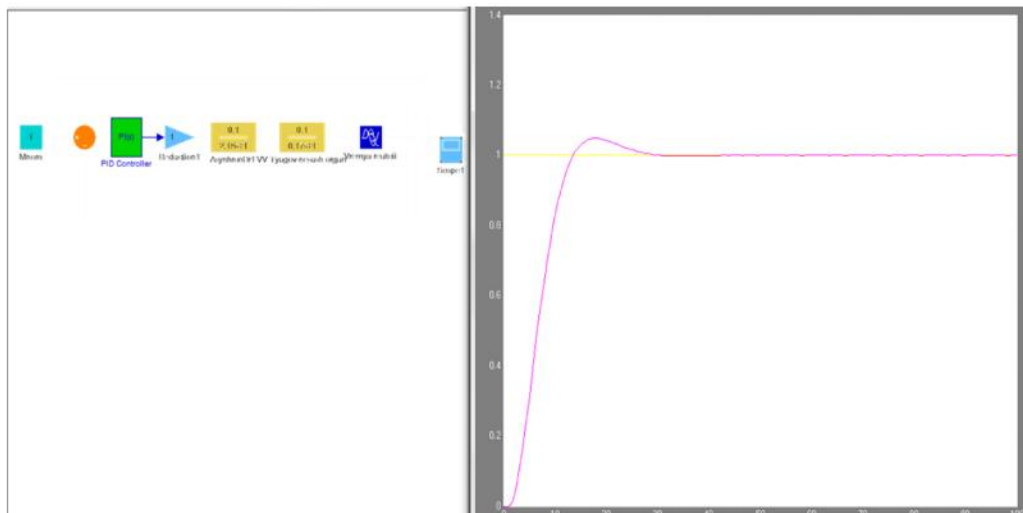


Рисунок 2.6 – Моделювання динамічного процесу роботи системи керування головним електроприводом стрічкового конвеєра в режимі пуску
варіант 1

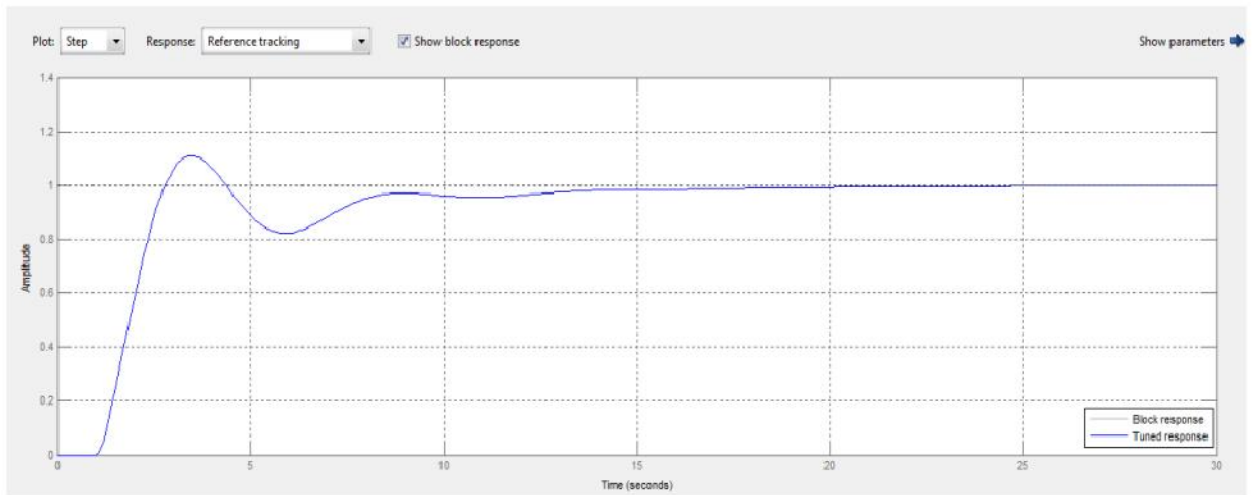


Рисунок 2.7 – Налаштування ПІ-регулятора системи керування головним електроприводом-версія 2

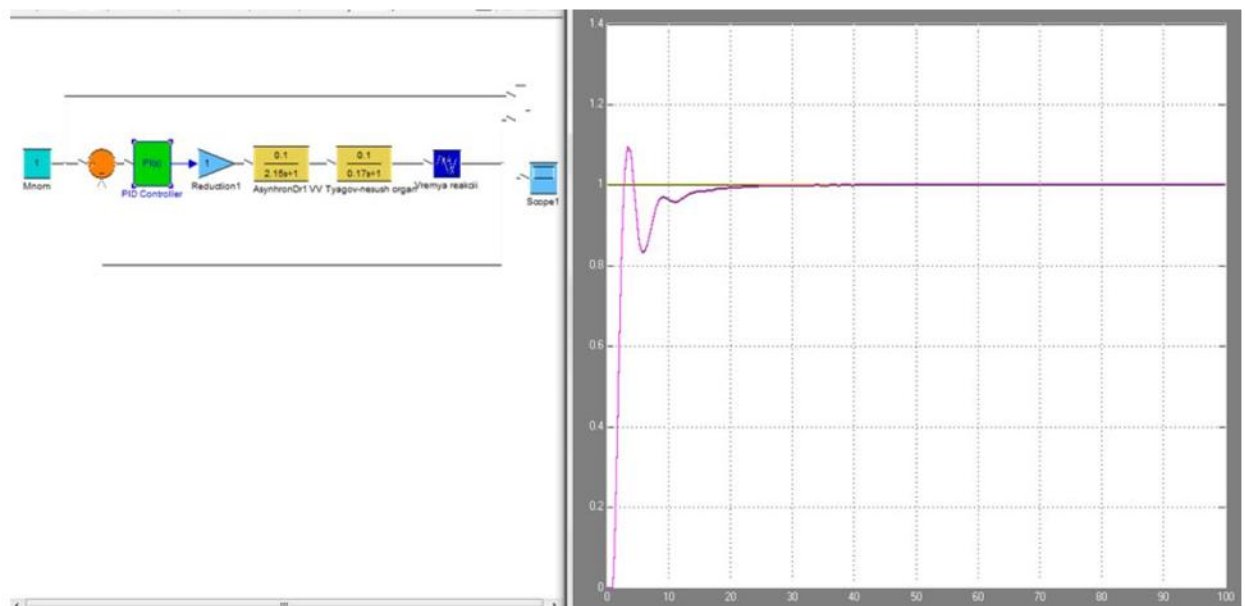


Рисунок 2.8 - Моделювання динамічного процесу роботи системи керування головним електроприводом стрічкового конвеєра в режимі пуску, версія 2

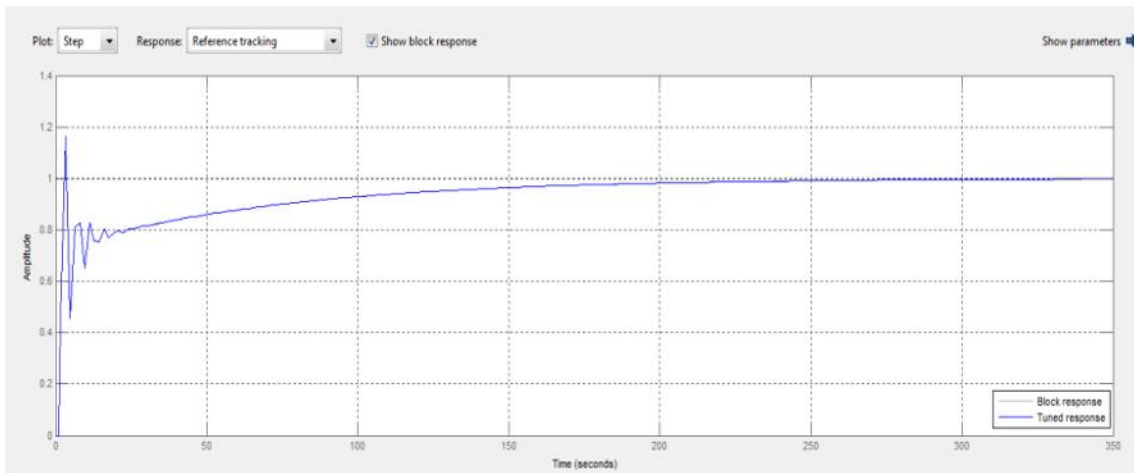


Рисунок 2.9 - налаштування ПІ-регулятора системи керування головним електроприводом-3 версія

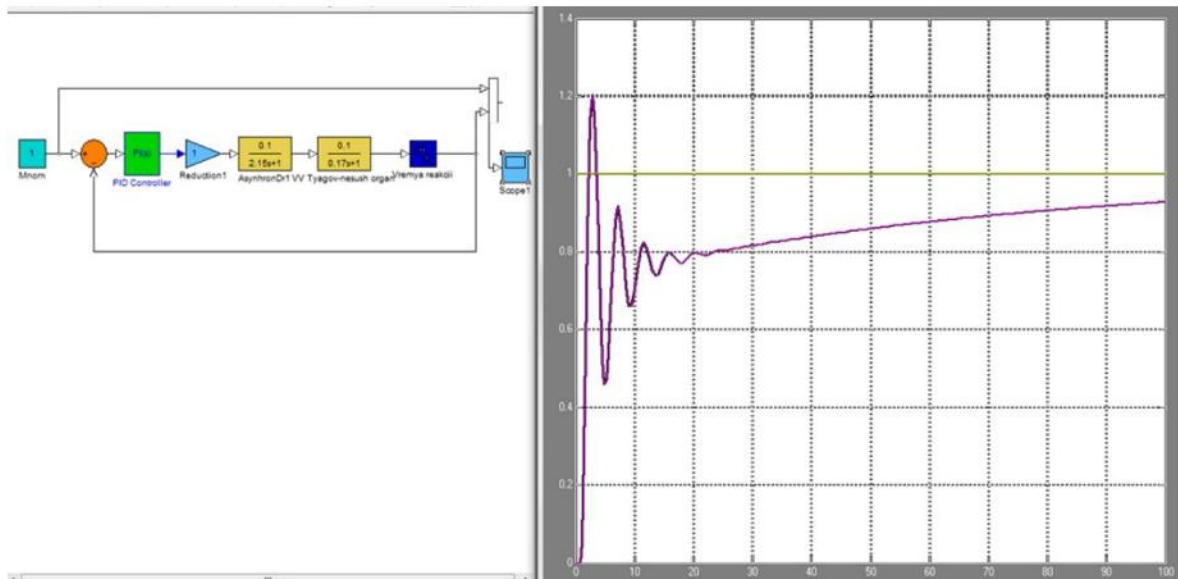


Рисунок 2.10 - Моделювання динамічного процесу системи керування головним електроприводом стрічкового конвеєра – версія 3

Висновок по розділу 2

1. Широке використання в промисловості високотехнологічних перетворювачів частоти та напівпровідникової апаратури провідних світових виробників зумовлено наступними перевагами їх використання:
 - відмова від використання коробок передач, варіаторів, дроселів та іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує керувану

механічну (технологічну) систему, підвищує її надійність і знижує витрати на експлуатацію;

- низькочастотний пуск керованого двигуна забезпечує його поступовий пуск, без великих пускових струмів і без механічних перевантажень, що знижує навантаження на двигун і пов'язані з ним механізми передачі, збільшує термін їх служби;
 - використання системи зворотного зв'язку з перетворювачем частоти забезпечує якісну підтримку швидкості двигуна або регульованого технологічного параметра при змінних навантаженнях та інших впливах збудження;
 - перетворювач частоти в комплекті з програмованим мікропроцесорним контролером може бути використаний для створення багатофункціональних систем керування електроприводами;
 - застосування частотно-регульованого електроприводу дозволяє економити електроенергію за рахунок виключення її невиправданих витрат, які виникають при альтернативних способах регулювання технологічних потоків-дроселювання за допомогою гідromуфт та інших механічних регулюючих пристроїв.
2. Аналіз конструктивних і технологічних особливостей роботи перетворювачів частоти з автономним інвертором напруги та керованим випрямлячем показав, що несинусоїдальність напруги на виході випрямляча обмежує можливий діапазон регулювання швидкості за допомогою цього перетворювача. Крім того, наявність високих гармонік на кривій струму в статорі збільшує споживання енергії в порівнянні з випадком живлення електродвигуна синусоїдальною напругою.
3. Застосування багатомоторного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра, оснащеного перетворювачем

частоти з широтно-імпульсною модуляцією, дозволяє здійснювати поступовий запуск конвеєра.

4. Запропонований підхід до плавного пуску багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра базується на вимірюванні струмів навантаження та виділенні їх активної складової, а також керуванні приводами в режимі пуску. Суть підходу полягає в наступному алгоритмі, тобто запуск електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра забезпечує найменшу стартову частоту обертання в початковий момент процесу, далі, якщо активна складова струму навантаження керуючого електроприводу інтенсивно зростає, головний і керований бортові передачі відповідно до завдання збільшують швидкість обертання до номінального значення.
5. Таким чином, запропоновані математичні моделі багатомоторного стрічкового конвеєра в режимах роботи з урахуванням пружних властивостей тягового органу дозволяють отримати необхідний режим пуску конвеєра шляхом плавного розтягування робочої гілки для зменшення динамічних перевантажень тягово-несучого органу, використання якого дозволяє подовжити ресурс і, як наслідок, позитивно впливає на ресурс всього електроприводу конвеєра.
6. Для верифікації отриманої математичної моделі в програмному середовищі MATLAB Simulink створено модель пуску багатомоторного конвеєрного частотно-регульованого електроприводу. Одночасно було проведено процес моделювання для трьох різних варіантів конфігурації ПІ-контролера системи керування електроприводом конвеєра.
7. Результат комп'ютерного моделювання динамічного процесу системи керування в режимі пуску електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра показав досить стабільну характеристику системи в цілому.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОМОТОРНОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ В СТАЛІХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

3.1 Підвищення енергоефективності транспортування корисних копалин при стабілізованому режимі використання стрічкового конвеєра

У сучасній ситуації процеси розвідки та видобутку корисних копалин характеризуються підвищенням інтенсивності розробки нових родовищ, що призводить до збільшення вантажопотоків. Висока трудомісткість транспортування гірських порід і руд обумовлює необхідність пошуку різноманітних шляхів удосконалення способів використання транспортних засобів, у тому числі кар'єрних стрічкових конвеєрів. Наприклад, у зв'язку з наявністю на конвеєрі двох приводних систем необхідно вирішувати задачу автоматичного розподілу сумарного навантаження між основним і регульованим приводами в тягово-несучому органі конвеєра за схемою транспортування без завантаження.

Проведений аналіз дослідження проблеми розподілу навантаження між електроприводами стрічкових конвеєрів дозволив виявити недоліки систем керування електроприводами конвеєрів, а також визначити різні шляхи та способи вирішення цієї проблеми. проблема.

Велика частка електроенергії, споживаної електроприводом, становить близько 65% у розвинутих країнах, і актуальною проблемою є реалізація практично всіх технологічних процесів, пов'язаних з пересуванням за допомогою електроприводу, особливо енергозбереження за допомогою електроприводу та електроприводних засобів. Основним засобом енергозбереження електроприводів є забезпечення кінцевого споживача - технологічної машини необхідною кількістю споживаної в кожен момент часу потужності. Цього можна досягти в результаті переходу від нерегульованого електроприводу до регульованого шляхом керування координатами

електроприводу. Цей процес є основним шляхом розвитку електроприводу після появи перетворювачів частоти [5].

Стаціонарний режим використання конвеєра є основним способом транспортування корисних копалин. Режим роботи конвеєра з номінальним лінійним навантаженням є найбільш ефективним з точки зору підвищення енергоефективності транспортування корисних копалин. У цьому режимі потік навантаження відповідає номінальній потужності конвеєра. Збільшення лінійного навантаження робочої гілки тягово-несучого органу до номінального значення зменшує видачу частки невиробничої енергії, яка є економією електроенергії на деякій частині часу, що характеризується її середньогодинним значенням.

Питома енерговитрата електроприводу багатомоторного багатострічкового конвеєра розраховується за формулою [1]:

$$e_m = \frac{W_{\text{тто}}}{3600 \cdot q_n \cdot \eta_p \cdot L \cdot g}, \quad (\text{кВт} \cdot \text{саг}) / (\text{т} \cdot \text{км}), \quad (3.1)$$

де: $W_{\text{тто}}$ – повний опір, спрямований проти руху тягово-несучого органу конвеєра, H ; q_n – лінійне навантаження робочої гілки тягово-несучого органу конвеєра, H/m ; η_p – коефіцієнт корисної дії редуктора електропривода;

L – відстань виїмки, м; g – прискорення вільного падіння, m/s^2 .

В ході роботи проведено розрахунки для визначення значень питомої енергоємності електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра та складено порівняльні діаграми зміни цієї величини в часі з очікуваною експоненціальною кривою. (Рис. 3.1, 3.2).

З аналізу наведених діаграм питома енергоємність електропривода стрічкового конвеєра залежить від лінійного навантаження робочої гілки тягово-несучого органу.

В даний час на вугільних шахтах і залізрудних кар'єрах в основному за рахунок використання циклічно-потоквої технології транспортування мінеральної сировини, лінійна величина конвеєрного завантаження змінюється протягом усього часу однієї робочої зміни.

Як зазначалося вище, щоб забезпечити постійне завантаження конвеєра, тобто уникнути витрат енергії на холостому ході на одиницю виконаної роботи, одним із шляхів забезпечення цієї умови є контроль і регулювання швидкості руху тягово-несучого органу конвеєра. Ця умова може бути реалізована за допомогою частотно-регульованого електроприводу на багатомоторному конвеєрі.

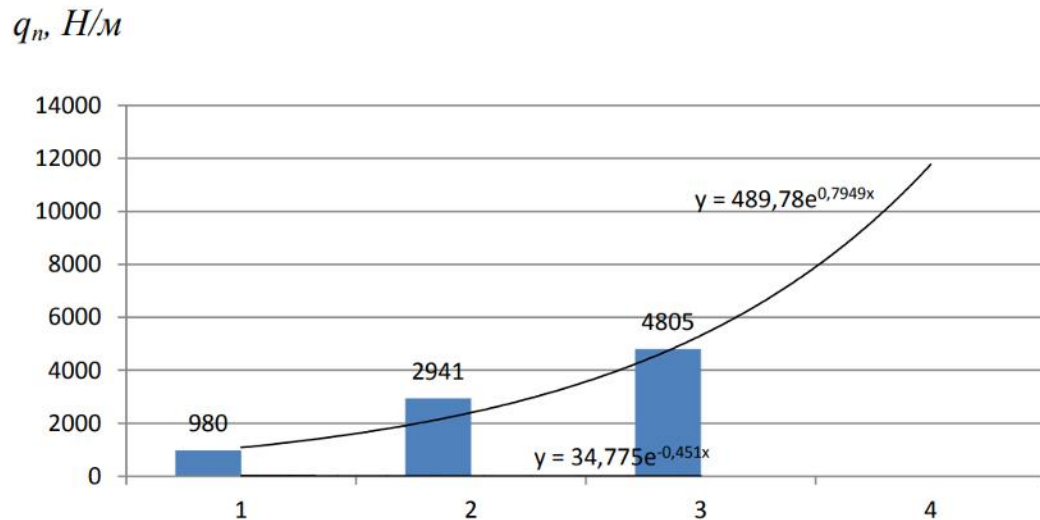


Рисунок 3.1 - порівняльна діаграма корисного навантаження тягово-несучого органу та питомі енерговитрати електроприводу конвеєра в установленому режимі роботи.

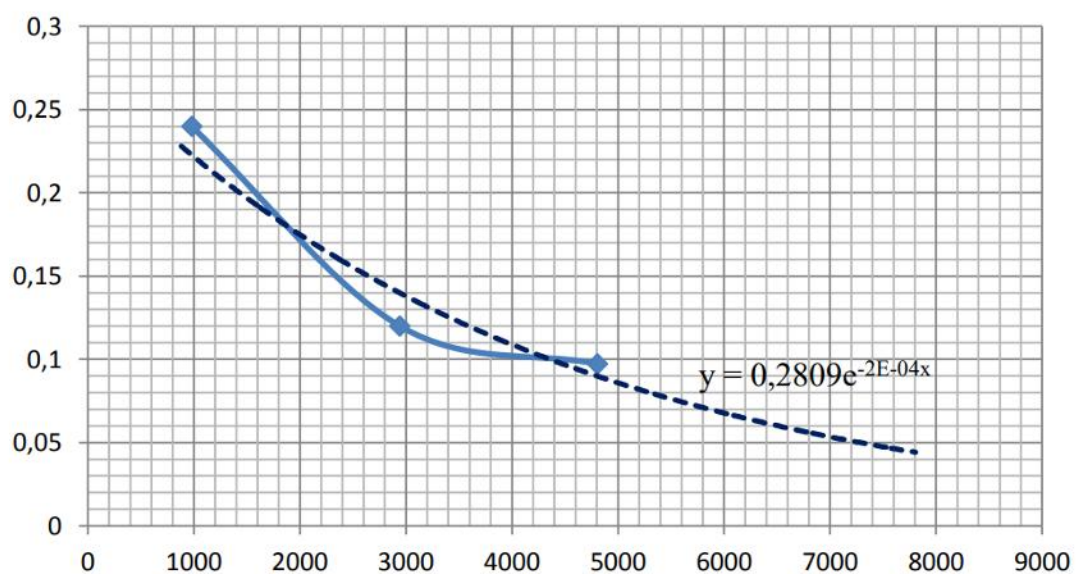


Рисунок 3.2 - Діаграма питомих енерговитрат електроприводу конвеєра в усталеному режимі роботи

3.2 Розробка математичної моделі взаємопов'язаного багатодвигунного частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу в сталих режимах роботи

Для зменшення динамічних зусиль у тяговому ланцюзі (робочій і холостий гілці) доцільно розподілити навантаження між приводами так, щоб кожен двигун навантажувався на свою гілку. У системі розподілу навантажень між приводами конвеєра провідним є основний електропривод, навантажений на робочу гілку. Цей привод закритий зворотним зв'язком по частоті. Завдання другого приводу - підтримувати коефіцієнт струму. Для цього вводиться зворотний зв'язок по струму керуючого і керованого приводів.

Аналіз проблеми розподілу навантаження між електроприводами ланцюгових конвеєрів дав змогу виявити недоліки систем керування електроприводами конвеєрів, а також визначити різні шляхи та засоби вирішення цієї проблеми.

Елементи несучого тіла багатопровідного стрічкового конвеєра є параметрами, які необхідно враховувати при розробці математичної моделі, що описує динамічні процеси, що відбуваються в різних точках під час його функціонування.

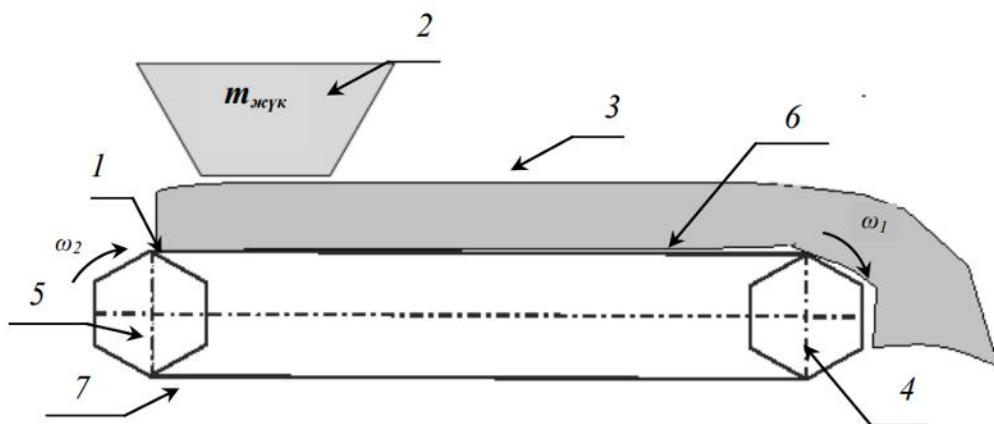


Рисунок 3.3- Схема завантаження руди багатомоторним конвеєром

Для розв'язування задач динаміки дозволено представляти досліджувані вузли багатоприводного конвеєра у вигляді окремих інерційних елементів, з'єднаних пружними зв'язками. Також для нестационарних процесів (рух, гальмування, зміна швидкості) необхідно враховувати вплив поворотних і лінійно рухомих частин тягового водила, електроприводу і ваги вантажу. Для цього використовується метод підведення всіх рухомих мас до валів відповідних двигунів [10].

Розрахункові формули складені для повного приведення моментів інерції обертових частин коробок передач, рухомого тягово-несучого тіла і маси вантажу до валу двигунів. До ротора ведучого двигуна підведені маси верхньої гілки тягово-несучого органу, зірочок і обертових частин першої передачі; маси нижньої гілки тягово-несучого органу, зірочок і обертових частин другої передачі підводяться до веденого ротора другого двигуна. Таким чином, конвеєр замінюється двома системами мас, з'єднаними пружними зв'язками з нижньою і верхньою гілками.

Представлена схема багатомоторного пластового конвеєра з асинхронним частотно-регульованим електроприводом наведена на рис. 3.4.

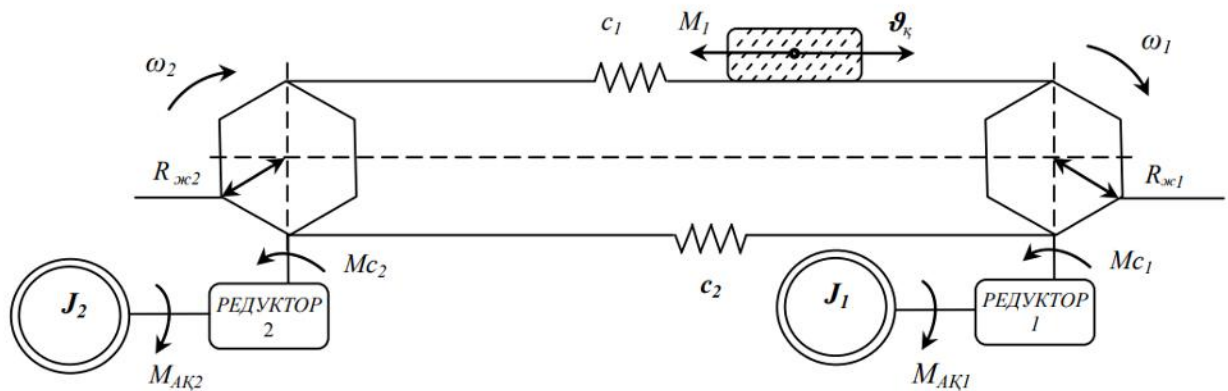


Рисунок 3.4 –Схема багатомоторного стрічкового конвеєра з асинхронним частотно-регульованим електроприводом

Система рівнянь конвеєра та умови, що забезпечують розподіл навантаження між електроприводами (обмеження необґрунтованих

динамічних навантажень на тягово-несучий орган шаруватий конвеєр) описуються такими математичними виразами:

$$J_{\Sigma 1} \frac{d\omega_1}{dt} = M_{AK1} - M_{c1} - M_{\text{жк}} - c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt + c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.2)$$

$$J_{\Sigma 2} \frac{d\omega_2}{dt} = M_{AK2} - M_{c2} - c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt + c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.3)$$

$$J_{\Sigma 1} = (J'_{\text{кел}1} + J'_{\text{кел}2}) \cdot \frac{1}{i^2 \cdot \eta_{r1}} + J_{AK1} = (m_{\text{жт}} + m_{\text{ж}}) \cdot \frac{R_1^2}{2 \cdot i_1^2 \cdot \eta_{r1}} + J_{AK1}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad (3.4)$$

$$J_{\Sigma 2} = J''_{\text{кел}1} \cdot \frac{1}{i^2 \cdot \eta_{r2}} + J_{AK2} = m_{\text{тт}} \cdot \frac{R_2^2}{2 \cdot i_2^2 \cdot \eta_{r2}} + J_{AK2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad (3.5)$$

$$c = \frac{dP}{d\varepsilon}, \quad [P_{\min} < P_{\text{ном}} < P_{\max}], \text{ Н/м}, \quad (3.6)$$

$$M_i = 2 \cdot M_{ki} \cdot s_{kn} \cdot \frac{s_n}{(s_n^2 + s_{kn}^2)}, \quad [M_{\min} < M_{\text{ном}} < M_{\max}], \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.7)$$

де: M_{A1} - електромагнітний момент, що розвивається першим ведучим двигуном, Н·м; M_{c1} - статичний момент, прикладений до валу першого двигуна, Н·м; M_{A2} - електромагнітний момент, що розвивається другим проміжним двигуном, Н·м; M_{c2} - статичний момент, прикладений до валу другого двигуна, Н·м; M_y - момент сил від вантажу, що транспортується, Н·м; ω_1, ω_2 - кутова швидкість обертання роторів першого та другого електродвигунів відповідно, рад/с; $J_{\Sigma 1}$ - тягово-несуче тіло, приведенне до валу першого двигуна, і момент інерції з урахуванням маси вантажу, що транспортується; $J_{\Sigma 2}$ - момент інерції з урахуванням ваги тягово-несучого тіла, прикладеного до валу другого двигуна, кг·м²; c_1, c_2 - коефіцієнти жорсткості, застосовані до валів 1-го і 2-го електроприводів відповідно, Н/м; $J'_{\text{кел}1}$ - момент інерції з урахуванням ваги верхньої гілки тягово-несучого тіла, кг·м²; $J'_{\text{кел}2}$ - момент інерції з урахуванням маси вантажу, що

транспортуються, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $J''_{\text{кел1}}$ - момент інерції з урахуванням маса нижньої гілки тягово-несучого органу, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $m_{\text{ев}}$, m_{gr} - верхня гілка і маса вантажу, Н; $m_{\text{и}}$, - маса нижньої гілки, доведена до радіуса зірки в веденому приводі - маса нижньої гілки, доведена до радіуса зірки керованого електроприводу, Н; i_1 , i_2 - числа передачі від валів керуючого і керованого електродвигунів до коробок передач; P - тяжіння тягового тіла, Н; $R_{\text{ж1}}$, $R_{\text{ж2}}$ - радіуси керування та керованих електроприводів, м; M_{i-n} - n -т момент, що розвивається електроприводом, Н·м; $M_{\text{кі}}$ - n - m максимальний максимальний крутний момент, який розвиває електропривод Н·м; ε_i - відносна деформація тягового тіла, Н/см².

Наведена система рівнянь моделює роботу стрічкового конвеєра, представленого двома системами мас з різними інерційними масами та моментами опору. Інерційність приводу керування визначається переданими інерційними масами першого приводу, тягово-несучого органу з урахуванням параметрів коробки передач, а також обертовими масами асинхронного двигуна.

Інерційність керованого приводу визначається масами нижньої гілки, характеристиками коробки передач і обертовими масами двигуна. Необхідно визначити розрахункові значення опорів основного і керованого приводу з урахуванням впливу зовнішніх кліматичних умов використання.

Відомо, що жорсткість тіла, яке сприймає силу тяжіння, безпосередньо пов'язана з напругою сили тяжіння [3]. З першої умови забезпечення обмеження тяги $c = dP/d\varepsilon$ жорсткість (модуль пружності) верхньої гілки тягового органу під час роботи конвеєра змінюється в залежності від ступеня завантаження робочої гілки.

У математичній моделі для опису конвеєра запропоновано наступні параметри: $M_{\text{ж}}$, $c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt$, $c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt$. є змінними. Отже, з часом вони змінюються в залежності від особливостей окремих режимів роботи, зовнішніх технологічних умов роботи та інших факторів.

Під час роботи конвеєра критичне проковзування асинхронного двигуна і збільшення жорсткості (модуля пружності) тягового органу призводять до рівномірного розподілу навантаження між приводами.

Електромагнітний момент асинхронного двигуна створюється взаємодією струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем статора [10]. Електромагнітний момент обернено пропорційний частоті струму лінії живлення:

$$M_{AK} = \frac{N}{\omega} = \frac{N \cdot p}{2\pi \cdot f}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3,8)$$

Момент сил опору від ваги переміщуючого вантажу, що діє на верхню гілку тягово-несучого тіла, визначається наступними виразами:

$$M_{жс} = \frac{c \cdot g}{q_{ц} + q_n}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3,9)$$

де: c - твердість (пружність) тягово-несучого тіла; g - прискорення вільного падіння; $q_{ц}$ - погонна маса тягово-несучого тіла; q_c – погонна маса навантаження на тягове тіло.

Для створення комп'ютерної моделі тягово-несучого органу багатомоторного стрічкового конвеєра з електроприводом необхідно звести диференціальні рівняння (3.2-3.7) до відносних одиниць.

Після відповідних перетворень отримуємо систему рівнянь передавальної функції конвеєра

$$T_1 \cdot \frac{d\omega_1^*}{dt} = (M_{AK1}^* - M_{c1}^* - M_{ж}^*) - \frac{1}{T_2} \cdot \int (\omega_1^* - \omega_2^*) dt + \frac{1}{T_3} \cdot \int (\omega_2^* - \omega_1^*) dt, \text{ с}, \quad (3,10)$$

$$T_4 \cdot \frac{d\omega_2^*}{dt} = (M_{AK2}^* - M_{c2}^*) - \frac{1}{T_3} \cdot \int (\omega_2^* - \omega_1^*) dt + \frac{1}{T_2} \cdot \int (\omega_1^* - \omega_2^*) dt, \text{ с}, \quad (3,11)$$

$$T_1 = \frac{\omega_n}{M_n} \cdot J_{\Sigma} = \frac{152}{707} \cdot (2,2 + 7,8) = 2,15 \text{ с}, \quad (3,12)$$

$$T_2 = \frac{M_{n1}}{\omega_{n1} \cdot c_1} = 0,17 \text{ с}, \quad (3,13)$$

$$T_3 = \frac{M_{n2}}{\omega_{n2} \cdot c_2} = 0,09 \text{ с}, \quad (3,14)$$

$$T_4 = \frac{\omega_n}{M_n} \cdot J_{\Sigma 2} = \frac{152}{356} \cdot (0,5 + 2,86) = 1,43 \text{ с}. \quad (3,15)$$

Результати розрахунків наведені в наступній таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики та постійні часу електроприводів і тягово-несучого органу

Тип асинхронного двигуна	Назви параметрів								
	Потужність кВт	Номінальний / максимальний швидкість, об/хв	Момент, Н·м	Струм, А	Напруга В	Частота, Гц	J ротора, кг/м ²	Cos φ	T_1 і T_2 відповідно
280S4	110	1450/4500	707	202	380	50	2.2	0,85	2.15
225M4	55	1450/4500	356	105	380	50	0,5	0,86	1.43

Таким чином, з урахуванням обертової маси електродвигуна і числа передач коробки передач розроблено схему заміни маси тягово-несучого тіла. При цьому на основі діаграми створено математичну модель у відносних одиницях, що описує динамічні процеси при роботі тягово-несучого органу стрічкового конвеєра.

На основі даної моделі створено передатну функцію, розраховано пружні моменти коливань робочих і вільних гілок конвеєра та динамічні моменти двигунів, які можуть бути використані для синтезу системи розподілу навантаження в частотно-регульованому режимі. електропривод стрічкового конвеєра.

3.3 Розробка комп'ютерної моделі багатомоторного частотно-регульованого електроприводу взаємопов'язаного стрічкового конвеєра в стійких режимах роботи

Після перетворення системи рівнянь (3.2) і (3.3) отримуємо рівняння для кутової швидкості обертання фронту керування та останнього керування електроприводами стрічкового конвеєра:

$$\omega_1 = \int \frac{1}{J_{\Sigma 1}} \cdot [M_{AK1} - M_{c1} - M_{\text{жс}} - c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt + c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt] dt, \text{ рад/с, (3.16)}$$

$$\omega_2 = \int \frac{1}{J_{\Sigma 2}} \cdot [M_{AK2} - M_{c2} - c_2 \int (\omega_2 - \omega_1) dt + c_1 \int (\omega_1 - \omega_2) dt] dt, \text{ рад/с, (3.17)}$$

де: ω_1 - кутова швидкість першого електроприводу, рад/с;

ω_2 - швидкість обертання другого електроприводу, рад/с,

За допомогою системи рівнянь (3.16) та (3.17) створено інтегровані моделі (рис. 3.5, 3.6 та 3.7) багатомоторного стрічкового конвеєра як моделі зміни кутових швидкостей керуючого та керованого електроприводів. .

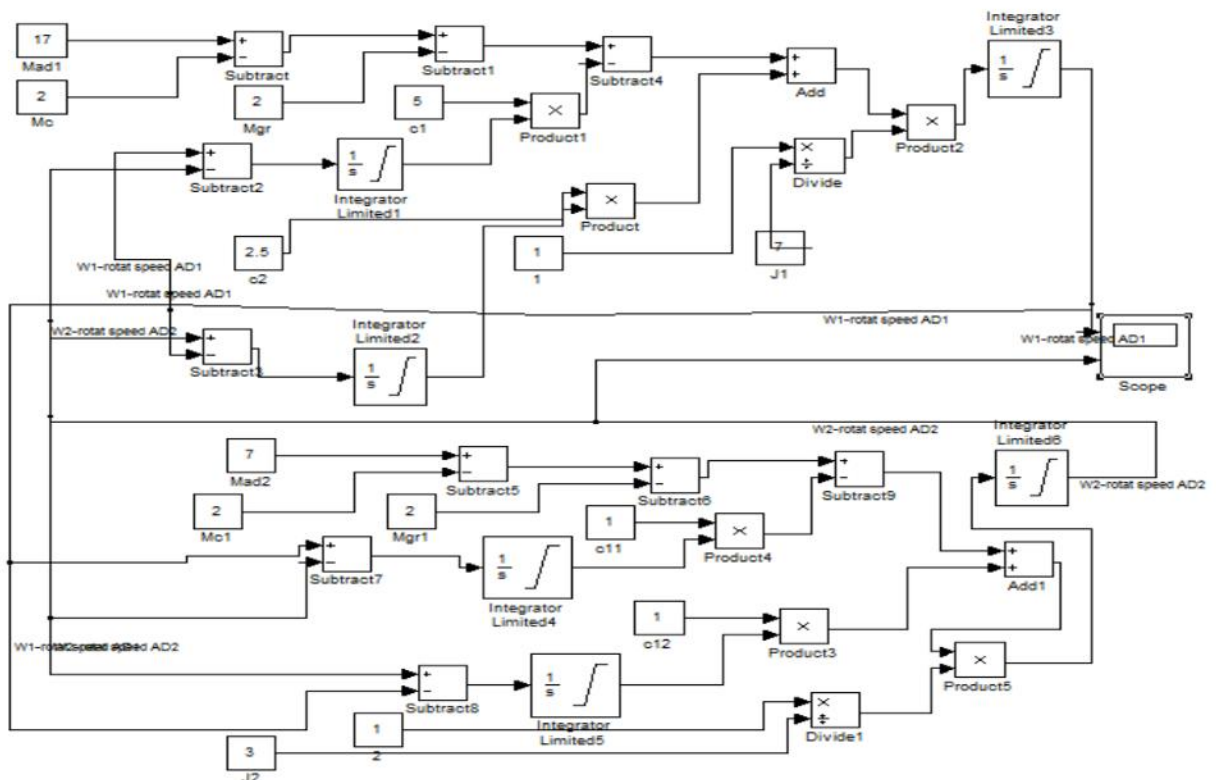


Рисунок 3.5 – Модель усталеного режиму роботи багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра розроблена в програмі Matlab Simulink-
Math Operations

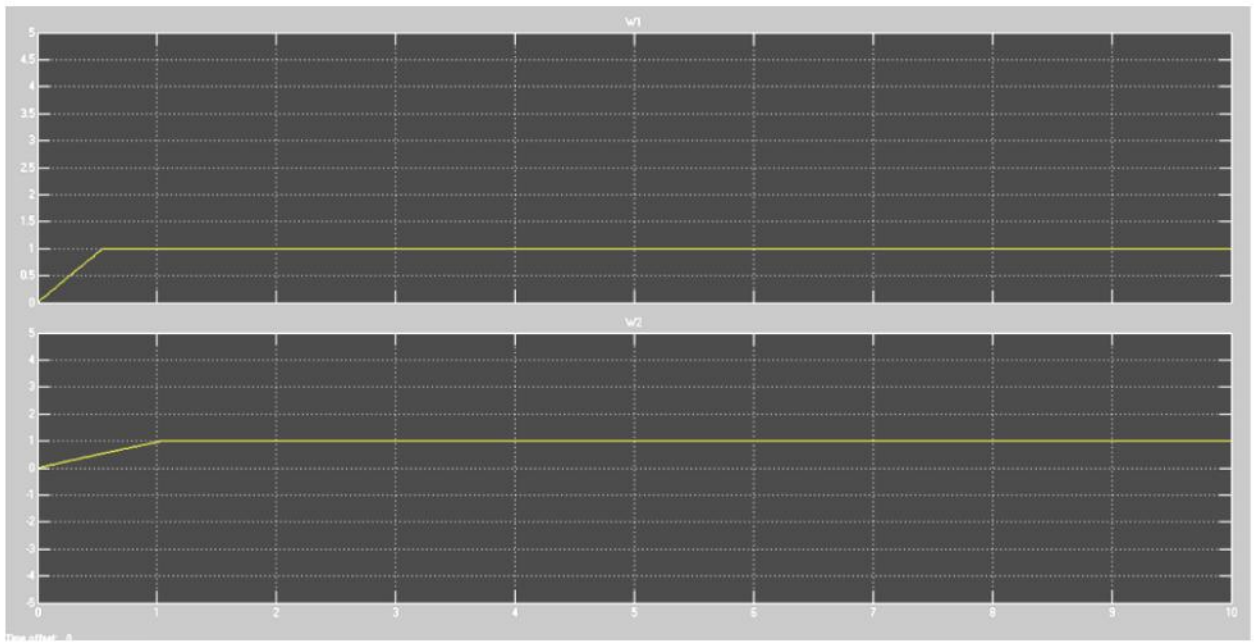
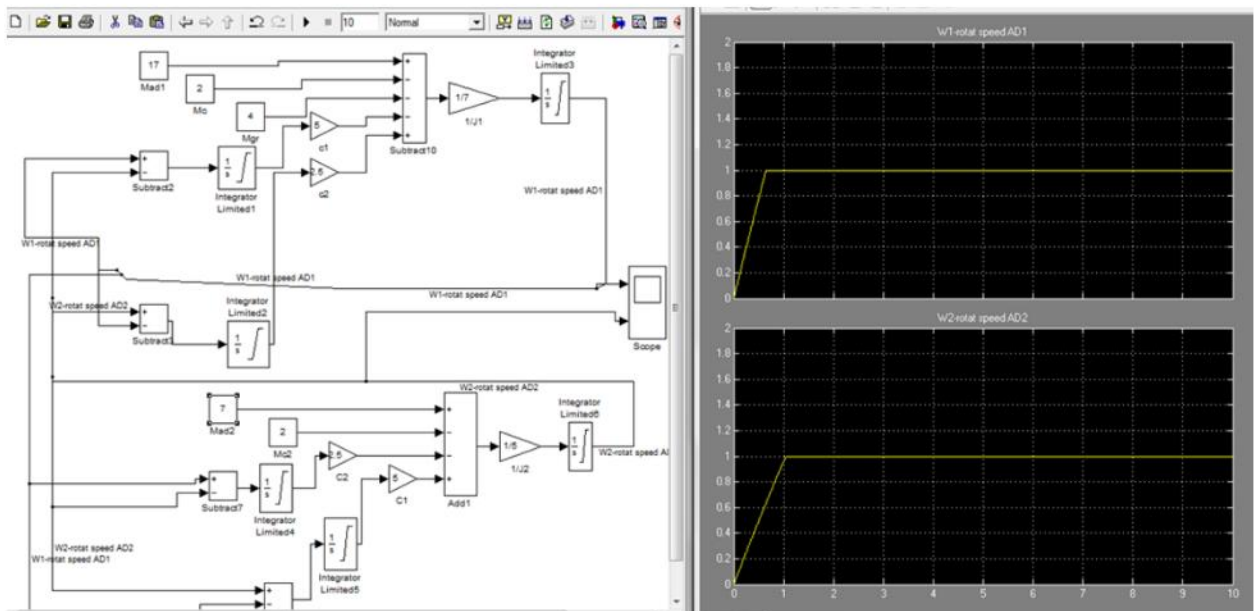


Рисунок 3.6 - Результати моделювання кутової швидкості електроприводу в стабілізованому режимі роботи багатомоторного стрічкового конвеєра.



3.7 – спрощена модель кутової швидкості електропривода в стабілізованому режимі роботи конвеєра

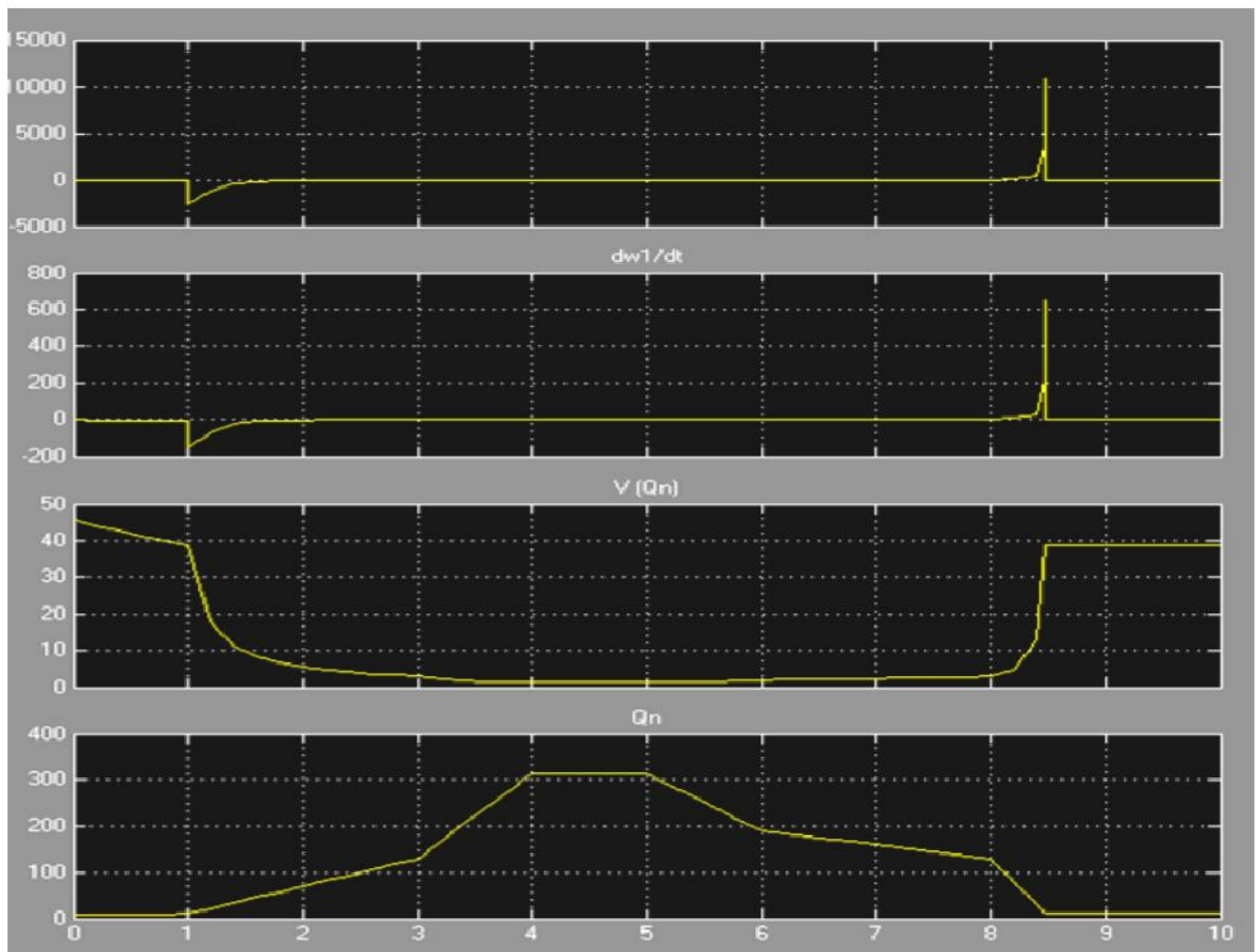


Рисунок 3.9 - Результати моделювання процесу регулювання швидкості провідного електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра

Висновок по розділу 3

1. Величина питомої енергоємності електроприводу залежить від погонного навантаження робочої гілки тягово-несучого органу.
2. Для забезпечення постійного завантаження конвеєра, тобто зниження непродуктивних енергетичних витрат на одиницю виконаної роботи, одним із шляхів забезпечення цих умов є контроль і регулювання лінійної швидкості руху тягово-несучого органу конвеєра, який реалізується за допомогою частотно-регульованого електроприводу на багатомоторному конвеєрі.
3. У зв'язку з цим доцільно розробити математичну модель, яка описує динамічні процеси роботи тягово-несучого органу та спосіб розподілу

навантажень між головним та керованим електроприводами багатомоторного стрічкового конвеєра, при цьому крутні моменти основних і регульованих частотно-регульованих електроприводів приймати з вхідними параметрами моделі.

4. З урахуванням обертової маси електродвигуна та числа передач коробки передач на основі розробленої схеми переміщення побудовано математичну модель, що описує динамічні процеси при роботі тягово-несучого органу стрічкового конвеєра. тягово-несучого тіла.
5. За допомогою розробленої математичної моделі побудовано функцію передачі, а також розраховано динамічний момент електродвигуна та постійні часу коливань пружних сил робочої та вільної гілок. Результати цих розрахунків можуть бути використані для синтезу системи розподілу навантаження в частотно-регульованому електроприводі стрічкового конвеєра.
6. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання стабілізованого режиму роботи багатомоторного стрічкового конвеєра показав, що швидкості керуючого та керованого електроприводів виходять на номінальний режим роботи з різними прискореннями, а потім значення частоти обертання електроприводу також стабілізуються на номінальному рівні.

4. ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРНОГО ВЗАЄМОПОЄДНАНОГО БАГАТОМОТОРНОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4.1 Врахування пружних властивостей тягово-несучого органу, забезпечення безперебійної роботи взаємопов'язаного частотно- регульованого двомоторного електроприводу стрічкового конвеєру

Використання конвеєра за технологічним процесом характеризується певною послідовністю технологічних процесів: пусковий, поступальний рух, стабілізований, аварійний і гальмівний режими. Водночас важливе практичне значення має забезпечення безперебійної роботи багатомоторного ланцюгового конвеєра. Для електроприводів, у тому числі нерегульованих асинхронних електроприводів конвеєрів, найбільш жорсткі пускові режими, для яких у декілька разів перевищують номінальне значення, тобто характерні великі пускові струми та коливання пускового моменту [9-10].

З одного боку, це є причиною перегріву обмоток електродвигуна і зниження його ресурсу, а з іншого – призводить до перевантаження коробки передач і тягового робочого органу ланцюга. На електричній мережі також негативно впливають великі пускові струми.

У роботі розглянуто існуючі технічні рішення роботи багатопровідних ланцюгових конвеєрів, проаналізовано їх особливості, визначено переваги та недоліки.

Відомий спосіб пуску конвеєра, який забезпечує розгін двигуна при зміні трифазної синусоїдальної напруги від мінімального значення до номінального [10]. Недоліком такого підходу є те, що в процесі пуску робочий орган розгону приводу не надійно затягнутий, величина його люфта нестабільна, невеликий люфт робочого органу або необґрунтоване збільшення часу пуску може призводити до перевантаження робочого органу.

Відомий також спосіб пуску ланцюгового конвеєра, при якому тяговий носій попередньо натягують за допомогою гідроприводу тягової станції конвеєра. При досягненні заданого значення тяги спрацьовує реле тиску масляної станції, яке відключає гідропривод тягової станції і включає вузли передавальних пристроїв. Цей конвеєр оснащений головним і проміжним приводами, кожен з яких включає асинхронні електродвигуни [8].

Недоліком такого підходу є необхідність додаткової тягової станції, що знижує надійність приводу. Крім того, робочі характеристики гідроприводу погіршуються в процесі його використання, тобто при роботі при низьких температурах навколишнього середовища.

Найбільш близьким в технічному відношенні до запропонованої нами корисної моделі є наступний спосіб пуску асинхронного електродвигуна конвеєра, який полягає у зменшенні пульсацій електромагнітного моменту електродвигуна та його пускових струмів у разі обмеження динамічних перенапруги в напівпровідникових перемикачах [11].

При такому підході не враховується попереднє залучення робочого органу в процес запуску конвеєра. При цьому розгін приводу здійснюється в залежності від часу, тобто не забезпечується надійна тяга робочого органу в процесі пуску, оскільки швидкість його релаксації нестабільна.

Завданням розробленого нами технічного рішення є забезпечення плавної тяги тягово-несучого органу стрічкового конвеєра. Результатом є підвищення надійності роботи стрічкових конвеєрів та збільшення ресурсу тягово-несучого органу конвеєрів за рахунок зниження динамічних навантажень на тягово-несучий орган в режимах роботи.

Запропонований спосіб плавного підключення багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра базується на вимірюванні струмів навантаження та їх розділення активних складових, а також керуванні приводами в режимі пуску.

Суть підходу полягає в наступному алгоритмі, тобто запуск електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєру в початковий момент

процесу дає найменшу стартову частоту обертання, далі, якщо активна складова струму навантаження керуючого електроприводу швидко зростає, відповідно до завдання головний передній і керований останній приводи доводять швидкість обертання до номінального значення [12].

Структурна схема електроприводу наведена на рисунку 4.1. Всі блоки запропонованого пристрою можуть бути реалізовані на основі відомих технічних рішень. Тяговий транспортний орган 1 стрічкового конвеєра являє собою вантажонесуче полотно з шарів сталі, закріплене на ланцюговому тяговому органі, перший передавальний пристрій 2 і другий передавальний пристрій 11 виконані у вигляді стандартних циліндричних шестерень.

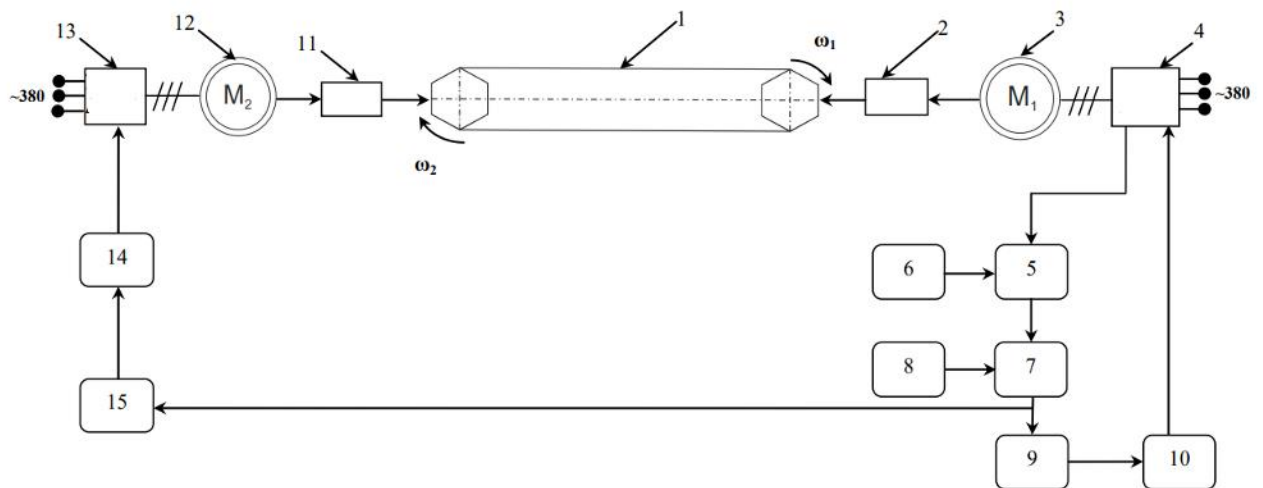


Рисунок 4.2 - Частотно-регульований двомоторний пристрій з плавним пуском для конвеєра. Структурна схема приводу

1- тягово-несучий орган конвеєра; 2 - перший передавальний пристрій;
 3 - керуючий електродвигун; 4 - перший частотний перетворювач;
 5 - компаратор; 6 - блок установки мінімального струму навантаження;
 7 - датчик швидкості; 8 - блок установки мінімальної швидкості; 9 - перший коефіцієнт інтенсивності; 10 - перший блок управління; 11 - другий передавальний пристрій; 12 - другий електродвигун; 13 - другий частотний перетворювач; 14 - другий блок керування; 15- селектор інтенсивності;

Керуючий електродвигун 3 і керований електродвигун 12 є асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором. Перший

перетворювач частоти 4 і другий перетворювач частоти 13 є стандартними перетворювачами, які перетворюють змінну напругу в напругу мережі. Перший блок 10 керування та другий блок 14 керування є стандартними блоками керування перетворювачем частоти. Блок 6 установки мінімального струму навантаження та установка мінімальної швидкості 8 реалізовані як керовані подільники напруги.

Компаратор 5 побудований на основі стандартного двостороннього компаратора, і при його включенні величина вихідного сигналу компаратора дорівнює величині номінальної заданої швидкості керуючого 3 і керованого 12 електродвигунів. Селектор швидкості 7 виконаний у вигляді стандартного елемента, його вихідний сигнал дорівнює найбільшому сигналу на його вході, при цьому на його перший вхід спочатку надходить сигнал найменшої швидкості з виходу блоку установки найменшої швидкості, а при появі перевищено - сигнал з виходу компаратора 5. Перший селектор 9 інтенсивності і другий селектор 15 інтенсивності виконані у вигляді стандартних селекторів інтенсивності, що забезпечують рівномірну зміну вихідного сигналу на значення, що відповідає заданим значенням швидкості.

Опис плавного пускача в статиці.

Тяглонесучий орган складається з 1 робочої та вільної гілок. 1 робоча гілка тягово-несучого органу з'єднана з виходом першої передачі електропривода керування. До входу першого передавального пристрою підключений керуючий електродвигун 3, а його вхід - до першого виходу перетворювача частоти 4. Другий вихід першого перетворювача частоти 4 з'єднаний з першим входом компаратора 5, другий вхід якого з'єднаний з блоком 6 установки мінімального струму навантаження.

У свою чергу, вихід компаратора 5 з'єднаний з першим входом задатчика швидкості 7, його другий вхід з'єднаний з виходом блоку задатчика мінімальної швидкості 8. Вихід датчика швидкості 7 з'єднаний зі входом першого датчика інтенсивності 9, його вихід з'єднаний з першим блоком управління 10, а перший блок управління з'єднаний зі входом першого

перетворювача частоти 4. вільна гілка тягово-несучого органу 1 з'єднана з виходом другого передавального пристрою, а його вхід - з керованим електроприводом 11 - з виходом електродвигуна. Його вхід з'єднаний з виходом другого перетворювача частоти 13. Вхід другого частотного перетворювача 13 з'єднаний з виходом другого блоку 14 управління, і він з'єднаний з селектором 15 інтенсивності, тоді як селектор 15 інтенсивності з'єднаний з селектором 7 швидкості.

Опис плавного стартера в динаміці.

У початковий момент пуску конвеєра робоча гілка тягово-несучого органу 1 приводиться в рух за допомогою керуючого електроприводу, до складу якого входить перша передача керуючого електроприводу 2 і керуючий електродвигун 3. Керуючий електродвигун 3 приводиться до мінімальної швидкості своїм першим виходом від першого перетворювача частоти 4. Перемикач мінімальної швидкості 7 з'єднаний з виходом блоку установки мінімальної швидкості 8. Сигнал датчика швидкості 7 надходить на вхід 9 першого датчика інтенсивності і забезпечує зміну швидкості за рахунок сигналу, що надходить на вхід 10 першого блоку керування, що відповідає мінімальній частоті керування вихідною напругою. першого частотного перетворювача 4.

Відповідно через перший трансмісійний пристрій 2 головний двигун 3 починає тягнути тягово-несуче тіло 1. Таким же чином сигнал мінімальної швидкості приводить в дію двигун, керований другим датчиком 15 інтенсивності, другим блоком 14 керування, другим перетворювачем 13 частоти через датчик 7 швидкості, а далі, через другий передавальний пристрій 11, приводить в рух холостий хід. гілка 1 тягово-несучого органу. Після протягування ланцюга тягнеться тягонесучий орган 1, що призводить до швидкого наростання сигналу активного струму, що надходить з другого виходу першого перетворювача частоти 4. Цей сигнал перевищує рівень вихідного сигналу 6 блоку установки мінімального струму навантаження.

Спрацьовує компаратор 5, вихідний сигнал якого відповідає номінальній швидкості тягово-несучого тіла 1.

Подібно до алгоритму запуску першого електроприводу, електродвигун 12 приводиться в рух до номінальної швидкості 13 через другий датчик 15 інтенсивності, другий блок управління 14 і другий перетворювач частоти 13 відповідно через другий передавальний пристрій 11. - починається рух вільної гілки 1 тягово-несучого органу 1.

Іншими словами, подвійний електропривод забезпечує мінімальну частоту обертання керуючого і керованого допоміжного електродвигунів у початковий момент пуску конвеєра. При малошвидкісному русі тягло-несучого органу ланцюг поступово натягується. При цьому струм навантаження незначний, оскільки основна частина ланцюга не бере участі в утворенні моменту сили опору через її провисання.

Різке збільшення струму навантаження приводу керування свідчить про те, що ланцюгова підвіска натягнута, тобто тягово-несучий орган задіяний повністю.

В результаті при швидкому зростанні струму навантаження керуючого електродвигуна, тобто при повному напруженні робочої гілки тягово-несучого органу, виконується завдання швидкості обертання керуючого і керованого допоміжного електродвигунів. плавно до номінальної швидкості.

4.2 Контроль пуску взаємозв'язаного чотиримоторного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягово-несучого органу

Відомий спосіб тяги тягового органу багатопровідного конвеєра, який характеризується закріпленням тягового органу (ланцюга) на тяговій станції. Далі підключається привід тягової станції, і шляхом гальмування початкової частини кожної деталі послідовно підтягуються секції тягового органу між приводами тягового органу, а остання частина цієї частини переміщується з

подальшим її реєстрація. Цей спосіб відрізняється тим, що секції тягового органу протягують між приводами з метою підвищення надійності тягового органу за рахунок його оптимального натягу, а потім одночасно підключають усі приводи ланцюга і систематично гальмують приводи тягового органу, починаючи з першого приводу ланцюга за його переміщенням [11].

Слід зазначити, що в даному методі не враховується розгін електропривода до номінальної швидкості, тобто враховується лише попереднє натягування тягового органу за допомогою електроприводу та гідронатяжної станції перед пуском конвеєра. Експлуатаційні характеристики тягової станції погіршуються при роботі в умовах низької температури навколишнього середовища, що знижує надійність приводу конвеєра в цілому. Крім того, відомий наступний спосіб. Спосіб плавного підключення багатодвигунного електроприводу стрічкового конвеєра заснований на вимірюванні струмів навантаження та виділенні їх активної складової, а також керуванні приводами в режимі пуску. Суть підходу базується на наступному алгоритмі, тобто запуск електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра забезпечує найменшу пускову частоту обертання в початковий момент процесу, далі, за умови, що активна складова струму навантаження керуючого електроприводу швидко зростає, головний і керований бортові передачі по завданню доводять швидкість обертання до номінального значення до [12].

На основі аналізу та виявлення недоліків вищезазначених рішень запропоновано технічне рішення, за допомогою якого можна керувати чотирма взаємопов'язаними електродвигунами під час пуску стрічкового конвеєра, а також забезпечити керування електроприводом. Технічним результатом є підвищення експлуатаційної надійності стрічкових конвеєрів та їх ресурсу за рахунок зниження динамічного навантаження на тягово-несучий орган на пускових режимах [14].

Суть технічного рішення полягає в способі керування багатомоторним електроприводом багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра,

з'єднаних між собою за допомогою пружного тягового органу в режимах пуску, заснованому на вимірюванні струмів навантаження. і розподіл їх активних компонентів. Цей спосіб відрізняється тим, що в процесі пуску взаємопов'язаного багатомоторного електроприводу стрічкового конвеєра робоча гілка тягового органу попередньо напружується на кожній секції відповідного електропривода. Для цього в початковий момент пуску гальмується останній-четвертий ведений привід конвеєра. Далі відбувається включення в такому порядку: третій проміжний електропривод, другий проміжний електропривод і потім перший керуючий електропривод.

Ці електроприводи забезпечують тягу робочої гілки тягово-несучого органу при мінімальній швидкості переміщення у відповідних його секціях.

Коли напруга гілок у всіх секціях досягає розрахункового значення, про що свідчить збільшення струму навантаження, споживаного першим, другим і третім електроприводами, відповідні електродвигуни синхронно збільшують швидкість обертання всіх приводів до номінального значення. з однаковим прискоренням.

Таким чином, технічні рішення, засновані на вимірюванні упорів навантаження та розділенні їх активних компонентів, враховують пружні властивості тіла тяги, передбачають поступове включення двох і чотири моторні електроприводи стрічкового конвеєра, керовані взаємопов'язаною частотою, і тяговий орган дозволяє уникнути необхідного натягу робочої гілки, а також, на наш погляд, необґрунтованих динамічних перевантажень на тяговий орган.

Відповідно ми досягаємо наступних економічних результатів використання запропонованих технічних рішень на багатоприводному стрічковому конвеєрі:

- зниження динамічних навантажень на робочий орган конвеєра;
- призводить до зниження витрат на заміну та ремонт робочого органу.

4.3 Розробка технічного рішення управління та розподілу навантаження між частотно-регульованими приводами багатомоторного багатострічкового конвеєра з урахуванням фактичного навантаження тягово-несучого органу

Аналіз досліджень показав ряд суттєвих недоліків у запропонованих авторами методах і підходах до розподілу навантажень між регульованими приводами ланцюгового конвеєра, зокрема: у процесі роботи системи вирівнювання навантажень, значення для асинхронних електродвигунів головного і периферійного приводів не відповідають фактичним навантаженням на тягово-несучий орган, забезпечуються однакові тягові моменти, [3, 7, 8] співвідношення потужність, споживана електроприводами, і початково надані крутні моменти не можуть повністю забезпечити гнучкий розподіл тягових моментів між периферійними електроприводами в стабілізованих режимах використання конвеєра [7, 11].

При використанні багатомоторного стрічкового конвеєра в разі розміщення приводів по краях конвеєра співвідношення тягових зусиль приводів не дорівнює відношенню їх встановлених потужностей, що пояснюється різне розтягнення ланцюга, різниця в навантаженні порожніх і навантажених гілок, і призводить до високих динамічних навантажень. Щоб зменшити непотрібні динамічні сили в ланцюзі, доцільно розподілити навантаження між приводами так, щоб кожен двигун був навантажений відповідно до своєї гілки. У системі розподілу навантаження керуючий електропривод є першим головним приводом, навантаженим на робочу гілку. Зовнішній кінцевий електропривод, відповідно, працює на зміщення нижнього натяжного плеча тягового водила.

Завданням запропонованого технічного рішення є усунення недоліків вищевказаних способів, а також створення способу керування та розподілу навантажень між керованим та керованим частотно-регульованим електроприводами багатомоторного стрічкового конвеєра, який забезпечує

необхідну продуктивність багатомоторного стрічкового конвеєра, а з урахуванням його пружних властивостей – управління динамічним станом вільної гілки тягово-несучого органу в заданих режимах роботи.

Спосіб керування і розподілу навантаження між частотно-регульованими електроприводами заснований на вимірюванні навантажень керуючого і регульованого електроприводів конвеєра, в залежності від вимірюваних навантажень і контролю швидкості головного електропривода, а також як коригувальний сигнал керування електроприводом керованої кромки [15].

Суть підходу полягає у вимірюванні зусиль лінійного навантаження робочої гілки та вільної гілки тягово-несучого органу, температури навколишнього середовища та кута підйому конвеєра в сталих режимах роботи. Далі відповідно до зміни лінійного (приводного) навантаження швидкість руху робочої гілки регулюється головним електроприводом, змінюється встановлений (пусковий) момент вільної гілки з урахуванням температури навколишнього середовища і кут підйому конвеєра. Після цього при зміні зусилля на гілці холостого ходу тяговий момент електропривода регулюється відносно установки фіксованого моменту гілки холостого ходу.

Таким чином, при використанні багатомоторного стрічкового конвеєра запропонований спосіб керування та розподілу навантажень між частотно-регульованими асинхронними електроприводами базується на регулюванні лінійної швидкості руху тягово-несучого органу з урахуванням лінійного навантаження, на фактичний момент роботи. Цим забезпечується номінальна продуктивність конвеєра, і в той же час досягається проектне значення навантаження холостої гілки за рахунок контролю моменту другого електропривода конвеєра в постійних режимах роботи. Технічним результатом винайденого та запропонованого в ході роботи способу є збільшення ресурсу роботи тягових конвеєрних елементів конвеєра за рахунок зниження надлишкових динамічних навантажень в стабільних режимах

роботи, а також забезпечення необхідної продуктивності багатомоторного конвеєра.

Висновок по розділу 4

1. На основі вимірювання струмів навантаження та розподілу їх активних складових запропоновано технічні рішення для безперебійної роботи взаємопов'язаного частотно-регульованого двох- та чотирьох двигунного електроприводу стрічкового конвеєра з урахуванням пружних властивості тягово-несучого органу, забезпечують необхідний розрахунковий поступовий натяг робочої гілки тягово-несучого органу, дозволяє досягти в процесі запуску конвеєра, що, на нашу думку, дозволяє зменшити необґрунтовану динамічну навантаження на тяговий орган.

Підвищення економічної ефективності використання багатоприводного стрічкового конвеєра із запропонованих технічних рішень визначається наступними причинами:

- зі зменшенням динамічних навантажень на робочий орган конвеєра і збільшенням терміну його служби;
- за рахунок зменшення витрат на заміну та ремонт робочого органу.

2. Таким чином, запропонований спосіб керування та розподілу навантажень між частотно-регульованими асинхронними електроприводами при використанні багатомоторного стрічкового конвеєра базується на регулюванні лінійної швидкості руху тягово-несучого органу з урахуванням лінійного навантаження на фактичний момент роботи.

Цим забезпечується номінальна продуктивність конвеєра, і в той же час шляхом контролю моменту електропривода конвеєра в постійних режимах роботи досягається розрахункове значення навантаження вільної гілки.

ВИСНОВКИ

Запропонований у роботі спосіб плавного підключення багатодвигунного електроприводу стрічкового конвеєра базується на вимірюванні струмів навантаження та їх розділення активних складових, а також керуванні приводами в режимі пуску. Суть підходу полягає в наступному алгоритмі, тобто запуск електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра забезпечує найменшу стартову частоту обертання в початковий момент процесу, далі, якщо активна складова струму навантаження керуючого електроприводу інтенсивно зростає, головний і керований бортові передачі відповідно до завдання збільшать швидкість обертання до номінального значення.

Таким чином, запропоновані математичні моделі багатомоторного стрічкового конвеєра в пускових режимах дозволяють отримати заданий режим пуску конвеєра шляхом плавного розтягування робочої гілки для зменшення динамічних перевантажень тягово-несучого органу з урахуванням пружних властивостей тягового тіла. На основі отриманої математичної моделі створено модель роботи системи керування частотно-регульованим електроприводом багатомоторного конвеєра в програмному середовищі MATLAB Simulink. Одночасно було проведено процес моделювання для трьох різних варіантів конфігурації ПІ-контролера системи керування електроприводом конвеєра.

Спосіб керування та розподілу навантаження між частотно-регульованими електроприводами заснований на вимірюванні навантажень керуючого та керованого електроприводів конвеєра, функції вимірюваних навантажень та регулювання швидкості основного електроприводу, а також корекція керуючого сигналу електроприводу керованої кромки. Суть підходу полягає у вимірюванні зусиль лінійного навантаження робочої гілки та вільної гілки тягового конвеєра в сталих режимах роботи, температури навколишнього середовища та кута підйому конвеєра. Далі відповідно до

зміни лінійного навантаження головним електроприводом регулюється швидкість руху робочої гілки, а заданий крутний момент вільної гілки змінюється з урахуванням температури навколишнього середовища і кута підйому конвеєра. Після цього при зміні сили на вільній гілці тяговий момент електропривода регулюється по відношенню до установки фіксованого моменту вільної гілки.

Досліджено особливості пускового та стабілізованого режимів роботи багатомоторних стрічкових конвеєрів.

Орієнтовні технічні результати запропонованих рішень:

а) за способом плавного пуску – збільшення ресурсу роботи тягово-несучого органу стрічкового конвеєра за рахунок зниження динамічних навантажень на пускових режимах;

б) за способом управління навантаженням і розподілу між приводами - для зниження непродуктивних витрат електроенергії на холостий хід, а також для збільшення ресурсу тягово-несучого органу багатомоторного стрічкового конвеєра за рахунок зменшення необґрунтованих динамічних навантажень на непрацюючу гілку.

ЛІТЕРАТУРИ

1. Конвеєр — революційний спосіб автоматизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://viplast.com.ua>
2. Комплекс автоматизованого керування конвеєрами [Електронний ресурс].
3. Схеми автоматизації механізмів безперервного транспорту. Школа для електрика: пристрій, проектування, монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт електрообладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bezremonta.net>
4. Маренич К.М. Автоматизований електропривод машин і установок шахт і рудників / Маренич К.М., Товстик Ю.В., Турупалов В.В., Василюк С.В., Лізан І.Я. // Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – 2015. – 141-149 с.
5. Yusong Pang. Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control / Yusong Pang. – Technische Universiteit Delft, 2010. – 196 с.
6. Bart Zeeuw van der Laan. System reliability analysis of belt conveyor / Bart Zeeuw van der Laan. – Transportation Engineering, 2016. – 73 с.
7. Принципи побудови систем підпорядкованого регулювання в електроприводах [Електронний ресурс].
8. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.
9. Розробка і реалізація ПД-регуляторів в середовищі Matlab [Електронний ресурс].
10. Печеник М.В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В.Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ“ХПІ”, Серія : Проблеми

- автоматизованого електропривода теорія і практика. – Харків : – 2013. – № 36. – с.65-72
11. Автоматизація виробництва / Програмовані логічні контролери / Контролери для малих систем автоматизації / ПЛК150. Програмований логічний контролер. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://owen.ua>
 12. Каталог продукції / Програмне забезпечення, пристрої зв'язку / Середовище програмування CODESYS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://owen.ua>
 13. Грідін С. В. Керування блоком ПІД регулятор в середовищі CoDeSyS. // Блог Грідіна Семена Робототехніка та автоматизація - це наука про майбутнє. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kip-world.ua>
 14. Sugumaran V., Ramachandran K.I. Effect of number of features on classification of roller bearing faults using SVM and PSVM // Expert Syst. Appl. – 2011. - №38. – P. 4088–4096.
 15. Gupta A. Safety measures for reduction of failure safety measures for reduction of failure in belt conveyor for thermal power plant // Inter. J. Mech. Eng. Robot. Res. – 2013. - №2. – P. 214–220.
 16. Grincova A., Andrejiova M., Marasova D. Measuring and comparative analysis of the interaction between the dynamic impact loading of the conveyor belt and the supporting system // Measurement. – 2015. – Vol. 59. – P. 184-191.
 17. Reicks A.V. Conveyer Models as Quantitative Platforms for Belt Conveyor Energy Options // Bulk Solids Europe. – 2012. – Vol.48. – P. 1-10.
 18. Бурштинський М. В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги: Навчальний посібник / М. В. Бурштинський, Л. С. Копчак, М. В. Хай. - Львів : Львівська політехніка, 2007. - 171 с.
 19. В.А. Гольфстрем, А.С. Іваненко Довідник енергетика промислових підприємств . – К.: "Техніка", 1997. – 469 с.

20. Волотковський С. А., Ємец В. І., Козло В. К. Типовий електропривод промислових установок. – К.: Вища школа, 1983 – 312 с.
21. Довідник по автоматизованому електроприводу Під ред. В. А. Єлісеєєва і А. В. Шинянского – М.: Єнергоатомиздат, 1983 – 616 с.
22. Електромеханічні системи автоматизації та електроприводи. За ред. М.Г. Поповича та О. Ю. Лозинського. Навчальний посібник. – К.: Либідь, 2005.– 678 с.
23. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
24. Паранчук Я.С. Проектування і розрахунок режимів та характеристик електромеханічних систем та їх елементів: Навчальний посібник. / Я.С.Паранчук, Л.Ф. Карпюк, А.В. Маляр, В.О. Чумакевич, – Львів: АСВ, 2011.
25. Плахтина О.Г. та ін. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2002. - 228 с.
26. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
27. Правила улаштування електроустановок, вид. 3-тє, перероб. і доп. – Київ: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
28. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB, Sim
29. Power Systems та Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008 – 288 с.
30. Гаєв Є.О., Нестеренко Б.М. Універсальний математичний пакет MATLAB і типові задачі обчислювальної математики. Навчальний посібник.– К.: НАУ, 2004. – 176 с.

Додатки

1 ELECTRIC CONVEYOR BELT DRIVES.

OVERVIEW OF THE PROBLEM AND EXPERIENCE OF USE

1.1 Experience in using belt conveyors

Belt conveyors are used in mining, machine-building, metallurgical, chemical, energy and other industries for transporting various bulk cargoes in straight and inclined directions [1,2].

A belt conveyor is an endless flexible belt that wraps around a drive drum and a tension drum, and in the span between them rests on a row of roller supports of the working branch, and the lower supports are straight rollers installed at a certain interval on the frame (Figure 1.1).

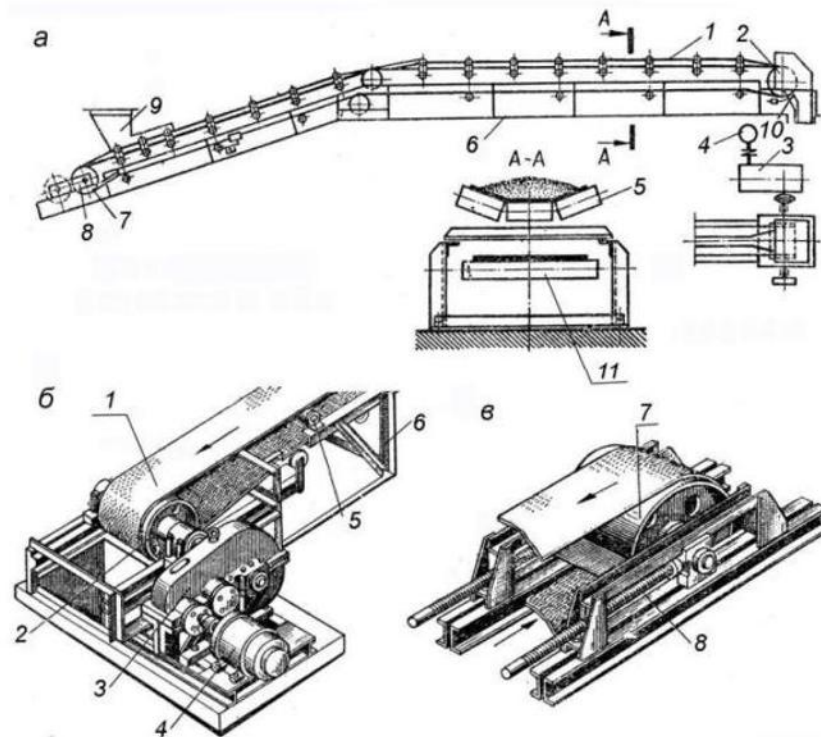


Figure 1.1 – General view and main components of a belt conveyor
 1 - belt; 2 - drive; 3 - gearbox; 4 - electric motor; 5, 11 - roller supports ;
 6 – frame; 7 – tension drum; 8 – tensioning device;
 9 - loading device; 10 - cleaning device

Roller supports can be of different types: on general-purpose conveyors, roller supports with rigid axle mounting are used, they can be one-, two-, three-, five-roller (Fig . 1.2). Single-roller (Fig . 1.2 a) are used for transporting piece goods, and two-, three-, five-roller (Fig . 1.2 b, d, c) for bulk goods are the most common three-roller supports. In the mining industry, suspended roller supports are used (Fig . 1.2 e), which are attached to tensioned steel ropes; this design reduces dynamic loads when colliding with a large-piece load, but their designs are complex, and the hinges are prone to loss of mobility. In these roller supports , the resistance to belt movement is higher than on supports with a rigid axis. There are suspended supports with a flexible axis (Fig. 1.2 e) made of steel cable, their design has similar disadvantages to suspended roller supports .

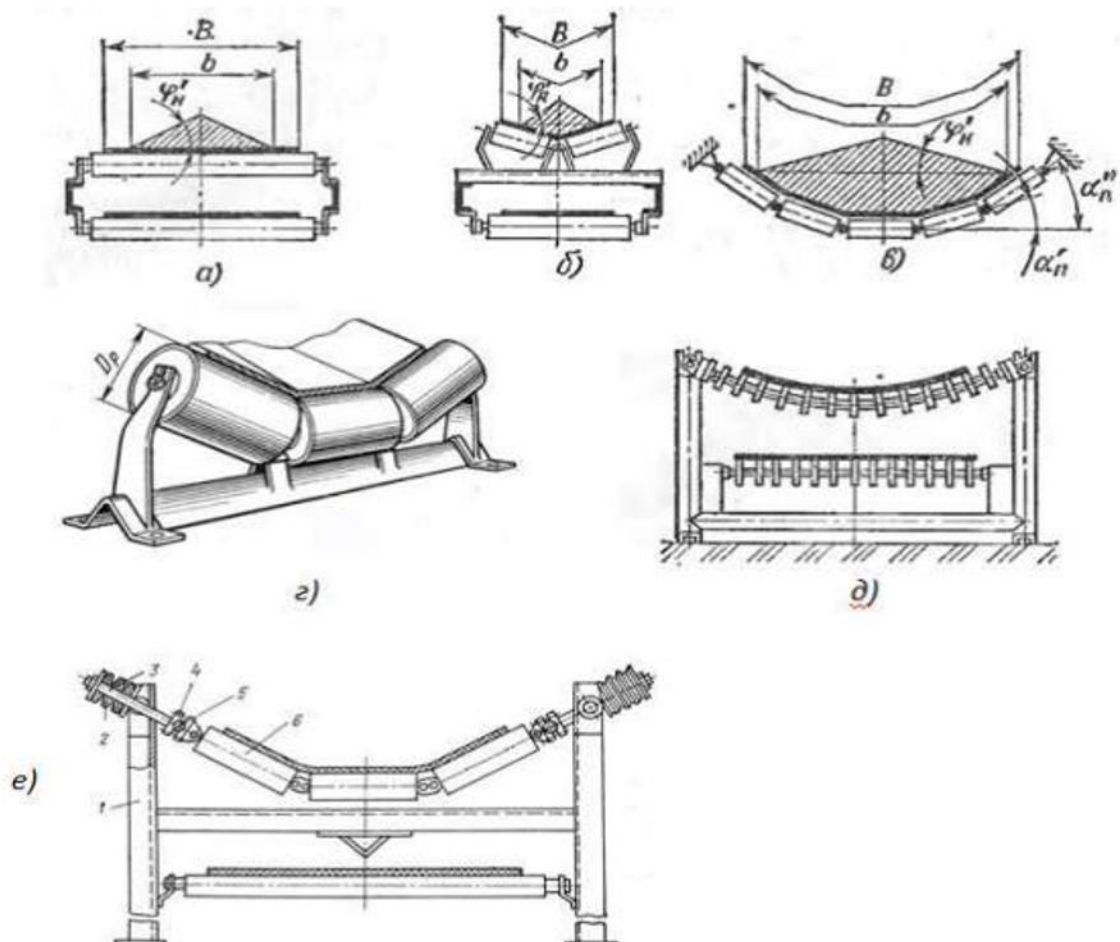


Figure 1.2 – Types of belt conveyor supports

Belt conveyors are conventionally divided into three groups: general purpose; special and conveyors designed for underground and open-pit mining. Belt conveyors can be stationary and mobile, they are designed for transportation in horizontal and inclined (up to 24°) directions of piece and packaged cargo, which is ensured by the possibility of arranging drives on the right and left, single and double drives performances .

According to the profile of the route, belt conveyors are classified into horizontal (Fig. 1.3, a), inclined (Fig. 1.3, b) and combined (Fig. 1.3, c).

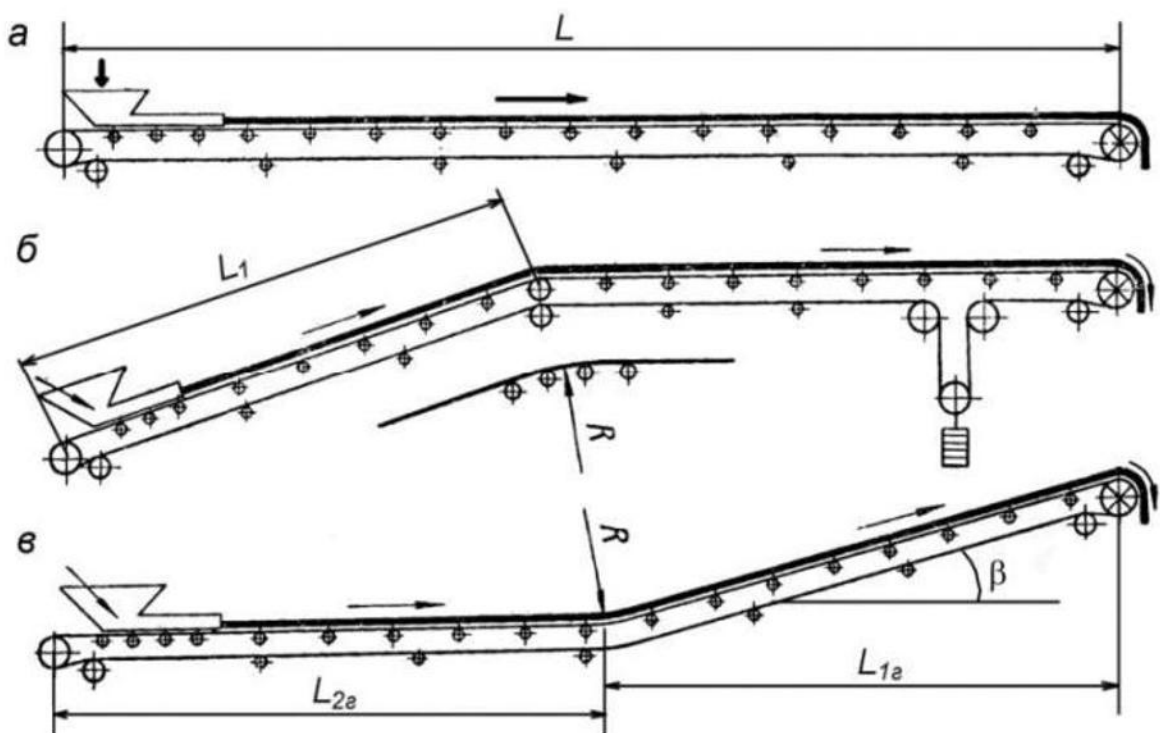


Figure 1.3 – Belt conveyor route diagrams

L – transportation distance; L_1 - Length of the inclined section of the conveyor;

L_{1g} - Length of the horizontal projection of the inclined section;

L_{2g} - length of the horizontal section of the conveyor; H – height of the cargo lift; β

– the slope angle of the track (sloping section for a difficult track)

In the direction of movement of the cargo, belt conveyors are lifting with an upward slope and with a downward slope. According to the shape of the belt and the placement of the cargo, conveyors can be with a flat and grooved belt, as well

as with an upper (main type) and lower or both supporting branches. According to the angle of inclination of the route, conveyors are divided into inclined, steeply inclined (more than 22°) and vertical [7 – 9].

With relatively low maintenance and repair costs, the service life of belt conveyors can be 25-35 years, and they also have the following advantages compared to other conveyors [10]:

7. A wide range of transported cargo.
8. Lower costs, especially with high productivity, per ton (respectively per 1 m^3) of transported cargo.
9. Long transportation distances with a minimum number of transshipment points, which allows for better protection of the cargo.
10. Possibility of using loading and unloading devices at any location of the conveyor installation.
11. Possibility of weighing cargo, drying, sorting, cooling during transportation. Possibility of dispatching control of the entire conveyor line.
12. Unification of conveyor equipment.

However, there are also disadvantages, these are the complexity of transporting abrasive large-sized loads and the need for preliminary crushing, which results in intensive wear of flexible load-bearing bodies;

The close relationship of conveyors with the technological process or cycle for the enterprise determines their high responsibility. It should be noted that, as a rule, conveyors for transport and technological purposes do not have redundant systems. Therefore, in the general transport system, the failure of at least one conveyor causes disruption of the entire network or enterprise.

Most belt conveyors in the mining industry (mining coal, gravel, limestone, various ore rocks) operate in extreme conditions of temperature drops in winter, high humidity and dustiness of the environment in summer, while these factors affect different conveyor components differently. So, on a three-roller support with rollers of equal lengths, the load on the middle roller is about 70% of the total linear load of the cargo, belt and weight of the rotating parts of the roller support. The

side rollers account for about 30%, hence the load on the bearings of the middle roller is 2.5 times greater than the bearings of the side rollers [11]. Incorrect choice of the design of the roller supports leads to premature failure of the belt and rollers. Increasing the width of the belt leads to an increase in the load on the roller bearings, especially the horizontal support rollers, which leads to an increase in the number of failures and a decrease in the overall reliability of the belt conveyor .

Analyzing the reliability of belt conveyor assemblies at various mines, gravel, limestone and other enterprises, it was found that such conveyor assemblies as conveyor rollers and conveyor belt have the lowest resource, while requiring the greatest labor and financial costs. According to statistics, conveyor rollers account for up to 40% of all repair and maintenance costs and up to 30% of the cost of the entire conveyor. The resource of conveyor rollers at mining enterprises in loading units is from 0.5 to 1 year, in the case of a conveyor from 0.7 to 2.5 years, averaging 1.7 years. The estimated service life of the middle support roller as the most loaded on average is from 25 to 35 thousand hours, which exceeds the actual service life several times. On average, during its service life, each roller in a conveyor is replaced 3 to 5 times, i.e. the need for rollers is constant and increases with the length of the conveyors [3].

Thus, support rollers are one of the mass components of a belt conveyor. Rollers are one of the most important components that determine the performance and reliability of a belt conveyor. Conveyor rollers are used not only in belt conveyors, they are used in roller conveyors for transporting piece and packaged goods, where the cost of rollers is 50-80% of the cost of continuous transport machines, in inter- conveyor transfer devices that have a roller deck, are also widely used in various types of storage elevators.

Thus, the experience of using belt conveyors at mining enterprises in Ukraine and the experience of using this type of conveyors abroad shows that belt conveyors are designed to transport a wide range of cargo (coal, hard rocks, agglomerates, rocks and ores) along curved tracks characterized by large slopes due to design features,

and have shown that they can be successfully used in various industries in geological and industrial conditions.

The advantages of belt conveyor structures include: the use of metal casing of the required strength, which allows transporting large-sized and heavy materials, including in conditions of high ambient temperature; the use of high-strength traction chains, which allow realizing significant traction forces required for long delivery distances (up to 2 km) and significant (up to 70°) elevation; the ability to transport cargo along routes of different radii; ensuring direct loading of pallets from bunkers without the use of feeders [3]. At the same time, the disadvantages of conveyor structures include significant metal consumption and high production cost.

The constant increase in the depth of quarries used in open-pit mining, the increase in their productivity in terms of ore mass, and the cyclical technology with road and rail transport lead to a deterioration in technical and economic performance. The cost of mining is increasing due to the increase in cost due to the use of cyclical modes of transport.

Operating experience shows that for every 100 m of pit depth, the operating costs of a vehicle with a carrying capacity of 30-40 tons increase by an average of 1.5 times [3]. The use of rail transport in many deep quarries is excluded due to the fact that rolling stock cannot be introduced into the relatively small sizes of ore bodies and parameters of the quarry.

Modern belt conveyors in the next ten years are able to handle the cargo flows of the largest mines and quarries. However, belt conveyors cannot tilt on a planned highway with a curved route, as well as at large angles, which is typical for quarries and mines. The ability to increase the transportation angle improves the technical and economic performance of mineral extraction in open-pit mining, since it is possible to change the geometry of sections, which leads to a decrease in non-production costs due to In this regard, in open-pit mining, the use of cyclic flow technologies using a belt conveyor with the constructive possibility of working in large-angle workings is undoubtedly relevant. High strength and reliability of the working body of belt conveyors with a chain traction device, the ability to transport

ore mass along steeply sloping workings, and the ease of extending the length of the conveyor effectively distinguish it from other types of conveyors. It is clear that main tilting conveyors equipped with a modern multi-system electric drive are able to provide sufficiently high productivity to meet the production requirements of the use of conveyor transport units.

1.2 Review and analysis of scientific research in the field of development of electric drives for belt conveyors

Much scientific research has been conducted in the field of creating various drawings of electric drives for conveyor systems and creating control systems, including many works for belt conveyors.

The results of the study of a two-motor electric drive system for conveyors for transporting bulk materials are given in [16]. In particular, the author developed a method for multi-channel control of the conveyor electric drive, as well as the structure of the synchronization system for the actuators of a multi-motor electric drive, which is characterized by discrete switching during startup and in stable mode. In addition, the paper analyzed the negative impacts on the actuators of the conveyor and identified ways to reduce them. The proposed recommendations allowed to reduce the breakdown of the mechanism and the expensive belt, which increased the service life of both the transport element and the design of the drive station for bulk materials.

In [17], an algorithm for a multi-engine control system was developed. frequency -controlled electric drive of the conveyor with correction of task signals taking into account the random nature of the load flow, which allows saving resources of the conveyor installation due to redistribution and equalization of loads of the conveyor motor. The author established the dependence of the change in the electromagnetic torque of the electric motor on the dynamic loads on the electric drive shaft of the conveyor in the starting mode and operating modes, which allows substantiating the necessary algorithm of the multiple - motor electric drive control

system, which ensures energy-efficient operation of the entire transport unit. The control algorithms of the multi-motor electric drive have been tested on microprocessor devices, and the software of the programmable controller has been developed for it.

The system is based on an asynchronous electric drive, the machines can cope with the stack loads provided by double feed conveyors, and in this system the engine can operate at both high and low synchronous speeds. Therefore, there is no need to increase the specified power of the electric drive if a short-term increase in the shaft speed to a synchronous value is required. In metallurgical production, the installation of a system based on conveyors for loading the charge into the sintering belt has shown the possibility of compensating for dynamic changes that affect the uniformity of the material flow over time. At the same time, the cost is reduced and the quality of the produced sinter increases [18].

Suggestions regarding the study of an asynchronous electric drive for mountain transport and subway escalators with transformer -thyristor control devices, they consist mainly in the created scheme of an asynchronous electric drive of transformer -thyristor control devices to increase the efficiency of asynchronous motors.

It is known that the productivity of a conveyor system can be increased by increasing the mass of the load per unit length of the traction chain or increasing the speed of transportation. In this case, other things being equal, the speed is limited by the magnitude of the dynamic loads on the traction chains and other elements of the conveyor. The low speed of movement used in chain conveyors, usually no more than 1.2 m/s, creates the most unfavorable operating conditions. High loads on the line, high static voltage in the chain lead to the creation of high requirements for the metal of machines. The speed of cargo transportation is often determined by the technological process, loading and unloading conditions, conveyor design features, cargo properties, as well as the speed of information processing by the electronic control system using an automated cargo distribution and control system on a multi-motor conveyor.

In this regard, to develop appropriate mathematical models of multi-drive multi-belt conveyor, taking into account the requirements of the above-mentioned technological process and other interrelated factors, it is necessary to analyze in detail the dynamics of the electric drive of the conveyor and its stabilized operating modes.

1.3 Analysis of the work on the study of the dynamics of electric drives for belt conveyors

It is worth noting the works [2-6], where at the fundamental level the main tasks associated with the creation and dynamics of multi-system conveyors are defined and formulated. Many studies of the use of conveyor drives, conducted by many authors, are mainly associated with unstable operating modes: starting, stopping conveyors, as well as sudden stops of the traction chain. When considering dynamic models of conveyors, the mentioned authors ignore the masses of their working bodies, which to a certain extent introduces significant distortions into the physics of the processes under study. The dynamic and kinematic characteristics of its elements in the study of conveyor dynamics, while the load parameters along the length of the rod were usually taken unchanged. At the same time, different operating conditions, wear of traction chains and other elements of conveyors require changes in its dynamic characteristics.

The scientifically substantiated calculation method of multi-drive conveyor installations in the following works [3-9] allowed to solve important theoretical and practical problems of dynamics of the main belt-chain and chain conveyors and their intermediate drives. The dependence of the permissible length of the conveyor on the number of intermediate stations equipped with adjustable drives was obtained by the authors on the basis of the analysis of static forces in the traction element of multi-drive conveyors with straight and curved tracks. When equipping multi-drive chain conveyors with unregulated drives, an increase in the static moment of resistance at start-up causes an increase in the slip value and a decrease in the speed

of the electric motor, as well as a decrease in the static moment of resistance. leads to a decrease in the slip value and an increase in the speed of the engines.

In the work [3] theoretical and experimental studies of the dynamics of conveyors with a chain traction device in the established mode of operation are described. The conditions for the occurrence of horizontal vibration of the working bodies and paws of chain conveyors are considered. The author takes into account the joint action of the working body and the rod on the movement of the mechanical drive system, which changes the kinetic characteristics during use, therefore the conveyor is considered as a single electromechanical system with slowly changing parameters .

In the system of technological equipment of open-pit mines, justification and design justification of the type of conveyor for rock and complex transport routes, implementation of cyclic flow technology, creation and implementation of a methodology for the effective use of belt conveyors and calculation of design parameters, problems of their dynamics in different operating modes, [17].

In the work [18], transient modes and optimal control laws of adjustable drives in multi-drive belt conveyors are considered. The complex of scientifically substantiated rational technical solutions proposed by the author, implemented in the designs of continuous elevators for deep quarries with inclined multi-drive chain conveyors, allowed to form a new concept of developing a high-tech complex vehicle and the efficiency of their use. Measures have been developed to increase and predict the resource of chain conveyor elements used in the mining and metallurgical industry.

In [19], the influence of elastic elements on the operation of automated electric drives is considered. Estimates are given that allow determining the conditions for neglecting the effect of elasticity. The structure and methods of regulating subordinate regulation systems under the influence of elastic connections are described. The possibilities of digital implementation, adaptability and identification with elastic couplings of an electric drive are shown. Adaptive electric drives and tracking systems are considered.

In the course of research [4-5], the use of an automated electric drive for mining machines was substantiated, which allows solving the following problems: control of technological processes; effective use of power and energy of the drive and limiting its parameters to a given level; control of dynamic processes in the working bodies of mechanisms and reduction of dynamic load in steady-state and overload modes, reduction of wear of axial joints of working mechanisms due to efficient use of energy. In a number of works, special attention was paid to the problems of using a frequency- controlled electric drive for scraper conveyors. [3, 5].

The results of the development and research of systems with active limitation and damping of dynamic loads in dynamic connections [6], which have brought an applied character to the development of problems of conveyor system dynamics, are of important practical importance.

Thus, the analysis of many works on the dynamics of conveyors with a chain traction element allowed the authors to determine that the influence of rotating masses of the drive or the influence of moving masses of the working element was practically not taken into account. It is assumed that their dynamic and kinematic characteristics will remain unchanged during the use of conveyors.

1.4 Analysis of work on the study of stable modes of use of electric drives for chain conveyors

In [8], the theory, calculation method and experience of operating multi-drive chain conveyors for the mining industry were developed. In particular, the designs and components of the conveyor, statics and dynamics, and the issue of ensuring reliability of operation were consistently considered. Due to the differences in mechanical characteristics used in the intermediate drives of electric motors, it was found that even between asynchronous electric motors of the same series, the load is transferred to the next drive. In this case, the degree of uneven distribution of the overload depends on the amount of engine slippage and the amount of filling of the

fluid coupling cavity installed between the engine and the gearbox of the drive station.

In works [7-10], an approximation was used to describe dynamic processes in the traction and lifting body of multi-drive conveyors, according to which the entire mechanical system was divided into a finite number of sections, and linear At the boundary of each of them, the law of change of the deformation rate was adopted. However, the problem of compensation of elastic additional extensions of the traction and supporting body of multi-drive chain conveyors was not solved in the indicated works.

In addition, in the studies [7], for the first time, the traction chain of a conveyor was considered as a system with distributed parameters. The results of the study showed a significant influence of the dynamic characteristics of the traction element on the vibration processes, on the basis of which a method for determining dynamic forces in the traction chain was proposed, taking into account their elastic properties.

In the following work [3] it was noted that the most acceptable method of regulation, which ensures a reduction of the equalizing forces in the traction chain to minimum values, is a mixed and at the same time direct method of controlling the conveyor drives. In this case, the combination of the angles of rotation of the shafts of the drive sprockets of the drive chain is controlled and at the same time the elastic stretching of the traction lifting element is compensated in each interval with the passage of the force difference between the actual value of the thrust at the end point of the drive section and its value corresponding to a given load mode.

To reduce dynamic forces in the chain, it is recommended to divide between the drives so that each motor is loaded on its own branch. In the load distribution system between the conveyor drives, the control drive is the main electric drive loaded on the working branch. This drive is closed with frequency feedback. The task of the second drive is to maintain the current ratio. For this, current feedback of the controlling and controlled drives is introduced.

In order to reduce the load on the electric drive, it was noted that it is advisable to use parametric control systems. A dual-loop system can be used to damp dynamic

loads in a chain drive. The inner loop is the load torque control loop, and the outer loop is the motor speed control loop. Due to the need to limit the current in transient modes, it is better to use a current limiting system instead of a third control loop.

In work [8], options for solving the problem of redistribution and load balancing in a multi-motor asynchronous electric drive of mining machines were investigated and developed: a method of load distribution in a two-motor electric or generator set with an electromagnetic clutch. ; A method of load balancing in a multi-motor electric drive by regulating the voltage of the supply line was considered.

In the article [9] it was proposed to distribute the load between the main and peripheral electric drives of a divided conveyor by controlling the frequency converters that power the induction motors (AM) of the main and peripheral drives. When considering the operation of the electric drive, the frequency control law of maintaining a constant alternating current flow is adopted, the active resistance of the AC stator is taken equal to zero, and the mechanical characteristics of the load in the working area of the AM are considered.

Due to the difference in the parameters of the main and peripheral drives, their mechanical characteristics originate from the same point on the frequency axis and have different slopes on the torque axis. In this case, the distribution of loads between the drives is proportional to the stiffness of the mechanical characteristics. In order to balance the load of the main and peripheral drives, it was proposed to regulate the rotation frequency of the two drives simultaneously.

As indicated in the following work [8], the assessment of the unevenness of the load from static asymmetry and dynamic influences is the ratio of the moments of the main and peripheral drives of the conveyor: from the difference in electrical parameters of asynchronous motors and the network to 1.42; with different gear ratios of gearboxes - up to 1.44; when the pitch circle of the stars is different - up to 1.49; uneven elongation of the chain - up to 2.1. The author proposed such a control system for electric drives of the conveyor, which ensures equalization of the loads of the main and final drives using a frequency -controlled electric drive. The control

system includes sensors that determine different values of torques, a load balancing controller and a logic part.

In the following work [8] it was noted that the most acceptable way to improve the dynamics of electromechanical systems, namely scraper conveyors, is to control their dynamic state. This problem is solved by using a frequency -controlled electric drive on conveyors, which provides the following opportunities: to sharply reduce the failure of electric motors during the translational movement of a loaded conveyor; to eliminate the occurrence of starting currents of electric motors, which prevents a decrease in the supply voltage; to minimize the breakage of the conveyor traction chains; to establish the necessary substitution coefficient for both mined coal and transported cargo.

Analysis of the conducted research on the problem of load distribution between electric drives of chain conveyors allowed to identify the shortcomings of the used control systems for electric drives of conveyors. This allows to ensure the required productivity of a multi-motor multi-belt conveyor, as well as to control the dynamic state of the free branch of its traction-bearing body.

1.5 Proving the relevance of the research and defining the main objectives

Belt conveyors are complex mining and geological equipment for transporting a wide range of cargoes (coal, limestone, agglomerates, rocky rocks and ores). Conveyor designs characterized by large slopes due to design features have shown that they can be successfully used in various industries in production conditions.

The advantages of belt conveyor designs include:

- use of a metal frame of the required strength, which allows transporting large-sized and heavy materials, including in conditions of high ambient temperature;

- the use of high-strength traction chains, which allows to realize the necessary significant traction forces over long delivery distances of up to 2 km and significant up to 70° elevation;
- the possibility of transporting goods along complex routes with a small radius;
- ensuring direct loading of litter trays from bunkers without the use of feeders.

At the same time, the disadvantages of belt conveyor structures include significant metal consumption and high production cost.

From a technological point of view, the main area of application of belt conveyors in our country is the mining and metallurgical industry and, first of all, open-pit mining.

2. With the continuous increase in the depth of open-pit mines and the need to increase their productivity in terms of ore mass, cyclic technology with road and rail transport leads to a deterioration in technical and economic performance. The cost of mineral extraction increases due to the increase in the cost of using cyclic modes of transport.

Operating experience shows that for every 100 m of pit depth, the cost of using a vehicle with a carrying capacity of 30-40 tons increases by an average of 1.5 times. The use of rail transport in many deep quarries is excluded due to the fact that rolling stock cannot be introduced into the relatively small sizes of ore bodies and parameters of the quarry.

Modern belt conveyors are capable of handling the cargo flows of the largest mines and quarries in the next decade. However, belt conveyors cannot operate on a planned highway with a curved trajectory, and they cannot operate on inclined roads at large angles, which is typical for quarries. The possibility of increasing the transportation angle improves the technical and economic indicators of mineral extraction in open-pit mining, since it is possible not to change the geometry of the workings, which leads to a decrease in non-production costs due to a decrease in the volume of mining operations.

3. In this regard, in open-pit mining, the use of cyclic flow technologies using belt conveyor transport with the constructive possibility of working in corner excavations of quarries is definitely relevant. The high strength and reliability of the working body of belt conveyors with a chain drive, the possibility of transporting ore mass along solid slopes and excavations, and the ease of extending the length of the conveyor effectively distinguish it from other types of conveyors.

In addition, technological schemes using belt conveyors are more economical than conveyors with a belt traction and lifting device. This is due to the need to install additional crushing complexes when using belt conveyors, as well as additional loading points associated with the use of these conveyors on curved transport routes. The number of mechanisms and machines is significantly reduced when using a folding structure in the plan of belt conveyors, which greatly simplifies the technological plan of transportation and increases the reliability of the entire complex.

An important advantage of belt conveyors in terms of throughput is the ability to transport a large part of the rock mass in one rail without overloading points with low resistance values to the movement of the load-bearing body along an inclined track. As noted above, another technological feature of belt conveyors is that they can be used with a complex track with a radius of 20 m and a vertical rise of up to 30° .

9. When using long shaft belt conveyors (from 1000 m to 6000 m long), designs are used according to a multi-drive scheme. In this case, ensuring uninterrupted operation of a multi-motor chain conveyor is an important practical task, and controlling and ensuring the operable static and dynamic state of the main belt conveyor design, which is used in difficult mining and geological conditions, is undoubtedly important. Due to the large number of intermediate drives in the belt conveyor, in the scheme of transporting ore mass without overload, it is necessary to solve the problem of automatic distribution of the total load between its electric drives.

The experience of operating multi-drive chain conveyors has been studied, and high efficiency of their use is ensured by observing the following conditions: it has been proven that the total conveyor load between electric drives is provided by means of automatic distribution and the system, the speed of movement of the traction and carrier layer is regulated, balancing forces in the traction circuit of the conveyor are removed, and a number of other factors are taken into account.

10. The operation of a long multi-drive conveyor is a very difficult task, since this process is characterized by excessive slack in the traction element. In particular, the operating conditions of a belt conveyor are unfavorable for the following reasons - the presence of hanging parts of the lining, as a result of which the rigidity of the working element, its tensile function and the load on it are reduced.

It is known that chain conveyors have kinematic gaps between individual links of the mechanism and weak traction chains. The presence of weak, holes, as well as elastic properties of the traction-bearing body causes significant mechanical loads on the conveyor parts and vibrations of the traction-bearing body when starting electric drives. Often these loads reach such high values that some part of the conveyor fails. In this case, the processes occurring are very complex and unstable. It should be noted that reducing dynamic loads on the drive elements and the traction carrier of the chain conveyor in practice can be achieved by reducing the kinematic gap of the mechanism and the initial starting torque of the electric drive.

The initial value of the specified kinematic clearance is determined by the manufacturing technology of the conveyor elements and accordingly increases with increasing service life due to wear. In this regard, the most effective way to reduce mechanical loads is to artificially reduce the resistance moment to a small value when starting the engine. Such an engine moment is called the moment of preliminary soft start. Only the kinematic clearance and sagging of the conveyor drive chain are taken into account with the preliminary torque during connection.

For electric drives, including unregulated asynchronous electric drives of conveyors, the most severe starting modes are characterized by large starting currents, which are several times higher than the nominal value, and fluctuations in

the starting torque. On the one hand, this causes overheating of the windings of the electric motor and a decrease in its service life, and on the other hand, it leads to overloading of the gearbox and the traction working element of the chain. Large starting currents also have a negative effect on electrical networks.

11. Analysis of work in the field of multi-drive conveyor systems showed that in the process of their use in the traction-bearing body, in addition to the calculated forces (tension, static and dynamic components of the resistance forces of movement), additional emerging balancing forces are added.

The main reasons for their appearance are: change in the conveyor load mode, change in the values of the geometric parameters of the drive parts during operation, the influence of external climatic conditions on the value of the coefficient of the main resistance. In addition, in addition to the main factors, there may be applications that manifest themselves in certain operating modes during the operation of the electric drive system. These are the lack of the same pitch of the traction chain links, static error of the system for regulating the frequency of rotation of the rotors of the leading and subordinate electric drives.

During the operation of chain conveyors, emergency situations may arise associated with an increase in the pitch of the traction chain joints, the intensity of wear of moving parts, in connection with which shock loads arise in the traction element and cause failure of individual elements of the conveyor. A pulsed increase in currents in the power parts of the electric drive leads to overheating of the electric motor. When a certain limit increase in the pitch of the traction element is reached due to a significant decrease in the safety margin of the chain transmission, uneven movement or failure of the clutch of the chain joints with sprockets and cams of intermediate gears often leads to failures in the use of the traction-bearing element of the conveyor.

12. The prospect of using a regulated DC electric drive for electric drives has been studied in many specialized works, but further dissemination of the technology using this system has not been possible due to the complexity of

organizing mass production of explosion-proof DC electric motors in Ukraine. conveyor machines for the mining and coal industry.

Progress achieved through the development of power semiconductor technology, the creation of high-quality power and frequency converters using pulse-width modulation, the introduction of high-speed and high-bit industrial controllers, and the production of alternating current for belt conveyors based on asynchronous electric motors for the mining industry have allowed the use of frequency-controlled electric drives.

A promising direction for improving multi-drive belt conveyors is modern frequency control, which provides the ability to regulate the speed of the lifting mechanism, control the load distribution between drives, eliminate the balancing force in the conveyor traction scheme, take into account dynamic properties and a number of other factors.

13. Taking into account the above, the main current problems of using a frequency-controlled asynchronous electric drive in multi-drive belt conveyors are:

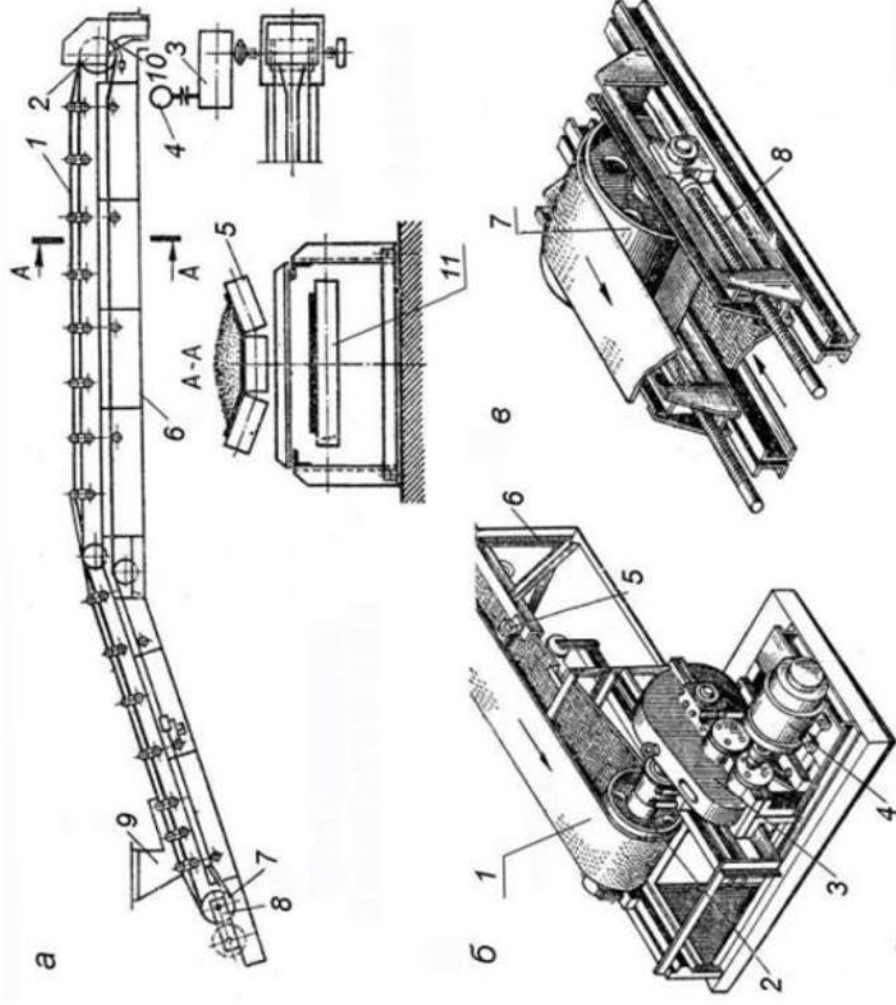
- control of the dynamic state of the traction-bearing body in starting and stabilized operating modes, taking into account elastic connections ;
- management of the belt conveyor's performance taking into account the actual loading of the working branch of the traction-bearing body in the specified operating modes;
- in the main operating modes by adjusting the switching speed of the traction-bearing element, removing ungenerated electricity consumption during idle operation.

9. In this regard, the following objectives of this study were identified.

5. Creation of mathematical and computer models of interconnected multi-engine frequency-controlled electric drive of a belt conveyor in operating modes taking into account elastic connections .
6. Development of technical solutions to ensure smooth start-up of a multi-motor electric drive of a belt conveyor, taking into account the elastic properties of the traction and supporting body.

7. Creation of mathematical and computer models of a frequency-controlled multi-motor electric drive taking into account the load on the traction and supporting body in stable operating modes.
8. Development of technical solutions for control and load distribution between frequency -controlled drives of a multi-motor multi-belt conveyor, taking into account the actual load of the traction transport unit.

Загальний вигляд та основні вузли стрічкового конвеєра 2



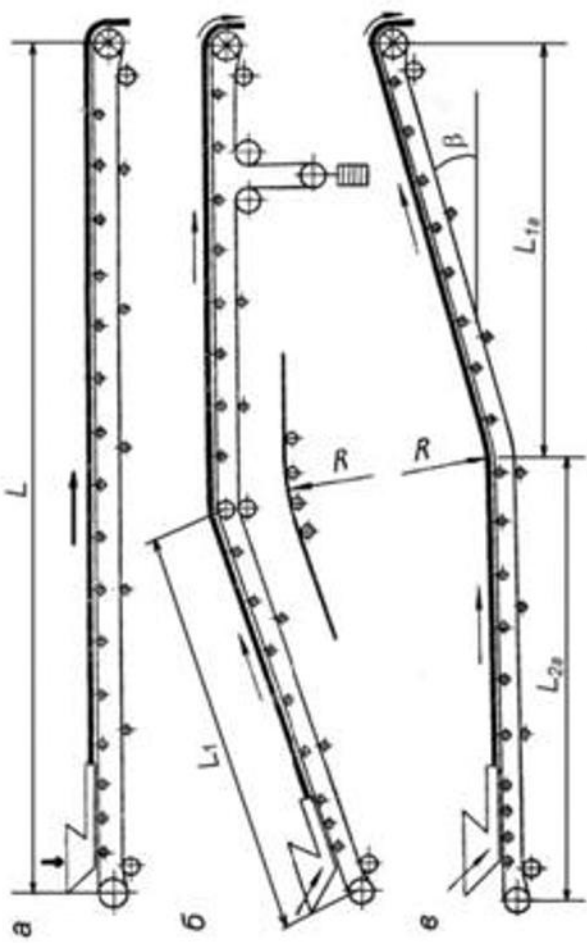
1 - стрічка; 2 - привід; 3 - редуктор; 4 - електродвигун; 5, 11 - роликкоопори;

6 - станина; 7 - натяжний барабан; 8 - натяжний пристрій; 9 - завантажувальний пристрій; 10 - очисний пристрій



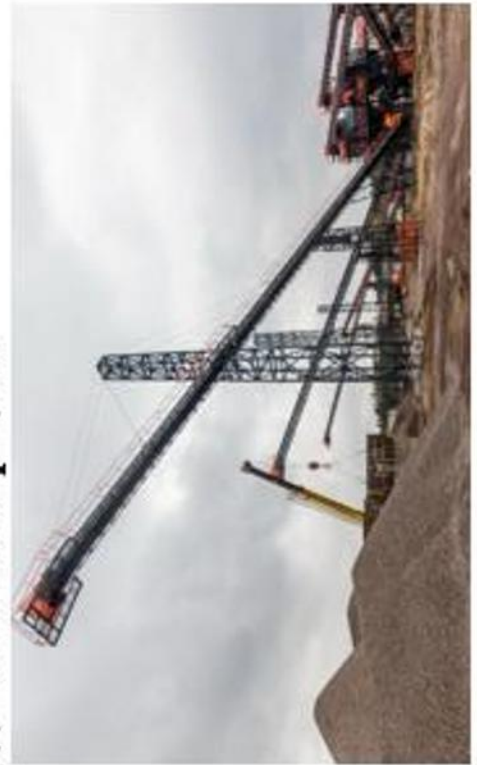
Схеми трас стрічкових конвеєрів

3

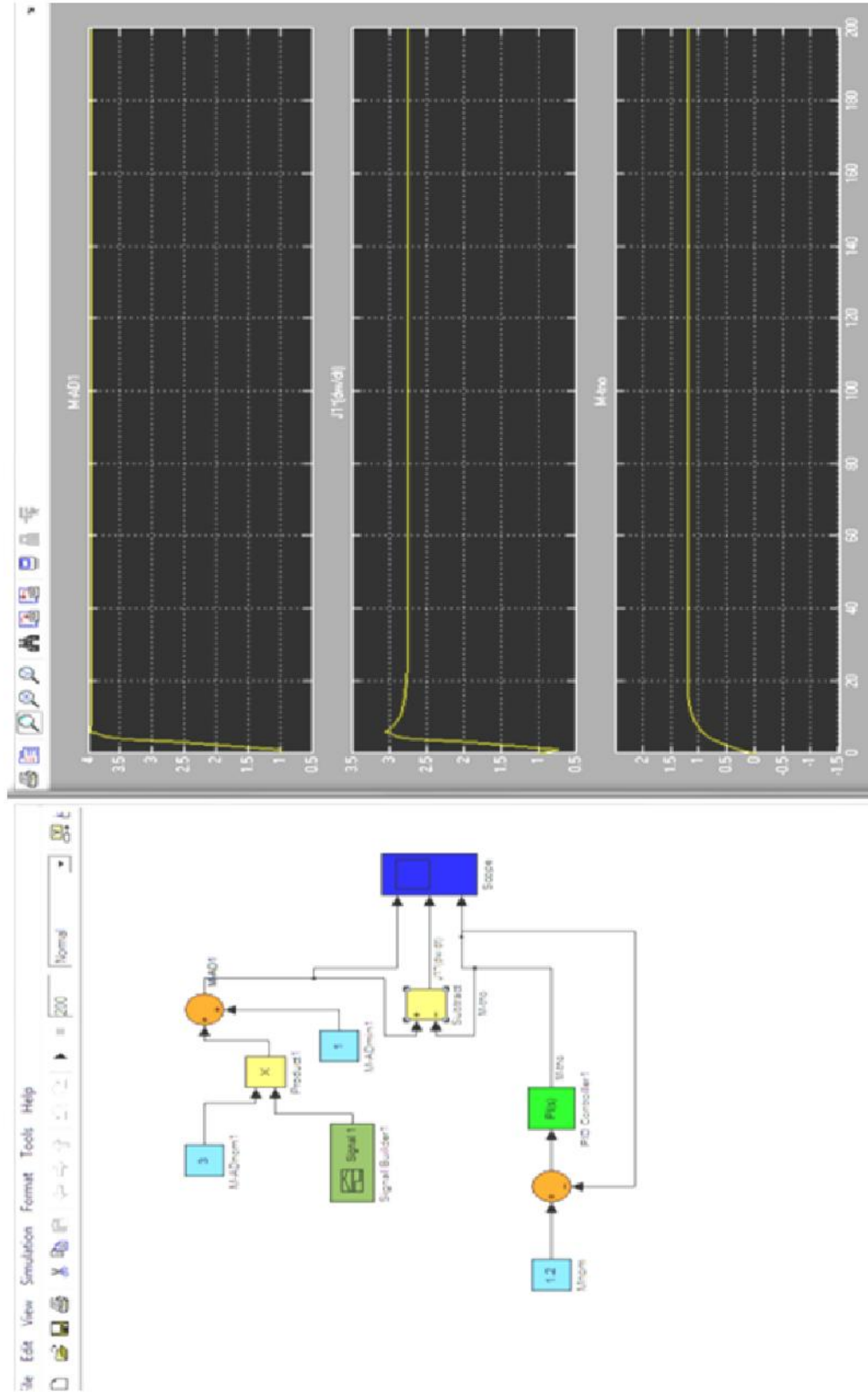


L – дальність транспортування;
 $L_{1г}$ – Довжина похилої ділянки конвеєра; $L_{2г}$ – Довжина горизонтальної проєкції похилої ділянки; $L_{2г}$ – довжина горизонтальної ділянки конвеєра; H – висота підйому вантажу; β – кут нахилу траси (похилої ділянки для складної траси)

Щебеневий завод на Житомирщині

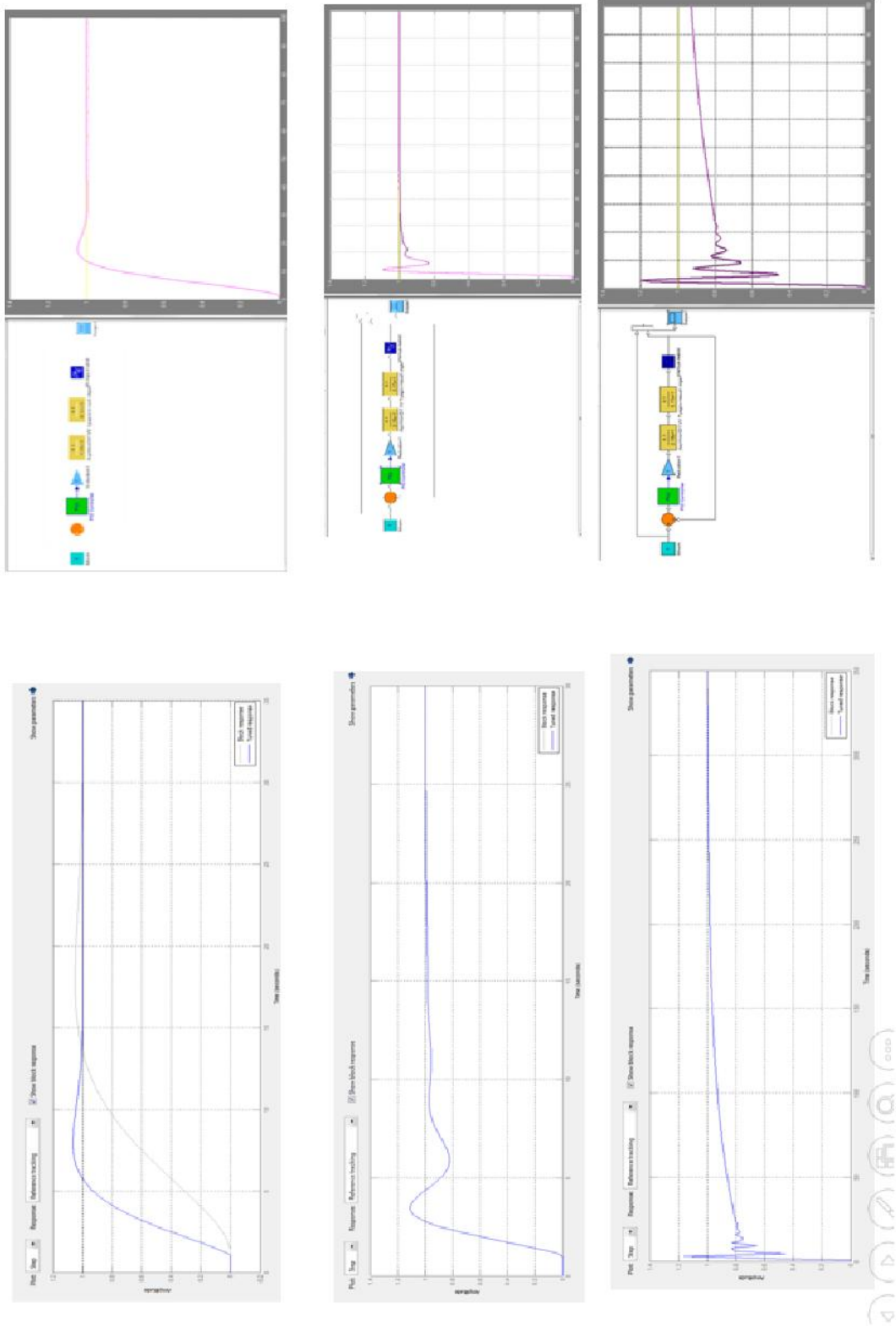


Результати моделювання процесу запуску головного електроприводу багатопровідного стрічкового конвеєру 4



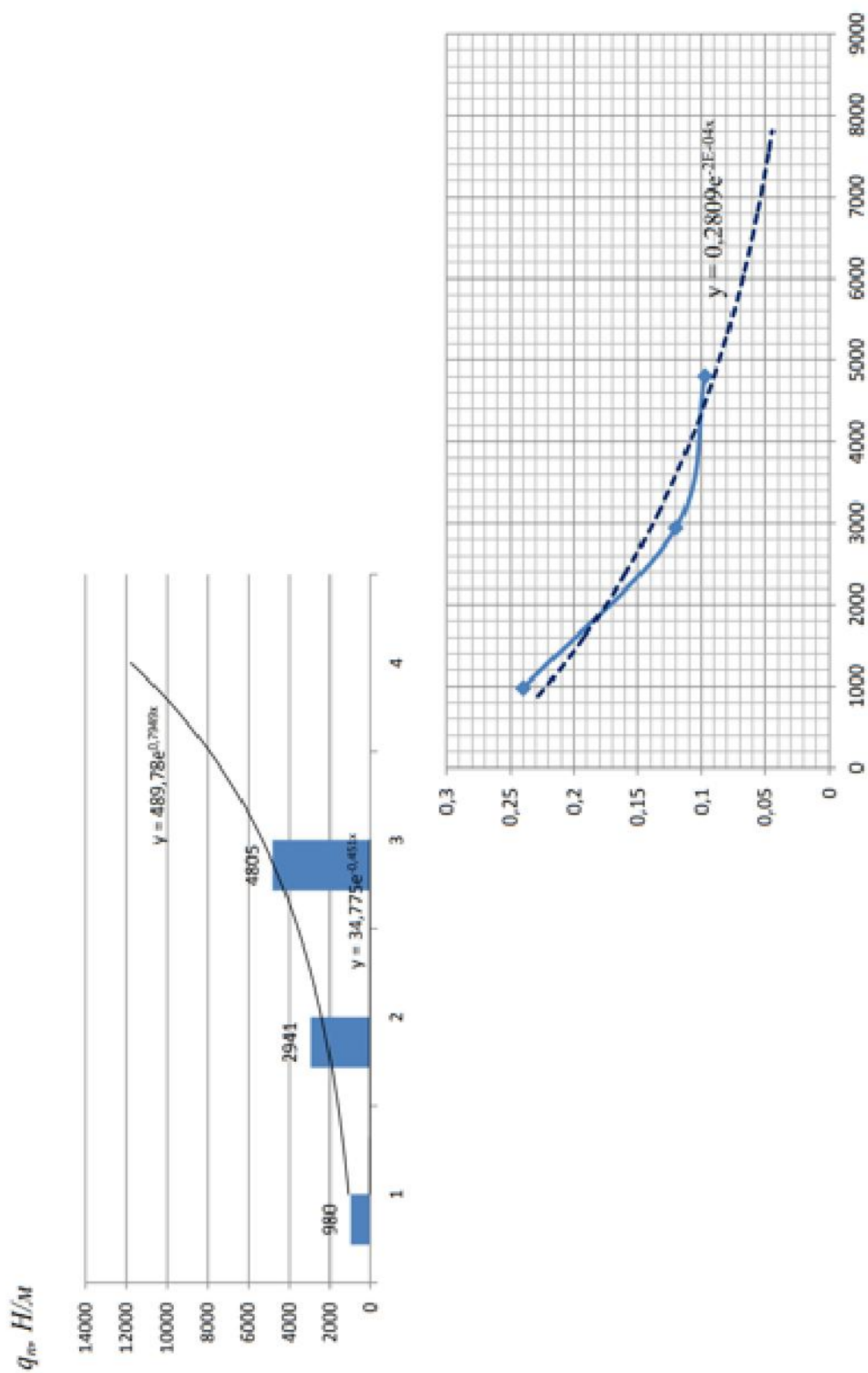
Результати моделювання динамічного процесу головного електроприводу стрічкового конвеєра в режимі пуску за допомогою програми MATLAB Simulink

5



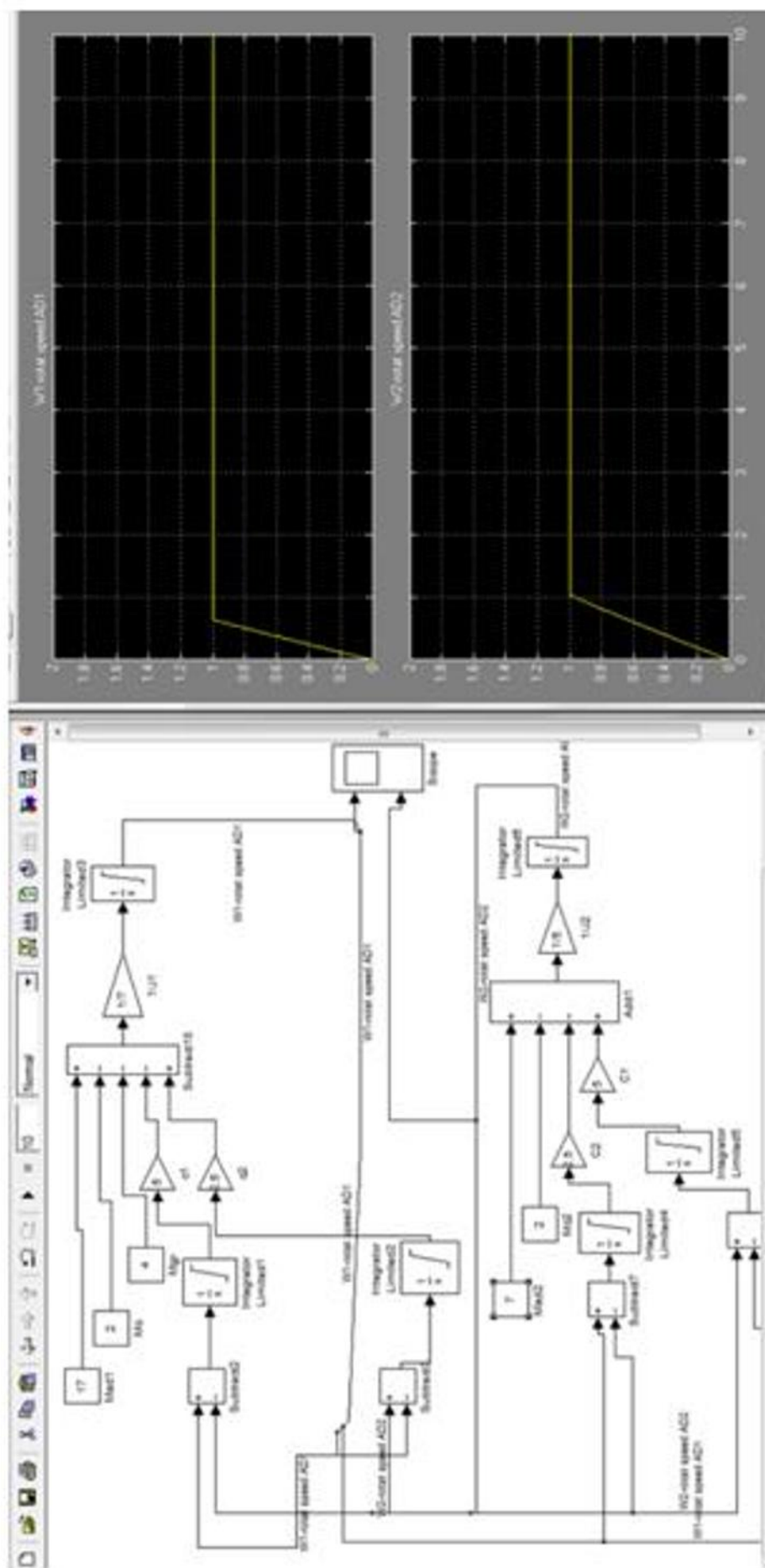
Порівняльна діаграма корисного навантаження тягово-несучого органу та питомі енерговитрати електроприводу конвеєра в установленому режимі роботи

6

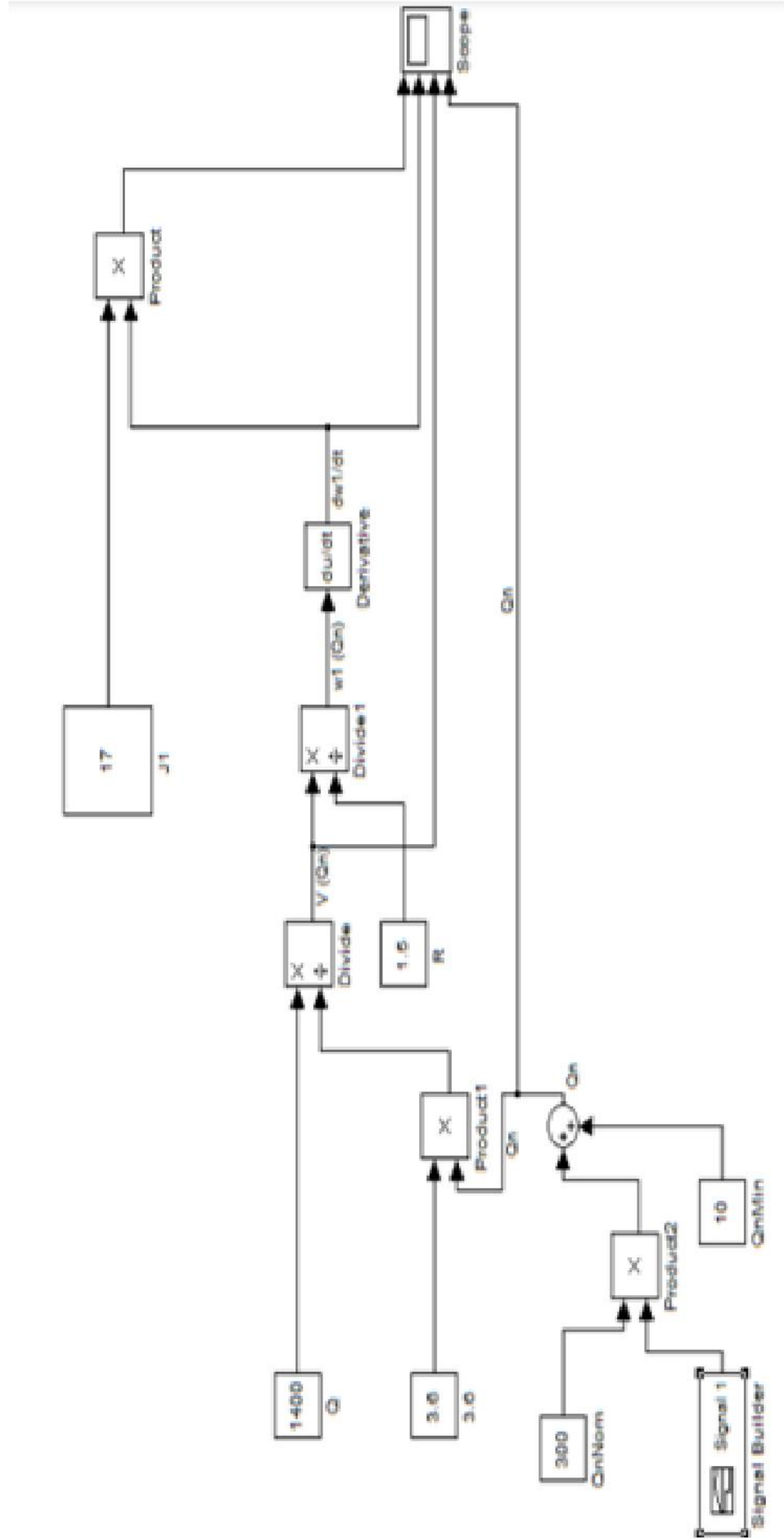


Спрощена модель кутової швидкості електропривода в стабілізованому режимі роботи конвеєра

7

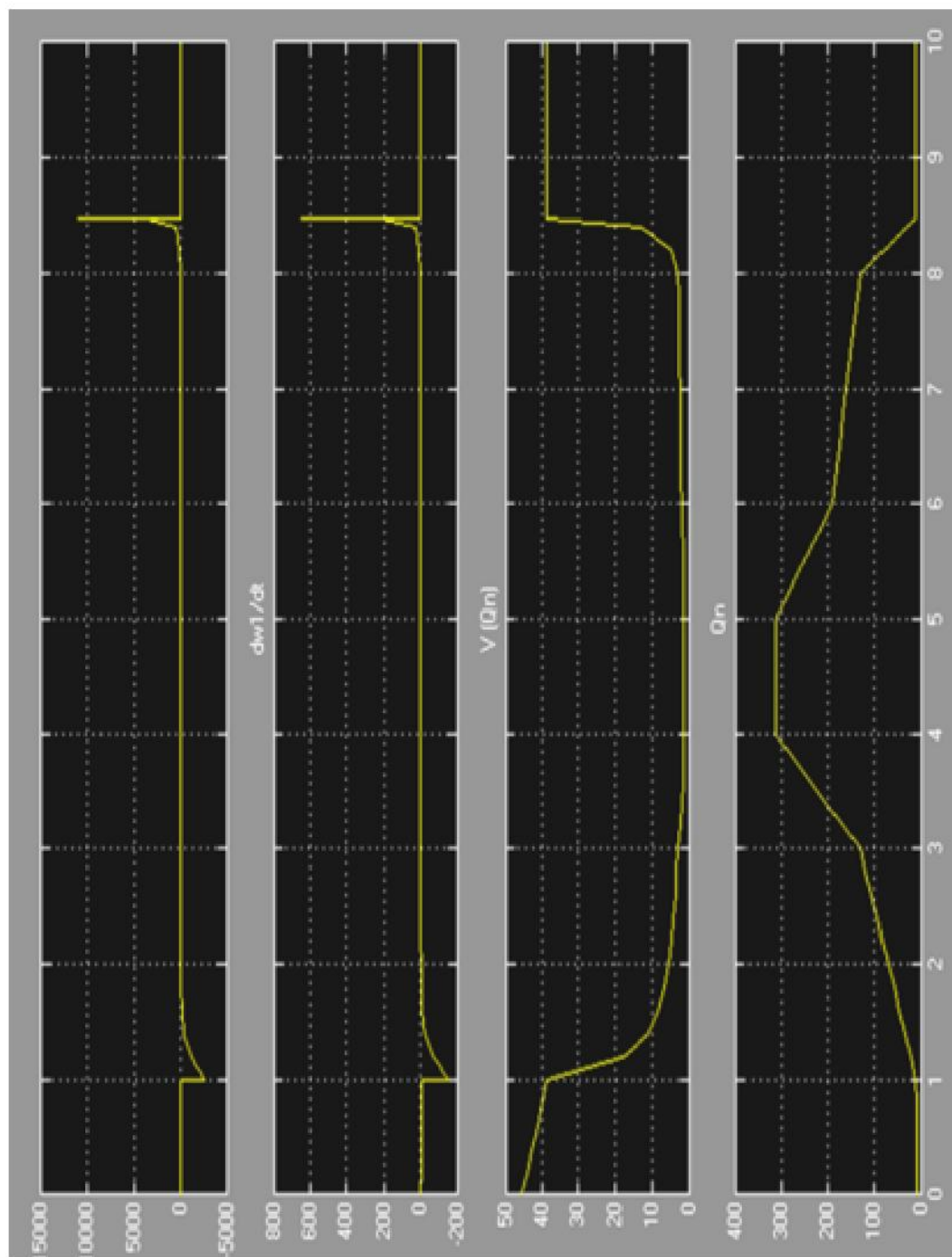


8 Модель процесу регулювання швидкості приводного електродвигуна багатомоторного стрічкового конвеєра



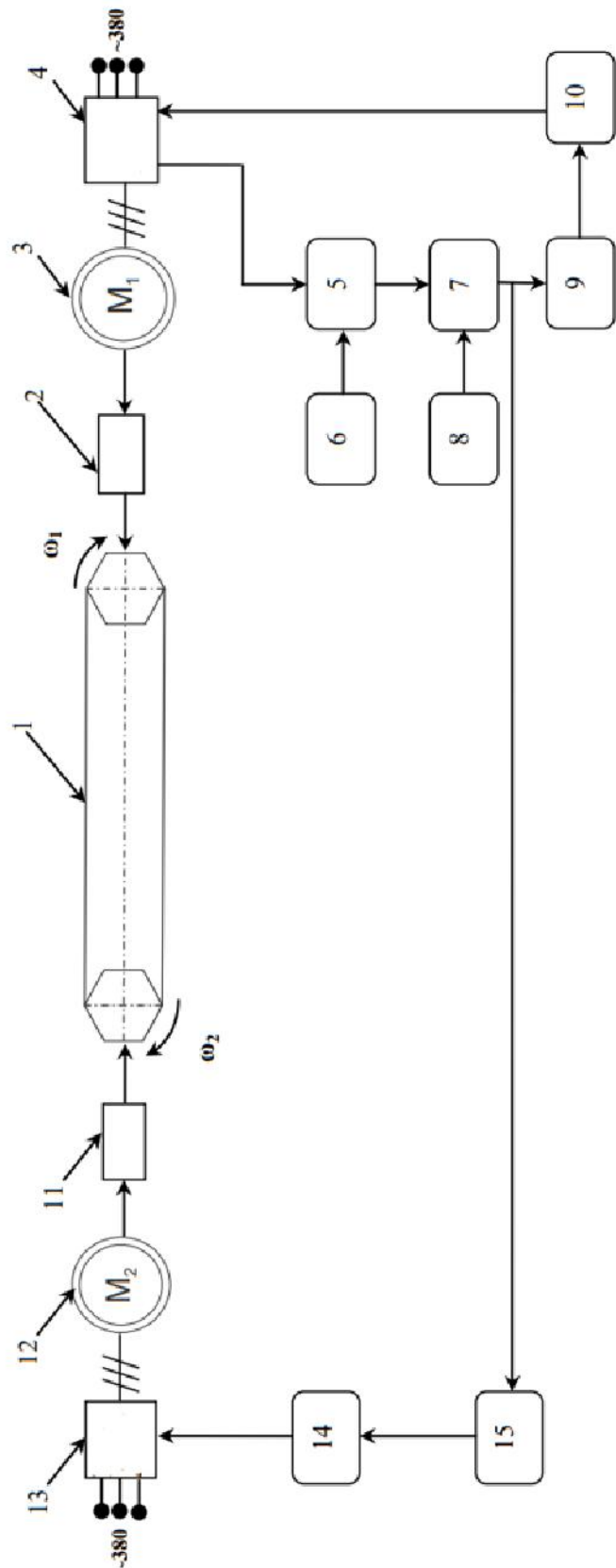
Результати моделювання процесу регулювання швидкості провідного електроприводу багатомоторного стрічкового конвеєра

9



10

Частотно-регульований двомоторний пристрій з плавним пуском для конвеєра. Структурна схема приводу



1 - тягово-несучий орган конвеєра; 2 - перший передавальний пристрій;

3 - керуючий електродвигун; 4 - перший частотний перетворювач;

5 - компаратор; 6 - блок установки мінімального струму навантаження;

7 - датчик швидкості; 8 - блок установки мінімальної швидкості; 9 - перший

коєфіцієнт інтенсивності; 10 - перший блок управління; 11 - другий передавальний

пристрій; 12 - другий електродвигун; 13 - другий частотний перетворювач;

14 - другий блок керування; 15 - селектор інтенсивності;