

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ ТА МЕХАТРОНІКИ



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«Модернізація електроприводу стрічкового транспортеру»

Здобувач: Зібаров М. П.

II курсу, групи АЕМТ-20

Керівник: доцент Ревенюк Т. А.

Кваліфікаційна робота бакалавра допускається до захисту.

Рішення кафедри від «_17_» __06____ 2024 р., протокол №_12_.

Завідувач кафедри ЕтаМ _____ Петро ОСАДЧУК

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 14 – Електрична інженерія

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Інтелектуально-керовані електромеханічні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ

д.т.н., доц. Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

здобувачу вищої освіти

Зібарову Микиті Павловичу

Тема роботи: «Модернізація електроприводу стрічкового транспортера».

Керівник роботи: Ревенюк Тетяна Анатоліївна, к.ф.-м.н., доцент.

2 Затверджено наказом ОНТУ № 797-03 від 19.12.2023 р.

Строк подання студентом роботи: 14.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Мобільний конвеєр, модель СТМН-18-100, діапазон регулювання швидкості руху стрічки- 0,7-1,5 м/с, максимальна висота вігрузки - 4,6 м, діаметр приводного барабану - 315,0 мм

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

Вступ. 1. Загальна частина. Технічні характеристики стрічкового транспортеру.

2 Розрахунково-конструкторська частина. Опис технологічної схеми стрічкового транспортеру.

3 Дослідження роботи електроприводу стрічкового транспортеру на моделі.

4. Організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування та техніка безпеки праці при обслуговуванні електроприводу стрічкового транспортеру.

5 Економічна частина. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу.

6. Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5 Перелік демонстраційного матеріалу: слайди презентації (12 шт.): 1 Титульний. 2 Мета, задачі, методи. 3 Технологічна схема стрічкового транспортеру 4 Розрахунок потужності двигуна, технічні характеристики. 5 Статичні характеристики електроприводу. 6 Структурна схема перетворювача частоти. 7 Принципова електрична схема силової частини. 8 Модель електроприводу стрічкового транспортеру з прямим пуском. 9 Результати моделювання приводу з прямим пуском. 10. Модель модернізованого електроприводу стрічкового транспортеру. 11 Результати моделювання приводу після модернізації. 12 Висновки.

6 Консультанти Розділ	розділі Приводу (роботи) та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання: 05.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим.
1	Вступ. Загальна характеристика роботи. Актуальність теми. Об'єкт і мета роботи.	07.03.2024	
2	Розрахунково-конструкторська частина. Опис технологічної схеми стрічкового транспортеру. Загальна характеристика стрічкового транспортеру, як об'єкта управління. Опис принципу дії, конструкції та кінематичної схеми привода стрічкового транспортеру. Параметрична схема та методи регулювання швидкості обертання електроприводу стрічкового транспортеру. Формулювання вимог до електроприводу стрічкового транспортеру, обґрунтування типу двигуна, розрахунок його потужності. Розрахунок статичних характеристик двигуна.	21.04.2024	
3	Дослідження роботи електроприводу стрічкового транспортеру на моделі. Обґрунтування вибору, розробка структурних і функціональних схем та розрахунок параметрів окремих елементів системи електроприводу стрічкового транспортеру. Опис системи ПЧ-АД. Моделювання динамічних режимів електромеханічної системи електроприводу стрічкового транспортеру до і після модернізації.	17.05.2024	
4	Організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування та техніка безпеки праці при обслуговуванні електроприводу стрічкового транспортеру.	03.06.2024	
5	Економічна частина. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу.	14.06.2024	
6	Висновки і рекомендації за прийнятими в роботі рішеннями.		
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	17.06.2024	
8	Перевірка роботи на добросовісність. Рецензування роботи	18.06.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06.2024	

Здобувач-дипломник _____ Зібаров М. П.

Керівник _____ Ревенюк Т. А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної добросовісності.

Здобувач-дипломник _____ Зібаров М. П.

РЕФЕРАТ

Зібаров Микита Павлович «Модернізація електроприводу стрічкового транспортеру». Кваліфікаційна робота бакалавра. Одеса: ОНТУ, 2024. – 79 с. Іл.: 22. Табл.: 9.

У кваліфікаційній роботі описано автоматизований електропривод стрічкового транспортера, області його застосування та конструктивні особливості. Сформульовано вимоги до електроприводу, розраховано навантаження та обрано двигун для приводу стрічкового транспортера.

Вибрано систему електроприводу «перетворювач частоти - асинхронний двигун», обрано та досліджено закон керування за допомогою перетворювача частоти.

Розраховано електричні параметри схеми вмикання двигуна. Змодельовано перехідні процеси двигуна при прямому пуску та в комбінації з перетворювачем частоти, побудовано механічні та електромеханічні статичні характеристики.

Розраховано економічний ефект від модернізації електроприводу конвеєра випалювальної печі та наведено заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: стрічковий транспортер, приводний барабан, автоматизований електропривод, перетворювач частоти, математична модель, частотне регулювання обертів, механічна характеристика.

ABSTRACT

Nikita Pavlovich Zibarov "Modernization of the belt conveyor electric drive". Bachelor's qualifying work. Odesa: ONTU, 2024. – 79 p. Illustration: 22. Table: 9.

The qualification work describes the automated electric drive of the belt conveyor, its areas of application and design features. The requirements for the electric drive have been formulated, the load has been calculated and the engine has been selected for driving the belt conveyor.

The electric drive system "frequency converter - asynchronous motor" was selected, the law of control using the frequency converter was selected and investigated.

The electrical parameters of the engine start-up circuit are calculated. Transient processes of the engine during direct start and in combination with a frequency converter were simulated, mechanical and electromechanical static characteristics were constructed.

The economic effect of the modernization of the electric drive of the conveyor of the firing furnace is calculated, and measures for occupational health and safety are given.

Key words: belt conveyor, drive drum, automated electric drive, frequency converter, mathematical model, frequency regulation of revolutions, mechanical characteristics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Різновиди стрічкових транспортерів.	10
1.2 Конвеєрна стрічка та її особливості.....	12
1.3 Приводний барабан стрічкового конвеєру.	16
1.4 Стрічковий конвеєр СТМН-18-100.....	17
1.5 Вимоги до електроприводу мобільного стрічкового транспортеру.....	20
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	22
2.1 Умови для вибору електродвигуна.	22
2.2 Параметри електродвигуна.	23
2.3 Вибір електродвигуна.....	26
2.4 Вибір захисного обладнання для релейно-контакторної схеми включення. 28	
2.5 Прямий пуск електродвигуна.....	30
2.6 Застосування перетворювача частоти.	31
2.7 Вибір перетворювача частоти.	41
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА ПЕОМ	45
3.1 Постановка задачі моделювання роботи електропривода на ПЕОМ.....	45
3.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна електропривода конвеєра.	47
3.3 Моделювання прямого пуску двигуна електропривода.	50
3.4 Моделювання пуску двигуна електропривода з ПЧ.	51
3.5 Висновки і пропозиції.....	54
4 ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ	55

4.1	Основні положення.....	55
4.2	Пожежна безпека.	66
4.3	Розрахування заземлення електроустановки.....	70
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	73
5.1	Методика оцінки ефективності.	73
5.2	Розрахунок капітальних інвестицій.	74
5.3	Розрахунок експлуатаційних витрат.....	76
	ВИСНОВОК	79
	Перелік використаних джерел.....	81

ВСТУП

Однією з багатьох важливих задач в сучасному розвитку машинобудування є підвищення ефективності роботи підприємств на основі механізації виробничих процесів та покращення продуктивності праці. Серед усіх засобів механізації велику роль відіграють вантажо–підйомні та транспортувальні машини, а саме різні види конвеєрів. За принципом роботи транспортні машини поділяють на дві самостійні конструктивні групи: машини періодичної і неперервної дії. До першої групи відносять вантажопідйомні крани всіх типів та засоби напільного транспорту (візки, тягачі, навантажувачі), канатні і підвісні рейкові дороги (періодичної дії) та інші подібні машини, а до другої групи (вони ще мають назву машини безперервної дії і транспортуючі машини) – конвеєри різних типів, пристрої гідравлічного і пневматичного транспорту та подібні їм транспортні машини. Основне призначення транспортерів безперервної дії – переміщення вантажів по заданій трасі.

В роботі виконано обґрунтування та розрахунок електроприводу стрічкового транспортера з модернізацією натяжного барабану.

Актуальність теми: Впровадження частотно-регулюючі системи керування дозволяє суттєво підвищити продуктивність виробництва, шляхом створення відповідних алгоритмів керування приводом.

Об’єкт дослідження: Методи підвищення надійності та енергоефективності трифазних асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором.

Предмет дослідження: Покращення конструкції стрічкового конвеєра та модернізація натяжного барабану конвеєра.

Мета: Зменшення електроенергії, що споживається електроприводом, підвищення його надійності та зменшення витрат на експлуатацію.

Завдання дослідження: Модернізувати електропривод стрічкового транспортера з модернізацією натяжного барабану, виконати розрахунок основних параметрів електрообладнання.

Методи дослідження: Математичне моделювання роботи електродвигунів та пуско-захисної апаратури в електроприводах з трифазними асинхронними двигунами.

Практичне значення: Підвищення ресурсів двигунів та приводів, зменшення затрат на обслуговування та ремонт, економія електроенергії.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Різновиди стрічкових транспортерів.

Існує багато різновидів транспортуючих засобів на підприємствах де необхідне рівномірне переміщення сировини або іншої продукції. Одним з типів таких засобів є стрічковий конвеєр який має доволі просту, але в той самий час надійну конструкцію. Стрічкові конвеєри мають багато реалізацій, від багатокілометрових стаціонарних конструкцій, до невеличких мобільних довжиною менше десяти метрів.

Стрічкові транспортери є основним типом машини безперервного транспорту, який набув широкого застосування в різних галузях промисловості. У стрічкового конвеєра є ряд переваг, у порівнянні з іншими засобами транспортування: висока продуктивність, можливість транспортування вантажів на великі дистанції, простота конструкції, висока надійність та відносно невелика вага. Основне призначення стрічкових конвеєрів це транспортування сипучих матеріалів, таких як, розрихлені гірські порди, добрива, зерно, штучні матеріали, кробки, тощо.

На підприємствах із поточним виробництвом можливо розташування зборочних постів між двох конвеєрів, по одному з яких транспортуються необхідні для виготовлення продукції матеріали, а на другий відбувається відвантаження продукції і її транспортування до наступних етапів виробництва, або до складських приміщень.

Здійснюватись транспортування може по горизонтальним трасам, по нахилу – вниз, або в гору. До переваг стрічкових конвеєрів серед інших відносять: відносно велика відстань транспортування від одного приводу, легкість обслуговування, низький рівень шуму при роботі, можливість автоматизації, невелика питома витрата електроенергії. Недоліками цих конвеєрів є: невеликий термін служби стрічки, який залежить від типу сировини що танспортується, їх висока вартість, обмежений кут нахилу. Також є фактори фактори які накладають обмеження застосуванню стрічкових конвеєрів, а саме:

- Абразивність та крупність транспортуємого матеріалу;

- При використанні нормальної гладкої стрічки обмеження кута підйому (до 16-18° в залежності від конструкції роликового ставу та властивостей транспортування матеріалу).

- Необхідність прямолінійного встановлення в плані конвеєрного ставу, що не дозволяє використання конвеєра на криволінійних трасах в горизонтальній площині.

Принцип дії: Стрічка конвеєра водночас служить вантажонесучим та тяговим органом. Рух стрічки (тягового органу) конвеєра зумовлений фрикційним зв'язком стрічки з приводним барабаном.

Розглянемо схема конвеєра стрічкового і його основних елементів наведена на рис. 1.1. В конструкцію конвеєра окрім основних вузлів входять: апаратура контролю, управління і сигналізації; пристрої для очистки стрічки та інші пристрої які не вказані на рисунку.

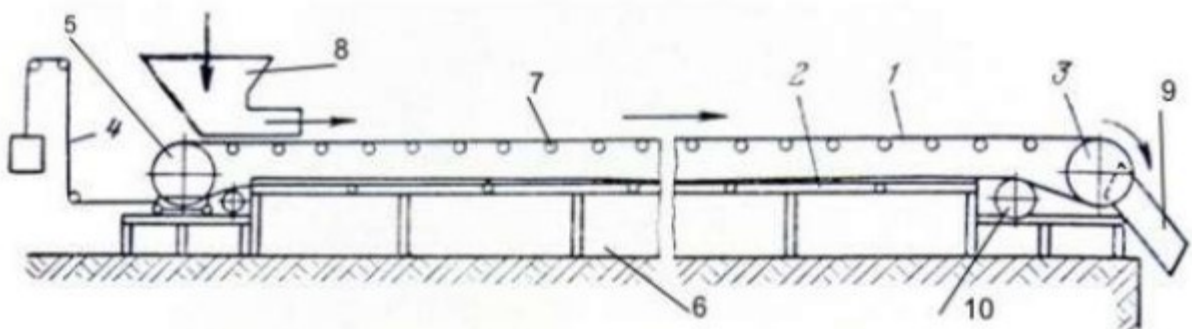


Рисунок 1.1. Структурна схема стрічкового конвеєра.

1 – стрічка конвеєра, 2 – роликовий став, 3 – приводний барабан, 4 – натяжний пристрій, 5 – натяжний барабан, 6 – конвеєрний став, 7 – ролики з роликоопорами робочої гілки, 8 – завантажувальний пристрій, 9 – розвантажувальний пристрій, 10 – відхиляючий барабан.

Існують конструкції стрічкових конвеєрів зі змінним кутом нахилу транспортної секції, та навіть зі змінною довжиною транспортної секції. Також можлива реалізація стрічкового конвеєру із декількома паралельними стрічками які рухаються із різним швидкостями і відповідно в залежності від цього

відбувається навантаження конвеєру. На рис. 1.2 зображена схема конвеєру зі змінним кутом транспортуючих гілок.

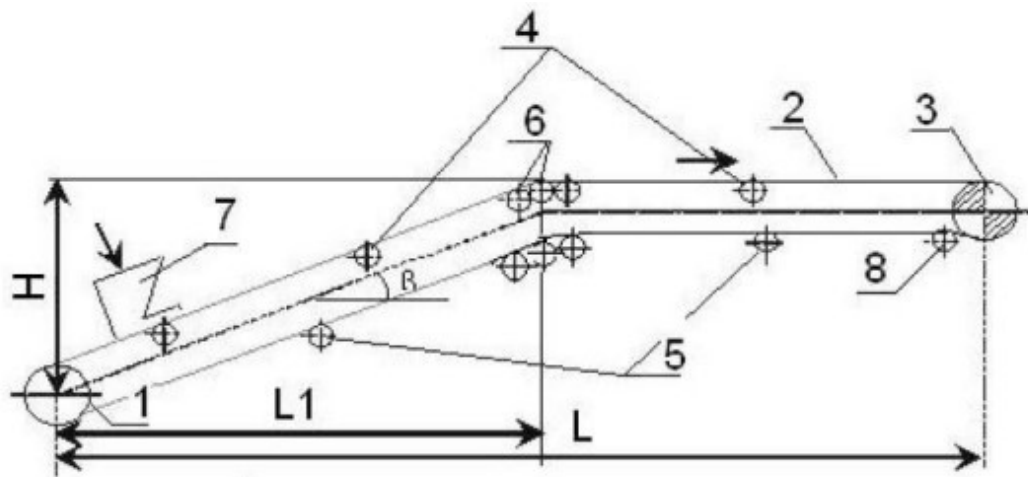


Рисунок 1.2 – Стрічковий онвеєр із змінним кутом гілок.

1 - натяжний барабан; 2 – стрічка конвеєру; 3 - приводний барабан; 4 - роликоопори робочої гілки; 5 – допооміжні роликоопори конвейера; 6 - роликоопори вузлу зміни куту нахилу; 7 - завантажувальний пристрій; 8 - відхиляючий барабан.

Коли стрічка конвеєру здійснює перенесення вантажу, або сировини, вважається що вона рухається робочою гілкою, а коли рух стрічки після розвантаження відбувається в зворотньому напрямку то її рух вважається зворотною гілкою.

Відхиляючі барабани 10 на рис. 1.1 та 8 на рис. 1.2 застосовуються для збільшення кута охоплення стрічкою приводного барабана і відповідно більш ефективної передачі обертвльного моменту приводного барабану до внутрішній поверхні стрічки.

1.2 Конвеєрна стрічка та її особливості.

Стрічка конвеєра водночас служить вантажонесучим та тяговим органом, тому до їх виготовлення існують певні вимоги. Рух стрічки (тягового органу) конвеєра зумовлений фрикційним (під дією сили тертч) зв'язком стрічки з приводним барабаном. При роботі транспортера, від натягу і переміщення

вантажу стрічка піддається значним навантаженням, зносу від тертя робочих обкладок, дії навколишнього середовища (тепла, вологи, повітря і т.д.), руйнування при взаємодії з транспортуємим матеріалом, перегинами на роликоопорах і барабанах.

Існує багато різновидів конструкцій конвеєрних стрічок і в залежності від типу сировини яка транспортується стрічкою конвеєра слід правильно підбирати її тип, щоб забезпечити довготривале та ефективне її використання.

На рис. 1.3. показані різні конструкції конвеєрних стрічок.

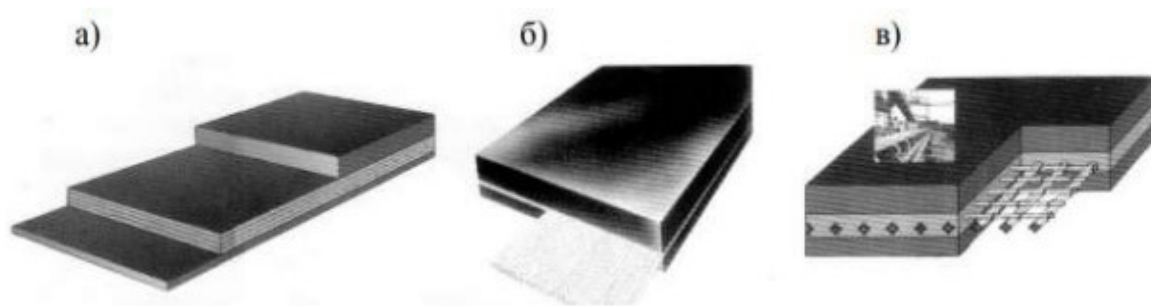


Рис. 1.3 – Поширені конструкції конвеєрних стрічок.

а – стрічка з бавовняною основою; б – стрічка із синтетичною основою; в – армована стрічка, синтетичними або металевими тросами.

Основним матеріалом для виготовлення конвеєрних стрічок є гума, яка забезпечує гнучкість та еластичність стрічки. З розвитком технологій виготовлення синтетичних волокон, більшість стрічок мають в якості каркасу або синтетичну тканину, або троси на основі синтетичних волокон. Від металевих каркасів все частіше відмовляються, через велику ціну виробництва таких стрічок.

Головне призначення каркасу це сприйняття поперечних і поздовжніх навантажень і як наслідок заробігання деформації розтягнення стрічки. Призначення гумового наповнювача – прийняття навантажень механічного типу від транспортуємої сировини.

Будова та конструкція стрічок в перетині показані на рис. 1.4.

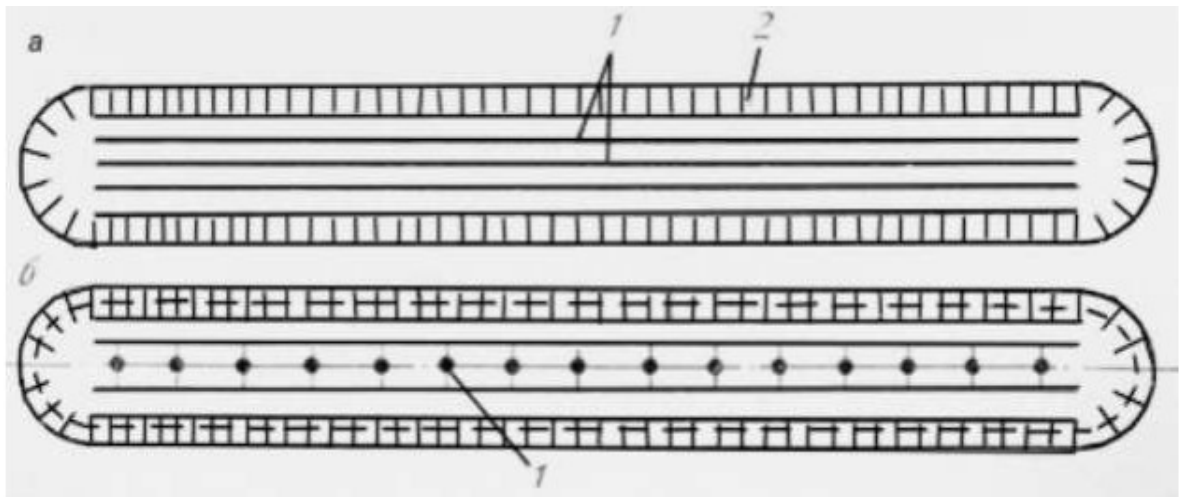


Рис.1.4 – Перетин основних конструкцій стрічок.

а – на тканинному каркасі; б – на тросовому каркасі;

1 – тканиний або тросовий каркас; 2 – гумовий заповнювач.

Середня частина стрічкових транспортерів, що називається ставом, слугує для передачі навантаження від ваги сировини на несучу конструкцію конвеєру. Ця частина складається з коротких проміжних секцій, що з'єднані між собою, в основі яких лежать роликоопори які повинні забезпесити вільне пересування стрічки за допомогою роликів. В залежності від типу стрічки та транспортуємої сировини відстань між роликооперами може змінюватись. Це робиться для запобігання провисанню стрічки під вагою сировини, що призводить до її короткочасного зносу та пошкодженню, а також до підвищення енерговитрат на транспортування.

Іноді для збільшення кута нахилу конвеєра використовують стрічки з нанесеним на них протектором який запобігає зсуву транспортуємої сировини. Також, для підняття сировини вертикально, можуть використовуватися стрічки з розташованими на них ковшами або скребками.

Рух стрічки забезпечується за допомогою привооду, який передає тягове зусилля стрічці. Основними елементами привооду є розвантажувальні, приводні, відхиляючі барабани і силові агрегати.

Приводні барабани є основою в процесі передачі тягового зусилля від привооду до стрічки за допомогою фрикційного зчеплення. Діаметр самого барабану напряду залежить від довжини конвеєра, типу тканини та числа

прокладок в стрічці. Ширину барабану приймають більше за ширину стрічки щоб запобігти зісковзуванню її з барабану. Різні конструкції стрічкових транспортерів, в залежності від продуктивності, довжини, кута нахилу мають від одного до 3-х барабанів. Шляхом огинання барабанів стрічкою за допомогою сили тертя передається тягове зусилля величина якого залежить від натягу стрічки, схеми, кута обхвату барабанів стрічкою та коефіцієнту тертя між поверхнею барабану та внутрішньою поверхнею стрічки. Для значення передачі тягового зусилля, збільшують кут обхвату стрічкою приводного барабану, за допомогою барабанів відхиляючих. Чим більше цей кут (кут обхвату), коефіцієнт тертя та натяг, тим більше буде значення зусилля яке передається конвеєрній стрічці.

В конвеєрних системах для забезпечення незмінності значення зусилля, що передається до стрічки, використовують натяжні барабани. В стрічковому конвеєрі вони необхідні для запобігання пробуксовування приводних барабанів, а також для обмеження провисання стрічки, її оптимального натягу та компенсації видовження стрічки в процесі роботи. Основна роль натяжних пристроїв є натяг стрічки, швидкість руху натяжного барабану і величина його ходу. Хід натяжного барабану надає можливість компенсації видовження стрічки, що виникає під час експлуатації, та дає змогу працювати конвеєру при незначному вкороченні стрічки яке виникає при стиковці після її обриву.

Стрічковий конвеєр можна завантажувати в будь-якому місці. Наприклад, коли вздовж основного конвеєру розташовані декілька навантажувальних конвеєрів. Але сумарна продуктивність навантажувальних конвеєрів не повинна перевищувати продуктивність основного конвеєру, щоб забезпечити ефективне транспортування сировини та запобігти її неконтрольованому розсипу. Існує доволі багато різноманітних конструкцій завантажувальних пристроїв, що повинні завантажувати та розподіляти транспортує матеріал без просипів та втрат рівномірно по ширині стрічки. Це можуть бути інші конвеєри, розвантажувальні бункери для автомобільного або залізничного транспорту й т.ін.

Також, в залежності від сировини, конвеєри повинні бути оздоблені засобами для очищення від налипаючого вантажу. Це стосується конвеєрів які транспортують сировину що підвладна комкуванню, або має високі адгезивні

властивості відносно гумового покриття конвеєрної стрічки. Механічні засоби для очищення стрічки розробляють у вигляді шкребків, армованих резиною і розташовують на нижній гілці стрічки недалеко від привода так, щоб очисні пристрої притискувались до поверхні стрічки і не пошкоджували її. Також можливо очищення стрічки за допомогою спрямованого стислого повітря, або розбрискуванням очисної рідини на забруднену поверхню стрічки.

1.3 Приводний барабан стрічкового конвеєру.

Як будь-який пристрій, стрічковий конвеєр, окрім переваг має і свої недоліки. Основний недолік це неможливість забезпечити зміну напрямку руху стрічки у горизонтальній площині на протязі руху стрічки однією секцією конвеєру. Для реалізації цієї можливості застосовують проміжні розвантажувально-завантажувальні вузли, в яких здійснюється переніс вантажу з однієї секції конвеєру на іншу, яка вже розташована під горизонтальним кутом до першої.

Ще одним з недоліків стрічкових конвеєрів є недостатня сила що в залежності від матеріалу з якого виготовлено стрічку конвеєра, утворюється між стрічкою та приводним барабаном, і якої не вистачає для надійного зчеплення. За таких умов при даних конструкціях може відбуватися пробуксовування стрічки, через що втрачається швидкість руху стрічки, продуктивність конвеєра, збільшується знос стрічки та великий шанс її пошкодження та виходу з ладу всієї конвеєрної ділянки.

Приводний барабан стрічкового конвеєру має встановлений на валу циліндричний корпус, по колу якого закріплені стержні, на яких встановленні еластичні елементи та пружини. В підшипнику, що розташований на валу барабану, закріплено циліндричний корпус що має отвори, в яких нерухомо закріплені упори, які мають функцію регулювання по висоті пальців з роликками. Ці пальці з роликками закріплені тільки на робочій половині циліндричного корпусу, а зі сторони контакту стрічки з приводним барабаном мають еластичні елементи які забезпечують підвищене зчеплення із внутрішньою поверхнею стрічки. На рис. 1.4 зображено приводний барабан стрічкового конвеєру.

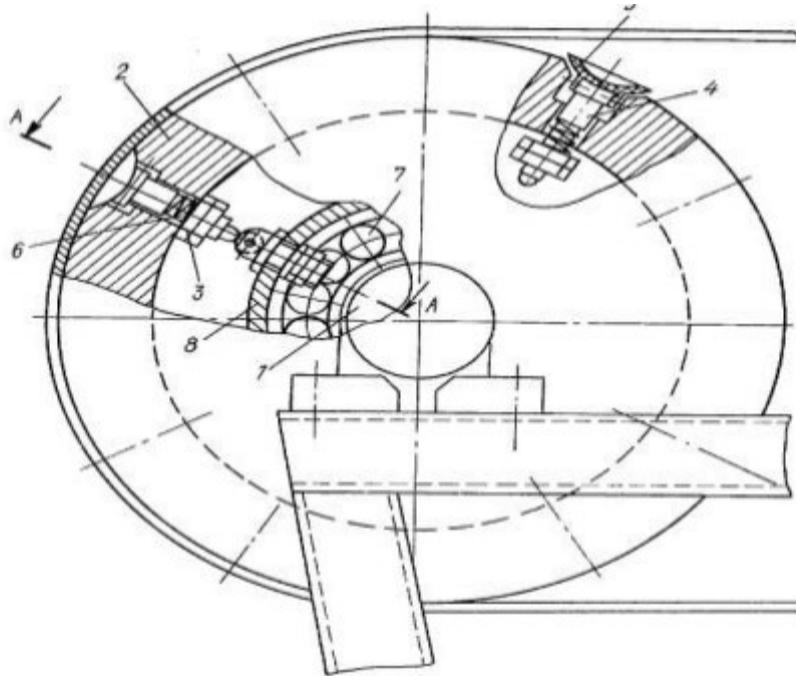


Рисунок 1.4 Схема дії приводного барабану стрічкового конвеєра

При обертанні приводного барабана конвеєрна стрічка рухається і натискає на ці еластичні елементи (5), які виконані з еластичного матеріалу та закріплені на пружних і регульованих по висоті стержнях. При обертанні пружний стержень (4) взаємодіє з роликком (10), закріпленим на пальці, стискаючи пружину (6) і піджимаючи еластичний елемент (5) до стрічки. При притисканні еластичних елементів (5) до стрічки вони присмоктуються до її неробочої поверхні. При виході з зони дотику конвеєрної стрічки з приводним барабаном, що обертається еластичні елементи (5) відлипають від стрічки. Застосування еластичних елементів, що присмоктуються до внутрішньої неробочої сторони стрічки при обертанні приводного барабану, збільшує силу зчеплення барабана з стрічкою конвеєра.

1.4 Стрічковий конвеєр СТМН-18-100.

Останім часом, з розвитком малого та середнього бізнесу зростає потреба в мобільних засобах виробництва. Це пов'язане як із геополітичним станом так і в необхідності мати можливість оперативно змігювати місце розташування виробничих потужностей. Так одним з таких проявів є зростаюча потреба у

мобільних стрічкових конвеєрах малої та середньої продуктивності. Особливо великою потреба в таких механізмах є в аграрному секторі малого та середнього бізнесу.

Одною з моделей мобільного конвеєру є модель СТМН-18-100, яка має характеристики наведені в табл. 1.1.

Ця модель має декілька переваг над стаціонарними аналогами, а саме:

- Можливість оперативного транспортування дорогами загального користування.
- Час приведення до робочого стану не перевищує 2 годин.
- Змінна висота вивантаження.
- Можливість роботи в невідповідних приміщеннях та поза ними.

Таблиця 1.1 – Загальні характеристики стрічкового транспортеру СТМН-18-100

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	100
Швидкість руху стрічки, м/с	до 1,5
Ширина стрічки, мм	600
Товщина стрічки з протектором, мм	6,0
Довжина робочої гілки, м	18,0
Максимальна висота вивантаження, м	4,6
Діаметр приводного барабану, мм	315,0
Відстань між роликоспорами, мм	830,0
Напруга живлення, В	3ф 380 В 50 Гц
Колісна база, мм	2230,0
Максимальна загальна вага, т	8,0

На рис. 1.5 наведена загальна конструкція стрічкового транспортеру.

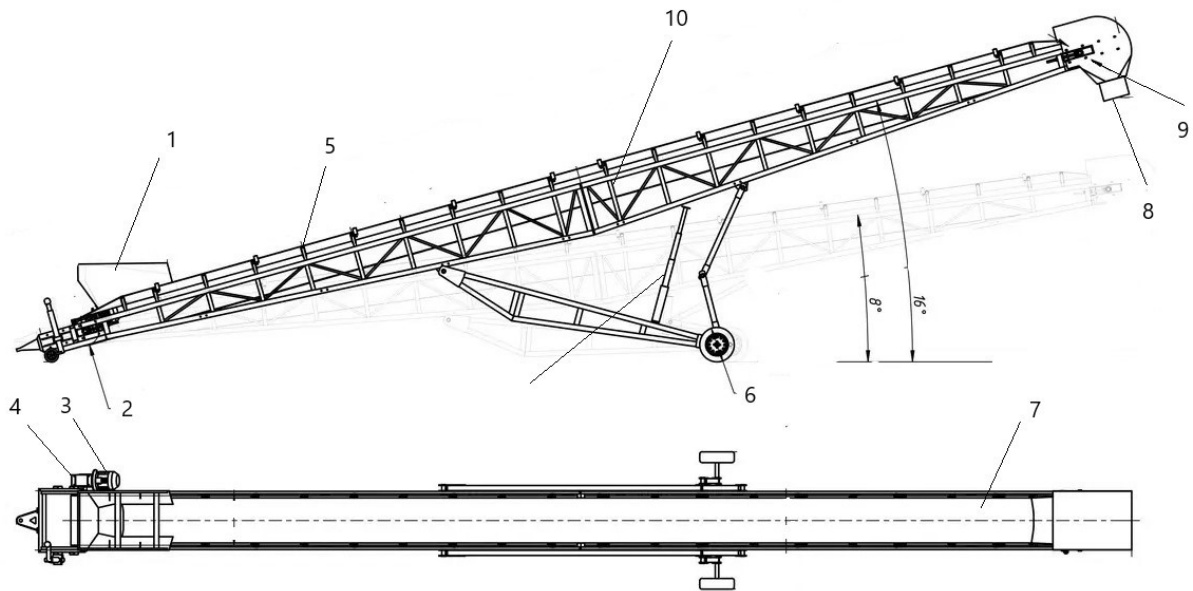


Рисунок 1.5 – Конструкція стрічкового транспортеру СТМН-18-100.

1 – Завантажувальний бункер; 2 – Приводний барабан; 3 – Електродвигун; 4 – Редуктор; 5 – Роликоопори; 6 – Транспортні колеса; 7 – Стрічка транспортеру; 8 – Горловина вивантаження; 9 – Натяжний барабан; 10 – Рама транспортеру.

Завантаження сировини відбувається до завантажувального бункеру 1, з якого вона потрапляє на стрічку транспортеру 7, яка приводиться в дію приводним барабаном 2. В свою чергу, приводний барабан отримує обертальний момент від електродвигуна 3 за допомогою редуктора 4. Рухаючись стрічка переносить сировину до горловини вивантаження 8, де при обертанні стрічки навколо натяжного барабану 9 відбувається скидання сировини. Задля запобігання провисанню стрічки на рамі 10, із певним інтервалом, змонтовані роликоопори 5.

Мобільний стрічковий транспортер може застосовуватися для завантаження та розвантаження автомобільного транспорту, залізничних вагонів а також невеличких суден та барж. Може бути легко переміщений на місце розвантаження/завантаження.

Живлення електрообладнання транспортеру здійснюється від трифазної мережі 380 В 50 Гц, або від мобільного генератора здатного забезпечити необхідні параметри живлення.

1.5 Вимоги до електроприводу мобільного стрічкового транспортеру.

Електропривід стрічкового транспортеру це система яка здійснює кероване електромеханічне перетворення енергії. Отже ця система повинна відповідати певним вимогам які ставляться перед подібними системами.

Основна вимога це надійність. Тобто елктропривід повинен виконувати свої функції в певних умовах продовж певного проміжку часу

Також система електроприводу повинна забезпечувати точність. Якщо регулювання швидкості руху стрічки буде не точним, це може призвести або до надмірного навантаження сировини на стрічку і передчасному її зносу та надмірним витратам енергії і навіть іходу з ладу усього транспортеру, або навпки стрічка буде недовантажена і відповідно продуктивність конвеєру не буде відповідати витраченні енергії.

Система електроприводу повинна мати певну швидкодію для того щоб реагувати на зміни які вносяться в режими її роботи. Так, наприклад, зміна швидкості руху стрічки, або її зупинка, повинна відбуватися не довше ніж заданий проміжок часу, який задається в залежності від умов роботи та характеру сировини.

Також не малу важливість має енергоефективність системи електроприводу. В останні роки цей показник виходить на перші місця серед вимог до систем електроприводів. До цього призводять подорожчання енергоносіїв, дедалі більший дефіцит електроенергії, а також значне скорочення генераційних потужностей в умовах військового стану.

В той же час не слід забувати про сумісність електроприводу із системами електропостачання. Так найпоширенішою є система живлення від трифазної мережі змінного струму. І це накладає певні обмеження на вибір двигуну для електроприводу. Тому, на мобільних засобах виробництва в системах електроприводу не варто використовувати електродвигуни із живленням від постійного струму, через їх велике ваги до потужності, а також необхідність мати перетворювач зі змінного струму на постійний, що призводить як до додаткових втрат енергії на перетворення так і зайвих витрат на транспортування.

Підсумовуючи вище сказане можна стверджувати, що в якості основи системи електроприводу мобільного стрічкового транспортеру варто обрати трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Умови для вибору електродвигуна.

Як було зазначено в попередньому розділі, електропривід повинен відповідати певним вимогам. З огляду на умови використання ми можемо сформулювати ці вимоги і звести у таблицю.

Таблиця 2.1 – вимоги до системи електроприводу мобільного стрічкового транспортеру СТМН-18-100

Параметр	Значення
Діапазон регулювання швидкості руху стрічки, м/с	0,7...1,5
Точність регулювання швидкості, %	< 5
Швидкість реагування на внесення змін в режим роботи, с	< 1
Напруга живлення, В	3x 380
Можливість безпосереднього регулювання.	Так
Можливість дистанційного регулювання	Так

Під ці вимоги найкраще підходять асинхронні електродвигуни із короткозамкненим ротором які керуються із застосуванням перетворювача частоти.

Асинхронні двигуни із короткозамкненим ротором мають найвищий ккд при відносно невеликих габаритах. На відміну від двигунів постійного струму вони мають значно нижчу ціну та габарити. У порівнянні із електродвигунами з фазним ротором двигуни із короткозамкненим ротором також мають кращий ккд та нижчу ціну і не потребують додаткових резисторів у релейно-контакторній схемі включення які впливають на механічну характеристику електродвигуна.

Головний недоліком асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором є великий пусковий струм, який може перевищувати номінальний струм у 6-8 разів.

Через конструктивні властивості мобільних засобів виробництва електрична шафа із постом керування повинна бути розташована безпосередньо на рамі

самого засобу. На дверцята шафи виносять необхідні органи керування та засоби світлової сигналізації.

Якщо для керування асинхронними двигунами із короткозамкненим ротором використовується перетворювач частоти, то із залучанням сучасних технологій можна забезпечити дистанційне керування системою за допомогою бездротових стандартів зв'язку.

2.2 Параметри електродвигуна.

Щоб визначити необхідну потужність електродвигуна $P_{\text{дв}}$ для стрічкового конвеєру скористаємося наступною формулою:

$$P_{\text{дв}} = \frac{K_{\text{уп}} \cdot P_0}{\eta_{\text{пр}} \cdot \eta_p} \quad (2.1)$$

де $K_{\text{уп}}$ – коефіцієнт врахування умов роботи, $K_{\text{уп}} = 1.4$;

P_0 – потужність на приводному валу;

$\eta_{\text{пр}}$ – ккд приводу, $\eta_{\text{пр}} = 0.85$;

η_p – ккд редуктору, $\eta_p = 0.95$.

Нам необхідно знайти значення потужності на приводному валу P_0 , яка знаходиться за формулою:

$$P_0 = \frac{\sum W \cdot v}{102 \cdot \eta_6} \quad (2.2)$$

де v – швидкість руху конвеєрної стрічки, $v = 1,5$ м/с;

$\sum W$ – сума сил опору руху стрічки;

η_6 – ккд барабанів.

Щоб визначити суму сил опору методом послідовного складання сил опору руху стрічки по всій трасі конвеєра визначаємо тягове зусилля на приводному

барабані. При цьому гілку поділяємо на ділянки, нумерацію яких починають від точки збігання стрічки з приводного барабана, як на рис. 2.1

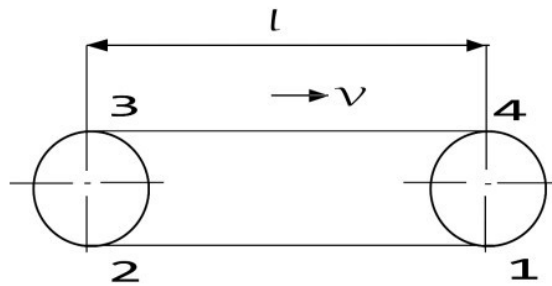


Рисунок 2.1 – Схема гілки з нумерацією.

Спочатку винайдемо сили опору руху стрічки на прямих ділянках робочої та зворотньої гілок, тобто W_{1-2} та W_{2-4} :

$$W_{1-2} = (q_{pz} + q_l) \cdot l \cdot w_3 \quad (2.3)$$

$$W_{3-4} = (q_{pp} + q_{pz} + q_l) \cdot l \cdot w_p \quad (2.4)$$

де q_{pz} та q_{pp} – розподілене навантаження від роликкоопор відповідно на зворотній та робочій гілках ковсєру;

q_l – розподілене навантаження від стрічки;

w_3 та w_p – коефіцієнти опору роликкоопор на зворотній і робочій гілці.

Для стрічки шириною 600 мм та товщиною 6 мм ці показники дорівнюють:

$$q_{pz} = 6,125 \text{ Н/м};$$

$$q_{pp} = 12,25 \text{ Н/м};$$

$$q_l = 30,3 \text{ Н/м};$$

$$w_3 = 0,018;$$

$$w_p = 0,020.$$

Підставивши ці значення до формул (2.3) та (2.4) отримаємо:

$$W_{1-2} = 37.57 \text{ Н};$$

$$W_{3-4} = 56.45 \text{ Н}.$$

Тепер визначимо натяг стрічки в точці 1 на рис. 2.1:

$$S_1 = \frac{K_3 \cdot \sum W_i}{e^{fa} - K \cdot K_3} \quad (2.5)$$

де K – загальний коефіцієнт місцевих опорів, $K = 1,1$;

W_i – сили опору руху на прямолінійних ділянках

K_3 – коефіцієнт запасу, приймається $K_3 = 1,2$;

e^{fa} – середній коефіцієнт який визначається в залежності від кута обхвату і матеріалу барабана, $e^{fa} = 2,5$.

$$S_1 = 95,61 \text{ Н.}$$

Сила опору на ділянці W_{2-3} визначається за допомогою формули:

$$W_{2-3} = K_c S_2 \quad (2.6)$$

де K_c – загальний коефіцієнт місцевих опорів який приймається 1,1.

S_2 – натяг в точці траси 2;

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} \quad (2.7)$$

$$S_2 = 133,18 \text{ Н}$$

Підставивши значення до (2.6) отримаємо:

$$W_{2-3} = 146,5 \text{ Н.}$$

Знайдемо натяг в точці 3 рис. 2.1:

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} \quad (2.8)$$

$$S_3 = 279,68 \text{ Н}$$

Натяг в точці 4 знайдемо за формулою:

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} \quad (2.9)$$

$$S_4 = 336.13 \text{ Н.}$$

Сила опору на ділянці 1-4 дорівнює:

$$W_{1-4} = K_c S_4 \quad (2.10)$$

$$W_{1-4} = 369.74 \text{ Н.}$$

Для того щоб розрахувати P_0 (2.2) нам необхідно визначити ккд барабанів η_{δ} за формулою:

$$\eta_{\delta} = \frac{1}{1 + \omega_{\delta} \cdot (2 \cdot K_s - 1)} \quad (2.11)$$

де $\omega_{\text{бар}}$ – коефіцієнт опору барабана, $\omega_{\text{бар}} = 0,04$

K_s – функція від коефіцієнта зчеплення барабана зі стрічкою μ , $K_s = 2,86$.

Тоді для η_{δ} маємо:

$$\eta_{\delta} = 0,84.$$

Просумувавши сили опору руху стрічки W , та підставши до формули (2.2) значення η_{δ} отримаємо для P_0 :

$$P_0 = 4,14 \text{ кВт.}$$

На підставі цього, за формулою (2.1) отримаємо значення потужності двигуна $P_{\text{дв}}$:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,4 \cdot 4,14}{0,85 \cdot 0,95} = 7,18 \text{ кВт.}$$

2.3 Вибір електродвигуна.

У попередньому розділі ми розрахували мінімальну необхідну потужність електродвигуна, яка становить 7,18 кВт.

Також треба враховувати той факт що вал електродвигуна під'єднаний лр приводного барабану не на пряму, а через редуктор. В нашому випадку це конічно-циліндрічний редуктор КЦ1-200-10, який має передаточне число $i=10$.

Для забезпечення максимальної швидкості руху стрічки у 1,5 м/с кутова швидкість приводного барабану повинна бути:

$$\omega_{n\bar{o}} = \frac{2 \cdot v_{cmp}}{D_{\bar{o}}} \quad (2.12)$$

де v_{cmp} – лінійна швидкість руху стрічки, $v_{cmp} = 1,5$ м/с;

$D_{\bar{o}}$ – діаметр приводного барабану, $D_{\bar{o}} = 315$ мм.

$$\omega_{n\bar{o}} = 9,97 \text{ рад/с.}$$

Тоді кутова швидкість на валу двигуна повинна бути:

$$\omega_{\partial\bar{o}} \geq i \cdot \omega_{n\bar{o}} = 99,7 \text{ рад/с.}$$

Або:

$$n_{\partial\bar{o}} \geq \frac{30 \cdot \omega_{n\bar{o}}}{\pi} \quad (2.13)$$

$$n_{\partial\bar{o}} \geq 955 \text{ об/хв.}$$

Обирати електродвигун будемо з каталогу серії АІР, в якому найближчі параметри до заданих це:

$$P_{\partial\bar{o}} = 7,5 \text{ кВт}$$

$$n_{ном} = 970 \text{ об/хв.}$$

Згідно цих параметрів обираємо модель електродвигуна АІР132М6 У3, який має характеристики наведені у таб. 2.2.

Таблиця 2.2 – основні характеристики електродвигуна АІР132М6 У3

Параметр		Значення
Потужність	P_n	7,5 кВт
Частота обертання фазова (фактична)	$n_0 (n_n)$	1000 (970) об/хв
Напруга живлення	U	380 В
Сила струму	I_n	17,2 А
ККД	η	86,0 %
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,77

Співвідношення обертальних моментів	M_n/M_n	2
Співвідношення обертальних моментів	M_{max}/M_n	2,1
Співвідношення струмів	I_n/I_n	6,5
Момент інерції	j	0,597 кгм ²
Рівень шуму	L	73 дБ
Вага	m	84 кг

Двигун має кліматичне виконання УЗ яке відповідає помірному клімату, та захист від пилу та крапель води рівня IP55, та призначений для роботи у довготривалому режимі S1.

2.4 Вибір захисного обладнання для релейно-контакторної схеми включення.

При підключенні трифазного асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором до електромережі, необхідно застосовувати засоби автоматичного захисту як обладнання від неормативних режимів роботи так і працівників від ураження електричним струмом.

Так для захисту обладнання від струмів короткого замикання використовують автоматичні вимикачі. Вони повинні мати струм спрацьовування при короткому замиканні більший ніж пусковий струм електродвигуна, тобто:

$$I_{cnp} > I_n \quad (2.14)$$

Для більш точного визначення I_{cnp} скористаємося формулою:

$$I_{cnp} \geq I_n \cdot K_n \quad (2.15)$$

де I_n – пусковий струм двигуна, $I_n = 112$ А;

K_n – коефіцієнт визначення струмів, для $I_n < 100$ А $K_n = 1,4$.

Для параметру I_{cnp} повинна виконуватись умова:

$$I_{cnp} \geq 157 \text{ А.}$$

В якості довготривалого струму в лінії беремо значення номінального струму електродвигуна, $I_n = 17,2$ А. При цьому теплова уставка автоматичного вимикача повинна бути:

$$I_m \geq \frac{I_n}{K_m} \quad (2.16)$$

де K_m – тепловий коефіцієнт умов монтажу, $K_m = 0,85$

$$I_m \geq 21 \text{ А.}$$

Виходячи з цих параметрів вибираємо автоматичний вимикач із тепловою уставкою $I_m = 25$ А і струмом спрацьовування при короткому замиканні $I_{cnp} = 10 \cdot I_m = 250$ А.

Зупинимо вибір на моделі автоматичного вимикача Easypact EZC100H - TMD - 25 А, який має наступні параметри.

$I_{ном} = 32$ А; Теплова уставка $I_m = 25$ А; Струм короткого замикання $I_{cnp} = 250$ А.

Також, дана модель має особливість, а саме нижній діапазон робочих температур, який становить -20°C , що дозволяє використовувати це обладнання поза межами опалюваних приміщень.

Для безпосереднього пуску двигуна необхідно вибрати магнітний пускач, а також теплове реле для захисту двигуна від довготривалих струмових навантажень.

Робочий струм магнітного пускача повинен бути більшим за струм двигуна I_n . Тому оберемо магнітний пускач із максимальним робочим струмом 22 А моделі e.industrial.ukc.22.380, який має напругу керуючої котушки 380 В, що дасть змогу уникнути використання додаткового понижуючого трансформатора для забезпечення живлення котушки пускача.

В якості теплового реле оберемо модель РТ 1321, яке має регульований діапазон робочих струмів від 12 А до 18 А і може встановлюватись безпосередньо на магнітний пускач.

2.5 Прямий пуск електродвигуна.

В попередніх розділах ми вибрали трифазний асинхронний двигун та захисні прилади для нього. Тепер із застосування цих приладів побудуємо класичну релейно-контакторну схему прямого пуску двигуна, рис. 2.2.

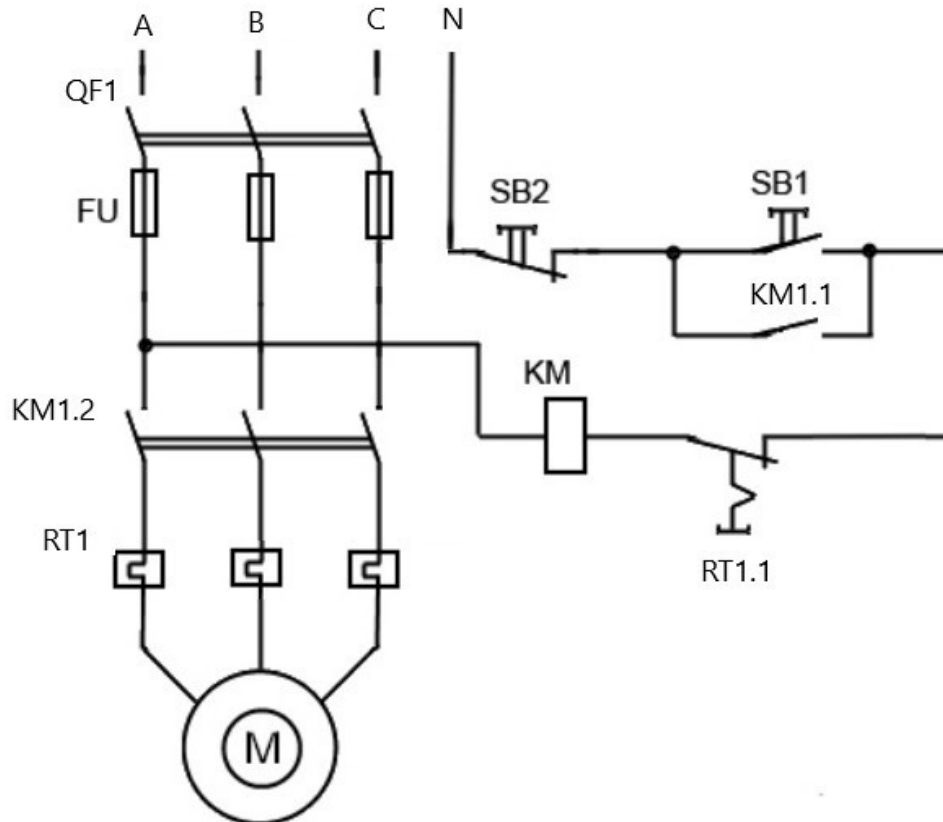


Рисунок 2.2 – класична схема прямого пуску електродвигуна.

Ця схема працює за відомим принципом автопідхвату, коли при натисканні кнопки пуску SB1 замикається коло живлення магнітного пусача і його котушка KM замикає контактні групи KM1.1 і KM1.2. За рахунок замикання котушкою контактів 1.1 вони залишаються замкненими навіть після відпускання кнопки SB1. Коло живлення котушки пусача KM залишається замкненим доки не буде натиснута кнопка зупинки SB2, або не спрацює теплове реле RT1 і не знеструмить котушку розмиканням контактів RT1.1.

Також можна повністю знеструмити усю систему шляхом вимикання автоматичного вимикача QF1.

Головним недоліком використання такої схеми включення асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором є наявність великих пускових струмів в момент розгону ротора двигуна до номінальних значень частоти обертання. Цей процес може займати навіть декілька секунд, в залежності від параметрів двигуна та його навантаження.

Для обраного нами двигуна, пусковий струм становить $I_n = 112$ А, що у випадку живлення електроприводу мобільного транспортеру від трифазного генератора, може призвести до спрацьовування систем захисту генератора, або надлишкової витрати палива.

Останнім часом, все частіше, для пуску асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором застосовують перетворювачі частоти, які дозволяють значно знизити коефіцієнт I_n/I_n .

2.6 Застосування пертворювача частоти.

Пусковий струм для схеми управління з прямим пуском двигуна привода конвеєра можна розрахувати за формулою:

$$I_n = K_n \cdot I_n = 6,5 \cdot 17,2 = 122 \text{ А.}$$

Прямий пуск супроводжується суттєвим зниженням напруги у внутрішній мережі електропостачання. Це створює певні труднощі. В першу чергу, знижується пусковий момент двигуна та моменти обертання двигуна, що вже працює. Крім того зменшується світловий потік від електричних джерел освітлення.

Щоб зменшити пусковий струм, для двигунів потужністю 15 кВт і більше, рекомендується використання схеми пуску при з'єднанні обмоток фаз статора зіркою з подальшим перемиканням їх на трикутник. Завдяки такому рішенню, струм двигуна знижується в 1.7 разів, а пускова потужність зменшиться в 3 рази. Також і пусковий момент двигуна буде знижено в 3 рази.

Вибір такої схеми значно переважає над схемою прямого пуску двигуна, однак має свої недоліки. В першу чергу, вона призводить до зниження напруги у

внутрішній мережі електропостачання, що, в свою чергу, знижує пусковий момент двигуна та момент обертання запущеного двигуна, як і в минулому випадку. Але ці проблеми значно менше виражені.

Використання пристроїв для плавного запуску двигуна може вирішити проблему зменшення пускового струму. Однак, це не дозволить регулювати частоту обертання та контролювати роботу привода.

Перетворювачі частоти, в порівнянні з пристроями плавного пуску, мають на 20-30% вищу вартість для тієї ж потужності. Однак, вони також мають і деякі переваги. Вони не лише здійснюють плавний запуск двигуна, а й можуть регулювати частоту їх обертання. Також ПЧ забезпечує запуск та зупинку привода без використання магнітних пускачів. Ще однією перевагою є захист від струмів короткого замикання та струмів тривалого перевантаження, а також перетворювачі можуть блокувати роботу двигуна, якщо з'являються струм витоку при порушення опорів ізоляції обмоток двигуна, тощо. Частотний перетворювач може ще мати ПД-регулятор та внутрішні датчики контролю частоти обертання ротору, струму, потужності, моменту двигуна.

Сучасні ПЧ дозволяють реалізовувати схему із зворотнім зв'язком, коли ПЧ отримує дані частоти обертання на виході електроприводу і може забезпечувати і стабільність із точністю $\Delta n \leq 1,0 \%$. Така висока точність не завжди потрібна та потребує наявності різноманітних датчиків на виходному валу електропривода. Без застосування зворотнього зв'язку, точність керування частотою обертання становить не гірше 5%, чого в повній мірі достатньо для регулювання обертів у більшості випадків використання асинхронних двигунів.

Так як вимоги до точності підтримки швидкості обертання валу конвеєра відповідають технічному завданню та складають 5%, то можна використовувати перетворювач частоти без використання внутрішнього регулятора (без зворотніх зв'язків).

Перетворювачі частоти, що застосовуються в асинхронних двигунах, можуть забезпечувати роботу електроприводу з коефіцієнтом потужності більше 0.95 ($\cos\varphi \geq 0,95$). З цього можна зробити висновок, що використання

перетворювача індивідуальної установки не вимагається для компенсації реактивної потужності привода.

Використання перетворювача частоти дозволить регулювати частоту обертання валу конвеєра, що, в свою чергу, підвищить якісні та кількісні характеристики його роботи, а також знизить витрату електроенергії при переміщенні продукції.

Окремо варто відмітити перетворювачі частот в системах управління приводами змінного струму, що дозволяють плавно регулювати швидкість обертання ротора двигуна. Завдяки можливості плавно розганяти двигун, їх можна використовувати у приводах, з підвищеними вимогами до динаміки та перевантаження. Наприклад, подібні системи застосовують в пакувальних машинах, сепараторах, ліфтах та підйомниках. Такі перетворювачі частоти також і підвищують ККД двигунів при значних змінах навантаження, так як здійснюють ще й функцію енергозбереження. Крім того, ПЧ ще захищають агрегат від струмів короткого замикання та перевантаження, обриву і перекоосу фаз, бо мають вбудований ПД-регулятор, що дозволяє легко їх інтегрувати в будь-яку систему автоматичного управління за допомогою вбудованих інтерфейсів RS-232 / RS-485. Також наразі випускаються ще й компактні модулі, що одразу мають двигун з короткозамкненим ротором та перетворювач частоти, що значно спрощує їх інтеграцію в агрегат.

Наразі розповсюджені два основних типи перетворювачів частоти: з безпосереднім зв'язком та з проміжним контуром постійного струму. У перших перетворювачах вихідна напруга синусоїдальної форми формується з ділянок синусоїд вхідної напруги. Ще в таких перетворювачах максимальне значення вихідної частоти принципово не може дорівнювати частоті мережі, від якої він живиться. Відповідно, на виході частота завжди знаходиться у діапазоні від 0 до 25-33 Гц. При всіх їх перевагах, такі перетворювачі частоти не набули широкого розповсюдження.

Значно більшого розповсюдження набули перетворювачі із проміжним контуром постійного струму, що виконані на базі інверторів напруги. На рисунку 2.3 можна розглянути схему такого перетворювача частоти.

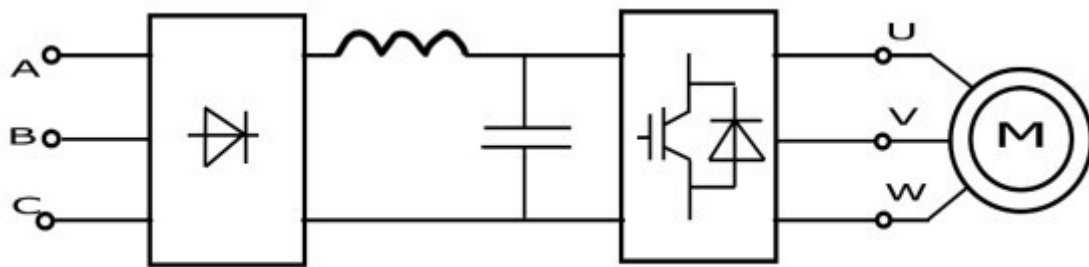


Рисунок 2.3 – Функціональна схема перетворювача частоти (ПЧ) із проміжним перетворенням.

Принцип роботи такий, що змінна напруга мережі трансформується у постійну за допомогою діодного випрямляча та згладжується у проміжному колі індуктивно-ємнісним фільтром. В свою чергу, інвертор, виконаний на основі IGBT-модулів, здійснює зворотнє перетворення із постійного струму в змінний, що забезпечує генерацію вихідного сигналу із необхідними значеннями напруги та частоти. Найчастіше в інверторі застосовується метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Завдяки цьому, вихідний сигнал перетворювача являє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди та змінної тривалості, що на індуктивному навантаженні формує струми синусоїдальної форми (Рис. 2.4). Це забезпечує можливий діапазон керування частотою від 0 до кількох тисяч герц.

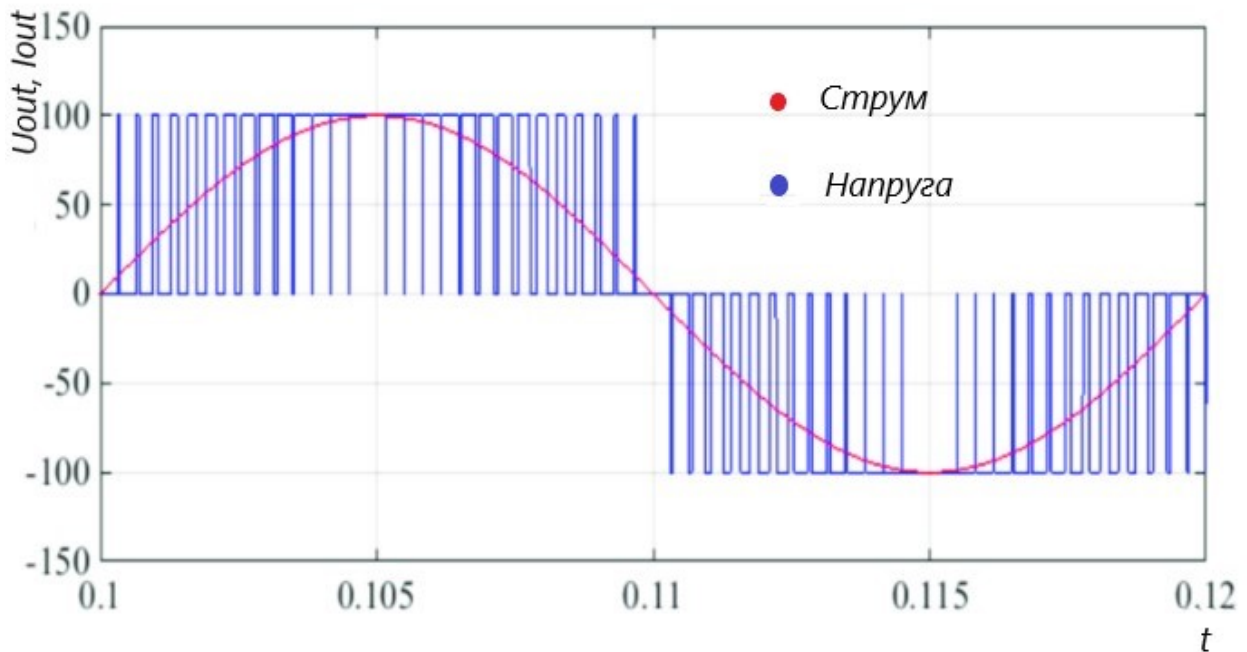


Рисунок 2.4 – Вихідні сигнали перетворювача частоти.

Типи навантажень. Тип навантаження та діапазон швидкостей - це вимоги, що визначаються для електроприводів. Цікаво, що залежність між швидкістю обертання та моментом опору неоднакова для навантажень різного типу. Деякі види навантаження можуть бути розглянуті, а ті, що мають постійний момент у всьому діапазоні регулювання швидкості. Подібний підхід задіяний в компресорах, конвеєрах та поршневих насосах.

Також існують такі види навантажень, що мають змінну механічну характеристику. У таких випадках момент навантаження зростає зі збільшенням швидкості обертання. Прикладом таких електричних приладів є відцентрові насоси чи вентилятори. Їх механічна характеристика записується у вигляді рівняння квадратичної параболі. Це значить, що потужність, яка споживається, пропорційна кубу швидкості обертання. З цього можна зробити висновок, що незначне зниження швидкості привода може дати помітний приріст у потужності. Тому економія електроенергії є головною перевагою використання керованого електропривода для таких пристроїв, як вентилятори та насоси. В теорії, зниження швидкості всього на 10% може давати приблизно 30% економії потужності споживання.

Перетворювач частоти може забезпечувати різні режими керування двигуном у залежності від характеру навантаження. Це дозволяє реалізувати залежність між швидкістю обертання електроприводу та вихідною напругою. Для реалізації режиму з лінійною залежністю між напругою та частотою часто використовуються простіші перетворювачі частоти. Вони забезпечують постійний момент навантаження і можуть використовуватися для управління синхронними двигунами чи двигунами, що підключені паралельно. Але при зменшенні частоти, через певний час максимальний момент двигуна почне знижуватися. Щоб цього не сталося на низьких частотах у перетворювачах є функція підвищення початкового значення вихідної напруги. Вона й використовується для компенсації падіння моменту для навантажень з постійним моментом, або збільшення початкового моменту для навантажень з високим пусковим моментом. Це використовується, наприклад, в промислових міксерах. Квадратична залежність напруга/частота використовується для регулювання приводів насосів та вентиляторів і також може бути застосована для управління двигунами, що підключені паралельно.

Для зупинки чи уповільнення обертання двигуна, застосовуються не лише механічні, а й електричні способи гальмування. Суть останнього в тому, що машина переводиться в режим генератора, що утворює електромагнітний момент направлений в сторону проти руху.

Найпростіший спосіб зупинки приводу - це відімкнути його від мережі. Далі він зупиниться за інерцією, при цьому, час до повної зупинки не буде регулюватися, а визначатиметься лише інерційними властивостями двигуна та його навантаженням.

Для регульованого часу гальмування використовується генераторний спосіб, що забезпечує перетворювач шляхом зменшення вихідної частоти до необхідного значення. Двигун у цьому випадку перетворюється в генератор та перетворює кінетичну енергію обертання в електричну. Ця енергія, в залежності від типу випрямляючого пристрою, або повертається у первинну мережу, або накопичується в контурі постійного струму перетворювача частоти. Другий варіант, та у випадках, коли навантаження має великий момент інерції, може

знадобитися зовнішній гальмівний опір для розсіювання енергії. При виникненні небезпечної перенапруги у проміжному контурі перетворювача за розсіювання відповідає спеціальна контролююча схема. З цього можна вивести основні переваги генераторного гальмування - це передбачуваний час гальмування та плавність зупинки, а також, високий гальмівний момент. Недоліком же є те, що у випадку швидкої зупинки чи великого моменту інерції, енергія, що виділяється у перетворювачі, може спричинити перегрів вбудованого резистора контуру постійного струму. Тому потрібно буде використовувати зовнішній опір.

Динамічне гальмування здійснюється за допомогою постійного струму. Для цього з обмотки статора двигуна потрібно зняти змінну напругу та подати на одну чи дві фази постійну напругу. Завдяки цьому, магнітне поле спочатку викличе сповільнення, а потім утримання ротора в нерухомому стані. Головною перевагою такого способу гальмування є виділення електричної енергії в роторі двигуна. Завдяки цьому, не потрібно використовувати гальмівний опір та плавну зупинку. Недоліком же є те, що час гальмування стає невизначеною величиною через те, що вихідна частота не контролюється перетворювачем. У порівнянні з генераторним методом гальмування, динамічне є ефективнішим на 30-40%.

Тому, найкраще використовувати комбінований спосіб гальмування. Він включатиме в себе переваги обох електричних способів та дозволить ефективно зупиняти обертання двигуна за короткий час та без виділення тепла у перетворювачі.

Керування перетворювачами частоти здійснюється за допомогою набору спеціальних параметрів. Ці параметри дозволяють або активувати або деактивувати якусь функцію, завдання чи змінити значення параметра і контролювати його. За допомогою кнопок клавіатури на пульті управління перетворювача, можна змінювати властивості двигуна, наприклад час розгону, чи мінімальні та максимальні частоти. На дисплеї вказуються номери вибраних параметрів та встановлені для них значення. Для нашатування оптимального режиму роботи частотно-керованого приводу, що забезпечить максимальну ефективність виробничого процесу, потрібен кваліфікований персонал, що враховуватиме особливості як процесу, так і обладнання двигуна, що

використовується. Можна розглянути, як це зроблено на прикладі перетворювачів серії MICROMASTER Eco і MIDIMASTER Eco. З усього набору наявних параметрів тут виділяють групу спеціально підібраних базових параметрів. Їх налагодження дозволяє, для більшості простих випадків застосування, швидко й вводити привід в експлуатацію. Друга група параметрів служить для більш точного налагодження перетворювача та зветься експертною. Доступ до цих параметрів за замовчуванням заблокований для сторонніх осіб.

Такий спосіб керування дуже зручний на етапі введення в експлуатацію агрегата, а також уже в процесі використання, коли змінюються налаштування перетворювача. Щоб використовувати частотно-регульований привід у складі АСУ ТП, необхідно щоб він взаємодівав з іншими частинами системи керування. Для цього перетворювачі мають систему вводу-виводу даних, що складається з дискретних та аналогових виходів та входів, а також, послідовних інтерфейсів.

В залежності від моделі, перетворювач може мати від трьох до шести програмуємих дискретних входів, що можуть ініціювати функції управління у кількості до 24 команд. Ці функції можна розділити на декілька груп.

1. Функції для управління двигуном, що включають такі задачі як пуск, реверс, зупинка та способи гальмування.
2. Функції для керування вихідною частотою перетворювача. Здійснюється шляхом вибору фіксованої частоти для конкретного входу або заданням у вигляді двійкового коду стану трьох входів (8 значень). До цієї ж групи також належать функції для поступового зменшення чи збільшення вихідної частоти при активному стані відповідного дискретного входу.
3. Службові функції (наприклад, дозвіл дистанційного керування, скидання помилок, тощо).

Живлення вхідних кіл може здійснюватися як внутрішнім джерелом із вихідною напругою в 15 В постійного струму, так і зовнішнім джерелом з напругою 7.5-33.0 В постійного струму.

Активувати дискретні входи можна декількома способами. Один з таких - механічні кнопки на панелі керування установкою. Ще один метод - програмуємі логічні контролери (ПЛК) або пристрої віддаленого вводу-виводу.

Можна розглянути приклад обертання двигуна насоса за допомогою управляючого пристрою. Таким перетворювачем частоти може бути логічний модуль серії LOGO фірми Siemens. Завдяки наявності в цьому модулі прив'язки до реального часу, можна налаштувати необхідні значення вихідної частоти перетворювача через дискретні виходи залежно від часу доби. Також у нагоді може стати невелика особливість перетворювачів частоти фірми Siemens, що дозволяє одночасно активувати декілька виходів перетворювача для вибору фіксованих частот. Завдяки цьому, вихідна частота буде рівна сумі обраних значень. А виходи, що не застосовуються для вибору частоти, можна буде використати для пуску та зупинки привода чи виконання інших необхідних функцій.

Аналогові входи перетворювача дозволяють здійснювати безперервне та контрольоване управління вихідною частотою. Наприклад, деякі ПЧ мають лише один такий вхід, а інші можуть мати два, що дасть додаткові можливості для керування двигуном. Кожен вхід має чітко визначене призначення. Аналоговий вхід №1 може бути використаний для задання частоти за допомогою сигналу у вигляді струму чи напруги. Але крім того, є можливість додаткових можливостей з використанням таких входів. Наприклад, можна задати режим запуску перетворювача за допомогою вхідного сигналу з досягнення ним визначеного значення. А деякі перетворювачі можуть мати реверсивне керування двигуном при використанні біполярного сигналу ± 10 В.

За допомогою аналогових входів можна реалізувати ручне керування. Для цього потрібно підключити до перетворювача зовнішній потенціометр із опором від 5 до 100 кОм, для живлення якого в перетворювачі буде передбачене малопотужне джерело з вихідною напругою в 10 В. З повзунка потенціометра потрібно подавати сигнал на аналоговий вхід №1. За замовчуванням, переміщення повзунка, від одного крайнього положення до іншого, буде викликати зміни значення вихідної частоти в межах від 0 до 50 Гц. Змінити граничні значення можна шляхом зміни значень відповідних параметрів перетворювача.

Перетворювачі Siemens мають вбудовані функції ПІД- та ПІ-регулювання, що дозволяє за їх допомоги здійснювати точне регулювання будь-якого

зовнішнього параметру, поставленого у залежність від швидкості обертання двигуна. Наприклад, так можна налаштувати тиск насоса, температуру в системі вентиляції, тощо. Для роботи в такому режимі потрібно використовувати відповідного давача.

Задача аналогового виходу №2 - це прийом сигналу від давача. Прикладом такого використання може бути використання асинхронного двигуна в агрегатах для підтримки постійного тиску у системі водопостачання чи вентиляції. В такому випадку, необхідне значення тиску можна задати через аналоговий вхід №1 через потенціометр. У якості датчика тиску може бути використаний перетворювач SITRANS P серії Z фірми Siemens. Він перетворюватиме тиск у трубопроводі в електричний сигнал 4-20 мА, що поступатиме на аналоговий вхід №2 перетворювача частоти. Щоб заживити датчик, має бути друге вбудоване джерело живлення з вихідною напругою в 15 В та навантажувальною здатністю 50 мА. Задавання коефіцієнтів підсилення пропорційної, інтегральної та диференційної ланок ПД-регулятора буде здійснюватись через відповідні параметри ПЧ.

Вищеописані способи керування перетворювачами частоти є прикладами місцевого керування. Але також є можливість і дистанційного керування. Для реалізації можна використати, уже вбудований у кожен перетворювача, послідовний інтерфейс, що відповідає стандарту EIA RS-485.

Можна створити цілу мережу для передачі даних на базі цього інтерфейсу. І ця мережа може об'єднувати в собі до 31 перетворювача, кожен з яких матиме власну унікальну адресу, що задаватиметься через відповідний параметр. За допомогою комп'ютера, ПЛК чи зовнішнього пульта керування перетворювача, можна буде керувати всіма перетворювачами в мережі. Для обміну даними існує спеціальний протокол USS, що був створений компанією Siemens. Він підтримується всіма серіями ПЧ. Протокол представляє собою конфігурацію "ведучий-ведений". Ведучий тут виступає ініціатором обміну (ведучий пристрій), а ведений лише відповідає на повідомлення, що передається в його адресу. Крім того, протокол USS дозволяє одночасно відправити повідомлення на всі наявні в мережі пристрої. Швидкість обміну, що підтримується протоколом, досягає 19 кбод. Повідомлення має фіксовану довжину в 14 байт у стандартному форматі для

пристроїв з асинхронним режимом обміну: 1 старт-біт даних, біт контролю парності та стоп-біт. Завдяки цьому, користувач може реалізувати протокол USS для власного управляючого пристрою, щоб налаштувати гнучке керування перетворювачами.

Більшість сучасних перетворювачів вжт у початковій конфігурації підтримують протокол Modbus що дозволить підключити їх до промислової мережі. Це дозволить забезпечити простий та відносно дешевий спосіб інтеграції частотно-керованого приводу в систему автоматизації. У багатьох виробників є можливість розширити можливості зв'язку із ПЧ за рахунок встановлення додаткових модулів із підтримкою необхідного протоколу та фізичного інтерфейсу.

2.7 Вибір перетворювача частоти.

Перетворювач частоти повинен відповідати характеристикам обраного двигуна. Так він повинен забезпечувати номінальний вихідний струм на рівні 17 А та напругу до 380 В.

На сьогоднішній день на ринку представлені безліч моделей ПЧ, як від загальновідомих виробників, так і від компаній які тільки виходять на ринок.

Звернемо увагу на продукцію фірми SIMPHOENIX, яка має привабливу ціну забезпечує необхідний мінімум функціональних можливостей ПЧ, а також має можливість його розширення за рахунок встановлення додаткових модулів.

Для керування електроприводами конвеєрів, виробником пропонується модель E280-4T-7.5G/10P яка має характеристики наведені у табл. 2.3

Таблиця 2.3 – основні характеристики ПЧ E280-4T-7.5G/10P

Параметр		Значення
Вхідна напруга	U_{in}	3Ф 380 В
Вхідна частота	f_{in}	50 Гц
Вихідна напруга	U_{out}	0...380 В

Вихідна частота	f_{out}	0...300 Гц
Номінальний вихідний струм	I_H	17 А
Потужність керуемого електродвигуна	P_H	до 7,5 кВт
Точність керування		1:100
Час реагування	t	≤ 25 мс
Додаткові дискретні входи	DI	6
Додаткові дискретні виходи	DO	2
Додаткові аналогові входи	AI	2
Додаткові аналогові виходи	AO	2
Інтерфейс та протокол зв'язку		RS485/Modbus
Діапазон робочих температур	T	-10°C+45°C
Вологість навколишнього середовища	ε	$\leq 95\%$

Також ця модель ПЧ має вбудований захист від:

- Завищеної та пониженої напруги живлення;
- Перекос фаз живлення;
- Короткого замикання в вихідних колах;
- Зникнення однієї з вихідних фаз;
- Первантаження електродвигуна;
- Перегріву електродвигуна та ліній його живлення;
- Перевантаження внутрішнього інвертору.

Схема підключень наведена на рис. 2.5

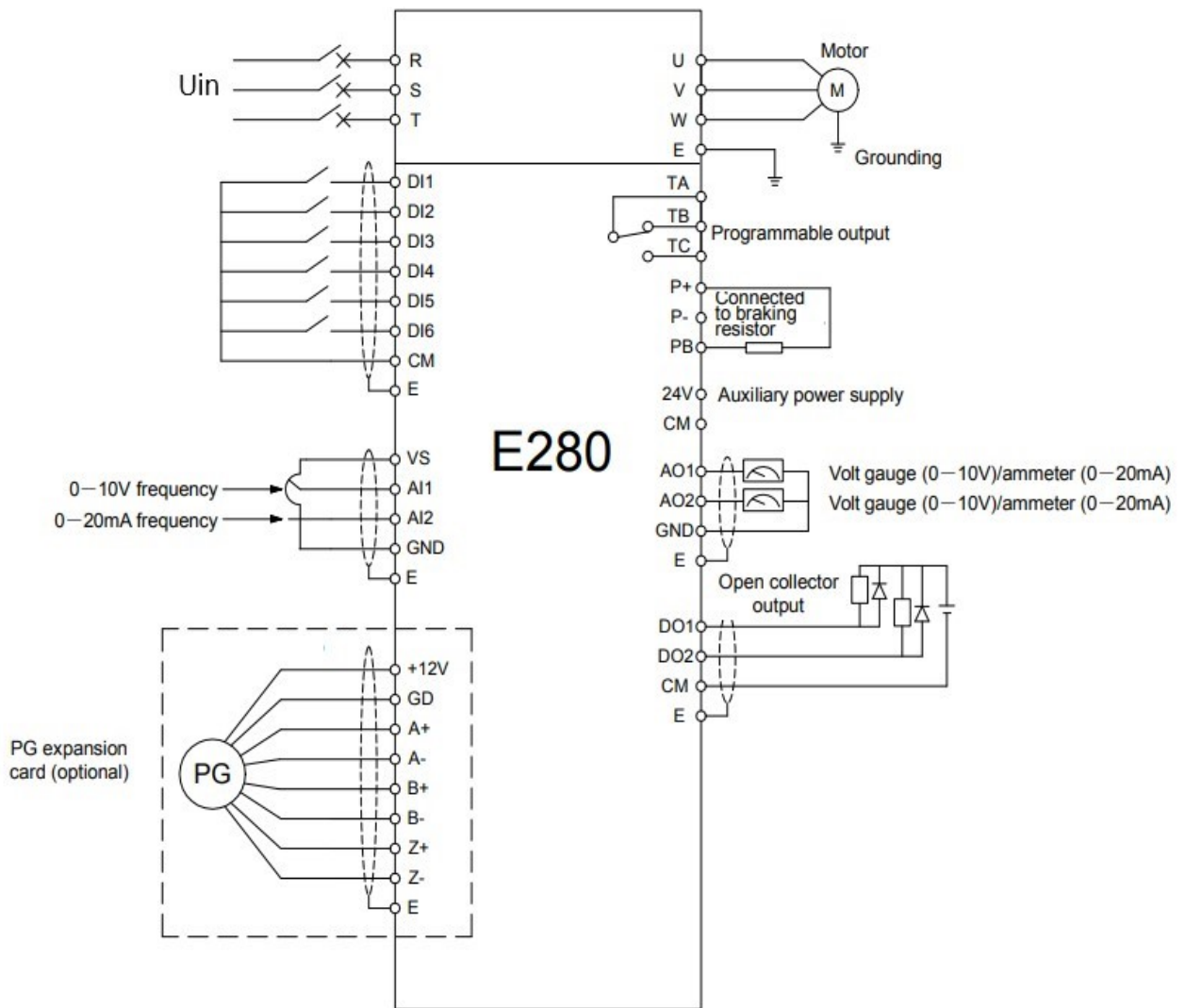


Рисунок 2.5 – Схема підключень до ПЧ E280-4T-7.5G/10P

Враховуючи той факт, що при використанні перетворювача частоти відпадає необхідність використовувати магнітний пускач та теплове реле, то схема включення електродвигуна та ПЧ набуває вигляд рис. 2.6.

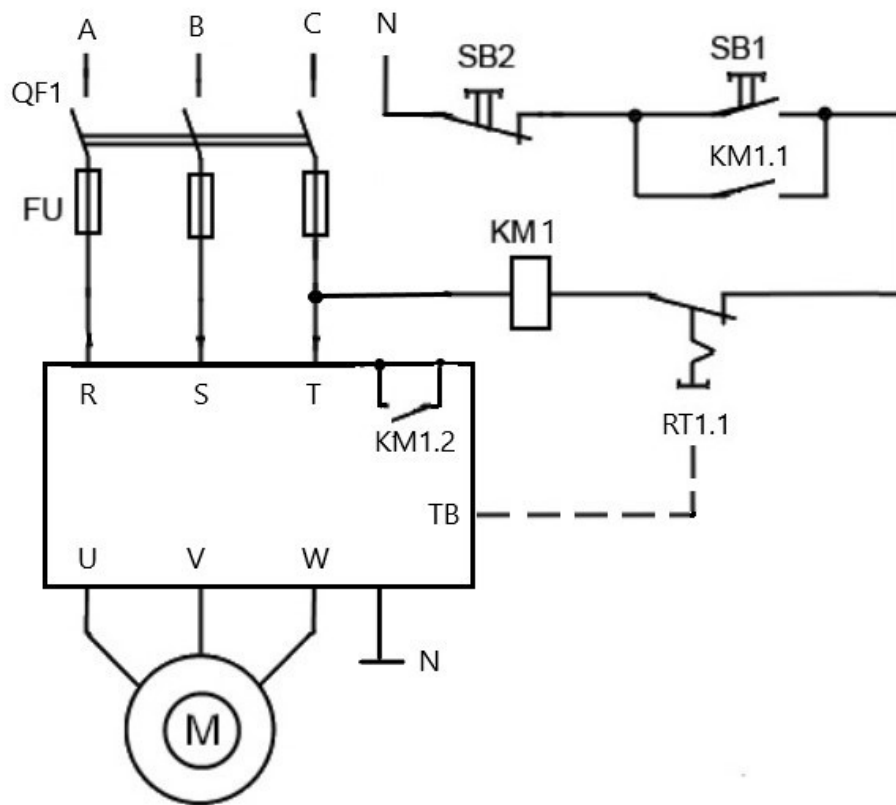


Рисунок 2.6 – Загальна схема включення ПЧ та АД.

Також, в сучасних ПЧ реалізовані усі необхідні системи захисту як електродвигуна, так і самоперетворювача, тому кнопки SB1 та SB2, на пис. 2.6, виконують здебільшого дублюючі функції.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА ПЕОМ

3.1 Постановка задачі моделювання роботи електропривода на ПЕОМ.

Основна задача використання частотно-регулюючого електроприводу - це забезпечення енергоефективності та підвищення коефіцієнта корисної дії того чи іншого обладнання. Математичне моделювання, в свою чергу, призване створити систему керування, що забезпечить збереження максимального обертового моменту валу двигуна в режимі роботи на низьких обертах. Важливо враховувати, що вибір системи моделювання має відповідати тим процесам, що відбуваються у перетворювачі. Крім того, для рівнень руху при використанні векторного управління не підійде стаціонарна система координат. Тут краще буде використати систему Арка-Горева.

Завдяки такому рішення, можна створити систему управління асинхронним двигуном (АД), користуючись тими ж принципами, що й в системах для керування двигунами постійного струму. Варто зазначити, що таке рішення також дозволяє зробити параметри асинхронного двигуна наближеними до параметрів двигуна постійного струму, що, в свою чергу, дає змогу збільшує рівень економічної ефективності привода, що розглядається.

Для створення моделі роботи регулюючого електроприводу в режимі двигуна чи генератора було використано *Asynchronous Machine* з пакету програм *MANLAB*.

Знак електромагнітного моменту вказує на режим роботи агрегату. Порти моделі для виводу обмотки статора машини показані літерами *A*, *B* та *C*, а порти для виводу обмотки ротора - літерами *a*, *b* та *c*, відповідно. Окремий порт з позначкою *Tm* необхідний для подавання моменту опору руху. Вихідний порт *m* формує секторний сигнал. Він, в свою чергу, складається з 21 елемента. Сюди входять ток та потоки і напруги статора й ротора в обіговій та нерухомій системах координат. Також до складу сигналу входить електромагнітний момент кутової частоти обертання валу і його кутового положення. Щоб витягнути змінні з вектора в бібліотеці *Sim Power Systems* використовується блок *Machines Measurement Demux*.

Модель АД складається з ще двох моделей: електричної та механічної частин. Перша представлена у вигляді моделі простору стану четвертого порядку, а друга у вигляді системи другого порядку. Змінні та параметри машини приводяться до статора. Початкові рівняння електричної частини агрегату записані для двофазної системи координат. На рис. 3.1 представлена схема заміщення машини в координатах qd яка наведена в програмному комплексі Simulink:

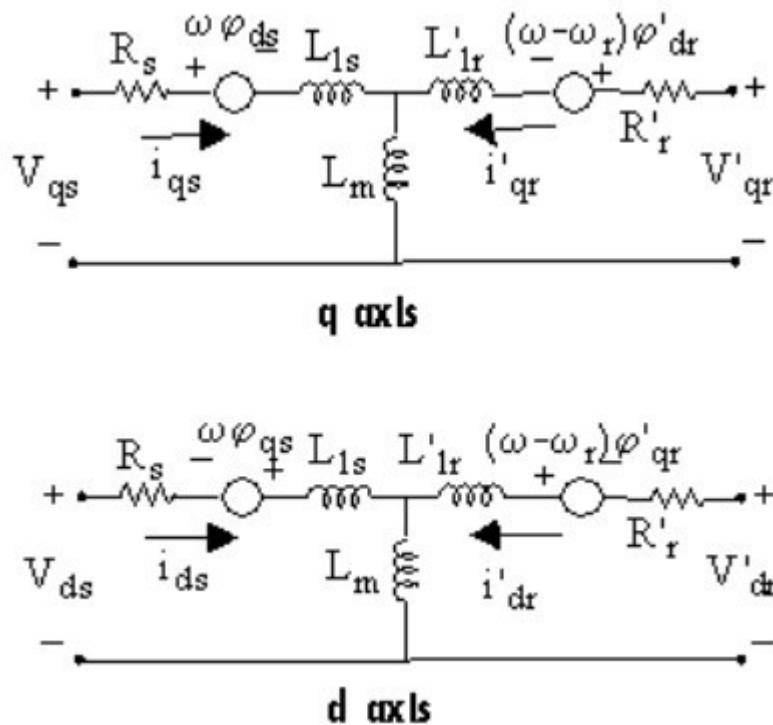


Рис. 3.2 - Схема заміщення машини Simulink

Режими роботи машини позначаються знаком електромагнітного моменту.

Нижче представлені рівняння які використовуються програмним комплексом для обчислювання електричної частини машини за цією схемою:

$$V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega\phi_{ds}$$

$$V'_{qr} = R'_r \cdot i'_{qr} + \frac{d\phi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \cdot \phi'_{dr}$$

$$V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} + \omega \varphi_{qs}$$

$$V_{dr}' = R_r' \cdot i_{dr}' + \frac{d\varphi_{dr}'}{dt} + (\omega - \omega_r) \cdot \varphi_{qr}'$$

Для того щоб програмний комплекс міг коректно застосовувати ці рівняння ми повинні вказати параметри властиві саме обраній намі електричній машині, а саме опір ротора та статора та їхня індуктивність.

3.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна електропривода конвеєра.

Щоб змоделювати роботу двигуна з КЗ ротором, пакет програм MATLAB дає можливість розрахувати параметри схеми заміщення.

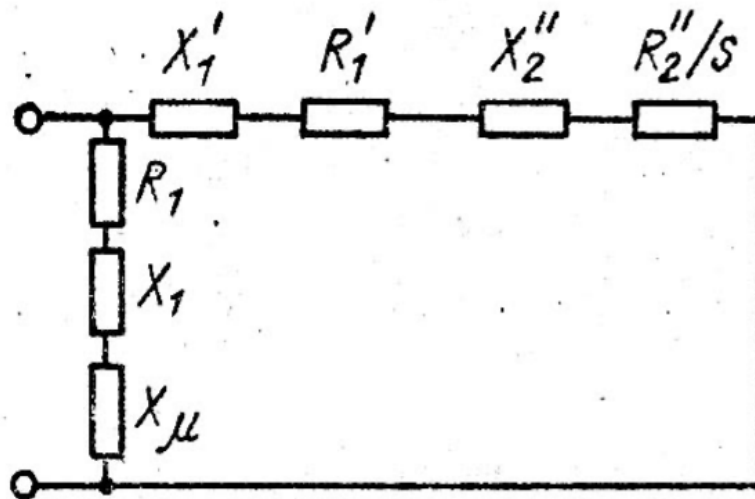


Рисунок 3.3 – Г-Схема заміщення асинхронного двигуна.

У схемі заміщення двигуна технічні параметри приведені у відносних одиницях.

В таблиці 2.2, попереднього розділу, представлені технічні параметри двигуна електропривода серії АИР132М6 У3. А в таблиці 3.1 наведемо результат розрахунків параметрів схеми заміщення фази двигуна у фізичних одиницях.

Таблиця 3.2 Технічні параметри двигуна електропривода

x_{μ}	r_1'	x_1'	r_2''	x_2''
2,1	0,06	0,070	0,040	0,11

Ці параметри наведені у відносних одиницях. Щоб використати їх у середі MatLab, нам необхідно привести параметри схеми заміщення у фізичні одиниці.

Потрібно спочатку розрахувати базовий опір двигуна:

$$R_{\sigma} = \frac{U_H}{I_H} \quad (3.1)$$

де U_H – номінальна напруга двигуна, $U_H = 380$ В;

I_H – номінальний струм двигуна, $I_H = 17,2$ А.

Тоді базовий опір двигуна:

$$R_{\sigma} = 22,09 \text{ Ом.}$$

Тепер, маючи значення базового опору, можна розрахувати параметри схеми заміщення у фізичних одиницях, що необхідні для моделювання двигуна:

Активний опір статора:

$$R_1' = R_{\sigma} \cdot r_1' \quad (3.2)$$

$$R_1' = 1,325 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1' = R_{\sigma} \cdot x_1' \quad (3.3)$$

$$X_1' = 1,54 \text{ Ом.}$$

Активний опір ротора:

$$R_2'' = R_{\sigma} \cdot r_2'' \quad (3.4)$$

$$R_2'' = 0,88 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2'' = R_\sigma \cdot x_2'' \quad (3.5)$$

$$X_2'' = 2,43 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір гілки намагнічування в схемі заміщення АД з КЗ ротором:

$$X_\mu = R_\sigma \cdot x_\mu \quad (3.6)$$

$$X_\mu = 46,39 \text{ Ом.}$$

Так як індуктивний опір прямо пропорційний кутовій частоті та індуктивності, можна зробити висновок, що індуктивність також прямо пропорційна індуктивному опору та обернено пропорційна кутовій частоті. Цим можна скористатися, щоб вирахувати потрібні значення індуктивностей:

Для статора:

$$L_s = \frac{X_1'}{2\pi \cdot f} \quad (3.7)$$

$$L_s = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Індуктивність ротора:

$$L_r = \frac{X_2''}{2\pi \cdot f} \quad (3.8)$$

$$L_r = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Індуктивність гілки намагнічування в схемі заміщення:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f} \quad (3.9)$$

$$L_\mu = 0,148 \text{ Гн.}$$

Також нам відомий момент інерції ротора двигуна:

$$J_\sigma = 0,0597 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тепер, маючи потрібні величини, можна використати їх у моделі АД в середовищі Simulink та провести моделювання.

3.3 Моделювання прямого пуску двигуна електропривода.

Використаємо просту схему симуляції прямого пуску двигуна, рис 3.4

На схемі можна побачити джерело трифазного живлення, осцилограф, вимірювальні прилади та трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора приводу.

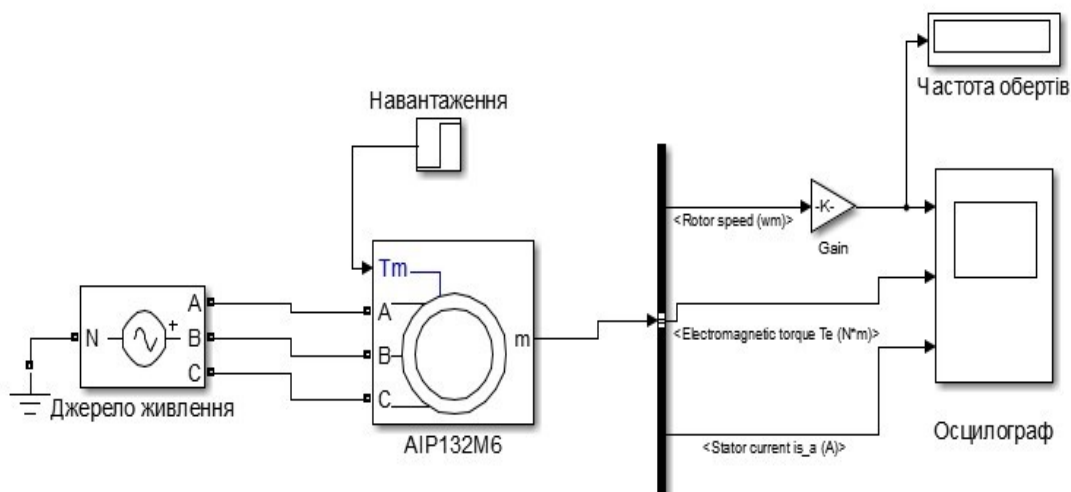


Рисунок 3.4 – Схема моделі прямого пуску в Simulink

Навантаження на валу двигуна дорівнює тому, що розраховано у статичному моменті механізму та являється ступінчастим. Тобто, починає діяти після розгону двигуна до номінальної швидкості та закінчення перехідних процесів. Тут не враховується динамічний момент навантаження, бо він на кілька порядків нижче за статичний момент механізму. В цей же час, динамічний момент двигуна розраховується в моделі для точного розрахунку всіх параметрів, таких як час розгону при холостому ході.

Результати моделювання прямого пуску двигуна з КЗ ротором в середовищі Simulink пакету MATLAB представлено нижче:

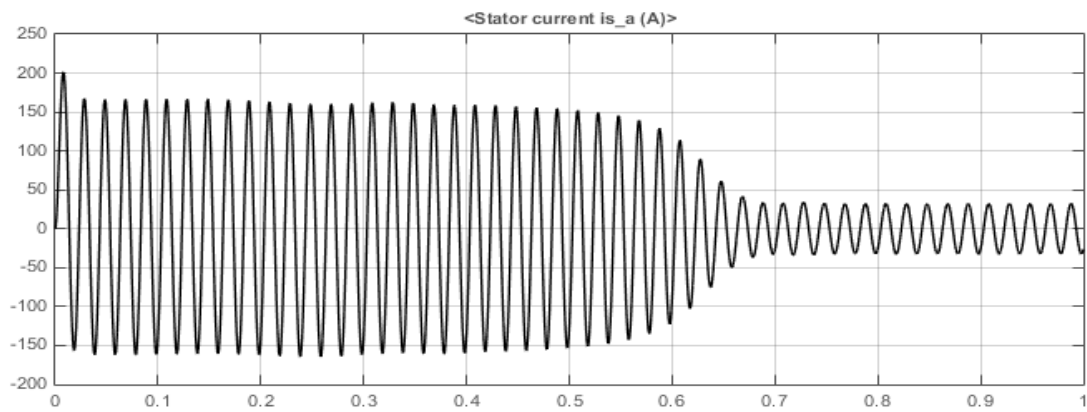


Рисунок 3.5 – Зміна струму фази статора при прямому пуску.

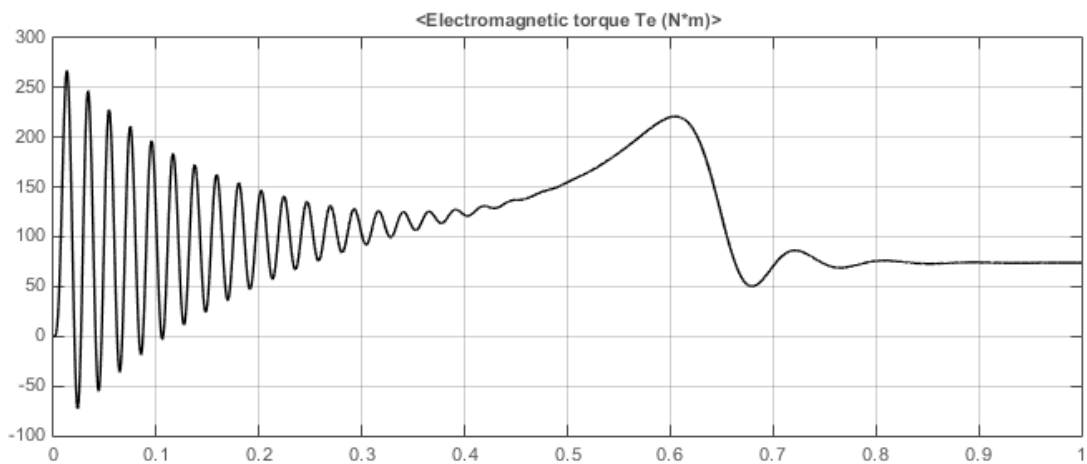


Рисунок 3.6 – Зміна електромагнітного моменту при прямому пуску.

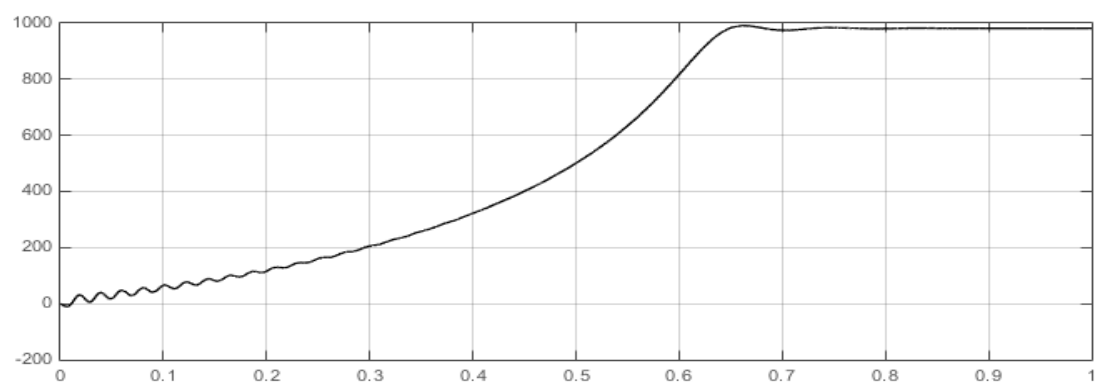


Рисунок 3.7 – Зміна частоти обертів при прямому пуску.

3.4 Моделювання пуску двигуна електропривода з ПЧ.

Нижче представлено модель приводу з перетворювачем частоти ПЧ-АД. В ній використано систему зі зворотнім зв'язком за швидкістю приводу, що забезпечує ширший діапазон для регулювання швидкості. На схемі зображено

джерело трифазного живлення з ШІМ, також трифазний вимірювач напруги та струму обмоток статора, вимірювальні прилади та осцилографи. Закон зміни частоти струму - аперіодичний. Навантаження на валу привода не відрізняється від моделювання прямого пуску.

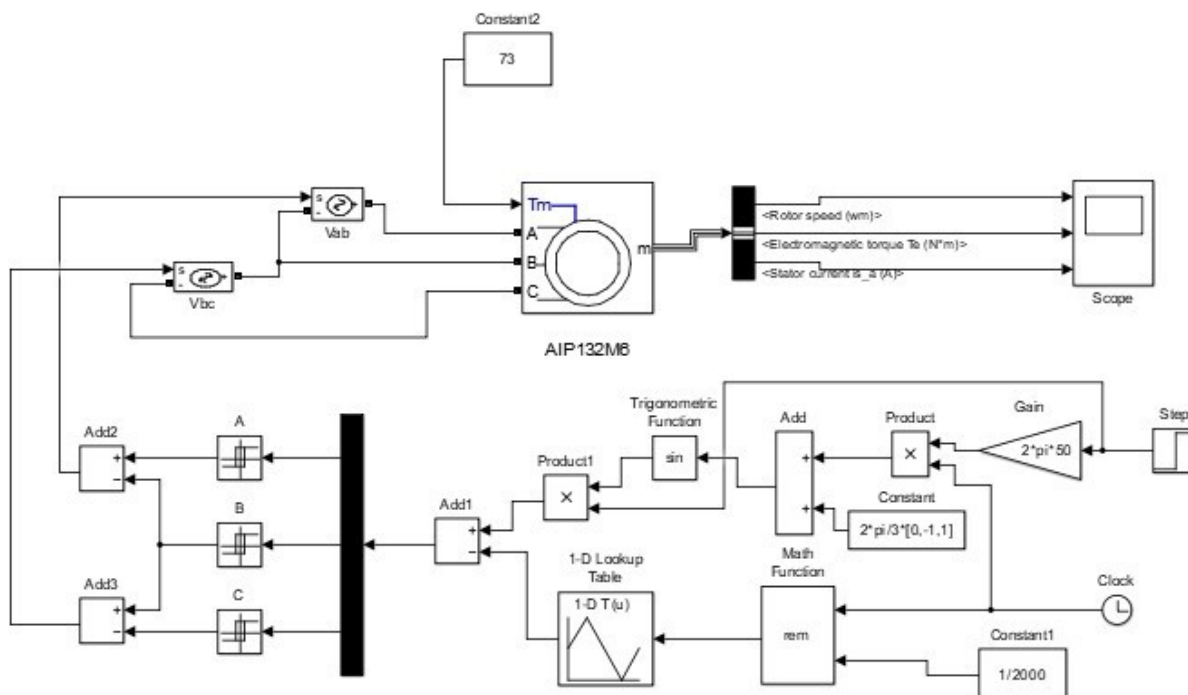


Рисунок 3.8 – Схема моделі пуску AIP132M6 із частотним перетворювачем.

На відміну від прямого пуску, на даній схемі присутні кола керування трифазними джерелами живлення. Вносячи зміни до різних налаштувань елементів керування, ми можемо моделювати різні режими пуску двигуна із звстосуванням ПЧ.

Результати моделювання представлені н рисунках нижче.

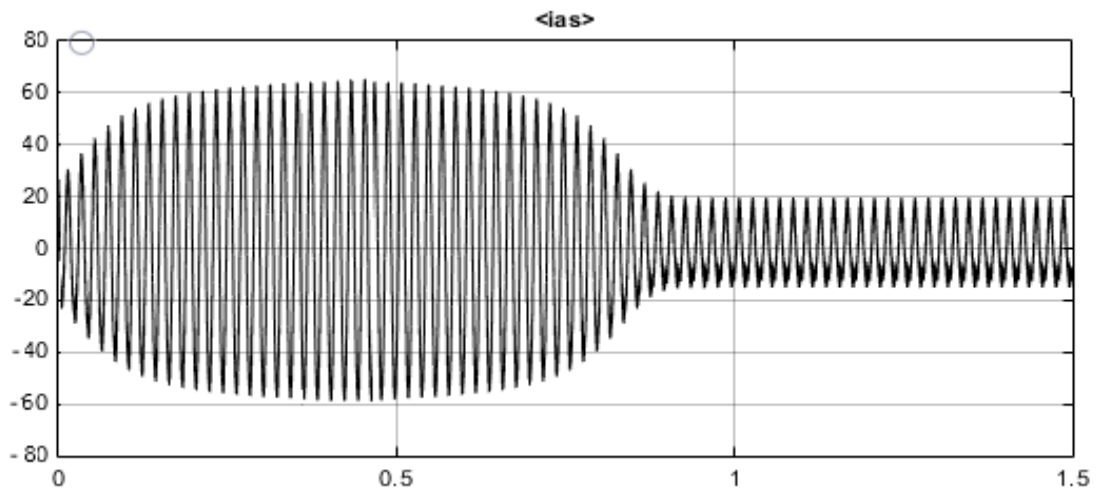


Рисунок 3.9 – Струм статора двигуна при застосуванні ПЧ.

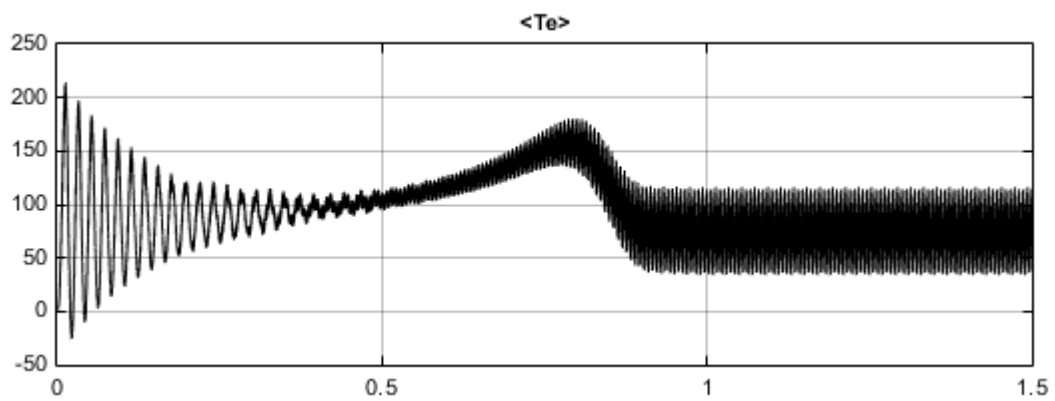


Рисунок 3.10 – Електромагнітний момент при застосуванні ПЧ.

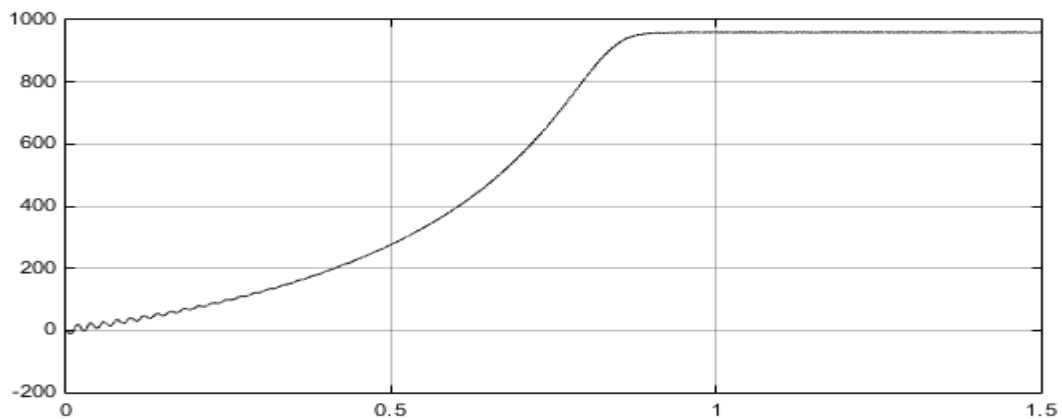


Рисунок 3.11 – Зміна частоти обертів при застосуванні ПЧ.

3.5 Висновки і пропозиції.

Під час прямого пуску АД, напруга лишається сталою на рівні 380 В з частотою в 50 Гц. Через це пусковий струм перевищує номінальний у 5-6 разів. Пусковий струм зменшується до рівня струму холостого ходу протягом приблизно 1 секунди після запуску, навіть при відсутності навантаження. Далі розгон ротора двигуна досягає номінальної частоти обертання також за, приблизно, 0,7 секунду. Під час цього процесу електромагнітний момент спочатку значно збільшується, а після завершення розгону поступово зменшується.

Поетапне збільшення навантаження на двигун призводить до того, що струм та електромагнітний момент АД зростають до своїх номінальних значень. При пуску асинхронного двигуна з використанням перетворювача частоти, напруга, живлення та частота змінного току поступово зростають до номінальних значень, а саме до 380 В та 50 Гц, відповідно, за приблизно 0,9 секунди. Пускові імпульси струму значно зменшуються, а час розгону двигуна збільшується на 0,1-0,2 секунд. При цьому, механічні удари електропривода при пуску конвеєра, з використанням перетворювача частоти, будуть меншими, ніж при прямому пуску.

Трифазний асинхронний двигун серії АИР132М6 потужністю 7,5 кВт із перетворювачем частоти ПЧ типу E280-4T-7.5G/10P потужністю 7,5 кВт буде забезпечувати діапазон регулювання швидкості стрічки конвеєра $v = 0,9...1,5$ м/с. і стабілізацію швидкості з точністю $\Delta v \leq 5,0\%$ в розімкненій схемі управління електроприводом. Тобто, забезпечить нормальну роботу машини електрифікованого агрегату.

4 ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

4.1 Основні положення.

Стрічковий конвеєр являє собою безупинно рухливу конвеєрну стрічку, транспортує різні вантажі як в тарі, так і навалом (головним чином сипучі вантажі).

Стрічковий конвеєр може мати довжину від 1 - 2 м (наприклад, для подачі легких деталей до верстата) та до багатьох км, продуктивність від декількох м³/год до декількох тис. м³/год, ширину стрічки від 0,4 до 1, 8 м, швидкість руху стрічки, в середньому, від 0,5 до 5 м/с.

При функціонуванні стрічкових конвеєрів необхідно забезпечувати безперешкодний рух конвеєрної стрічки без збігання її з барабанів і роликів, без зачіпання за опорні конструкції і без пробуксовки на барабанах.

Робота стрічкових транспортерів повинна бути спланована так, щоб уникати їх завали транспортуємим матеріалом при пуску, зупинці, або в аварійній ситуації.

Швидкість руху конвеєрної стрічки при ручній вантажоразборі повинна бути не більше:

0,5 мс - при масі оброблюваного вантажу до 5 кг;

0,3 м/с - при масі найбільшого вантажу, що перевищує 5 кг.

Електричний привід стрічкового конвеєра повинен забезпечувати плавний пуск конвеєра при повному проектному навантаженні. Електрообладнання конвеєрів повинно працювати відповідно до умов експлуатації.

Блок управління повинен забезпечувати рівномірний розподіл навантаження між приводними барабанами стрічкового конвеєра.

Електрообладнання (електродвигуни, електрична апаратура, прилади, ланцюги управління і т.п.) повинні відповідати чинним правилам і нормам. Стан електроустаткування, ізоляції, заземлюючих пристроїв, захисту від збігання струмів стрічкових конвеєрів необхідно регулярно перевіряти, тому що

пошкодження електропроводки, пускових і заземлюючих пристроїв може призвести до ураження електричним струмом обслуговуючий персонал.

Температура транспортуючих стрічковими конвеєрами вантажів зазвичай відповідає температурі навколишнього середовища і становить від - 10 до 30 °С, в окремих випадках від -50 до 200 °С.

Стрічкові конвеєри встановлюються на відкритому повітрі на естакадах і відкритих майданчиках, в тунелях, галереях (опалювальних і неопалюваних), в будівлях. Температура навколишнього повітря при експлуатації конвеєрів коливається, в умовах помірного клімату, в діапазоні від -20 до 40 °С.

Стрічкові конвеєри зазвичай оснащуються жорсткими трьохролковими опорами, скребками або щітковими пристроями для очищення конвеєрної стрічки з обох сторін, мають приводні, кінцеві і відхиляючі барабани. В якості завантажувальних пристроїв застосовуються лотки, воронки, спуски, бункери з затворами, живильники та гілки інших конвеєрів.

В завантажувальній частині конвеєра, як правило, встановлюються борти з ущільнювачами. При транспортуванні великогабаритного вантажу конвеєри можуть бути оснащені (в їх завантажувальній частині) підмортизованими роликоопорами.

Для запобігання падіння вантажів з стрічкових транспортерів кути нахилу їх не повинні перевищувати вказаних в пп. 2.2.3 - 2.2.6 Правил. А для обмеження зсуву конвеєрної стрічки в бік, встановлюються бічні ролики, що піднімають краї стрічки. Натягуючий пристрій, який встановлюється на барабані, повинен мати огорожу.

Стрічкові конвеєри оснащуються допоміжним обладнанням, що забезпечує їх експлуатацію в заданому режимі і створює умови для нормальної і надійної роботи всіх механізмів: завантажувальних пристроїв, центруючих і очисних пристроїв, засобів контролю пробуксовки, цілісності і обриву стрічки, пристроїв для збирання просипу і пилоподавлення, апаратури автоматичного управління, сигналізації та ін.

Всі стрічкові конвеєри і конвеєрні лінії повинні бути оснащені пристроями захисту і блокувань: датчиками сходу стрічки, звуковими сигнальними

пристроями, апаратами контролю пробуксовки, датчиками рівня завантаження та ін.

Кабель-тросові вимикачі повинні розміщуватися на ставі конвеєра з боку проходу.

Стрічкові конвеєри повинні мати пристрої для видалення з поверхні нижньої гілки просипаних або впалих вантажів.

Стрічкові конвеєри повинні бути обладнані пристроями, що виключають падіння з них транспортуючого матеріалу.

Холоста частина стрічки повинна бути обладнана пристроєм для автоматичного очищення конвеєрної стрічки від налиплої суміші.

На стрічкових конвеєрах довжиною понад 15 м для запобігання бічних зсувів конвеєрної стрічки повинні бути встановлені направляючі і центруючі пристрої.

Стрічкові конвеєри, призначені для експлуатації на відкритих майданчиках, повинні бути обладнані захисними засобами, що запобігають можливість скидання вітром конвеєрної стрічки або вантажу. Дана вимога не поширюється на ділянки траси конвеєрів з пересувними навантажувальними та розвантажувальними пристроями.

При необхідності стрічкові конвеєри обладнуються остановами, що запобігають мимовільному руху конвеєрної стрічки при відключенні приводу. Приводні барабани стрічкових конвеєрів можуть облицьовуватися футеровкою (наприклад, гумою) або оснащуватися притискними механізмами, що забезпечують передачу на конвеєрну стрічку необхідного тягового зусилля. Натяжні пристрої забезпечують виключення пробуксовки конвеєрної стрічки і заданий їй натяг в період пуску, усталеного руху і при відключенні приводу стрічкового конвеєра.

Не допускається буксування конвеєрної стрічки на приводному барабані. У разі його виникнення буксування має бути ліквідовано способами, передбаченими конструкцією стрічкового конвеєра (збільшенням натягу стрічки, збільшенням тиску притискного ролика і т.п.).

Стрічкові конвеєри можуть оснащуватися роликоопорами зі змінною геометрією установки в плані і по вертикалі, що забезпечують центрування конвеєрної стрічки як на робочій, так і на холостій гілках в разі її зміщення від поздовжньої осі конвеєра.

При необхідності стрічковий конвеєр може бути оснащений роликоопорами з гвинтовою поверхнею, що сприяє центруванню конвеєрної стрічки.

Стрічкові конвеєри можуть бути оснащені центруючими роликоопорами або механізмами з приводом і датчиками зміщення, що забезпечують автоматичне регулювання положення центруючих роликоопор і конвеєрної стрічки в заданому режимі. Стрічкові конвеєри з криволінійними, в плані ставами, оснащуються роликоопорами, похило встановленими у вертикальній площині для виключення зсуву і відриву конвеєрної стрічки від лінійних роликоопор.

Несправні ролики замінюються новими. Ролики повинні обертатися легко і не створювати шуму. Кріплення осей роликів має виключати можливість їх випадання і вертикального переміщення при руху конвеєрної стрічки. При обертанні роликів не повинно відбуватися нагрівання дотичних деталей.

Стрічкові конвеєри, що транспортують сипучі матеріали, повинні бути оснащені пристроями для очищення конвеєрної стрічки скребкового або щіткового типу. При транспортуванні сильно налипаючих матеріалів, стрічкові конвеєри на холостій гілці рекомендується обладнати дисковими або спіральними роликоопорами.

Стрічкові конвеєри для транспортування матеріалів, що виділяють шкідливі речовини (пил, гази тощо), повинні бути обладнані укріттями, приєднаними до витяжної вентиляційної системи.

При застосуванні стрічкових конвеєрів в шламовому господарстві для видалення налипання можуть застосовуватися очисники конвеєрної стрічки з гідрозмиву, що забезпечує очистку конвеєрної стрічки і видалення стертій матеріалу в пульпі. Накопичувальним пристроєм стрічкового конвеєра, що переміщує сипучі вантажі, є бункер.

Накопичення штучних вантажів ускладнене вимогою збереження їх положення в просторі, і їх накопичення зі сходу з стрічкового конвеєра може бути

здійснено в спеціальному накопичувальному пристрої у вигляді кільцевого накопичувального столу з огорожами. Такі накопичувальні пристрої можуть бути багатоярусними і являти собою склад або його секцію. Конструкція завантажувальних пристроїв повинна виключати заклинювання і зависання в них вантажів, випадання вантажів або їх пробудження, а також перевантаження конвеєра.

Зони подачі на стрічковий конвеєр сипучих пильних матеріалів, які пилять через отвори завантажувальних пристроїв, зони вивантаження сипучих матеріалів, які пилять, як правило, повинні бути укриті і приєднані 35 до витяжної вентиляційної системи із забезпеченням швидкості потоку повітря у відкритих отворах укриття не менше 3 м/с.

Завантажувальні отвори лотків для сипучих матеріалів приймаються шириною 0,6 - 0,7 ширини конвеєрної стрічки, а нахил стінок лотків стрічкового конвеєра - на 10 - 15 град. більше кута природного скосу матеріалу, що транспортується. Хід пересувних вантажно-розвантажувальних пристроїв стрічкового конвеєра обмежується кінцевими вимикачами і упорами.

Розвантаження стрічкових конвеєрів, що транспортують сипучі вантажі, може проводитися за допомогою плужкових скидачів, що представляють собою щит, який встановлюється над конвеєрною стрічкою під кутом до напрямку руху вантажу. Вантаж, рухаючись вздовж щита, скидається з стрічки на одну або на обидві сторони. Розвантаження стрічкових конвеєрів може проводитися за допомогою розвантажувальних візків, що пересуваються по рейках уздовж конвеєра і встановлюються в місці розвантаження. В цьому випадку змонтовані на візку два барабана обгинаються стрічкою і вантаж, піднімаючись по стрічці до верхнього барабана візки, скидається в лоток, відвідний його в сторону від конвеєра.

При завантаженні вручну, приймальня частина завантажувального пристрою, що виконується таким чином, щоб було забезпечено горизонтальне (або з невеликим ухилом) переміщення вантажу в сторону завантаження. При цьому слід виключати, як правило, підйом вантажу працівниками з підлоги або з іншого транспортного засобу.

Конструкція і розміщення стрічкових конвеєрів повинні забезпечувати при транспортуванні штучних вантажів на похилій ділянці траси їх нерухоме щодо несучого органа положення, прийняте при завантаженні.

При подачі вантажу скидальними пристроями в бункери, розташовані безпосередньо під стрічковим конвеєром, люки бункерів повинні бути огорожені стандартними поручнями і підлоговими бордюрами або закриті решітками з розміром осередків, які пропускають тільки вантаж.

Стрічкові конвеєри, що транспортують вантажі, які можуть налипати, оснащуються нерухомими скребками або обертовими щітками для видалення налиплого вантажу. Зазначені пристосування повинні виключати необхідність ручного очищення, неприпустимого при рухомій конвеєрній стрічці. При транспортуванні вологих вантажів конвеєрну стрічку необхідно очищати в кінці кожної зміни, для цієї мети на нижньому боці переднього шкіфа стрічкового конвеєра встановлюється пристрій зі щітками з механічним приводом, що виключає небезпеку защемлення рук працівника при ручному очищенні.

Для зняття з стрічкового конвеєра статичної електрики може бути встановлений статичний струмознімач в районі збігаючої частини конвеєрної стрічки у приводного шкіфі або натяжного ролика.

У місцях завантаження стрічкових конвеєрів, що транспортують шматкові вантажі, передбачаються відбійні щитки, що виключають падіння шматків вантажу з конвеєрної стрічки. Кінцеві ділянки стрічкового конвеєра (привід, натяжні пристрої), пристрої для очищення конвеєрної стрічки повинні бути огорожені з можливістю швидкого зняття цих огорож. Огородження повинні мати блокування з приводом конвеєра. Огородження, при яких необхідний огляд вузлів без зняття огорожі, виготовляються сітчастими.

Стрічковий конвеєр повинен бути обладнаний пристроями механічного очищення конвеєрної стрічки і барабанів від налиплого на них транспортуючого матеріала, що запобігає потраплянню цього матеріалу між стрічкою і барабанами, або між стрічкою і роликами.

Пристрій автоматичного натягу повинен підтримувати мінімальний натяг конвеєрної стрічки, необхідне для надійної роботи приводу при всіх режимах роботи, включаючи пуск.

У пересувних стрічкових конвеєрах допускається неавтоматическое натяг стрічки з контролем величини натягу. Очищення барабанів і конвеєрних стрічок від налиплого вантажу під час роботи стрічкових конвеєрів повинна здійснюватися автоматично. Ручне очищення допускається проводити тільки після зупинки конвеєра. У конструкції стрічкового конвеєра не повинно бути горючих конструкційних матеріалів.

При застосуванні гідроприводу в механічних вузлах конвеєра необхідно використовувати негорючі рідини. У конструкції стрічкового конвеєра може бути передбачена можливість регулювання положення приводного барабана, а обичайка барабана може бути виконана з центруючими стрічку елементами.

Стрічкові конвеєри великої довжини обладнуються датчиками контролю сходу конвеєрної стрічки для відключення приводу конвеєра при 37 неприпустимому її зміщенні або подачі керуючого сигналу для включення в роботу центруючого пристрою стрічки.

Всі стрічкові конвеєри незалежно від їх параметрів і кута нахилу повинні оснащуватися гальмівними пристроями, а встановлюються вони з кутом нахилу понад 6°.

Стрічкові конвеєри повинні бути обладнані вимірювальними, сигнальними пристроями і блокуваннями відповідно до вимог відповідних правил і норм, що пред'являються до транспортних засобів безперервної дії, а працюючим в пожежо- і вибухонебезпечних умовах, забезпечують, крім того, автоматичну зупинку приводу при аварійній ситуації, задану швидкість руху стрічки без пробуксовки і сходу її, контроль з блокуванням і сигналізацією температури нагріву вище допустимої приводних, натяжних і оборотних барабанів, корпусів підшипників і т.д.

Приводні, натяжні, відхиляючі барабани, натяжні пристрої стрічкових конвеєрів закриваються огорожами, що виключають доступ до них. Набігають на приводні, натяжні, відхиляючі барабани ділянки конвеєрної стрічки на відстані не

менше 2,5 м від лінії дотику стрічки з барабаном повинні закриватися зверху і з обох сторін огорожами, що виключають доступ в ці порожнини при ручному прибиранні просипів.

Опорні ролики стрічкового конвеєра робочої і холостої віток конвеєрної стрічки в зоні робочих місць, ремінні та інші передачі, шківни, муфти та інші рухомі частини конвеєра на висоті до 2,5 м від статі, до яких можливий доступ працівників, повинні бути огорожені.

Огорожа натяжної станції, розташованої в головній частині стрічкового конвеєра, має бути двосторонньою, і розташованою по всій довжині.

На стрічкові конвеєри встановлюються конвеєрні стрічки, що відповідають умовам експлуатації по продуктивності, розтягуючих навантажень і відносно подовження в період пуску і сталого руху, виду, розміру і температури вантажу, кліматичних умов, чинним динамічним навантаженням, особливо в місцях завантаження. Якість конвеєрних стрічок повинно відповідати вимогам відповідних державних стандартів, технічних умов виробника.

Конвеєрні стрічки повинні мати сертифікат відповідності. На поверхні конвеєрної стрічки не повинно бути складок, тріщин, раковин, механічних пошкоджень. Граничне відхилення борту конвеєрної стрічки від прямої лінії на довжині 20 м не повинно бути більше 5% ширини стрічки. Краї стрічки повинні бути рівними.

Широке застосування знаходять гумові конвеєрні стрічки, армовані кордовими нитками (бавовняними, синтетичними, сталевими). Для розвантаження стрічкового полотна від тягового зусилля в потужних стрічкових конвеєрах використовуються сталеві троси, на яких закріплюється стрічкове полотно. Конвеєрні стрічки можуть бути виготовлені з листової нержавіючої сталі, з поліефірного волокна, з тефлону, з композиційних матеріалів, що витримують температуру до 950 °С, і з інших матеріалів, що дозволяють застосовувати стрічкові конвеєри в харчовій промисловості, а також в ряді інших нетрадиційних областях.

Залежно від умов роботи стрічкових конвеєрів, повинні застосовуватися негорючі, вогнестійкі і антиелектростатичні конвеєрні стрічки, поверхневий електричний опір яких не повинен перевищувати $3 \cdot 10^3$ Ом.

На стрічкових конвеєрах з шириною стрічки понад 1,0 м слід здійснювати контроль наскрізного руйнування конвеєрної стрічки, що попереджає її розрив. З метою попередження на стрічкових конвеєрах аварійних ситуацій, пов'язаних з розривом конвеєрної стрічки, повинен здійснюватися контроль стану стрічки з виявленням зовнішніх і внутрішніх пошкоджень стрічки і своєчасний ремонт окремих її ділянок.

Стрічковий конвеєр, який встановлюється з кутом нахилу більше, ніж 10° . Рекомендується обладнувати уловлювачами стрічки. Через пробуксовки конвеєрної стрічки на приводному барабані в місцях завантаження стрічкового конвеєра можуть виникнути значні завали транспортуючого матеріалу, що викликають в свою чергу підвищений знос обкладок стрічки і футерування барабана і навіть запалення стрічки, для запобігання яких конвеєр повинен оснащуватися датчиками контролю пробуксовки стрічки. Пошкоджені місця конвеєрної стрічки повинні ремонтуватися (при необхідності з заміною пошкоджених ділянок) або повинна проводитися заміна стрічки цілком на нову залежно від характеру пошкодження стрічки.

Зтики конвеєрних стрічок повинні бути гладкими. Застосування металевих з'єднувачів стрічки не допускається.

Не допускається зрощування конвеєрних стрічок та привідних ремнів з використанням болтів, скоб і т.п. Зрощування має виконуватися методом вулканізації або зшивкою сирицевими ремінцями. Швидкість руху стрічки стрічкового конвеєра для пожежонебезпечних приміщень не повинна перевищувати 2,5 м/с, для вибухонебезпечних - 2 м/с.

Щоб знизити ризик пошкодження конвеєрної стрічки і з метою зменшення її зносу завантажувальні пристрої стрічкового конвеєра повинні забезпечувати зниження висоти падіння шматків вантажу на стрічку, повідомлення вантажному потоку при завантаженні швидкості, близької до швидкості руху стрічки по величині і напрямку, центровану подачу вантажу на стрічку, задану

продуктивність, поділ вантажопотоку на фракції для створення підсипки, можливість регулювання і контролю режиму закінчення вантажопотоку, відділення негабаритів і сторонніх предметів, зменшення пилоутворення.

При роботі стрічкового конвеєра в умовах тривалого впливу низьких температур для боротьби з намерзанням вантажу на конвеєрну стрічку рекомендується використовувати спеціальні розчини, проводити сушку стрічки і барабанів для полегшення їх очищення.

На стрічкових конвеєрах довжиною понад 80 розмірів ширини конвеєрної стрічки рекомендується проводити перевертання стрічки, що виключає забруднення роликкоопор на холостій гілці. При цьому стрічка повинна бути зістикowana методом вулканізації, а на ділянці перевертання встановлений механізм для видалення просипи.

При транспортуванні сипучих матеріалів, схильних до інтенсивного запилення, повинні вживатися заходи щодо зниження пиловиділення, що передбачають скорочення кількості пунктів перевантаження, герметизацію і оснащення установками для зрошення або аспірації, суцільні укриття стрічкових конвеєрів кожухами по всій довжині. Завантажувальні пристрої стрічкових конвеєрів, що піддаються періодичним чисткам від налиплого матеріалу, що транспортується, приймачі розвантажувальних пристроїв, встановлених в місцях сходження вантажу з конвеєра, повинні захищатися.

Для обслуговування захищених огорожами частин обладнання стрічкових конвеєрів в огорожах повинні влаштовуватися дверцята або кришки. Огородження можуть бути виконані також відкидними або знімними. Огородження травмонебезпечних місць і зон стрічкового конвеєра повинні надійно кріпитися в їх робочому положенні і при необхідності 40 оснащуватися, включаючи і їх дверцята і кришки, блокуваннями, які відключають привід конвеєра при відкритті дверцят, кришки або зняття огороження. Огородження виготовляються з металевих листів або сітки з осередками розміром не більше 20 x 20 мм.

Застосування огорож, виготовлених з приварених до каркаса стрічкового конвеєра прутків або смуг, не допускається. Особливо травмонебезпечними зонами при роботі стрічкового конвеєра, які вимагають обов'язкового огорожі, є

зони можливого защемлення між набігаючою стрічкою і барабаном, між набігаючою стрічкою і натяжним роликом.

У разі використання в комплексі з стрічковим конвеєром неприводного рольганга в якості приймального столу небезпечним місцем защемлення є також зона між набігаючою стрічкою транспортера і першим неприводним роликом рольганга.

Для усунення цієї небезпеки установка першого ролика неприводного рольганга повинна виконуватися в відкриту зверху похилу вирізку в рамі рольганга у вільному незакріпленому положенні. При потраплянні руки працівника в поглиблення між рухомою конвеєрною стрічкою і першим роликом цей ролик відхиляється від свого положення з відкритого вирізу в рамі рольганга, запобігаючи тим самим защемлення руки.

Доступ до місця можливого защемлення повинен бути закритий міцними і добре підігнаними огорожами з виступом над місцем можливого защемлення не менше ніж на 90 мм. У разі, коли стрічка транспортера значно менше ширини барабана, огорожа повинна бути виконано так, щоб вказаний розмір 90 мм був виконаний від бічної кромки транспортерної стрічки, а не від торця барабана.

Місця можливого защемлення повинні бути захищені огороженням не менше ніж на 90 мм в кожену сторону від небезпечної зони. Пристрої аварійної зупинки стрічкового конвеєра повинні розміщуватися з інтервалами не більше 8,0 м уздовж конвеєра з боку проходу або ж повинні мати міцний трос, що проходить по всій довжині конвеєра і пов'язаний з пристроєм аварійного відключення конвеєра так, щоб одне натискання на трос, в будь-якому напрямку, зупинило конвеєр.

При подачі вантажу на стрічковий конвеєр з рухомого живильника останній повинен перебувати в надійно фіксованому стані. При зніманні вантажу з стрічкового конвеєра скидальними пристроями з самостійним приводом на кожному кінці транспортного шляху повинні встановлюватися пристрої для перемикання приводу скидання пристроїв в нейтральне положення в разі переміщення вантажу за кінцеві точки транспортного шляху.

Одним з недоліків стрічкового конвеєра є його прямолінійність і невеликі кути підйому, обмежені фактором зісковзування вантажу.

Для збільшення кута підйому створені конвеєри зі змінними жолобчастими стрічками аж до кругового обхвату вантажу, а також конвеєри з двома стрічками, між якими затискається переміщуваний вантаж.

4.2 Пожежна безпека.

Для захисту від пожеж і накопичення статичної електрики футерування барабанів і роликів, елементів очисних пристроїв, направляючі елементи завантажувальних і перевантажувальних пристроїв стрічкового конвеєра виготовляються з важкозаймистих матеріалів з поверхневим електричним опором, що не перевищує 3 МОм.

До застосування на стрічкових конвеєрах, що працюють в пожежонебезпечних умовах, допускаються конвеєрні стрічки, які пройшли вхідний контроль на пожежну безпеку.

Перед пуском стрічкового конвеєра необхідно перевірити:

- стан транспортерної стрічки і її стиків;
- справність звукової та світлової сигналізації;
- справність сигналізують датчиків, блокувань;
- наявність і працездатність протипожежного захисту конвеєра (для пожежонебезпечних умов роботи);
- надійність роботи пристроїв аварійної зупинки конвеєра;
- правильність натягу конвеєрної стрічки;
- наявність і справність роликів;
- наявність захисного заземлення електрообладнання, броні кабелів, рами конвеєра;
- наявність і надійність огорожень приводних, натяжних і кінцевих барабанів. Не допускається пускати в роботу стрічковий конвеєр при захаращеності та захаращеності проходів. Пуск стрічкового конвеєра слід

проводити без навантаження, зупинку (при нормальній роботі) - після сходу з нього усього вантажу.

При експлуатації стрічкового конвеєра необхідно стежити за станом і положенням конвеєрної стрічки на барабанах, за завантаженням конвеєра транспортуються матеріалом, за відсутністю пробуксовки стрічки.

В процесі експлуатації стрічкового конвеєра необхідно систематично контролювати:

- правильність завантаження конвеєрної стрічки транспортуються матеріалом;

- плавність руху і стан конвеєрної стрічки;

- становище і роботу щіток і скребок.

Стрічковий конвеєр або конвеєрна лінія повинні бути негайно зупинені:

- при пробуксовці конвеєрної стрічки на приводних барабанах;

- при появі запаху гару, диму, полум'я;

- при ослабленні натягу конвеєрної стрічки понад допустимого;

- при збігання конвеєрної стрічки на роlikоопорах або барабанах до торкання нею нерухомих частин конвеєра і інших предметів;

- при несправності захистів, блокувань, засобів екстреної зупинки конвеєра;

- при відсутності або несправності захисних пристроїв;

- при несправних болтових з'єднаннях, при виявленні затягнутих болтах болтів;

- при ненормальному стуку і підвищеному рівні шуму в редукторі приводу;

- при забиванні транспортуючим матеріалом перевантажувального вузла;

- при відсутності двох і більше роликів на суміжних опорах;

- при пошкодженнях конвеєрної стрічки і її стикового з'єднання, що створюють небезпеку аварії;

- при порушенні футерування приводного і притискного барабанів;

- при заклинювання барабанів.

Під час роботи стрічкового конвеєра не допускається:

- усунення перекоосу конвеєрної стрічки з використанням металевого прута, труби, палиці і т.п., регулювання положення барабанів і роликів опор;
- зберігання горючих рідин, мастильних і обтиральних матеріалів поблизу пускових пристроїв конвеєра;
- застосування для редукторів приводів конвеєрів мастильних матеріалів, які не рекомендовані заводом-виробником;
- робота при несправних реле швидкості, реле захисту від пробуксовки конвеєрної стрічки, реле сходу конвеєрної стрічки, сигнальних пристроях і пристроях екстреної зупинки конвеєра, при утворилися завалах, що транспортується на конвеєрній стрічці;
- усунення пробуксовки конвеєрної стрічки з використанням підсипки поміж стрічкою і барабаном каніфолі, бітуму, піску, що транспортується і іншого матеріалу.

Усунення пробуксовки конвеєрної стрічки необхідно проводити при зупиненому конвеєрі натягом стрічки способом, передбаченим в конструкції конвеєра;

- мастило підшипників та інших деталей, що труться;
- допуск сторонніх осіб до управління конвеєром.

Після закінчення роботи стрічкового конвеєра необхідно:

- відключити конвеєр від електромережі;
- очистити конвеєрну стрічку, барабани, завантажувальні і приймальні пристрої від налиплого матеріалу;
- зробити запис в журналі огляду і ремонту конвеєра про виявлені неполадки і заходи щодо їх усунення.

У разі раптового припинення подачі електроенергії пускові пристрої електродвигунів і важелі управління стрічкових конвеєрів переводяться негайно в положення "Стоп". Пересувні стрічкові конвеєри повинні обслуговуватися і експлуатуватися відповідно до вимог безпеки, передбаченими для стрічкових конвеєрів.

При роботі з пересувними стрічковими конвеєрами особливу увагу необхідно звертати на огорожу місць можливого защемлення в зоні набігання стрічки на барабан, ролик.

Пересувні стрічкові конвеєри, якщо вони не закриті спеціальними кожухами, і стрічкові конвеєри, встановлені у виробничих будівлях нижче рівня підлоги, повинні бути огорожені по всій довжині поручнями висотою не менше 1,0 м з обшивкою знизу шириною не менше 0,15 м і додаткової огорожувальної планкою на висоті 0,5 м від підлоги.

Для електричної мережі живлення приводів стрічкових конвеєрів використовуються, як правило, броньовані кабелі. Усі струмопровідні частини повинні бути надійно огорожені, а металеві деталі заземлені.

При переміщенні пересувних стрічкових конвеєрів працівники, що виробляють ці переміщення, повинні перебувати позаду або попереду конвеєра. Робота пересувного стрічкового конвеєра не допускається при несправній ходовій частині, відсутності обмежувального болта на підйомній рамі.

При роботі пересувного стрічкового конвеєра з підйомною рамою, що має підйомний пристрій для зміни кута нахилу, знаходження людей під піднятою рамою не допускається.

Електричний кабель, що живить привід пересувного стрічкового конвеєра, повинен розміщуватися таким чином, щоб виключалися випадки наїзду на нього транспортних засобів; роз'єми секцій кабелю повинні розташовуватися під землею.

Для запобігання випаданню важких вантажів або здування легких сипучих вантажів з стрічки пересувного стрічкового конвеєра рекомендується встановлювати бічні обмежувальні щитки заввишки не менше 200 мм, які одночасно виконують роль укриття небезпечних зон можливого защемлення. Рухома доріжка (пасажирський конвеєр) являє собою різновид стрічкового конвеєра - нескінченну рухому доріжку з силовим приводом для транспортування пасажирів в одному або різних рівнях.

Горизонтально переміщаються рухомі доріжки дозволяють безпечно перевозити людей, дитячі коляски, інвалідні крісла-коляски, візки з продуктами,

багаж. Похило переміщуються рухомі доріжки для утримання на них дитячих і інвалідних колясок, візків з продуктами, багажу і т.п., що володіють значною масою, повинні забезпечувати їх автоматичну фіксацію на стрічці конвеєра.

В цьому випадку:

а) стрічка конвеєра повинна бути виконана з металевих пластин, аналогічних несучим платформ ступенів ескалаторів, або у вигляді нескінченної гумової стрічки з канавками;

б) кут нахилу конвеєра не повинен перевищувати 12°;

в) несуча доріжка (гумова стрічка, металеві пластини) повинні мати горизонтальні ділянки шляху довжиною не менше 0,4 м на підході до майданчиків входу і виходу.

Рухома пасажирська доріжка, яка переміщується між балюстрадами, по верхніх поверхнях балюстради, повинна бути обладнана поручнями, що рухаються з однаковою з нею швидкістю. Швидкість переміщення рухомої доріжки не повинна перевищувати 0,75 м / с, а для руху в горизонтальній площині при ширині доріжки не більше 1,1 м допускається збільшення швидкості руху до 0,9 м / с.

4.3 Розрахування заземлення електроустановки.

Враховуючи факт мобільності стрічкового транспортеру, в багатьох випадках місце його встановлення не обладнане контуром заземлення.

Заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею, або її еквівалентом, металевих неструмоведучих частин електроустановок, які можуть опинитися під напругою у зв'язку з пробоем ізоляції на корпус.

Згідно ПУЕ, для забезпечення електробезпеки, всі металеві частини електрообладнання, по яких не повинен проходити струм повинні бути заземлені.

Визначаю струм замикання на землю;

$$I_3 = \frac{3U_{\Phi}}{350} (3.5 \cdot l_{к.л.} + l_{в.л.}) \quad (4.1)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі $U_{\phi}=380\text{В}$;

$l_{\text{к.л.}}$ – довжина електрично зв'язаних кабельних ліній, приймається за 1;

$l_{\text{в.л.}}$ – довжина електрично зв'язаних повітряних ліній, приймається за 1.

$$I_3 = \frac{3 \cdot 380}{350} (3.5 \cdot 1 + 1) = 8.4 \text{ А}$$

Визначається необхідний опір штучних заземлювачів;

$$R_{\text{И}} = \frac{R_{\text{П}} \cdot R_{\text{ПУЄ}}}{R_{\text{П}} - R_{\text{ПУЄ}}} \quad (4.2)$$

$$R_{\text{И}} = \frac{7.3 \cdot 4}{7.3 - 4} = 8.85 \text{ Ом}$$

Вибирається виносний тип заземлюючого пристрою, на підставі даних про об'єкт, що захищається, і значень $R_{\text{ш}}$, ρ .

Вибираються стрижневі електроди.

Як вертикальні заземлювачі варто використовувати сталеві стрижні діаметром 35 мм, довжиною 3 м. Верхній кінець вертикального заземлювача повинен бути занурений на 0,7 м від поверхні землі. Як горизонтальні заземлювачі варто використовувати круглу сталь діаметром 10 мм.

Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту для однорідного ґрунту;

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi \quad (4.3)$$

де $\rho_{\text{вим}}$ - питомий опір ґрунту, $\rho_{\text{вим}} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;

Ψ - кліматичний коефіцієнт, $\Psi = 1,5$.

$$\rho_{\text{роз}} = 150 \cdot 1.5 = 225, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Визначаю опір одиночного вертикального заземлювача;

$$R_B = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t_0 + 1}{5t_0 - 1}\right) \quad (4.4)$$

де $t_0=0.7$ м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

l – довжина вертикального заземлювача, $l= 5$ м;

d – діаметр вертикального заземлювача, $d = 0.01$ м.

$$R_B = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \ln\left(\frac{2 \cdot 5}{0,01} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{5 \cdot 0,7 - 1}\right) = 54,437 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір горизонтального електрода;

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{d \cdot t} \quad (4.5)$$

де $t=0.7$ м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

l – довжина вертикального заземлювача, $l= 25$ м;

d – діаметр вертикального заземлювача, $d = 0.01$ м

$$R_{\Gamma} = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} \ln \frac{25^2}{0,01 \cdot 0,7} = 11,7 \text{ Ом}$$

Тоді розрахунковий опір заземлювача буде визначений за формулою;

$$R = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_B \cdot n} \quad (4.6)$$

де $\eta_{\Gamma}= 0.75$ – коефіцієнт використання горизонтального смугового електрода;

$\eta_B= 0.81$ – коефіцієнт використання вертикального смугового електрода;

$$R = \frac{54,437 \cdot 11,7}{54,437 \cdot 0,75 + 11,7 \cdot 0,81 \cdot 9} = 5,053, \text{ Ом}$$

Отримане значення опору порівнюється з необхідним опором штучного заземлювача. Значення майже збігаються, що є задовільним результатом розрахунків.

Кількість електродів було прийнято $n=10$

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1 Методика оцінки ефективності.

Метою даного дипломного проекту є впровадження засобів автоматизації, задля зменшення споживання електроенергії шляхом встановлення плавного пуску та регулювання швидкості для асинхронного двигуна електроприводу стрічкового конвеєра. Для забезпечення плавного пуску та регулювання швидкості використовується частотний перетворювач SIMPHOENIX E280-4T-7.5G.

Також для зменшення механічних втрат та підвищеної точності передачі був вибраний редуктор типу Ц2В. В економічній частині дипломного проекту розраховано капітальні та експлуатаційні витрати на здійснення проекту та економію від впровадження засобів автоматизації.

Ми порівняємо фінансові витрати на обидві системи. Будемо враховувати як вартість самих систем, так і витрати на поточний ремонт та модернізацію. Розрахуємо капітальні вкладення на обидва варіанти систем, фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу. І у підсумку порівнявши ці фінансові показники оцінимо термін окупності модернізації та її економічну ефективність.

5.2 Розрахунок капітальних інвестицій.

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати визначаються за формулою

$$K_{\Pi} = \sum_i^k \Pi_i + Z_{\text{ТЗС}} + Z_{\text{М(Н)}} + Z_{\text{інші}}, \quad (5.1)$$

де Π_i – вартість обладнання другої групи, грн;

k – кількість обладнання $i=1$.

$Z_{\text{ТЗС}}$ – витрати пов'язані з транспортно-заготівельними роботами, грн; $Z_{\text{М(Н)}}$ – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн;

$Z_{\text{інші}}$ – інші витрати, грн.

Для спрощення розрахунків, витрати на транспортування ЗТЗС, та монтаж $Z_{\text{М}}$, беруться як відсоток від закупівельної вартості обладнання.

Так за $Z_{\text{ТЗС}}$ приймають значення в діапазоні 7%...10% від $\Sigma \Pi_i$, а за $Z_{\text{М}}$ в діапазоні 10%...15%.

$$Z_{\text{ТЗС}} = 2310,00 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{М}} = 3300,00 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 – Зведення капітальних інвестицій на модернізацію, грн.

№ п/п	Найменування електрообладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун АІР132М6	1	16000,00	16000,00
2	Перетворювач частоти E280-4Т-7.5G	1	15000,00	15000,00
3	Автоматичний вимикач Easyраст EZC100Н	1	2000,00	2000,00
	УСЬОГО			33000,00

				00
4	Витрати на монтажні-наладжувальні роботи (10%)			3300,00
5	Витрати транспортно-заготівельні (7%)			2310,00
	РАЗОМ			38610,00

Повні капітальні витрати на модернізовану систему електроприводу становлять:

$$K_n = 38610,00 \text{ грн.}$$

Тепер, за таким самим принципом порахуємо вартість ситеми без модернізації.

Таблиця 5.2 – Зведення капітальних інвестицій без модернізації, грн.

№ п/п	Найменування електрообладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун АІР132М6	1	16000,00	16000,00
2	Автоматичний вимикач Easyract EZC100H	1	2000,00	2000,00
3	Магніиний пускач укс.22.380	1	500,00	500,00
4	Теплове реле РТ 1321	1	500,00	500,00
	УСЬОГО			18000,00
5	Витрати на монтажні-наладжувальні			1800,00

	роботи (10%)			
6	Витрати транспортно-заготівельні (7%)			1260,00
	РАЗОМ			21060,00

Повні капітальні витрати на немодернізовану систему електроприводу становлять:

$$K_{нм} = 21060,00 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за визначений період (наприклад, рік), що виражені у грошовій формі. Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування знаходяться по формулі:

$$C = C_a + C_z + C_{пр} + C_e + C_{ін} \quad (5.2)$$

де C_a – амортизаційні відрахування, грн.

C_z – річний фонд заробітної плати на обслуговування одного ковесюру, грн.

$C_{пр}$ – витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж, грн.

C_e – вартість витрат електроенергії, грн.

$C_{ін}$ – інші витрати, грн.

Річні амортизаційні відрахування АО на електрообладнання, становлять приблизно 8% від капітальних інвестицій і дорівнюють

$$C_a = 3088,00 \text{ грн;}$$

$$C_{анм} = 1685,00 \text{ грн,}$$

Для модернізованої і немодернізованої схеми, відповідно.

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування,

посадові обов'язки). Фонд заробітної плати не залежить від того яку схему обслуговує бригада.

Розрахунок річного фонду заробітної плати враховує усі надбавки та премії., а також вдрахування до фонду соціального страхування, і для двох працівників, які можуть обслуговувати до 4-х мобільних транспортерів одночасно, приблизно становить:

$$C_{з4} = 200000,00 \text{ грн.}$$

Тоді на один транспортер витрати $C_з$ становлять:

$$C_з = \frac{C_{з4}}{4} = 50000,00 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, і визначаються укрупнено у відсотках до капітальних витрат та становлять 3% та 5% для модернізованих і немодернізованих схем відповідно.

Річні витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування становлять:

$$C_{пр} = K_{п} \cdot 0.03 \quad (5.4)$$

$$C_{пр} = 38610 \cdot 0.03 = 1158,00 \text{ грн}$$

$$C_{прнм} = K_{пнм} \cdot 0,05 \quad (5.5)$$

$$C_{прнм} = 21060,00 \cdot 0,05 = 1053,00 \text{ грн.}$$

Річні витрати на спожиту електроенергію, об'єктом проектування, визначається за формулою:

$$C_e = W_p \cdot Ц_e \quad (5.6)$$

де W_p – річне споживання електроенергії, кВт;

$C_e=2.64$, грн./кВт, – тариф на електроенергію, згідно з даними для підприємств II типу станом на 2024 рік з ПДВ.

Річні споживання електроенергії W_p визначаються:

$$W_p = P_{дв} \cdot \tau_{год} \cdot D_{днів}, \text{ кВт.} \quad (5.7)$$

де $P_{дв}$ – потужність двигуна, кВт.

$\tau_{год}$ – кількість робочих годин за день.

$D_{днів}$ – кількість робочих днів за рік.

Для немодернізованої схеми кількість спожитої електроенергії буде становити;

$$W_{рнм} = 7,5 \cdot 8 \cdot 268 = 16080, \text{ кВт}$$

При застосуванні ПЧ середній показник економії електроенергії становить 30%, тому для модернізованої схеми річне споживання електроенергії розрахуємо за формулою:

$$W_p = W_{рнм} - (W_{рнм} \cdot 0,3) \quad (5.8)$$

$$W_p = 11266, \text{ кВт.}$$

Враховуючи тариф на електроенергію, то витрати C_e та $C_{снм}$ будуть становити:

$$C_e = 11266 \cdot 2,64 = 29742,00 \text{ грн.},$$

$$C_{снм} = 16080 \cdot 2,64 = 42452,00 \text{ грн.},$$

Визначення інших витрат по експлуатації об'єкта включають витрати на охорону праці, на спецодяг, витратні матеріали, тощо. Відповідно до практики ці витрати визначаються в розмірі 3% та 5% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу, для модернізованих і немодернізованих схем відповідно:

$$C_{ін} = C_3 \cdot 0,03 \quad (5.9)$$

$$C_{іннм} = C_3 \cdot 0,05 \quad (5.10)$$

Підставимо значення C_3 та отримаємо:

$$C_{ін} = 50000 \cdot 0,03 = 1500,00 \text{ грн.}$$

$$C_{іннм} = 50000 \cdot 0,05 = 2500,00 \text{ грн.}$$

Після розрахунку всіх складових експлуатаційних витрат ми можемо визначити річні експлуатаційні витрати по обох схемах;

$$C_M = 3088,00 + 50000,00 + 1158,00 + 29742,00 + 1500,00 = 85488,00 \text{ грн.}$$

$$C_{нм} = 1685,00 + 50000,00 + 1053,00 + 42452,00 + 2500,00 = 97690,00 \text{ грн.}$$

Знаючи значення капітальних інвестицій та значення річних витрат для обох схем, ми можемо обчислити економічну рентабельність, а саме строк за який окупиться модернізована система. Для цього застосуємо формулу?

$$t_{OK} = \frac{K_n - K_{нм}}{C_{нм} - C_M} \quad (5.11)$$

Тоді:

$$t_{OK} = \frac{38610 - 21060}{97690 - 85488} = \frac{17550}{12202} = 1,44 \text{ року.}$$

ВИСНОВОК

1. Проведено аналіз існуючих математичних моделей і електроприводів конвеєрних ліній. Кожен тип конвеєра має власні індивідуальними переваги, але завдяки своїй універсальності, простоті конструкції і простоті у використанні стрічковий конвеєр заслуговує на окрему увагу. Даний тип може бути використаний майже в будь-якій промисловості: від видобутку різних руд до харчової продукції та виробництва автомобілів.

2. Розглянуто режими і навантаження конвеєрних установок, технічні характеристики механізму, вимоги до системи автоматичного управління електроприводу, що вплинуло на вибір в якості електроприводу асинхронного двигуна з перетворювачем частоти.

3. Проведен розрахунок потужності електроприводу стрічкового конвеєра, що використовується для організації процесу переміщення технологічних виробів. Для того, щоб провести розрахунок необхідно було вивчити безліч різних методик, наукових статей і публікацій.

4. Проведено аналіз і розрахунок основних вузлів і елементів даного механізму: стрічкового конвеєра, приводу. Всі прилади, передбачені на стрічковому конвеєрі, забезпечують безпечну експлуатацію машини, дано їх опис і призначення. Зроблено розрахунок і вибір двигуна, програмованого логічного контролера, перетворювача частоти. Виконано моделювання структурної схеми комплексної моделі конвеєрної установки, проведено аналіз отриманих результатів працездатності спроектованої системи.

Перелік використаних джерел

1. Електропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. В. Савченко, І. М. Голодний; ліра, 2021 р., 532 с.
2. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
4. ПЛЄШКОВ С. П. , СЕРЕБРЕННІКОВ С.В. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016.– 161 с.
5. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика): Навчальний посібник/ За ред. М.Г.Поповича, В.В.Кострицького. – К.: КНУТД, 2008. – 408 с.
6. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
7. Технічні характеристики АИР132М6.
Режим доступу: <https://slemz.com.ua/elektrodivguni/zagalnopromyslovi/elektrodivgun-air-132m6-7-5kvt-1000obhv>
8. Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Савченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.
9. Допустимі довготривалі струми для проводів, шнурів, кабелів з гумовою або пластмасовою ізоляцією. Витяг з нормативних актів України
Режим доступу: http://norma.org.ua/document/legislation/PUE7/1_3_2.php#google_vignette

10. Системи програмного та слідкуючого керування рухом [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» / В.І.Теряєв, С.В.Король. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 150 с.
11. Розробка та дослідження електромеханічних систем автоматизації та складових електропривода / М.Г.Попович, В.І.Кострицький та ін. - Навчальний посібник з грифом МОН України. – К: КНУТД, 2011. – 492 с.
12. Електричні машини. Асинхронний двигун : метод. вказівки до виконання курсової роботи: бакалаврів спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / Є. П. Штепа, О. Ю. Розіна ; Каф. електромеханіки та мехатроніки. — Одеса: ОНТУ, 2024. — 38 с.
Режим доступу: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.2254930>
13. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Поточна редакція. — Редакція від 21.02.2017.
Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>
14. Лазарєв Ю. Ф. Довідник з MATLAB / Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.
15. Перетворювач частоти E280-4T-7.5G/10P manual
Режим доступу: <https://eleksun.com.ua>