

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

доц, к.т.н. Окушко О.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 2026р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Проектні рішення з розроблення системи керування асинхронним
двигуном стрічкового конвеєра в сервісному центрі технічного
обслуговування електрообладнання»**

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав Барало М.О.
(підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент Васюк В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

доц, к.т.н. Окушко О.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПБ)

“ ” 2026р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Барало Михайлу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Тема бакалаврської роботи: «Проектні рішення з розроблення системи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра в сервісному центрі технічного обслуговування електрообладнання»

Затверджена наказом ректора НУБіП від 30.10 2025 № 2607 “С”.

Термін подання завершеного проекту на кафедру: "01" червня 2026 р
число, місяць, рік

Вихідні дані до бакалаврської роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.
- 6) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Проаналізувати роботу асинхронного двигуна конвеєра.
- 2) Описати кінематичну схему приводу.
- 3) Розрахувати: потужність приводу, передавальні числа, моменти на валах.
- 4) Проаналізувати режим пуску двигуна.
- 5) Описати роботу тиристорного регулятора.
- 6) Порівняти: прямий пуск, плавний пуск.
- 7) Оцінити ефективність системи.
- 8) Розглянути охорону праці.

Перелік графічних документів (за потреби):

1. Схема електрична принципова керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра
2. Схема з'єднань шафи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра

3. Схема підключень шафи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра

№	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркуш	№ прим.	Примітка
1	A4	02.02- КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Пояснювальна записка		1	
2	A4	02.02- КР.2607«С».2025.10.30.002.ЕМ	Схема електрична принципова керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра	1	1	
3	A4	02.02- КР.2607«С».2025.10.30.002.ЕО	Схема з'єднань шафи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра	1	1	
4	A4	02.02-КР.2607«С».2025.10.30.002.Е1	Схема підключень шафи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра	1	1	

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
							3
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕЄРА.....	7
1.1 Призначення стрічкових конвеєрів.....	7
1.2. Особливості електроприводу.....	9
1.3. Основні проблеми експлуатації	12
Розділ 2. РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ	15
2.1. Потужність приводу	15
2.2. Передавальне число.....	17
2.3. Момент двигуна	19
2.4. Розрахунок моментів на валах.....	20
2.5. Розробка кінематичної схеми	21
Розділ 3. РЕЖИМИ РОБОТИ ДВИГУНА	25
3.1. Прямий пуск	25
3.2. Плавний пуск.....	31
3.3. Порівняння прямого та плавного пуску	34
Розділ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ	39
4.1. Тиристорний регулятор напруги.....	39
4.2. Принцип роботи тиристорного регулятора напруги.....	43
4.3. Схема керування та вибір апаратури захисту	47
Розділ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	61
5.1. Зниження пускових струмів	61
5.2. Зменшення механічних навантажень	62
5.3. Економія енергії.....	63
Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
6.1. Заземлення	66
6.2. Захист від ураження електричним струмом та надструмів.....	67
6.3. Безпека при монтажі та технічному обслуговуванні	68
6.4. Пожежна безпека та захист навколишнього середовища.....	70
6.5. Вимоги безпеки при налаштуванні параметрів ATS480	71
6.6. Загальні висновки з охорони праці	73
ВИСНОВОК.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											4
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

ВСТУП

Стрічкові конвеєри є одним із найпоширеніших видів транспортного обладнання безперервної дії, яке широко застосовується у промисловості, на підприємствах агропромислового комплексу, у складських приміщеннях, логістичних центрах та сервісних підприємствах. Вони забезпечують ефективне та безперервне переміщення сипких і штучних вантажів, що дозволяє значно підвищити продуктивність виробничих процесів та зменшити витрати ручної праці. Особливе значення стрічкові конвеєри мають у сервісних центрах технічного обслуговування електрообладнання, де використовуються для транспортування деталей, вузлів та матеріалів у процесі ремонту й обслуговування обладнання.

Основним елементом приводу стрічкового конвеєра є асинхронний електродвигун, який завдяки простоті конструкції, надійності та невисокій вартості набув широкого поширення у промислових електроприводах. Проте прямий пуск асинхронного двигуна супроводжується значними пусковими струмами, величина яких у декілька разів перевищує номінальний струм двигуна. Це призводить до просідання напруги в електричній мережі, виникнення значних механічних навантажень на елементи приводу та прискореного зношування обладнання. Крім того, різкий пуск стрічкового конвеєра може викликати ривки стрічки, пошкодження вантажу та зниження надійності роботи всієї системи.

Одним із сучасних способів вирішення даної проблеми є застосування систем плавного пуску на основі тиристорних регуляторів напруги. Використання пристроїв плавного пуску дозволяє забезпечити поступове наростання напруги на обмотках двигуна, зменшити пускові струми та обмежити механічні удари у приводі конвеєра. Такі системи підвищують надійність електроприводу, покращують умови експлуатації обладнання та збільшують термін його служби. Сучасні пристрої плавного пуску також поєднують функції захисту електродвигуна, контролю параметрів роботи та діагностики аварійних режимів.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										5
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Актуальність теми бакалаврської роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності, надійності та енергоефективності систем керування асинхронними двигунами стрічкових конвеєрів у сервісних центрах технічного обслуговування електрообладнання. Використання сучасних засобів автоматизації та електронних систем керування дозволяє забезпечити стабільну роботу обладнання, знизити експлуатаційні витрати та покращити технічні характеристики електроприводу.

Метою бакалаврської роботи є розроблення проєктних рішень системи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра із застосуванням пристрою плавного пуску для зменшення пускових струмів, підвищення надійності роботи електроприводу та забезпечення ефективної експлуатації обладнання в сервісному центрі технічного обслуговування електрообладнання.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										6
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Розділ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕЄРА

1.1 Призначення стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри належать до найбільш поширених видів транспортувальних машин безперервної дії, які використовуються для переміщення різноманітних вантажів у промисловості, на складах, у виробничих цехах, логістичних центрах та сервісних підприємствах. Їх основним призначенням є забезпечення безперервного та рівномірного транспортування матеріалів у горизонтальному або похилому напрямках. Залежно від конструктивного виконання конвеєри можуть здійснювати переміщення сипких, штучних, пакетованих або великогабаритних вантажів на значні відстані з мінімальними витратами енергії та трудових ресурсів.

Головним робочим елементом стрічкового конвеєра є гнучка нескінченна стрічка, яка одночасно виконує функцію тягового та вантажоносного органу. Вона переміщується за допомогою приводного барабана, який приводиться в рух асинхронним електродвигуном через редуктор. Завдяки такій конструкції забезпечується плавне транспортування вантажу без різких ривків і ударів, що особливо важливо при переміщенні крихких або масивних деталей.

У сучасних умовах стрічкові конвеєри широко застосовуються у сервісних центрах технічного обслуговування електрообладнання. У таких підприємствах вони є важливою складовою внутрішньої логістики та забезпечують безперервність технологічного процесу. За допомогою конвеєрних систем здійснюється переміщення електродвигунів, генераторів, трансформаторів, редукторів та інших вузлів між дільницями діагностики, ремонту, очищення, складання та випробування. Також конвеєри використовуються для подачі запасних частин і комплектуючих зі складських приміщень до робочих місць персоналу та транспортування готової продукції до зони пакування або відвантаження.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											7
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

Однією з основних переваг стрічкових конвеєрів є їх висока енергоефективність. Завдяки використанню роликів опор та відносно невеликому коефіцієнту тертя забезпечується економне споживання електроенергії навіть при роботі з великими навантаженнями. Це особливо важливо для систем із потужними асинхронними двигунами, які працюють у тривалому режимі. Крім того, стрічкові конвеєри мають просту та надійну конструкцію, що дозволяє забезпечити тривалий термін експлуатації та мінімізувати витрати на технічне обслуговування.

Важливою особливістю сучасних конвеєрних систем є можливість інтеграції із системами автоматизованого керування. Це дозволяє реалізувати плавний пуск електродвигуна, автоматичне регулювання швидкості руху стрічки залежно від навантаження, контроль аварійних режимів та дистанційний моніторинг технічного стану обладнання. Використання автоматизованих систем керування значно підвищує безпеку роботи та знижує механічні навантаження на привід і стрічку.

Надійність роботи стрічкового конвеєра забезпечується сукупністю його основних вузлів. Приводна станція включає електродвигун, редуктор, приводний барабан та гальмівні механізми, які забезпечують передачу крутного моменту та запобігають самовільному руху стрічки при аварійних ситуаціях. Натяжна станція підтримує необхідний натяг стрічки та компенсує її подовження під час роботи. Роликові опори формують положення стрічки та зменшують сили тертя при її русі. Очисні пристрої забезпечують видалення пилу та залишків матеріалів зі стрічки, що дозволяє зменшити зношування елементів приводу та покращити умови експлуатації.

Таким чином, стрічкові конвеєри є важливими елементами сучасних виробничих і сервісних систем. Їх використання дозволяє автоматизувати процес транспортування вантажів, підвищити продуктивність праці, забезпечити безперервність технологічних процесів та покращити ефективність роботи підприємства.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											8
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

1.2. Особливості електроприводу

Електропривод стрічкового конвеєра є важливою складовою транспортної системи підприємства та являє собою складний електромеханічний комплекс, який забезпечує безперервний рух стрічки і стабільне транспортування вантажів. Для приводу конвеєрів у промисловості найчастіше застосовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, оскільки вони відзначаються простотою конструкції, високою надійністю, відносно невеликою вартістю та зручністю експлуатації. У даному проекті використовується асинхронний двигун потужністю 110 кВт, робота якого супроводжується значними пусковими навантаженнями та складними перехідними процесами.

Особливістю електроприводу стрічкового конвеєра є змінний характер навантаження. Під час роботи на валу двигуна діють як постійні навантаження, пов'язані з тертям у підшипниках, роликкоопорах, редукторі та опором руху стрічки, так і змінні навантаження, що залежать від маси вантажу, який транспортується. У сервісному центрі технічного обслуговування електрообладнання навантаження конвеєра є нерівномірним, оскільки режими холостого ходу часто змінюються короткочасними перевантаженнями при переміщенні важких вузлів та обладнання. Такі зміни режимів роботи призводять до коливань струму та коефіцієнта потужності, що негативно впливає на якість електроенергії в мережі підприємства.

Асинхронний двигун повинен забезпечувати стабільну швидкість руху стрічки незалежно від навантаження. Це особливо важливо для дотримання технологічного процесу у сервісному центрі, де необхідна рівномірна подача обладнання між робочими ділянками. Завдяки жорсткій механічній характеристиці асинхронний двигун здатний підтримувати практично сталу швидкість обертання навіть при зміні навантаження на валу.

Найбільш складним режимом роботи електроприводу є пуск конвеєра. При прямому підключенні двигуна до мережі виникають великі пускові струми, величина яких може у 5–7 разів перевищувати номінальне значення. Для двигуна потужністю 110 кВт це призводить до виникнення струмів понад 1000 А. У

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

момент пуску двигун повинен подолати сили тертя спокою та забезпечити зрушення стрічки разом із вантажем. Різке наростання електромагнітного моменту викликає значні механічні удари у приводі, що негативно впливає на редуктор, підшипники, муфти та інші елементи механічної передачі.

Додатковою проблемою є пружні деформації стрічки. При великій довжині конвеєра стрічка має значну еластичність, тому під час різкого пуску виникають хвилі натягу, які поширюються вздовж усієї траси конвеєра. Це може спричиняти пробуксовування стрічки на приводному барабані, перегрів її поверхні та прискорене зношування. Крім того, динамічні навантаження передаються на зубчасті передачі редуктора та підшипникові вузли, що знижує їх ресурс роботи.

Важливою особливістю електроприводу стрічкового конвеєра є необхідність забезпечення надійного захисту обладнання. Система керування повинна здійснювати захист від перевантаження, коротких замикань, асиметрії фаз, заклинювання стрічки та проковзування приводного барабана. Для цього сучасні електроприводи оснащуються пристроями плавного пуску або частотними перетворювачами, які дозволяють плавно змінювати напругу та момент двигуна під час запуску.

Застосування пристрою плавного пуску дає можливість обмежити величину пускового струму, зменшити механічні навантаження на елементи приводу та підвищити надійність роботи конвеєра. Плавний розгін двигуна забезпечує більш м'який запуск стрічки, знижує зношування механічних вузлів і покращує умови експлуатації електрообладнання. Саме тому для потужних конвеєрних систем у сучасних умовах доцільним є використання інтелектуальних систем керування електроприводом, здатних контролювати параметри роботи двигуна в режимі реального часу.

Характеристики обраного електродвигуна наведені в таблиці 1.2.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											10
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики асинхронного електродвигуна
AIP 315 S6 Y3

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_H	110 кВт
Номінальна напруга U_H	380 В
Частота мережі f	50 Гц
Синхронна частота обертання n_1	1000 (985)об/хв
ККД (η)	0,94
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,85
Режим роботи	Змінне навантаження (S6)
Співвідношення крутних моментів M_{II}/M_H	2,0
Співвідношення крутних моментів $M_{\max}/M_H$	2,0
Співвідношення струмів I_{II}/I_H	6,7

Обґрунтування обраного двигуна:

Даний електродвигун забезпечує достатній пусковий момент для запуску стрічкового конвеєра та має жорстку механічну характеристику, що дозволяє підтримувати стабільну швидкість руху стрічки при змінному навантаженні. Використання двигуна серії AIP також забезпечує високу надійність, ремонтпридатність та сумісність із пристроями плавного пуску і системами автоматизованого керування.

Для даного електроприводу рекомендовано застосування пристрою плавного пуску, оскільки прямий пуск двигуна потужністю 110 кВт супроводжується значними пусковими струмами та механічними навантаженнями на елементи конвеєра.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	ремонтпридатність та сумісність із пристроями плавного пуску і системами автоматизованого керування.						Арк.
			Для даного електроприводу рекомендовано застосування пристрою плавного пуску, оскільки прямий пуск двигуна потужністю 110 кВт супроводжується значними пусковими струмами та механічними навантаженнями на елементи конвеєра.						
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	11			

1.3. Основні проблеми експлуатації

Експлуатація стрічкового конвеєра з асинхронним електродвигуном потужністю 110 кВт у сервісному центрі технічного обслуговування електрообладнання супроводжується рядом технічних та експлуатаційних проблем, які суттєво впливають на надійність роботи обладнання, енергоефективність та безпеку виробничого процесу. Особливо гостро ці проблеми проявляються при використанні традиційних релейно-контакторних систем керування без сучасних засобів силової електроніки та автоматизованого контролю.

Однією з основних проблем є значні пускові струми асинхронного двигуна. При прямому пуску двигун споживає струм, який у декілька разів перевищує номінальний. Для двигуна потужністю 110 кВт пусковий струм може перевищувати 1400 А, що викликає суттєве просідання напруги в мережі підприємства. Це негативно впливає на роботу іншого електрообладнання, особливо чутливої мікропроцесорної техніки, систем автоматизації та контрольно-вимірювальних приладів. Короткочасні провали напруги можуть спричиняти збої в роботі програмованих логічних контролерів, перезавантаження електронних систем та помилки передачі даних у мережах зв'язку.

Додатковою проблемою є виникнення електромагнітних завад і комутаційних перенапруг при роботі силових контакторів. Під час розмикання силового кола під навантаженням виникає електрична дуга, яка супроводжується імпульсними перенапругами та високочастотними електромагнітними перешкодами. Такі явища не лише погіршують якість електроенергії, але й прискорюють зношування контактних груп апаратури. Часті пуски та зупинки конвеєра призводять до ерозії контактів, підвищення перехідного опору та перегріву комутаційних елементів, що зменшує термін їх служби та збільшує витрати на обслуговування.

Серйозною проблемою є динамічні навантаження на механічну частину приводу. У момент запуску електродвигуна різке наростання крутного моменту

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			12						
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата				

створює механічні удари у кінематичному ланцюзі конвеєра. Ці удари передаються на редуктор, вали, підшипники, муфти та металоконструкцію конвеєра. Внаслідок багаторазових циклів пуску та зупинки у металевих елементах накопичуються втомні напруження, які можуть призводити до утворення тріщин у зварних швах, деформації валів та руйнування підшипникових вузлів. Особливо небезпечними є аварійні режими, пов'язані із заклинюванням стрічки або раптовою зупинкою конвеєра під навантаженням.

Важливою особливістю стрічкових конвеєрів великої довжини є наявність пружних деформацій стрічки. При різкому пуску виникають хвилі натягу, які поширюються вздовж траси конвеєра. Це може викликати пробуксовування стрічки на приводному барабані, локальний перегрів її поверхні та прискорене зношування гумового покриття. Крім того, нерівномірний розподіл натягу негативно впливає на роботу роликоспор і натяжної станції. У випадку неправильного регулювання натягу можливий схід стрічки з роликів, що призводить до аварійних ситуацій та тривалих простоїв обладнання.

Значною проблемою є також енергетична неефективність роботи електроприводу при змінному навантаженні. У сервісних центрах конвеєри часто працюють у режимах часткового навантаження або холостого ходу, коли двигун споживає значну реактивну потужність для підтримання магнітного поля. Це призводить до зниження коефіцієнта потужності та збільшення втрат електроенергії у кабельних лініях і трансформаторах. При тривалій роботі у таких режимах підвищуються експлуатаційні витрати та погіршуються енергетичні показники підприємства.

Окрему проблему становить теплове навантаження електродвигуна. Навіть при невеликому механічному навантаженні через обмотки статора протікає струм намагнічування, який викликає нагрівання двигуна. За недостатнього охолодження або при частих пусках температура обмоток може перевищувати допустимі значення, що прискорює старіння ізоляції та підвищує ризик міжвиткових коротких замикань. Перегрів електродвигуна значно скорочує термін його служби та може призвести до аварійного виходу з ладу.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	Окрему проблему становить теплове навантаження електродвигуна. Навіть при невеликому механічному навантаженні через обмотки статора протікає струм намагнічування, який викликає нагрівання двигуна. За недостатнього охолодження або при частих пусках температура обмоток може перевищувати допустимі значення, що прискорює старіння ізоляції та підвищує ризик міжвиткових коротких замикань. Перегрів електродвигуна значно скорочує термін його служби та може призвести до аварійного виходу з ладу.						Арк.							
										Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ

Складність діагностики технічного стану обладнання також є важливою експлуатаційною проблемою. У традиційних системах керування відсутній постійний контроль температури підшипників, рівня вібрації, стану ізоляції та параметрів електродвигуна. У результаті дефекти часто виявляються лише після виникнення серйозної несправності. Це призводить до незапланованих простоїв, дорогого ремонту та порушення виробничого процесу. Відсутність систем моніторингу також ускладнює прогнозування ресурсу обладнання та проведення профілактичного обслуговування.

Підвищені вимоги до безпеки експлуатації стрічкових конвеєрів обумовлюють необхідність використання сучасних систем захисту та автоматичного контролю. У разі обриву стрічки, заклинювання механізмів або аварійного перевантаження система повинна миттєво відключати привід та попереджати персонал про несправність. Недостатній рівень автоматизації може створювати загрозу для обслуговуючого персоналу та призводити до виникнення пожежонебезпечних ситуацій через перегрів або іскріння електрообладнання.

Таким чином, експлуатація стрічкового конвеєра великої потужності потребує застосування сучасних інтелектуальних систем керування електроприводом. Використання пристроїв плавного пуску, систем моніторингу та автоматизованого захисту дозволяє зменшити пускові струми, знизити механічні навантаження, покращити енергоефективність та забезпечити надійну і безпечну роботу обладнання в умовах сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ			14

Розділ 2. РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ

2.1. Потужність приводу

Ключовим етапом розробки системи електроприводу для стрічкового конвеєра є обґрунтований розрахунок та вибір номінальної потужності силового електродвигуна. Правильний вибір потужності приводу забезпечує надійну та безперебійну роботу конвеєра, стабільне переміщення вантажу, допустимий тепловий режим електродвигуна та економічне споживання електроенергії. Недостатня потужність двигуна призводить до перевантаження, перегріву та швидкого зношування обладнання, тоді як надмірно велика потужність викликає перевитрати електроенергії та погіршує енергетичні показники системи.

Розрахунок потужності приводу стрічкового конвеєра базується на визначенні сумарного опору руху стрічки разом із вантажем. Під час роботи конвеєра електродвигун повинен створювати достатній крутний момент для подолання всіх сил опору, які виникають у механічній системі. Загальний опір руху складається з опору переміщення вантажу, опору холостого ходу стрічки, сил тертя у роликів опорах, підшипниках, редукторі та додаткових динамічних навантажень, що виникають під час запуску і зупинки.

Основну частину навантаження створює вага транспортованого вантажу. При русі стрічки вантаж чинить опір переміщенню внаслідок дії сили тяжіння та тертя між стрічкою і роликів опорами. Чим більша маса вантажу та довжина конвеєра, тим більшою є необхідна потужність електроприводу. Особливо це актуально для сервісних центрів технічного обслуговування електрообладнання, де можуть переміщуватися важкі електродвигуни, трансформатори, генератори та інші масивні вузли.

Крім корисного навантаження, значний вплив на потужність приводу має опір холостого ходу конвеєра. Навіть за відсутності вантажу електродвигун повинен витрачати енергію на переміщення самої стрічки, обертання роликів, подолання тертя в підшипниках та механічних передачах. Величина цих втрат залежить від технічного стану обладнання, якості роликів опор, точності монтажу та умов експлуатації конвеєра.

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							Арк. 15
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

Вихідні дані для розрахунку в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Дані для розрахунків.

Параметр	Позначення	Значення
Маса вантажу на стрічці	m	2500 кг
Довжина конвеєра	L	50 м
Швидкість стрічки	v	1,25 м/с
Діаметр приводного барабана	D	0,5 м
Кут нахилу конвеєра	β	0°
Коефіцієнт опору руху	ω	0,04
ККД редуктора	η_p	0,96
ККД муфти	η_m	0,98

Розрахунок тягового зусилля на стрічці:

Сила опору переміщення вантажу:

$$F_B = m \cdot g \cdot \omega \cdot \cos\beta + m \cdot g \cdot \sin\beta$$

$$F_B = 2500 \cdot 9,81 \cdot 0,04 \cdot \cos 0^\circ + 2500 \cdot 9,81 \cdot \sin 0^\circ$$

$$F_B = 2500 \cdot 9,81 \cdot 0,04 = 981 \text{ H}$$

Сила опору холостого ходу (власна маса стрічки та роликів приймається 800 кг):

$$F_x = m_x \cdot g \cdot \omega = 800 \cdot 9,81 \cdot 0,04 = 314 \text{ H}$$

Загальне тягове зусилля:

$$F = F_b + F_x = 981 + 314 = 1295 \text{ H}$$

Зам. інв. №	Сила опору холостого ходу (власна маса стрічки та роликів приймається 800 кг):					
	$F_x = m_x \cdot g \cdot \omega = 800 \cdot 9,81 \cdot 0,04 = 314 \text{ Н}$					
Підпис/дата	Загальне тягове зусилля:					
	$F = F_b + F_x = 981 + 314 = 1295 \text{ Н}$					
Інв. № ориг.						
	Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата
02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.
						16

Потужність на приводному барабані:

$$P_{\text{бар}} = F \cdot v = 1295 \cdot 1,25 = 1619 \text{ Вт} \approx 1,62 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна з урахуванням ККД передачі:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{бар}}}{\eta_{\text{заг}}} = \frac{P_{\text{бар}}}{\eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{м}}} = \frac{1619}{0,96 \cdot 0,98} = 1720 \text{ Вт}$$

Перевірка вибору двигуна з урахуванням пускового режиму та коефіцієнта запасу:

Для конвеєрів із змінним навантаженням приймається коефіцієнт запасу $k = 1,25$, а також враховується пускове навантаження (коефіцієнт $k_{\text{п}} = 1,4$ для важкого пуску із заповненою стрічкою):

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{дв}} \cdot k \cdot k_{\text{п}} = 1,72 \cdot 1,25 \cdot 1,4 \approx 3,0 \text{ кВт}$$

2.2. Передавальне число

Визначальним параметром механічної трансмісії приводу виступає передавальне число, яке забезпечує узгодження швидкості обертання вала двигуна з технологічною швидкістю руху стрічки. Воно визначає співвідношення між частотою обертання вала електродвигуна та частотою обертання приводного барабана конвеєра. Передавальне число забезпечує узгодження високої швидкості обертання асинхронного двигуна з необхідною швидкістю руху стрічки конвеєра та дозволяє отримати потрібний крутний момент на приводному барабані.

Асинхронні електродвигуни промислового призначення працюють з відносно великою частотою обертання, тоді як для стрічкових конвеєрів необхідна значно менша швидкість руху стрічки. Тому між двигуном і приводним

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		17

барабаном встановлюється редуктор, який зменшує частоту обертання та одночасно збільшує крутний момент. Саме співвідношення між швидкістю обертання двигуна та швидкістю обертання барабана характеризується передавальним числом.

Частота обертання приводного барабана:

$$\eta_{\text{бар}} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 0,5} = \frac{75}{1,57} = 47,77 \text{ об/хв}$$

Загальне передавальне число привода:

$$v_{\text{заг}} = \frac{\eta_{\text{дв}}}{\eta_{\text{бар}}} = \frac{1000}{47,77} = 20,9$$

Приймається стандартний циліндричний редуктор із загальним передавальним числом $u = 20$ (наприклад, редуктор типу Ц2-500 або аналогічний за ГОСТ 20373).

Уточнена швидкість стрічки після вибору редуктора:

$$v_{\text{ут}} = \frac{\pi \cdot D \cdot \eta_{\text{дв}}}{60 \cdot v} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1000}{60 \cdot 20} = 1,308 \text{ м/с}$$

Відхилення від заданої швидкості:

$$\Delta v = \frac{|1,308 - 1,25|}{1,25} \cdot 100\% = 4,6\%$$

Відхилення 4,6% є допустимим (норма — до 5%).

Розподіл передавального числа по ступенях редуктора:

Для двоступінчастого редуктора із загальним $u = 20$:

Інв. № ориг.	Підписідата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											18
			Змін.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата			

$$u_1 = \sqrt{u_{\text{заг}} \cdot 1,25} = \sqrt{20 \cdot 1,25} = \sqrt{25} = 5$$

$$u_2 = \frac{u_{\text{заг}}}{u_1} = \frac{20}{5} = 4$$

Отже: перший ступінь — $u_1 = 5$, другий ступінь — $u_2 = 4$.

2.3. Момент двигуна

Фундаментальною характеристикою електроприводу, що визначає тягову здатність конвеєрної установки, є крутний момент на валу приводної машини. Саме момент двигуна забезпечує обертання приводного барабана та створює тягове зусилля, необхідне для переміщення стрічки разом із вантажем. Величина моменту безпосередньо впливає на здатність конвеєра запускатися під навантаженням, підтримувати стабільний режим роботи та долати механічні опори системи.

Крутний момент являє собою механічну величину, яка характеризує здатність двигуна виконувати обертальний рух під дією електромагнітних сил. У стрічкових конвеєрах момент двигуна повинен забезпечувати подолання сил тертя у підшипниках і роликів опор, переміщення стрічки, ваги вантажу, а також компенсацію динамічних навантажень, які виникають під час запуску та гальмування системи.

Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_H}{\eta_H} = \frac{9550 \cdot 110}{1000} = \frac{1050500}{1000} = 1050,5 \text{ Н/м}$$

Максимальний (пусковий) момент двигуна:

Для асинхронних двигунів кратність максимального моменту $\lambda = 2,2$ (типове значення для двигунів серії АІР, АД):

$$M_{\text{max}} = \lambda \cdot M_H = 2,2 \cdot 1050,5 = 2311 \text{ Н/м}$$

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 19
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ			

Початковий пусковий момент:

Кратність початкового пускового моменту $k_n = 1,4$:

$$M_{\text{пуск}} = k_n \cdot M_H = 1,4 \cdot 1050,5 = 1470,7 \text{ Н/м}$$

2.4. Розрахунок моментів на валах

Розрахунок моментів на валах є важливим етапом проєктування механічної частини електроприводу стрічкового конвеєра. Метою даного розрахунку є визначення навантажень, які діють на окремі елементи кінематичного ланцюга приводу, а також перевірка їх працездатності та міцності в умовах експлуатації. Отримані значення моментів використовуються для вибору редуктора, муфт, валів, підшипників та інших елементів механічної передачі.

У даному проєкті розглядається триланковий кінематичний ланцюг, який складається з асинхронного електродвигуна, першого вала редуктора, другого вала редуктора та приводного барабана стрічкового конвеєра. Під час передавання механічної енергії від двигуна до барабана відбувається зменшення частоти обертання та збільшення крутного моменту, що забезпечує необхідне тягове зусилля для переміщення вантажу.

Розрахунок виконується для триланкового кінематичного ланцюга: двигун → I вал редуктора → II вал редуктора → вал барабана.

Момент на I валу редуктора (після першого ступеня):

$$M_I = M_H \cdot u_1 \cdot \eta_1 = 1050,5 \cdot 5 \cdot 0,98 = 5147,5 \text{ Н/м}$$

де $\eta_1 = 0,98$ — ККД однієї пари зубчастих коліс.

Момент на II валу редуктора (після другого ступеня):

$$M_{II} = M_I \cdot u_2 \cdot \eta_2 = 5147,5 \cdot 4 \cdot 0,98 = 20178,6 \text{ Н/м}$$

Зам. інв. №	
Підпис/дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата		20

Момент на валу приводного барабана (з урахуванням муфти):

$$M_{бар} = M_{II} \cdot \eta_m = 20178,6 \cdot 0,98 = 19775 \text{ Н/м}$$

Таблиця 2.2. Зведена таблиця моментів на валах:

Вал	Передавальне число	Момент, Н · м	ККД ступеня
Вал двигуна		1050,5	
I вал редуктора	$u_1 = 5$	5147,5	0,98
II вал редуктора	$u_2 = 4$	20178,6	0,98
Вал барана		19775,0	$\eta_m = 0,98$

Перевірка тягового зусилля на барабані:

$$F_{пер} = \frac{2 \cdot M_{бар}}{D} = \frac{2 \cdot 19775}{0,5} = 79100 \text{ Н} = 79,1 \text{ кН}$$

Це значення відповідає тяговому зусиллю потужного промислового конвеєра при повному навантаженні — розрахунок виконано правильно.

2.5. Розробка кінематичної схеми

Кінематична схема є важливою складовою проєктування електроприводу стрічкового конвеєра, оскільки вона відображає взаємозв’язок між окремими елементами механічної передачі та забезпечує наочне уявлення про процес передавання механічної енергії від електродвигуна до приводного барабана. На основі аналізу конструкції приводу стрічкового конвеєра та вимог до його роботи для даного проєкту прийнята схема приводу з асинхронним електродвигуном,

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		21

двоступінчастим циліндричним редуктором і муфтовим з'єднанням приводного барабана.

У склад кінематичного ланцюга входять:

- асинхронний електродвигун;
- пружна муфта;
- двоступінчастий циліндричний редуктор;
- приводний барабан стрічкового конвеєра;
- стрічка конвеєра з транспортованим вантажем.

Принцип роботи кінематичної схеми полягає у передаванні крутного моменту від вала асинхронного двигуна до приводного барабана через редуктор. Електродвигун створює обертальний рух із частотою обертання 985 об/хв. Оскільки для нормальної роботи стрічкового конвеєра необхідна значно менша швидкість руху стрічки, між двигуном і барабаном встановлюється редуктор, який забезпечує зменшення частоти обертання та одночасне збільшення крутного моменту.

Передавання обертального руху від електродвигуна до вхідного вала редуктора здійснюється за допомогою пружної муфти. Муфта компенсує незначні перекоси валів, зменшує динамічні удари під час запуску та захищає механічні елементи приводу від перевантажень. У даному проєкті використовується муфта типу МУВП, яка широко застосовується у приводах конвеєрів завдяки простоті конструкції та високій надійності.

Редуктор приводу виконаний двоступінчастим циліндричним типу Ц2. Така конструкція забезпечує необхідне передавальне число приводу та дозволяє отримати високий крутний момент на валу приводного барабана. Передавальне число редуктора становить: $U=20$.

Розподіл передавального числа між ступенями редуктора прийнято таким:

- перший ступінь: $U_1=5$
- другий ступінь: $U_2=4$

Застосування двоступінчастого редуктора дозволяє зменшити навантаження на зубчасті передачі та забезпечити плавну передачу механічної енергії.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											22
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

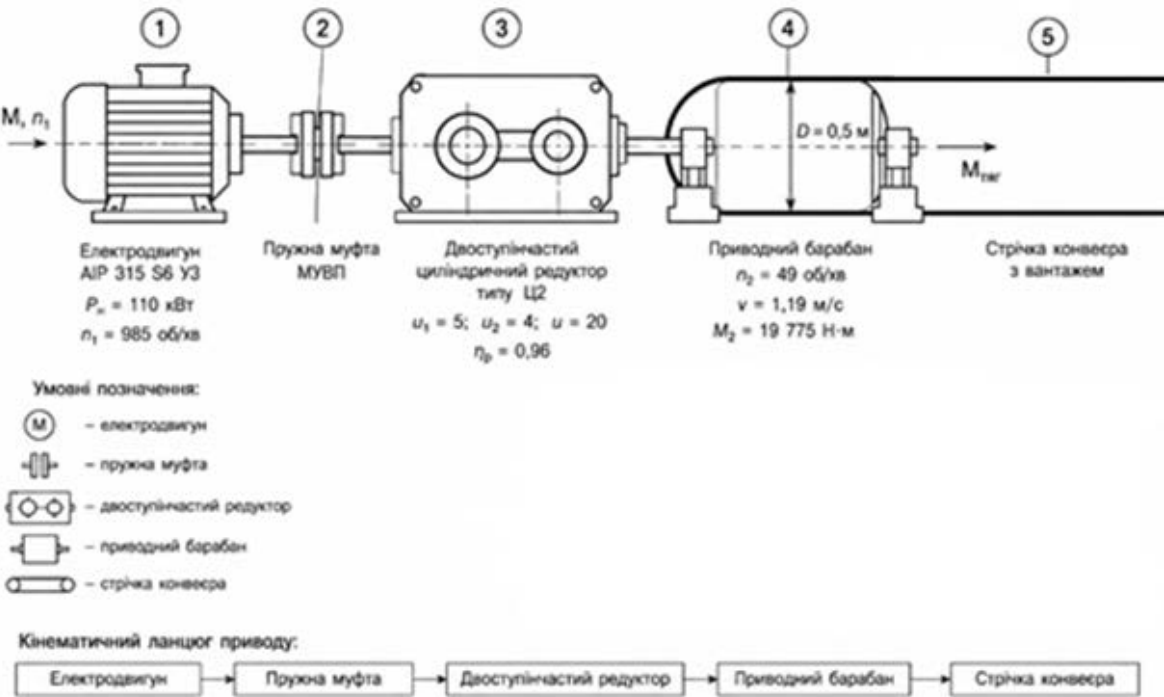
Після редуктора крутний момент передається на приводний барабан стрічкового конвеєра. Барабан забезпечує рух стрічки за рахунок сил тертя між поверхнею барабана та стрічкою. Для даного конвеєра діаметр приводного барабана становить: $D=0,5$ м. Швидкість руху стрічки після вибору редуктора складає приблизно: $v=1,19$ м/с, що відповідає допустимому відхиленню від заданого значення.

Кінематична схема приводу стрічкового конвеєра забезпечує:

- передавання необхідного крутного моменту;
- зниження швидкості обертання двигуна до технологічно необхідної;
- плавний запуск конвеєра;
- зменшення механічних ударів у приводі;
- надійну та довговічну роботу обладнання.

Для даного проєкту найбільш доцільною є схема з горизонтальним розташуванням електродвигуна та редуктора, з'єднаних пружною муфтою, оскільки вона має компактну конструкцію, забезпечує зручність монтажу та технічного обслуговування, а також характеризується високою надійністю при роботі зі змінними навантаженнями.

Кінематичний ланцюг приводу можна подати у вигляді:



Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

Зроблена кінематична схема відповідає вимогам до електроприводів стрічкових конвеєрів великої потужності та забезпечує ефективну роботу системи в умовах сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання.

Інв. № ориг.		Підписі дата		Зам. інв. №		02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.
												24
						Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

Розділ 3. РЕЖИМИ РОБОТИ ДВИГУНА

3.1. Прямий пуск

Прямий пуск (Direct-on-Line, DOL) є найпростішим і найпоширенішим способом запуску асинхронних електродвигунів. Його суть полягає у безпосередньому підключенні обмоток статора двигуна до трифазної мережі живлення повної номінальної напруги. У момент увімкнення двигун одразу отримує повну напругу мережі 380 В, унаслідок чого починається інтенсивний процес розгону ротора до номінальної частоти обертання.

Для малопотужних електроприводів прямий пуск є економічно доцільним і технічно виправданим, оскільки не потребує складної пускорегулювальної апаратури. Проте для потужних електродвигунів, зокрема асинхронного двигуна потужністю 110 кВт, який використовується у приводі стрічкового конвеєра, такий спосіб запуску супроводжується значними негативними явищами як в електричній мережі, так і в механічній частині обладнання.

Основною проблемою прямого пуску є надзвичайно великий пусковий струм. У момент нерухомого стану ротора ковзання двигуна дорівнює одиниці, а протидіюча електрорушійна сила в обмотках ротора практично відсутня. Через це опір двигуна у пусковому режимі є дуже малим, що викликає різке збільшення струму статора.

Для двигуна потужністю 110 кВт із номінальним струмом приблизно 200–215 А пусковий струм може перевищувати 1400 А. Такий короточасний струмовий імпульс створює значне навантаження на електричну мережу підприємства та призводить до просідання напруги. Особливо небезпечним це є для сервісних центрів технічного обслуговування електрообладнання, де одночасно працює велика кількість чутливої електронної техніки, систем автоматизації та вимірювального обладнання.

Просідання напруги під час запуску може викликати нестабільну роботу інших електроприймачів, мерехтіння освітлення, збої у роботі програмованих

Зам. інв. №								
Підписі дата								
Інв. № ориг.								
							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	
							Арк.	
							25	

Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата
-------	--------	------	--------	--------	------

логічних контролерів та перезавантаження мікропроцесорних систем. У слабких електричних мережах або за недостатньої потужності трансформаторної підстанції прямий пуск потужного двигуна може навіть спричинити спрацювання захисної апаратури та аварійне вимкнення мережі.

Окрім електричних перевантажень, прямий пуск створює серйозні механічні навантаження на елементи приводу конвеєра. У момент подачі напруги електродвигун практично миттєво розвиває великий електромагнітний момент, який передається через муфти, редуктор і приводний барабан на стрічку конвеєра. Різке наростання моменту спричиняє ударні навантаження у механічній системі.

У потужних асинхронних двигунах пусковий момент може у 1,5–2,5 рази перевищувати номінальний. Для стрічкового конвеєра це означає виникнення сильних ривків та динамічних ударів у редукторі, зубчастих передачах і приводному барабані. Такі навантаження прискорюють зношування механічних елементів та можуть призводити до появи тріщин у валах, руйнування підшипників і пошкодження зубчастих коліс.

Особливо небезпечним прямий пуск є для довгих стрічкових конвеєрів, оскільки стрічка має значну пружність. При різкому запуску виникає хвиля натягу, яка поширюється по всій довжині стрічки. Це може викликати пробуксовування стрічки на приводному барабані, її локальний перегрів та прискорене стирання гумового покриття. Крім того, нерівномірний натяг стрічки може призвести до її сходу з роликів та аварійної зупинки конвеєра.

Ще однією проблемою прямого пуску є теплове перевантаження електродвигуна. Великі пускові струми викликають інтенсивне нагрівання обмоток статора та ротора. При частих пусках температура ізоляції може перевищувати допустимі значення, що прискорює її старіння та зменшує термін служби двигуна. Особливо це небезпечно для режимів роботи із частими циклами пуску та зупинки.

У процесі прямого пуску також виникають значні електродинамічні сили в обмотках двигуна. Вони створюють механічні навантаження на провідники та ізоляцію обмоток, що з часом може призвести до послаблення кріплення котушок

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

та міжвиткових коротких замикань. Для двигунів великої потужності це є однією з причин передчасного виходу з ладу.

Незважаючи на простоту реалізації, прямий пуск має обмежену сферу застосування. Його доцільно використовувати лише для двигунів малої та середньої потужності або в мережах із достатнім запасом потужності. Для електроприводів стрічкових конвеєрів потужністю 110 кВт застосування прямого пуску є технічно небажаним через високі електричні та механічні навантаження.

Саме тому в сучасних системах електроприводу стрічкових конвеєрів широко застосовуються пристрої плавного пуску та частотні перетворювачі. Вони забезпечують поступове наростання напруги та моменту двигуна, обмежують пускові струми, зменшують механічні удари та значно підвищують надійність роботи обладнання. Це особливо важливо для сервісних центрів технічного обслуговування електрообладнання, де безперервність технологічного процесу та довговічність обладнання мають вирішальне значення.

Характеристики прямого пуску для двигуна 110 кВт:

Номінальний струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,93} = 195,2 \text{ A}$$

Пусковий струм при прямому пуску (кратність $k_i = 7$):

$$I_{\text{пуск}} = k_i \cdot I_H = 7 \cdot 195,2 = 1366,4 \text{ A}$$

Тривалість пуску (орієнтовно, для конвеєра з повним навантаженням):

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J \cdot \Delta \omega}{M_{\text{пуск}} - M_H} = \frac{GD^2 \cdot n}{375 \cdot (M_{\text{пуск}} - M_H)}$$

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										27
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Приймаючи маховий момент $GD^2 = 450 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ (типове значення для двигуна 110 кВт разом із ротором та приведеними масами конвеєра):

$$t_{\text{пуск}} = \frac{450 \cdot 1000}{375 \cdot (1470,7 - 1050,5)} = \frac{450000}{375 \cdot 420,2} = \frac{450000}{157575} = 2,85 \text{ с}$$

Фізичне обґрунтування негативного впливу прямого пуску базується на особливостях електромагнітних та механічних процесів, які виникають у момент підключення асинхронного двигуна до мережі повної номінальної напруги. Для електроприводу стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт ці процеси мають особливо виражений характер через значну потужність двигуна, великі махові маси механічної системи та тривалий час розгону.

У момент прямого пуску ротор двигуна знаходиться у нерухомому стані, а ковзання дорівнює одиниці. За таких умов у роторі ще не створена протидіюча електрорушійна сила, тому струм статора обмежується лише активним та індуктивним опором обмоток, який є дуже малим. Це призводить до виникнення надзвичайно великого пускового струму, величина якого може у 6–7 разів перевищувати номінальний. Для двигуна потужністю 110 кВт струм у момент запуску може перевищувати 1300–1400 А.

Такий потужний струмовий імпульс викликає значне падіння напруги у підвідних кабельних лініях, комутаційній апаратурі та обмотках силового трансформатора.

Через різке зростання струму навіть невеликий внутрішній опір мережі створює значне просідання напруги. У результаті напруга на інших споживачах електроенергії тимчасово знижується. Це явище відоме як voltage dip або провал напруги. Для сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання така ситуація є особливо небезпечною, оскільки сучасне обладнання містить велику кількість мікропроцесорних пристроїв, програмованих логічних контролерів, електронних систем керування та вимірювальної техніки.

Навіть короточасне зниження напруги може призвести до помилок у роботі ПЛК, зависання систем автоматизації, перезавантаження комп'ютерного обладнання та помилкового спрацювання електронного захисту. Крім того,

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 28
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

виникає мерехтіння освітлення та погіршення якості електроенергії у внутрішній мережі підприємства. У слабких електромережах або при недостатній потужності трансформатора прямий пуск може навіть спричинити спрацювання автоматичних вимикачів і аварійне відключення живлення.

Окрім електромагнітного впливу, прямий пуск створює надзвичайно великі механічні навантаження на привідну систему конвеєра. У момент подачі повної напруги асинхронний двигун практично миттєво розвиває великий електромагнітний момент. Для двигуна потужністю 110 кВт пусковий момент може досягати приблизно 1470 Н·м. Такий момент передається через муфти, редуктор та приводний барабан на стрічку конвеєра без плавного наростання.

Різке прикладання моменту викликає ударні навантаження у кінематичному ланцюгу. Фізично це пояснюється інерційністю рухомих мас системи. Оскільки стрічка, барабани, ролики та вантаж мають значну масу, вони не можуть миттєво перейти від стану спокою до робочої швидкості. У результаті в механічних елементах виникають короточасні, але дуже великі динамічні напруження.

Особливо небезпечним це є для довгих стрічкових конвеєрів, де стрічка має виражені пружні властивості. При різкому запуску утворюється хвиля натягу, яка поширюється вздовж усієї довжини стрічки. Такий «хвильовий ефект» спричиняє нерівномірний розподіл механічних навантажень. На окремих ділянках стрічка може надмірно розтягуватися або провисати, що створює ризик її сходу з роликоопор. У місцях механічних з'єднань виникають підвищені напруження, які можуть призводити до розриву стрічки або пошкодження стикових елементів.

Динамічні удари також негативно впливають на зубчасті передачі редуктора. У момент різкого прикладання моменту виникають високі контактні напруження між зубцями шестерень, що прискорює їх зношування та викликає втому металу. Поступово це може призвести до утворення мікротріщин, руйнування зубців і виходу редуктора з ладу. Аналогічні процеси відбуваються у підшипникових вузлах, валах та муфтах.

Ще одним серйозним наслідком прямого пуску є теплове перевантаження обмоток двигуна.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			29

Оскільки теплова енергія пропорційна квадрату струму, навіть короточасне перевищення струму у декілька разів викликає інтенсивне нагрівання обмоток статора та ротора. Для важко навантаженого стрічкового конвеєра час розгону може досягати 10–15 секунд, протягом яких двигун працює у режимі надструмів.

У таких умовах температура ізоляції локально перевищує допустимі значення. Постійні цикли перегріву призводять до прискореного термічного старіння ізоляційних матеріалів. Внаслідок цього знижується електрична міцність ізоляції, погіршуються її механічні властивості та зростає ризик міжвиткових коротких замикань. Якщо нормативний термін служби асинхронного двигуна становить 15–20 років, то при систематичному прямому пуску важко навантаженого приводу він може скоротитися до 5–7 років.

Важливим фактором є також значний сумарний маховий момент системи. Стрічковий конвеєр містить велику кількість обертових та поступально рухомих мас: ротор двигуна, зубчасті передачі редуктора, барабани, ролики, стрічку та вантаж. Усі ці елементи мають інерцію, яка перешкоджає швидкому розгону системи.

Через великі махові маси двигун тривалий час працює у режимі, близькому до короткого замикання, коли струм залишається надзвичайно високим. Це викликає додаткові теплові та електродинамічні навантаження як на сам двигун, так і на комутаційну апаратуру. Для забезпечення працездатності системи необхідно використовувати силові контактори, автоматичні вимикачі та кабелі збільшеної потужності, розраховані на великі пускові струми.

Таким чином, прямий пуск асинхронного двигуна великої потужності є джерелом комплексного негативного впливу на електричну мережу, механічну систему та сам електродвигун. Високі пускові струми, ударні механічні навантаження та теплове перевантаження значно знижують надійність роботи обладнання та скорочують термін його експлуатації. Саме тому для приводів стрічкових конвеєрів потужністю 110 кВт доцільним є застосування пристроїв плавного пуску або частотних перетворювачів, які забезпечують контрольований розгін двигуна та суттєво зменшують негативні пускові явища.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											30
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

3.2. Плавний пуск

Плавний пуск (Soft Start) є сучасним способом запуску асинхронних електродвигунів, який забезпечує поступове наростання напруги на обмотках статора та дозволяє контролювати процес розгону електроприводу. На відміну від прямого пуску, при якому двигун миттєво підключається до мережі повної напруги, система плавного пуску забезпечує обмеження пускового струму та поступове збільшення електромагнітного моменту. Це особливо важливо для електроприводів великої потужності, зокрема для стрічкових конвеєрів із двигунами 110 кВт, де виникають значні електричні та механічні навантаження.

Принцип роботи плавного пуску базується на використанні тиристорного регулятора напруги, який здійснює фазове керування напругою живлення асинхронного двигуна. У кожен фазу силового кола вмикаються зустрічно-паралельні тиристори, що дозволяє регулювати момент їх відкривання відносно синусоїди мережевої напруги. Завдяки цьому на обмотки статора подається не повна синусоїдна напруга, а лише її частина, величина якої змінюється у процесі пуску.

На початковому етапі запуску тиристори відкриваються із великим кутом затримки. У результаті до двигуна надходить знижена напруга, що забезпечує обмеження пускового струму та плавне створення крутного моменту. У міру розгону ротора електронна система керування поступово зменшує кут відкривання тиристорів, збільшуючи діюче значення напруги на обмотках двигуна.

Формування плавного зростання напруги здійснюється за так званою «рампою напруги», яка задає закон зміни напруги у часі. Такий режим забезпечує контрольований розгін електроприводу без різких механічних ударів та перевантажень. Після досягнення двигуном номінальної швидкості тиристори відкриваються повністю, а струм починає проходити через спеціальний байпасний контактор, який шунтує силові напівпровідники. Це дозволяє зменшити теплові втрати у тиристорах та підвищити енергоефективність системи.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 31
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

Оскільки пусковий струм прямо пропорційний напрузі живлення, зниження напруги на початку запуску дозволяє значно обмежити струмове навантаження на мережу. Для електроприводу потужністю 110 кВт це дає можливість зменшити пусковий струм із 1300–1400 А до значень, близьких до 300–500 А, залежно від налаштувань системи плавного пуску.

Одночасно із зменшенням струму відбувається регулювання пускового моменту двигуна. Для асинхронного двигуна момент приблизно пропорційний квадрату напруги.

Ця залежність дозволяє плавно збільшувати момент у процесі розгону. Завдяки цьому стрічка конвеєра натягується поступово без різких ривків і ударних навантажень. Для довгих конвеєрних систем це має особливо важливе значення, оскільки усувається небезпечний хвильовий ефект натягу стрічки.

Плавний пуск значно знижує механічні навантаження на елементи приводу. При поступовому наростанні моменту зменшуються ударні навантаження на редуктор, зубчасті передачі, муфти, вали та підшипники. Це суттєво знижує втому металу та подовжує термін служби механічного обладнання. Крім того, усувається пробуксовування стрічки на приводному барабані, що запобігає її перегріву та передчасному зношуванню.

Важливою перевагою системи плавного пуску є покращення електромагнітної сумісності з іншими споживачами електроенергії. Завдяки обмеженню пускових струмів практично усуваються значні просідання напруги у мережі підприємства. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу програмованих логічних контролерів, вимірювальної техніки та іншого електронного обладнання сервісного центру.

Крім функції плавного запуску, сучасні пристрої Soft Start забезпечують також плавний зупин електроприводу. Функція Soft Stop поступово знижує напругу на двигуні під час вимкнення, завдяки чому швидкість конвеєра зменшується плавно без різких гальмівних ударів. Це особливо важливо для навантажених конвеєрів, де раптова зупинка може викликати зміщення вантажу, перевантаження гальмівної системи або пошкодження стрічки.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 32
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

Суттєвою перевагою плавного пуску є зниження теплових навантажень на електродвигун. Завдяки обмеженню струму значно зменшується кількість тепла, що виділяється в обмотках статора під час запуску. Це дозволяє уникнути локальних перегрівів ізоляції та уповільнює процес її термічного старіння. У результаті термін служби електродвигуна може збільшуватися у 2–2,5 рази порівняно з режимом прямого пуску.

Для сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання застосування пристрою плавного пуску є особливо доцільним через значну потужність електроприводу та нерівномірний характер навантаження. Використання Soft Start дозволяє підвищити надійність роботи конвеєра, зменшити витрати на ремонт та обслуговування, покращити енергетичні показники підприємства і забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

Таким чином, плавний пуск є ефективним сучасним методом керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра. Він дозволяє мінімізувати негативні електромеханічні процеси, характерні для прямого пуску, та забезпечує оптимальні умови роботи електроприводу великої потужності.

Пусковий струм при плавному пуску:

$$I_{пл} = k_{пл} \cdot I_{н} = 3,5 \cdot 195,2 = 683 \text{ А}$$

Зниження пускового струму порівняно з прямим пуском:

$$\Delta I = \frac{I_{пуск} - I_{пл}}{I_{пуск}} \cdot 100\% = \frac{1366,4 - 683}{1366,4} \cdot 100\% = 50\%$$

Таким чином, плавний пуск знижує пусковий струм удвічі порівняно з прямим пуском.

Інв. № ориг.	Підписідата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											33
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

3.3. Порівняння прямого та плавного пуску

Для обґрунтування вибору системи керування асинхронним двигуном потужністю 110 кВт у приводі стрічкового конвеєра необхідно провести детальне порівняння двох основних способів запуску — прямого пуску (Direct-on-Line, DOL) та плавного пуску (Soft Start). Аналіз виконується за основними технічними, електромеханічними та економічними критеріями, які визначають ефективність і надійність роботи електроприводу в умовах сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання.

Прямий пуск характеризується безпосереднім підключенням обмоток статора до мережі повної напруги. У момент запуску двигун отримує максимальну електричну енергію, що супроводжується значними пусковими струмами та різким наростанням електромагнітного моменту. Плавний пуск, навпаки, забезпечує поступове збільшення напруги на обмотках статора за допомогою тиристорного регулятора, що дозволяє контролювати процес розгону двигуна та зменшувати негативні електромеханічні явища.

Однією з найважливіших характеристик електроприводу є електромагнітна та термічна стійкість системи. При прямому пуску через обмотки статора протікають струми, які у 5–7 разів перевищують номінальні значення. Для двигуна потужністю 110 кВт це означає виникнення струмів понад 1300–1400 А. Такі надструми створюють значне теплове навантаження на провідники обмоток та ізоляційні матеріали.

Оскільки теплова енергія пропорційна квадрату струму, навіть короточасне перевищення струму у декілька разів викликає різке зростання температури обмоток. При прямому пуску нагрівання відбувається нерівномірно, що призводить до локальних теплових деформацій міді та ізоляції. Через багаторазові цикли нагрівання й охолодження у лаковому покритті провідників виникають мікротріщини, які знижують електричну міцність ізоляції та підвищують ризик міжвиткових коротких замикань.

Зам. інв. №								
Підпис/дата								
Інв. № ориг.								
							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	
		Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Арк.
								34

При використанні плавного пуску теплові процеси проходять значно стабільніше. Завдяки обмеженню пускового струму відбувається поступове нагрівання обмоток без різких температурних стрибків. Це забезпечує рівномірний розподіл температури по всій структурі двигуна та зменшує внутрішні механічні напруження в ізоляції. У результаті збільшується допустима кількість пусків двигуна за одиницю часу, що особливо важливо для сервісних центрів, де конвеєр може часто запускатися та зупинятися під час сортування або переміщення обладнання.

Важливим критерієм порівняння є механічний ресурс приводу та міжремонтні інтервали роботи обладнання. При прямому пуску електромагнітний момент виникає практично миттєво, що створює так званий ударний момент у механічному ланцюгу. Різде прикладання крутного моменту викликає сильні динамічні навантаження на муфти, зубчасті передачі редуктора, приводний барабан та роликові опори.

Через інерційність механічної системи в елементах приводу виникають ударні напруження, які значно перевищують робочі значення. Це призводить до появи люфтів у шпонкових та шліцьових з'єднаннях, прискореного зношування зубчастих передач і руйнування підшипникових вузлів. Особливо небезпечними є циклічні навантаження, які спричиняють втому металу та появу мікротріщин у деталях механізму.

Для стрічкового конвеєра прямий пуск також небезпечний хвильовими процесами у стрічці. Через різке прискорення приводу виникає нерівномірний натяг стрічки, що може спричинити її пробуксовування, сходження з роликоопор або навіть розрив у місцях стикування. Плавний пуск забезпечує поступове наростання моменту та рівномірний розгін системи, завдяки чому механічні навантаження суттєво зменшуються.

Кількісна оцінка показує, що використання тиристорного регулятора дозволяє знизити динамічний коефіцієнт навантаження механічних вузлів із 2,5–3,0 до 1,1–1,2. Це означає, що фактичні ударні навантаження стають лише незначно більшими за номінальні робочі значення. У результаті термін служби

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											35
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

редуктора, приводних барабанів та підшипників збільшується приблизно на 35–40 %, а кількість аварійних зупинок та позапланових ремонтів суттєво зменшується.

Значну роль у виборі способу пуску відіграють економічні аспекти. На перший погляд прямий пуск здається дешевшим, оскільки не потребує використання складної силової електроніки. Для його реалізації достатньо контактора та захисної апаратури. Проте комплексний аналіз показує, що експлуатаційні витрати системи з прямим пуском у багатьох випадках перевищують витрати на систему плавного пуску.

Одним із важливих факторів є вибір кабельних ліній. При прямому пуску великі струми викликають значне падіння напруги у кабелях живлення. Для забезпечення допустимого рівня просідання напруги доводиться використовувати кабелі збільшеного перерізу. Це призводить до значних витрат міді та збільшення вартості електромонтажних робіт, особливо при великих відстанях між підстанцією та електродвигуном.

При використанні плавного пуску пусковий струм значно менший, тому допустиме падіння напруги у кабелях також зменшується. Це дозволяє використовувати кабелі меншого перерізу без погіршення умов роботи електроприводу. У масштабах промислового підприємства така економія може бути суттєвою.

Ще одним важливим економічним аспектом є вибір комутаційної апаратури. Для прямого пуску контактори повинні працювати у категорії АС-3, тобто бути розрахованими на комутацію великих пускових струмів. Такі контактори мають значні габарити, високу вартість та швидко зношуються через дугові процеси під час комутації.

У системах плавного пуску основне регулювання струму здійснюють тиристори, а контактор використовується лише для байпасування після завершення розгону двигуна. У такому режимі контактор працює в значно полегшених умовах, близьких до категорії АС-1, оскільки комутація виконується практично без великих струмів. Це підвищує ресурс апаратури та знижує витрати на технічне обслуговування.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			36

Плавний пуск також позитивно впливає на якість електроенергії в мережі підприємства. Завдяки обмеженню пускових струмів усуваються значні провали напруги та знижується рівень електромагнітних завад. Це забезпечує стабільну роботу автоматизованих систем керування, програмованих логічних контролерів, комп'ютерного обладнання та вимірювальної техніки сервісного центру.

Додатковою перевагою систем плавного пуску є наявність функцій електронного захисту двигуна. Сучасні пристрої Soft Start можуть виконувати контроль перевантаження, асиметрії фаз, втрати фази, перегріву двигуна та блокування ротора. Це значно підвищує надійність роботи електроприводу та зменшує ймовірність аварійних ситуацій.

Таким чином, проведене порівняння показує, що хоча прямий пуск має простішу структуру та меншу початкову вартість, його використання для електроприводу стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт є технічно та економічно недоцільним. Великі пускові струми, ударні механічні навантаження, прискорене старіння обладнання та погіршення якості електроенергії суттєво знижують надійність системи.

Плавний пуск забезпечує контрольований розгін двигуна, зменшення пускових струмів і механічних ударів, підвищення ресурсу обладнання та стабільність роботи електричної мережі підприємства. Саме тому для сучасного сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання використання системи Soft Start є найбільш ефективним та технічно обґрунтованим рішенням.

Вплив на охорону праці та безпеку експлуатації.

Важливим аспектом, який часто ігнорується, є безпека персоналу сервісного центру. Прямий пуск супроводжується різким шумом та вібраціями, що створює дискомфорт та підвищує ризик травматизму при раптовому русі стрічки. Плавний пуск дозволяє супроводжувати початок руху світловою або звуковою сигналізацією, при цьому сама стрічка починає рух плавно, даючи персоналу час на реакцію в разі виникнення непередбачуваних ситуацій.

Порівняльний аналіз підтверджує, що попри вищі початкові інвестиції у силову електроніку, впровадження системи плавного пуску для двигуна 110 кВт є

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										37
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

економічно виправданим. Окупність системи досягається протягом 1.5–2 років за рахунок економії електроенергії, зменшення витрат на ремонт механічних частин та подовження терміну експлуатації дорогої конвеєрної стрічки.

Таблиця 3.1. Зведена таблиця для порівняння методів пуску

Параметр	Прямий пуск	Плавний пуск	Перевага
Пусковий струм	1366 А ($7 \cdot I_n$)	683 А ($3,5 \cdot I_n$)	Плавний (-50%)
Пусковий момент	1471 Н·м (удар)	Плавне наростання	Плавний
Час пуску	2,85 с	10–20 с	Прямий (швидше)
Просідання напруги	10–15%	3–5%	Плавний
Знос стрічки	Високий	Мінімальний	Плавний
Знос редуктора	Прискорений	Нормальний	Плавний
Вартість пристрою	Низька	Вища	Прямий
Захист двигуна	Відсутній	Вбудований	Плавний

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										38
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Розділ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

4.1. Тиристорний регулятор напруги

Стрічкові конвеєри з асинхронними двигунами великої потужності належать до категорії електроприводів із важкими умовами пуску. Це пояснюється значною інерційністю рухомих мас, наявністю механічного навантаження на валу двигуна вже у момент запуску, а також великою довжиною та масою конвеєрної стрічки. Для електроприводу потужністю 110 кВт пряме підключення до мережі 380 В супроводжується виникненням значних пускових струмів та ударних механічних навантажень, що негативно впливають як на електричну мережу, так і на механічні вузли установки.

При прямому пуску асинхронного двигуна пусковий струм може перевищувати номінальний у 5–7 разів:

Для двигуна потужністю 110 кВт із номінальним струмом близько 210 А це означає виникнення струмів понад 1300–1400 А. Такі струмові перевантаження створюють значне падіння напруги у мережі живлення, викликають нагрівання обмоток двигуна та погіршують якість електроенергії на підприємстві.

Крім електричних перевантажень, прямий пуск супроводжується різким виникненням електромагнітного моменту. У результаті в кінематичному ланцюгу конвеєра виникають ударні навантаження, які передаються на редуктор, муфти, барабани та стрічку. Це призводить до прискореного зношування зубчастих передач, появи люфтів у механічних з'єднаннях та підвищеного навантаження на підшипникові вузли. Особливо небезпечним є хвильовий ефект натягу стрічки, який може спричинити її пробуксовування або сходження з роликів.

Для усунення зазначених недоліків у проєкті застосовано тиристорний регулятор напруги — пристрій плавного пуску Altivar Soft Starter ATS480C21Y виробництва [Schneider Electric](#). Даний пристрій належить до сучасних інтелектуальних систем керування електроприводами та призначений для плавного запуску, плавної зупинки і комплексного захисту асинхронних двигунів великої потужності.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											39
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			

Принцип роботи тиристорного регулятора напруги базується на фазовому керуванні змінною напругою. У кожній фазі живлення встановлюються зустрічно-паралельно ввімкнені тиристири, які виконують функцію електронних ключів. Система керування змінює момент відкривання тиристорів відносно синусоїди мережевої напруги, регулюючи таким чином діюче значення напруги, що подається на обмотки статора двигуна.

На початковому етапі запуску тиристири відкриваються із великим кутом затримки, унаслідок чого двигун отримує лише частину синусоїдальної напруги. Це дозволяє суттєво обмежити пусковий струм і забезпечити плавне наростання крутного моменту. У процесі розгону кут відкривання поступово зменшується, а напруга на статорі плавно збільшується до номінального значення.

Зміна напруги під час пуску реалізується за принципом «рампи напруги», яка забезпечує контрольований розгін електроприводу. Завдяки цьому усуваються ударні навантаження та різкі зміни моменту у механічній системі. Після завершення процесу розгону тиристири повністю відкриваються, а спеціальний байпасний контактор шунтує силові напівпровідники. Це дозволяє зменшити втрати потужності на тиристорах і підвищити загальний ККД системи.

Однією з основних переваг тиристорного регулятора є можливість точного обмеження пускового струму. Для пристрою ATS480 можна задавати граничне значення струму залежно від параметрів мережі та навантаження. Це дозволяє уникнути небезпечних просідань напруги та забезпечити стабільну роботу іншого обладнання сервісного центру.

Тому поступове збільшення напруги забезпечує плавне наростання моменту без різких механічних ударів. Для стрічкового конвеєра це має особливе значення, оскільки стрічка натягується поступово, без хвильових процесів і перевантажень.

Використання тиристорного регулятора також позитивно впливає на тепловий режим двигуна. Обмеження струму дозволяє значно знизити тепловиділення в обмотках статора під час запуску. Це зменшує перегрів ізоляції та уповільнює процес її термічного старіння. У результаті збільшується термін служби електродвигуна та знижується ймовірність міжвиткових замикань.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 40
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

Пристрій ATS480 має розвинену систему електронного захисту двигуна. Він забезпечує контроль перевантаження, втрати фази, асиметрії напруги, перевищення струму, заклинювання ротора та перегріву. Наявність таких функцій значно підвищує надійність роботи електроприводу та знижує ризик аварійних ситуацій.

Додатковою перевагою системи є функція плавного зупину. При вимкненні двигуна тиристорний регулятор поступово знижує напругу на статорі, забезпечуючи контрольоване уповільнення конвеєра. Це дозволяє уникнути різких гальмівних ударів, які можуть виникати при аварійному або миттєвому вимкненні двигуна.

Сучасні пристрої плавного пуску також підтримують інтеграцію з автоматизованими системами керування. ATS480 може працювати у складі систем диспетчеризації та промислової автоматизації через цифрові інтерфейси зв'язку. Це дозволяє здійснювати дистанційний контроль параметрів двигуна, аналіз аварійних режимів та моніторинг стану обладнання у реальному часі.

Для сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання застосування тиристорного регулятора напруги є технічно та економічно обґрунтованим рішенням. Використання пристрою плавного пуску забезпечує підвищення надійності електроприводу, зменшення механічного та теплового навантаження на обладнання, покращення якості електроенергії та зниження експлуатаційних витрат.

Таким чином, застосування тиристорного регулятора напруги Altivar Soft Starter ATS480C21Y дозволяє реалізувати ефективну систему керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації електромеханічних систем.

Основні технічні характеристики ATS480C21Y

За каталогом SchneiderElectricAltivarSoftStarter ATS480, для моделі ATS480C21Y маємо такі основні параметри:

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	асинхронним двигуном стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації електромеханічних систем.							
			Основні технічні характеристики ATS480C21Y							
			За каталогом SchneiderElectricAltivarSoftStarter ATS480, для моделі ATS480C21Y маємо такі основні параметри:							
								02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
										41
Змін.		Кільк.		Арк.		№ док.		Підпис		Дата

1. Номінальний робочий струм I_e : 210 А
2. Номінальна напруга мережі живлення: 208...690 В АС, 50/60 Гц
3. Номінальна потужність двигуна при 400 В: 110 кВт
4. Кількість фаз: 3
5. Ступінь захисту: IP00 (монтаж всередині шафи)
6. Діапазон регулювання напруги пуску: приблизно 30...100 % від U_n
7. Час розгону/гальмування: 1...30 с (налаштовується)

Вбудовані захисти:

1. Від перевантаження за струмом;
2. Від перевищення температури силових елементів;
3. Від обриву або асиметрії фаз;
4. Від занадто довгого розгону;

Перевірка відповідності параметрам двигуна

Для двигуна з параметрами які наведені в таблиці 4.1. виконаємо перевірку.

Таблиця 4.1. Технічні дані двигуна для розрахунків

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_n	110 кВт
Номінальна напруга U_n	380 В
Частота мережі f	50 Гц
Синхронна частота обертання n_1	1000 об/хв
ККД (η)	0,93
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,92
Режим роботи	Змінне навантаження (S6)

Номінальний струм:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,93} = 195 \text{ А}$$

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											42
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

Номинальний струм ATS480C21Y — 210 А.

Коефіцієнт запасу за струмом:

$$k_{\text{зап}} = \frac{I_e}{I_n} = \frac{210}{195} = 1,08$$

Формально це небагато, але: у каталозі прямо вказано, що ATS480C21Y розрахований на двигун 110 кВт при 400 В; у нашому випадку напруга 380 В — це близько до 400 В, отже потужність двигуна узгоджена з типорозміром.

Додатково варто врахувати, що: режим роботи конвеєра — змінне навантаження, але не екстремальний (не компресор, не дробарка); кількість пусків за годину зазвичай не перевищує 6...10; тривалість пуску не перевищує 15...20 с.

Ці умови укладаються в стандартну область застосування ATS480C21Y без перевантаження за тепловим режимом. Таким чином, вибір ATS480C21Y для двигуна 110 кВт, 380 В є коректним та підтверджується даними виробника.

4.2. Принцип роботи тиристорного регулятора напруги

Пристрій плавного пуску Altivar Soft Starter ATS480 належить до класу тиристорних регуляторів напруги, робота яких базується на принципі фазового керування змінною напругою. Основною задачею такого пристрою є плавне регулювання напруги, що подається на обмотки статора асинхронного двигуна, під час його запуску та зупинки. Завдяки цьому забезпечується обмеження пускового струму, плавне формування електромагнітного моменту та зменшення динамічних навантажень у механічній системі приводу стрічкового конвеєра.

Силова частина тиристорного регулятора складається з шести потужних тиристорів — по два на кожну фазу живлення. Тиристири вмикаються зустрічно-паралельно, що дозволяє здійснювати керування обома півхвилями змінної синусоїдальної напруги. Кожен тиристор виконує функцію електронного ключа, який відкривається у певний момент часу після переходу синусоїди через нуль.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		43

Електронна система керування формує імпульси керування для затворів тиристорів із певною затримкою відносно початку півперіоду синусоїди.

Кут керування визначає момент відкривання тиристора в межах кожного напівперіоду змінної напруги. Якщо тиристор відкривається майже одразу після переходу синусоїди через нуль, на навантаження подається практично повна напруга мережі. Якщо ж відкривання відбувається із великою затримкою, тиристор пропускає лише невелику частину синусоїди, а середнє діюче значення напруги на навантаженні суттєво зменшується.

Таким чином, зміна кута керування дозволяє плавно регулювати напругу на статорі двигуна. При великих значеннях кута (α), близьких до 180° , напруга на двигуні мінімальна. При поступовому зменшенні кута відкривання діюче значення напруги збільшується аж до повної синусоїдальної напруги мережі.

Завдяки цьому плавна зміна напруги автоматично забезпечує плавне наростання моменту двигуна. Це є основною перевагою тиристорного регулятора напруги для важких електроприводів, таких як стрічкові конвеєри великої потужності.

Робота пристрою плавного пуску ATS480 складається з декількох основних етапів. На стадії очікування або готовності до пуску на силову частину пристрою вже подається живлення через автоматичний вимикач та вхідний контактор, однак тиристори залишаються закритими. У цьому режимі система керування виконує постійний контроль параметрів мережі та внутрішнього стану пристрою.

ATS480 перевіряє наявність напруги на всіх трьох фазах, правильність чергування фаз та відсутність аварійних режимів. Якщо виявляється відсутність однієї з фаз, неправильне фазування або внутрішня несправність, запуск двигуна блокується. Такий алгоритм забезпечує захист електродвигуна та силової електроніки від аварійних ситуацій.

Після подачі команди «ПУСК» пристрій переходить до стадії початкового запуску. У цей момент кут керування тиристорами має велике значення, тому на двигун подається лише частина номінальної напруги. Зазвичай початкове значення напруги становить приблизно 40–50 % від номінальної. Відповідно

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	однієї з фаз, неправильне фазування або внутрішня несправність, запуск двигуна блокується. Такий алгоритм забезпечує захист електродвигуна та силової електроніки від аварійних ситуацій.									
			Після подачі команди «ПУСК» пристрій переходить до стадії початкового запуску. У цей момент кут керування тиристорами має велике значення, тому на двигун подається лише частина номінальної напруги. Зазвичай початкове значення напруги становить приблизно 40–50 % від номінальної. Відповідно									
										02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
												44
Змін.		Кільк.		Арк.		Недок.		Підпис		Дата		

пусковий момент двигуна також обмежується та становить приблизно 20–30 % від номінального значення.

Такий режим є надзвичайно важливим для стрічкового конвеєра, оскільки дозволяє уникнути різкого натягу стрічки та ударних навантажень у редукторі. Механічна система починає рухатися поступово, без ривків і хвилових процесів у стрічці.

Далі починається стадія розгону двигуна. Протягом заданого часу пуску, який для потужних конвеєрів зазвичай становить 10–15 секунд, ATS480 плавно зменшує кут керування тиристорів. Це призводить до поступового збільшення діючого значення напруги на статорі двигуна від початкового рівня до номінального значення.

Процес зміни напруги реалізується за так званою рампою напруги. У найпростішому випадку напруга змінюється за лінійним законом, однак сучасні пристрої дозволяють використовувати різні алгоритми розгону залежно від характеру навантаження.

Одночасно система ATS480 здійснює контроль пускового струму. Таке обмеження дозволяє уникнути значних просідань напруги у мережі та забезпечити стабільну роботу іншого електрообладнання сервісного центру.

У процесі розгону електродвигун поступово наближається до номінальної швидкості обертання. Коли ротор досягає робочої частоти обертання, пристрій плавного пуску завершує процес регулювання. Тиристири відкриваються повністю, а напруга на статорі досягає 100 % від номінальної.

Після завершення розгону ATS480 формує внутрішній сигнал «Пуск завершено», який може використовуватись для керування допоміжними колами автоматики, сигналізації або релейного захисту. У проєктованій системі додатково реалізовано механічний байпас за допомогою контактора KM2.

Після замикаання контактора KM2 електродвигун підключається безпосередньо до мережі, а силові тиристири виводяться з основного струмового кола. Такий режим називається роботою в байпасі. Основною перевагою байпасування є суттєве зниження теплових втрат у тиристорах.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
									45
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

Оскільки тиристори мають певне падіння напруги у відкритому стані, при великих робочих струмах у них виділяється значна теплова потужність. Перехід у режим байпасу дозволяє практично повністю усунути ці втрати та підвищити енергоефективність системи.

Навіть у режимі байпасу ATS480 продовжує виконувати функції моніторингу та захисту. Пристрій контролює струм двигуна за допомогою трансформаторів струму, аналізує навантаження та відстежує можливі аварійні режими, такі як перевантаження, перегрів, асиметрія фаз або обрив фази.

Під час зупинки електроприводу можливі два режими роботи. У випадку швидкої або жорсткої зупинки контактори живлення миттєво розмикаються, і двигун відключається від мережі. Подальше гальмування відбувається за рахунок механічних втрат та інерції системи.

Для стрічкових конвеєрів більш доцільним є режим плавної зупинки. У цьому випадку спочатку розмикається байпасний контактор, після чого струм знову проходить через тиристори ATS480. Далі пристрій поступово збільшує кут керування тиристорів, зменшуючи діюче значення напруги на статорі двигуна.

У результаті електромагнітний момент двигуна плавно зменшується до нуля, а конвеєр уповільнюється без ударних навантажень і ривків. Це дозволяє уникнути зміщення вантажу, зменшує навантаження на редуктор та значно підвищує ресурс механічної частини установки.

Таким чином, тиристорний регулятор напруги ATS480 забезпечує комплексне керування процесами запуску та зупинки асинхронного двигуна стрічкового конвеєра. Завдяки фазовому керуванню напругою досягається ефективне обмеження пускових струмів, зменшення механічних ударів, покращення енергетичних показників та підвищення надійності роботи електроприводу в умовах сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

4.3. Схема керування та вибір апаратури захисту

На принциповій схемі присутні такі основні елементи:

- QF1 — автоматичний вимикач на вводі трифазної мережі 380 В;
- TV1 — силовий трансформатор 400/230 В для живлення кола керування;
- SF1, SF2 — автоматичні вимикачі кола керування;
- KM1 — головний лінійний контактор, через який живиться ATS480;
- KM2 — байпасний контактор, який шунтує силову частину плавного пускача після закінчення розгону;
- KMS1 — сам пристрій плавного пуску ATS480C21Y;
- M1 — асинхронний двигун 110 кВт;
- S1, S2, S3, S4, S5 — кнопки «Пуск», «Стоп», «Аварійний Стоп»;
- HL1-HL3 — сигнальні лампи.

Опис роботи схеми керування

Принципова електрична схема призначена для керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт із використанням пристрою плавного пуску ATS480C21Y. Схема забезпечує плавний запуск електродвигуна, обмеження пускового струму, захист силового обладнання та реалізацію режиму байпасу після завершення розгону двигуна.

Живлення силового кола здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В через автоматичний вимикач QF1. Даний автоматичний вимикач виконує функції головного ввідного апарата, забезпечує ручне вмикання та вимикання схеми, а також захист силового кола від коротких замикань і перевантажень. Після ввімкнення QF1 напруга подається на головний лінійний контактор KM1 та на силовий трансформатор TV1.

Трансформатор TV1 призначений для пониження напруги з 400 В до 230 В і забезпечує живлення кола керування. Використання окремого трансформатора дозволяє електрично відокремити силове коло від кола керування, підвищити безпеку обслуговування та забезпечити стабільну роботу елементів автоматики.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
									47
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

На первинній та вторинній сторонах трансформатора встановлено автоматичні вимикачі SF1 і SF2, які виконують захист кола керування від перевантажень і коротких замикань.

Після подачі живлення на коло керування схема переходить у режим готовності до запуску. У цьому стані пристрій плавного пуску KMS1 (ATS480C21Y) знаходиться під напругою, однак силові тиристори залишаються закритими, а двигун М1 відключений від мережі. Пристрій ATS480 виконує самодіагностику, контролює наявність напруги на фазах, правильність чергування фаз та відсутність внутрішніх аварій.

Запуск електроприводу за допомогою пристрою плавного пуску здійснюється натисканням кнопки S5 «Пуск». Після натискання кнопки сигнал про запуск надходить на котушку KM1 через релейні виходи пристрою плавного пуску (R1A, R1C). Контакт KM1 спрацьовує та своїми силовими контактами підключає пристрій плавного пуску ATS480 до трифазної мережі живлення.

Після отримання сигналу запуску ATS480 починає процес плавного пуску двигуна М1. На початковому етапі тиристори пристрою відкриваються з великим кутом керування, унаслідок чого на обмотки статора двигуна подається знижена напруга. Це дозволяє обмежити пусковий струм та забезпечити плавне наростання електромагнітного моменту.

У процесі розгону ATS480 поступово зменшує кут керування тиристорами, завдяки чому напруга на двигуні плавно збільшується від початкового значення до номінальної. Одночасно пристрій контролює величину струму та підтримує його в межах заданого рівня. Такий режим забезпечує м'який запуск стрічкового конвеєра без механічних ривків і ударних навантажень.

Після досягнення двигуном робочої швидкості ATS480 формує сигнал завершення пуску. Цей сигнал через релейні виходи (R2A, R2C) надходить на котушку байпасного контактора KM2. Його силові контакти шунтують силову частину пристрою плавного пуску та безпосередньо підключають двигун до мережі живлення. У результаті основний робочий струм проходить через контактор KM2, минаючи тиристори ATS480.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			48

Режим байпасу дозволяє значно зменшити теплові втрати у силових напівпровідниках та підвищити енергоефективність системи. Крім того, це забезпечує стабільну тривалу роботу електроприводу без перегріву пристрою плавного пуску. Навіть після переходу в байпасний режим ATS480 продовжує контролювати параметри роботи двигуна та здійснювати захист від аварійних режимів.

Зупинка електроприводу здійснюється натисканням кнопки S6 «Стоп». При цьому коло живлення котушок контакторів розмикається, контактори КМ1 та КМ2 відключаються, а двигун М1 від'єднується від мережі живлення.

Таким чином, принципова електрична схема забезпечує надійне та безпечне керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра. Використання пристрою плавного пуску ATS480 дозволяє суттєво знизити пускові струми, зменшити механічні навантаження на привід, покращити якість електроенергії та підвищити ресурс роботи електромеханічного обладнання сервісного центру.

Підбір автоматичного вимикача QF1

Вихідні дані:

1. номінальний струм двигуна $I_n \approx 195 \text{ A}$;

Автомат вибираємо за умовами:

$$I_{\text{н.авт}} \geq 1,1 \cdot I_n$$

$$I_{\text{н. авт}} \geq 1,1 \cdot 195 \approx 215 \text{ A}$$

Для захисту силового кола електроприводу стрічкового конвеєра з асинхронним двигуном потужністю 110 кВт обрано автоматичний вимикач у литому корпусі виробництва ETI типу EB2 250/3E 250A 3p.

Вибір автоматичного вимикача здійснювався за номінальним струмом двигуна, пусковими режимами роботи та необхідною вимикаючою здатністю. Для двигуна потужністю 110 кВт при напрузі 380 В номінальний струм становить приблизно:

З урахуванням тривалого режиму роботи, можливих перевантажень та запасу по струму був обраний автоматичний вимикач номіналом 250 А.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	літому корпусі виробництва <u>ЕТІ</u> типу ЕВ2 250/3Е 250А Зр.							
			Вибір автоматичного вимикача здійснювався за номінальним струмом двигуна, пусковими режимами роботи та необхідною вимикаючою здатністю. Для двигуна потужністю 110 кВт при напрузі 380 В номінальний струм становить приблизно:							
			З урахуванням тривалого режиму роботи, можливих перевантажень та запасу по струму був обраний автоматичний вимикач номіналом 250 А.							
						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ				Арк.
										49
Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата					

Технічні дані автоматичного вимикача ЕТІ ЕВ2 250/3Е 250А 3р:

Найменування: ЕВ2 250/3Е 250А 3р

Виробник: ЕТІ Україна

Артикул: 004671304

Тип: автоматичний вимикач у литому корпусі (МССВ)

Кількість полюсів: 3

Номінальний струм: 250 А

Номінальна робоча напруга: 690 В АС

Номінальна напруга ізоляції: 800 В

Номінальна імпульсна напруга: 8 кВ

Гранична вимикаюча здатність при 415 В: 70 кА

Регулювання теплового захисту: 0,4–1 Іп

Регулювання електромагнітного захисту: регульоване

Тип підключення: переднє підключення

Стандарт: ІЕС 60947

Маса: 2,5 кг.

Обраний автоматичний вимикач забезпечує надійний захист електроприводу від струмів короткого замикання, перевантаження та аварійних режимів роботи. Висока вимикаюча здатність 70 кА дозволяє використовувати його у промислових мережах із великими струмами короткого замикання, що особливо важливо для електроприводів значної потужності.

Підбір контакторів.

Для системи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт обрано два контактори виробництва ЕТІ: головний лінійний контактор КМ1 та байпасний контактор КМ2. Вибір здійснювався за номінальним струмом двигуна, категорією застосування АС-3 та умовами роботи пристрою плавного пуску АТС480.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											50
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

Номінальний струм двигуна становить приблизно 196 А, тому для забезпечення надійної роботи та необхідного запасу по струму було обрано контактори на 250 А.

Для КМ1 — головного лінійного контактора — обрано контактор типу СЕ 250.22 виробництва ЕТІ. Даний контактор призначений для комутації силового кола пристрою плавного пуску АТС480 та підключення його до трифазної мережі живлення.

- Технічні дані контактора КМ1:
- Найменування: CES 250.22-230V-50/60Hz
- Виробник: [ЕТІ Україна](#)
- Тип: магнітний контактор
- Кількість полюсів: 3
- Номінальний робочий струм АС-3: 300 А
- Номінальна напруга ізоляції: 1000 В
- Напруга котушки керування: 230 В АС
- Категорія застосування: АС-3
- Механічна зносостійкість: понад 10 млн циклів
- Електрична зносостійкість: понад 1 млн циклів
- Стандарт: ІЕС 60947-4-1.

Контактор КМ1 забезпечує подачу живлення на АТС480 перед запуском двигуна та виконує функцію головного комутаційного апарата силового кола.

Для КМ2 — байпасного контактора — також обрано контактор ЕТІ типу CES 250.22-230V-50/60Hz/ Використання однакових контакторів спрощує технічне обслуговування, забезпечує взаємозамінність та уніфікацію обладнання.

Байпасний контактор КМ2 підключається паралельно силовій частині пристрою плавного пуску АТС480 і спрацьовує після завершення розгону двигуна. Після замикання контактів КМ2 струм двигуна проходить безпосередньо через контактор, мінаючи тиристори пристрою плавного пуску. Це дозволяє:

- зменшити теплові втрати у тиристорах;
- підвищити ККД системи;

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											51
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

знизити нагрівання пристрою ATS480;
забезпечити тривалий режим роботи без перевантаження силовій електроніки.

Технічні характеристики КМ2 аналогічні КМ1:

Найменування: CES 250.22-230V-50/60Hz

Номинальний струм АС-3: 300 А

Напруга котушки: 230 В АС

Категорія застосування: АС-3

Кількість полюсів: 3.

Обрані контактори ЕТІ повністю відповідають умовам експлуатації приводу стрічкового конвеєра та забезпечують надійну роботу системи плавного пуску асинхронного двигуна потужністю 110 кВт.

Вибір силового трансформатора для живлення кола керування;

Для живлення кола керування системи плавного пуску стрічкового конвеєра обрано силовий понижувальний трансформатор виробництва [ЕТІ](#) типу ЕТІ-Е 400/230 В. Трансформатор призначений для перетворення напруги трифазної мережі 400 В у напругу 230 В, яка використовується для живлення котушок контакторів, кола керування ATS480, сигнальної апаратури та допоміжних реле.

Вибір трансформатора здійснювався з урахуванням потужності споживачів кола керування, режиму роботи та необхідного запасу по навантаженню. До кола керування підключені котушки контакторів КМ1 і КМ2, електронний блок ATS480, проміжні реле та сигнальні елементи. Сумарна потужність навантаження кола керування не перевищує 300–400 ВА, тому для забезпечення стабільної роботи та резерву по потужності обрано трансформатор номінальною потужністю 630 ВА.

Технічні дані силового трансформатора:

Найменування: ЕТІ-Е 0.63 кВА 400/230 В

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										52
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Виробник: [ЕТІ Україна](#)
Тип: однофазний понижувальний трансформатор керування
Номінальна потужність: 630 ВА
Первинна напруга: 400 В АС
Вторинна напруга: 230 В АС
Частота мережі: 50 Гц
Клас ізоляції: В
Ступінь захисту: IP20
Спосіб монтажу: на монтажну панель
Режим роботи: тривалий
Матеріал обмоток: мідь
Стандарт: ІЕС 61558.

Трансформатор TV1 забезпечує електричне відокремлення кола керування від силового кола, що підвищує безпеку експлуатації обладнання та зменшує вплив перешкод від силової частини приводу. Використання окремого трансформатора також дозволяє стабілізувати напругу живлення допоміжних кіл та забезпечити надійну роботу системи автоматичного керування.

Обраний трансформатор ЕТІ повністю відповідає умовам роботи системи плавного пуску асинхронного двигуна потужністю 110 кВт та забезпечує надійне живлення всіх елементів кола керування стрічкового конвеєра.

Вибір автоматичних вимикачів кола керування.

Для захисту кола керування системи плавного пуску стрічкового конвеєра обрано автоматичні вимикачі SF1 та SF2 виробництва [ЕТІ](#) серії ЕТІМАТ 6. Дані автоматичні вимикачі призначені для захисту первинного та вторинного кіл трансформатора керування TV1 від перевантажень і струмів короткого замикання.

Оскільки коло керування має невелику споживану потужність та живить електронний блок АТС480, котушки контакторів, проміжні реле та сигнальні

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.	
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата					53

елементи, струм навантаження є відносно малим. Для забезпечення надійного захисту та селективності обрано автоматичні вимикачі номіналом 6 А.

Для SF1 — захисту первинної обмотки трансформатора — обрано автоматичний вимикач типу ETIMAT6 2р C6.

- Технічні дані SF1:
- Найменування: ETIMAT6 3р C6
- Виробник: [ETI Україна](#)
- Тип: модульний автоматичний вимикач
- Кількість полюсів: 2
- Номінальний струм: 6 А
- Характеристика спрацювання: C
- Номінальна напруга: 400 В AC
- Гранична вимикаюча здатність: 6 кА
- Частота мережі: 50 Гц
- Стандарт: IEC 60898-1
- Монтаж: DIN-рейка.

Автоматичний вимикач SF1 встановлюється у первинному колі трансформатора TV1 та виконує захист від аварійних режимів у колі живлення трансформатора.

Для SF2 — захисту вторинного кола керування 230В — обрано автоматичний вимикач ETIMAT6 2р C6.

- Технічні дані SF2:
- Найменування: ETIMAT6 2р C6
- Виробник: [ETI Україна](#)
- Тип: модульний автоматичний вимикач
- Кількість полюсів: 2
- Номінальний струм: 6 А
- Характеристика спрацювання: C
- Номінальна напруга: 230 В AC
- Гранична вимикаюча здатність: 6 кА

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			54

Частота мережі: 50 Гц
Стандарт: IEC 60898-1
Монтаж: DIN-рейка.

Автоматичний вимикач SF2 забезпечує захист вторинного кола керування від коротких замикань та перевантажень, а також дозволяє оперативно відключати коло керування під час технічного обслуговування або налагодження системи.

Обрані автоматичні вимикачі ETI серії ETIMAT6 характеризуються високою надійністю, компактністю та повністю відповідають умовам експлуатації системи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт.

Вибір пристрою плавного пуску.

Для реалізації системи плавного пуску асинхронного двигуна стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт у проєкті обрано пристрій плавного пуску [Schneider Electric ATS480C21Y](#) серії Altivar Soft Starter ATS480. Вибір даного пристрою обумовлений високою потужністю електроприводу, важкими умовами пуску конвеєрної системи та необхідністю забезпечення обмеження пускового струму й плавного наростання крутного моменту.

При прямому пуску асинхронного двигуна 110 кВт пусковий струм може перевищувати номінальний у 5–7 разів і досягати значень понад 1300 А. Це спричиняє значні просідання напруги, перевантаження силової мережі та ударні механічні навантаження на редуктор, барабани й стрічку конвеєра. Використання тиристорного пристрою плавного пуску ATS480 дозволяє обмежити пусковий струм до заданого рівня та забезпечити контрольований розгін приводу.

Обраний пристрій ATS480C21Y призначений для роботи з трифазними асинхронними двигунами потужністю до 110 кВт при напрузі 400 В. Номінальний робочий струм пристрою становить 210 А, що повністю відповідає параметрам обраного електродвигуна.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			55

Технічні характеристики пристрою плавного пуску ATS480C21Y:

Найменування: ATS480C21Y

Виробник: [Schneider Electric](#)

Серія: Altivar Soft Starter ATS480

Тип: тиристорний пристрій плавного пуску

Номінальний струм: 210 А

Напруга живлення силового кола: 208–690 В AC

Напруга кола керування: 110–230 В AC

Номінальна потужність двигуна при 400 В: 110 кВт

Категорія застосування: AC-53A

Частота мережі: 50/60 Гц

Кількість фаз: 3

Тип двигуна: асинхронний електродвигун

Спосіб монтажу: вертикальний, на монтажну панель

Ступінь захисту: IP00

Робоча температура: від –15 °C до +60 °C

Наявність функції контролю моменту (Torque Control System)

Підтримка плавного пуску та плавної зупинки

Можливість підключення зовнішнього байпасного контактора

Підтримка комунікаційних модулів Modbus/Ethernet

Вбудований електронний захист двигуна. (bpx.co.uk)

Принцип роботи ATS480 базується на фазовому керуванні тиристорами, встановленими у кожній фазі живлення двигуна. Під час запуску електронна система плавно змінює кут відкривання тиристорів, завдяки чому напруга на обмотках статора зростає поступово. Це забезпечує плавне збільшення електромагнітного моменту без механічних ударів у приводі конвеєра.

Після завершення розгону двигуна у схемі використовується байпасний контактор КМ2, який шунтує силову частину ATS480. У такому режимі робочий струм проходить безпосередньо через контактор, а тиристори розвантажуються

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			56

від теплових втрат. Це підвищує ККД системи та збільшує термін служби пристрою плавного пуску.

Пристрій ATS480 також забезпечує розширені функції захисту електроприводу: контроль перевантаження, втрати фази, перекосу фаз, блокування ротора, перегріву двигуна та перевищення часу пуску. Наявність вбудованої системи діагностики дозволяє контролювати параметри роботи електроприводу та підвищує надійність експлуатації стрічкового конвеєра у сервісному центрі.

Таким чином, використання пристрою плавного пуску ATS480C21Y є технічно обґрунтованим рішенням для керування асинхронним двигуном потужністю 110 кВт, оскільки забезпечує зниження пускових струмів, захист механічної частини приводу, підвищення ресурсу обладнання та стабільну роботу електроприводу конвеєра.

Вибір кнопок керування «Пуск», «Стоп», «Аварійний Стоп».

Для керування системою плавного пуску стрічкового конвеєра у схемі застосовано кнопкові пости керування виробництва [ETI](#), які забезпечують подачу команд «Пуск», «Стоп» та «Аварійний Стоп» для керування пристроєм плавного пуску ATS480 і силовими контакторами KM1 та KM2.

Вибір кнопок здійснювався з урахуванням умов експлуатації промислового обладнання, необхідної надійності комутації та сумісності з колом керування 230 В АС. Для системи обрано кнопкові елементи серії LA та кнопкові пости ETI, призначені для монтажу на дверцятах шафи керування.

Для кнопки S6, S4 «Пуск» обрано кнопку зеленого кольору з нормально відкритим контактом.

Технічні дані S4:

Найменування: кнопка «Пуск» LA38-11G

Виробник: [ETI Україна](#)

Тип контакту: 1 NO (нормально відкритий)

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			57

Колір: зелений

Номінальна напруга: 230–400 В AC

Номінальний струм контактів: 10 А

Ступінь захисту: IP65

Діаметр монтажного отвору: 22 мм

Механічна зносостійкість: понад 1 млн циклів.

Кнопки S4, S6 призначені для подачі сигналу запуску на систему керування ATS480 та увімкнення головного контактора KM1.

Для кнопки S2, S3, S5 «Стоп» обрано кнопку червоного кольору з нормально закритим контактом.

Технічні дані S2, S3, S5:

Найменування: кнопка «Стоп» LA38-11R

Виробник: [ЕТІ Україна](#)

Тип контакту: 1 NC (нормально закритий)

Колір: червоний

Номінальна напруга: 230–400 В AC

Номінальний струм контактів: 10 А

Ступінь захисту: IP65

Монтажний діаметр: 22 мм.

Для аварійного вимкнення системи використовується кнопка S1 «Аварійний Стоп» грибоподібного типу з механічною фіксацією.

Технічні дані S1:

Найменування: аварійна кнопка LA38-11ZS

Виробник: [ЕТІ Україна](#)

Тип контакту: 1 NC

Тип кнопки: грибоподібна з фіксацією

Колір: червоний із жовтою основою

Номінальна напруга: до 400 В AC

Номінальний струм контактів: 10 А

Ступінь захисту: IP65

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
											58
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

Монтажний діаметр: 22 мм

Спосіб розблокування: поворот головки.

Кнопка аварійного вимкнення забезпечує негайне відключення живлення кола керування у разі виникнення аварійної ситуації, заклинювання конвеєра або небезпеки для персоналу.

Обрані кнопкові елементи ЕТІ характеризуються високою механічною міцністю, захистом від пилу та вологи, а також повністю відповідають умовам експлуатації електроприводу стрічкового конвеєра у сервісному центрі технічного обслуговування електрообладнання.

Вибір сигнальної апаратури

Для системи сигналізації режимів роботи пристрою плавного пуску доцільно застосувати сигнальні світлодіодні лампи компанії ЕТІ серії С22 діаметром 22 мм, які призначені для промислових шаф керування та працюють у колах змінного струму 220 В.

Для даного проєкту приймаються три зелені сигнальні ламп из технічними даними, які наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Технічні дані сигнальних ламп

Позначення	Призначення	Тип ЕТІ	Напруга
HL1	«Мережа»	C22-L-G-230AC	230 В AC
HL2	«Робота»	C22-L-G-230AC	230 В AC
HL3	«Плавний пуск»	C22-L-G-230AC	230 В AC

Сигнальні лампи ЕТІ C22-L-G-230AC мають такі технічні характеристики:

- номінальна напруга живлення — 230 В AC;
- колір світіння — зелений;
- тип джерела світла — LED;
- монтажний діаметр — 22 мм;

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.	
											59	
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата							

HL3	«Плавний пуск»	C22-L-G-230AC	230 В AC
-----	----------------	---------------	----------

Сигнальні лампи ETI C22-L-G-230AC мають такі технічні характеристики:

- номінальна напруга живлення — 230 В AC;
- колір світіння — зелений;
- тип джерела світла — LED;
- монтажний діаметр — 22 мм;

- ступінь захисту передньої панелі — IP65;
- робоча температура — від –25 °С до +55 °С;
- великий ресурс роботи світлодіодів — понад 30000 годин;
- низьке енергоспоживання та висока надійність.

Застосування світлодіодних ламп ЕТІ забезпечує надійну індикацію стану системи плавного пуску, добру видимість сигналів на панелі керування та тривалий термін експлуатації без необхідності частого технічного обслуговування.

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										60
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Розділ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

5.1. Зниження пускових струмів

Під час прямого пуску асинхронного двигуна потужністю 110 кВт пусковий струм може перевищувати номінальний у 5–7 разів і досягати значень понад 1300 А. Такі струми викликають значні просідання напруги в мережі, перевантаження силового обладнання та підвищені теплові навантаження на обмотки двигуна. Використання пристрою плавного пуску ATS480 дозволяє обмежити пусковий струм до рівня 2,5–4 I_n , що становить приблизно 500–800 А. Завдяки плавному наростанню напруги забезпечується стабільний розгін електроприводу без різких струмових перевантажень. Це покращує якість електроенергії, зменшує нагрівання двигуна та підвищує надійність роботи всієї системи керування стрічкового конвеєра

Прямий пуск без плавного пускача. При прямому пуску (підключення двигуна безпосередньо через контактор до мережі) пусковий струм:

$$I_{\text{пуск. пр}} \approx 6 \cdot I_n = 6 \cdot 195 \approx 1170 \text{ А}$$

У деяких випадках він може досягати 7–8 I_n , особливо при важкому пуску. Такий струм: створює значні динамічні навантаження на мережу живлення; викликає просідання напруги в шинах трансформаторної підстанції; може негативно впливати на інші споживачі, підключені до тієї ж мережі.

Пуск через ATS480C21Y. В каталозі ATS480 для механізмів з важким пуском рекомендований пусковий струм 2,5...4 I_n . Припустимо, що обмеження встановлено на рівні 3,5 I_n

$$I_{\text{пуск. пр}} \approx 3,5 \cdot I_n = 3,5 \cdot 195 \approx 683 \text{ А}$$

Зам. інв. №	
Підпис/дата	
Інв. № ориг.	

						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		61

Порівняння:

- Прямий пуск $I_{\text{пуск. пр}} = 1170 \text{ А}$
- Плавний пуск через ATS480 $I_{\text{пуск. пр}} = 1170 \text{ А}$

Відносне зниження:

$$\Delta I = \frac{I_{\text{пуск. пр}} - I_{\text{пуск. пл}}}{I_{\text{пуск. пр}}} \cdot 100\% = \frac{1170 - 683}{1170} \cdot 100\% = 41,6\%$$

Отже, пускові струми знижуються приблизно на 40–45 %. Це зменшує просідання напруги в мережі; дозволяє використовувати автомат на 250 А без надмірного резерву; підвищує електромагнітну сумісність з іншими споживачами.

Завдяки плавному наростанню напруги забезпечується стабільний розгін електроприводу без різких струмових перевантажень. Це покращує якість електроенергії, зменшує нагрівання двигуна та підвищує надійність роботи всієї системи керування стрічкового конвеєра

5.2. Зменшення механічних навантажень

Використання пристрою плавного пуску ATS480 забезпечує суттєве зменшення механічних навантажень у приводі стрічкового конвеєра. При прямому пуску двигуна крутний момент виникає практично миттєво, що спричиняє ударні навантаження на редуктор, муфти, підшипники та стрічку конвеєра. У результаті виникають ривки, пробуксовування стрічки та прискорений знос механічних вузлів. Плавний пуск забезпечує поступове наростання моменту двигуна, завдяки чому розгін конвеєра відбувається без ударів і різких динамічних перевантажень. Це дозволяє знизити вібрації, зменшити зношування редуктора та підшипникових опор, а також підвищити термін служби стрічки й усього механічного обладнання приводу.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	конвеєра. У результаті виникають ривки, пробуксовування стрічки та прискорений знос механічних вузлів. Плавний пуск забезпечує поступове наростання моменту двигуна, завдяки чому розгін конвеєра відбувається без ударів і різких динамічних перевантажень. Це дозволяє знизити вібрації, зменшити зношування редуктора та підшипникових опор, а також підвищити термін служби стрічки й усього механічного обладнання приводу.					
						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата			62

Основне джерело механічних ударів у приводі конвеєра — різке прикладання повного моменту двигуна при прямому пуску. Для асинхронних двигунів момент при пуску може досягати $1,5 \dots 2 M_n$.

Нехай для нашого двигуна:

$$M_n = \frac{9550 \cdot P_n}{\eta_n} = \frac{9550 \cdot 110}{1000} = \frac{1050500}{1000} = 1050,5 \text{ Н/м}$$

Пусковий момент при прямому пуску $M_{\text{пуск.пр}} \approx 1,5 M_n \approx 1575 \text{ Н/м}$. При застосуванні ATS480, напруга на двигуні на початку пуску занижена, тому початковий пусковий момент може бути $0,3 \dots 0,5$ від номінального. Нехай $M_{\text{поч.пл}} \approx 0,4 M_n = 420 \text{ Н/м}$, а далі момент плавно зростає до номінального.

Відношення моментів:

$$k_M = \frac{M_{\text{пуск.пр}}}{M_{\text{поч.пл}}} = \frac{1575}{420} \approx 3,75$$

Тобто пікове крутне навантаження при застосуванні плавного пуску зменшується приблизно у 3,5–4 рази. Практичні наслідки:

1. Редуктор і муфти між двигуном та приводним барабаном працюють у значно «м'якшому» режимі;
2. Зменшуються ривки стрічки на початку руху, що важливо для запобігання її прослизання та розтягуванню;
3. Термін служби підшипників, зубчастих коліс та стрічки збільшується.

5.3. Економія енергії

Застосування пристрою плавного пуску ATS480 сприяє підвищенню енергоефективності системи керування стрічкового конвеєра. При прямому пуску двигун споживає значні пускові струми, що супроводжуються великими втратами

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	3. Термін служби підшипників, зубчастих коліс та стрічки збільшується.					
			5.3. Економія енергії					
			Застосування пристрою плавного пуску ATS480 сприяє підвищенню енергоефективності системи керування стрічкового конвеєра. При прямому пуску двигун споживає значні пускові струми, що супроводжуються великими втратами					
						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ		Арк.
								63
Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата			

електроенергії у кабельних лініях, трансформаторі та обмотках двигуна. Плавний пуск дозволяє обмежити струм і забезпечити поступове наростання навантаження, завдяки чому зменшуються втрати активної енергії та теплові перевантаження. Крім того, зниження механічних ударів і вібрацій зменшує додаткові втрати енергії в механічній частині приводу. У результаті підвищується коефіцієнт корисної дії електроприводу, зменшуються експлуатаційні витрати та покращується загальна енергоефективність роботи стрічкового конвеєра.

Зниження втрат у двигуні під час пуску.

Тепловиділення в обмотці статора при пуску пропорційне I^2t . Оцінімо відносну зміну енергії втрат при прямому та плавному пуску. Нехай:

- при прямому пуску: $I_{\text{пуск.пр}} = 6I_n$, час пуску $t_{\text{пр}} = 3\text{с}$;
- при плавному пуску: еквівалентний струм $I_{\text{екв.пл}} \approx 3,5 I_n$, час пуску $t_{\text{пр}} = 12\text{с}$;

Тоді відношення енергій:

$$\frac{W_{\text{пл}}}{W_{\text{пр}}} = \frac{I_{\text{екв.пл}}^2 \cdot t_{\text{пр}}}{I_{\text{пуск.пр}}^2 \cdot t_{\text{пл}}} = \frac{(3,5I_n)^2 \cdot 12}{(6I_n)^2 \cdot 3} = \frac{148}{108} \approx 1,36$$

На перший погляд виходить, що через довший пуск втрати вищі, але це оціночний «лінійний» розрахунок. Реально при прямому пуску основні втрати припадають на дуже великі струми на початку пуску, коли момент щемалий, мотор практично «гріється на місці»; при плавному пуску струм на початку значно менший, а зростає в міру прискорення ротора — теплове навантаження на обмотку розподіляється рівномірніше.

Тому в практиці вважається, що плавний пуск зменшує теплове старіння ізоляції, навіть якщо повна теплова енергія може бути близькою або трохи більшою. Головний же ефект економії енергії у нашій схемі пов'язаний з тим, що: після пуску двигун переведений у байпасний режим через КМ2; струм не проходить через тиристори ATS480, отже немає додаткових втрат на падінні напруги на ристорів.

Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										64
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата		

Для двигуна 110 кВт у сталому режимі економія кількох сотень ват на тиристорах може здатися невеликою, але: при тривалій роботі конвеєра (декілька тисяч годин на рік) це дає відчутну економію; зменшуються витрати на вентиляцію шафи та охолодження.

Крім того, за рахунок: зменшення механічних навантажень; зменшення «пробуксовок» стрічки; уникнення непотрібних повторних пусків після аварій, — загальна споживана енергія на одиницю перевезеного вантажу меншується.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										65
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Заземлення

Електропривод стрічкового конвеєра працює в трифазній мережі 3×380/220В із глухозаземленою нейтраллю трансформатора. Для забезпечення електробезпеки персоналу та надійної роботи обладнання в проєкті застосовується система заземлення типу TN-S, у якій нульовий робочий провідник N та захисний провідник PE розділені по всій довжині мережі. Така система забезпечує швидке спрацювання захисної апаратури при пошкодженні ізоляції та знижує ризик ураження електричним струмом.

До контуру захисного заземлення підключаються всі металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою в аварійному режимі. Заземленню підлягають корпус асинхронного двигуна M1, металевий корпус пристрою плавного пуску ATS480C21Y, корпуси контакторів KM1 і KM2, автоматичного вимикача QF1, силового трансформатора TV1, шафи керування, пультів керування та металоконструкція стрічкового конвеєра. Наявність надійного захисного заземлення забезпечує безпечні умови експлуатації та захищає персонал від дії напруги дотику.

Переріз захисного провідника PE вибирається відповідно до вимог ПУЕ та залежить від перерізу фазних провідників силового кола. Для двигуна потужністю 110 кВт при використанні мідних фазних провідників перерізом 70 мм² приймається мідний захисний провідник PE перерізом 35 мм². Такий провідник забезпечує необхідну механічну міцність і допустиму струмову навантажувальну здатність у режимі короткого замикання.

Для системи електроприводу передбачається зовнішній заземлювальний контур, виконаний зі сталевих вертикальних електродів, з'єднаних між собою сталевією смугою. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам ПУЕ та для електроустановок напругою до 1000 В не перевищувати 4 Ом. Такий рівень опору забезпечує надійне спрацювання автоматичного вимикача QF1 при

Зам. інв. №		забезпечує необхідну механічну міцність і допустиму струмову навантажувальну здатність у режимі короткого замикання. Для системи електроприводу передбачається зовнішній заземлювальний контур, виконаний зі сталевих вертикальних електродів, з'єднаних між собою сталевою смугою. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам ПУЕ та для електроустановок напругою до 1000 В не перевищувати 4 Ом. Такий рівень опору забезпечує надійне спрацювання автоматичного вимикача QF1 при							
Підпис/дата									
Інв. № ориг.		02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.	
								66	
		Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

виникненні замикання на корпус та гарантує автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі за нормативний час.

Правильно виконана система заземлення підвищує електробезпеку установки, забезпечує стабільну роботу пристроїв автоматики та знижує ризик пошкодження електрообладнання при аварійних режимах роботи.

6.2. Захист від ураження електричним струмом та надструмів

Для забезпечення безпечної та надійної роботи електроприводу стрічкового конвеєра у проєкті передбачено комплекс заходів захисту від ураження електричним струмом, коротких замикань, перевантажень та аварійних режимів роботи. Система захисту побудована відповідно до вимог ПУЕ та сучасних стандартів електробезпеки для електроустановок напругою до 1000 В.

Основним елементом захисту силового кола від струмів короткого замикання є автоматичний вимикач QF1 номіналом 250 А, встановлений на вводі трифазної мережі 380 В. Автоматичний вимикач забезпечує миттєве відключення живлення при виникненні аварійних струмів, що перевищують уставку магнітного розчеплювача. Завдяки цьому захищаються силові кабелі, контактори, пристрій плавного пуску ATS480 та асинхронний двигун від теплового та електродинамічного руйнування. У колах керування додатково встановлені автоматичні вимикачі SF1 і SF2, які забезпечують захист трансформатора TV1, котушок контакторів, проміжних реле та кнопок керування.

Захист двигуна від перевантаження реалізується засобами самого пристрою плавного пуску ATS480. Пристрій постійно контролює струм електродвигуна та виконує електронний розрахунок теплового стану обмоток. У разі перевищення допустимого навантаження ATS480 автоматично формує сигнал аварії та вимикає коло керування контакторами KM1 і KM2, що призводить до безпечної зупинки приводу. Такий метод захисту дозволяє запобігти перегріванню обмоток двигуна та пошкодженню ізоляції.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			67						
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				

Для підвищення рівня безпеки персоналу конструкція шафи керування передбачає механічне блокування дверей, яке унеможливлює відкриття шафи при ввімкненому автоматичному вимикачі QF1. На дверцятах розміщуються попереджувальні знаки безпеки та таблички «Висока напруга». Усі струмоведучі частини, клемники та неізольовані провідники закриваються захисними кожухами та пластиковими бар'єрами, що виключає випадковий дотик персоналу до елементів під напругою.

Для захисту електронних компонентів системи від імпульсних перенапруг у колах керування використовуються RC-ланцюги RC1 та RC2, підключені паралельно котушкам контакторів KM1 і KM2. Під час вимкнення котушок виникають перенапруги самоіндукції, які можуть у декілька разів перевищувати номінальну напругу живлення та негативно впливати на релейно-контакторну апаратуру і пристрій ATS480. RC-кола поглинають енергію імпульсів та знижують рівень електромагнітних завад, підвищуючи надійність роботи системи керування.

Реалізований комплекс захистів забезпечує безпечну експлуатацію електроприводу стрічкового конвеєра, підвищує надійність роботи обладнання та мінімізує ризик виникнення аварійних ситуацій у процесі роботи сервісного центру.

6.3. Безпека при монтажі та технічному обслуговуванні

Безпечна експлуатація та технічне обслуговування системи керування стрічкового конвеєра є важливою умовою надійної роботи електроприводу та захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом. Роботи з монтажу, налагодження та ремонту електрообладнання допускається виконувати лише працівникам, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, мають відповідну професійну підготовку та групу з електробезпеки не нижче III для електроустановок напругою до 1000 В. Персонал повинен бути ознайомлений з

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										68
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата		

інструкціями з охорони праці, пройти первинний та повторний інструктажі, а також перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок.

Для виконання ремонтних робіт у силових колах електроприводу необхідно оформлювати наряд-допуск із призначенням відповідального виконавця робіт. Під час проведення робіт у шафі керування або на силовому обладнанні обов'язковим є контроль з боку відповідальної особи та дотримання вимог електробезпеки.

Перед початком технічного обслуговування установка повинна бути повністю відключена від мережі живлення за допомогою автоматичного вимикача QF1. Після відключення необхідно перевірити відсутність напруги на силових шинах і клемах обладнання за допомогою справного показчика напруги або мультиметра. На приводі вимикача вивішується попереджувальний плакат «Не вмикати — працюють люди», а за необхідності застосовується система блокування рукоятки вимикача. Особливу увагу слід приділяти пристрою плавного пуску ATS480, оскільки після відключення живлення у внутрішніх конденсаторах може зберігатися небезпечна залишкова напруга. Перед початком робіт необхідно витримати паузу не менше 5 хвилин для повного розряду силових елементів.

Під час монтажу та обслуговування персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, діелектричний килимок або боти, інструмент з ізольованими рукоятками, захисні окуляри та спецодяг. Використання засобів захисту значно знижує ризик травмування при випадковому контакті з електричними частинами або виникненні аварійних режимів.

Технічне обслуговування пристрою плавного пуску ATS480C21Y повинно виконуватись відповідно до рекомендацій виробника Schneider Electric. Періодично необхідно перевіряти стан силових та керуючих клем, надійність контактних з'єднань, роботу системи охолодження, відсутність перегріву силових елементів та чистоту вентиляційних каналів. Також здійснюється контроль роботи контакторів KM1 і KM2, стану ізоляції кабелів та справності захисної апаратури. Своєчасне технічне обслуговування дозволяє підвищити надійність

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк.
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			69						
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				

електроприводу, запобігти аварійним ситуаціям і продовжити термін служби обладнання.

6.4. Пожежна безпека та захист навколишнього середовища

Електропривод стрічкового конвеєра потужністю 110 кВт належить до електроустановок підвищеної пожежної небезпеки, оскільки у процесі роботи можливе виникнення аварійних режимів, пов'язаних із перегрівом електрообладнання, короткими замиканнями та пошкодженням ізоляції. Основними причинами виникнення пожежонебезпечних ситуацій можуть бути тривале перевантаження асинхронного двигуна М1, несправність силових кіл, перегрів тиристорів пристрою плавного пуску АТС480, а також займання ізоляції кабелів або контактних з'єднань при поганому електричному контакті.

Для запобігання виникненню пожежі у проєкті передбачено комплекс технічних заходів. Захист від надструмів та коротких замикань забезпечується автоматичним вимикачем QF1 і вбудованими функціями захисту пристрою плавного пуску АТС480. Контроль теплового стану двигуна та силових елементів дозволяє своєчасно відключати електропривод при перевищенні допустимих температур або перевантаженні. Шафа керування обладнується вентиляційними отворами або системою примусового охолодження для відведення тепла від тиристорів та силових апаратів.

У конструкції шафи керування використовуються негорючі або важкозаймисті матеріали, а кабельна продукція повинна відповідати вимогам пожежної безпеки та мати ізоляцію, стійку до поширення полум'я. Під час експлуатації персонал зобов'язаний регулярно контролювати температуру обладнання, стан контактних з'єднань і відсутність ознак перегріву або пошкодження ізоляції.

Електрообладнання відноситься до класу пожежної небезпеки Е — електроустановки, що перебувають під напругою. Для гасіння можливих загорянь дозволяється використовувати лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							Арк. 70
			02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	

типу ОУ-5 або ОП-5. Використання водяних або пінних вогнегасників категорично забороняється через небезпеку ураження електричним струмом. У приміщенні повинні бути встановлені засоби пожежної сигналізації, датчики диму або температури, а також розроблений і розміщений план евакуації персоналу.

Під час експлуатації та технічного обслуговування обладнання необхідно дотримуватись вимог захисту навколишнього середовища. Відпрацьовані мастильні матеріали редуктора та підшипників конвеєра збираються в спеціальні герметичні ємності та передаються на регенерацію або утилізацію спеціалізованим підприємствам. Електронні компоненти пристрою плавного пуску ATS480 після завершення терміну служби підлягають окремій утилізації відповідно до вимог екологічної безпеки та чинного законодавства щодо поводження з електронними відходами. Це дозволяє мінімізувати негативний вплив електрообладнання на навколишнє середовище та забезпечити безпечну експлуатацію системи керування стрічкового конвеєра.

6.5. Вимоги безпеки при налаштуванні параметрів ATS480

Налаштування параметрів пристрою плавного пуску ATS480C21Y виконується під час введення системи керування в експлуатацію та є важливим етапом забезпечення стабільної й безпечної роботи електроприводу стрічкового конвеєра. Оскільки програмування та зміна параметрів здійснюються при поданій напрузі на пристрій, персонал повинен суворо дотримуватись вимог електробезпеки та правил роботи з електроустановками напругою до 1000 В.

Під час налаштування оператор повинен працювати у засобах індивідуального захисту, використовуючи діелектричні рукавички, захисні окуляри та інструмент з ізольованими рукоятками. Робоче місце біля шафи керування повинно бути сухим, чистим та достатньо освітленим. Забороняється торкатися силових клем, шин та струмоведучих частин пристрою, оскільки на них присутня небезпечна для життя напруга. У зоні виконання робіт не допускається перебування сторонніх осіб.

Зам. інв. №	
Підписі дата	
Інв. № ориг.	

							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата			71

Зам. інв. №																								
Підписідата																								
Інв. № ориг.																								
<table><tr><th>Параметр</th><th>Рекомендоване значення</th><th>Пояснення</th></tr><tr><td>Початкова напруга пуску</td><td>40–50 % U_H</td><td>М'який старт без ривка</td></tr><tr><td>Час розгону</td><td>10–15 с</td><td>Достатньо для конвеєра 110 кВт</td></tr><tr><td>Обмеження пускового струму</td><td>300–350 % I_H</td><td>Баланс між моментом та нагрівом</td></tr><tr><td>Час плавної зупинки</td><td>5–10 с (якщо потрібна)</td><td>Захист від розгойдування вантажу</td></tr><tr><td>Клас теплового захисту двигуна</td><td>10А або 20</td><td>За паспортом двигуна</td></tr></table>							Параметр	Рекомендоване значення	Пояснення	Початкова напруга пуску	40–50 % U_H	М'який старт без ривка	Час розгону	10–15 с	Достатньо для конвеєра 110 кВт	Обмеження пускового струму	300–350 % I_H	Баланс між моментом та нагрівом	Час плавної зупинки	5–10 с (якщо потрібна)	Захист від розгойдування вантажу	Клас теплового захисту двигуна	10А або 20	За паспортом двигуна
Параметр	Рекомендоване значення	Пояснення																						
Початкова напруга пуску	40–50 % U_H	М'який старт без ривка																						
Час розгону	10–15 с	Достатньо для конвеєра 110 кВт																						
Обмеження пускового струму	300–350 % I_H	Баланс між моментом та нагрівом																						
Час плавної зупинки	5–10 с (якщо потрібна)	Захист від розгойдування вантажу																						
Клас теплового захисту двигуна	10А або 20	За паспортом двигуна																						
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ</td><td>Арк.</td></tr><tr><td>Змін.</td><td>Кільк.</td><td>Арк.</td><td>Недок.</td><td>Підпис</td><td>Дата</td><td>72</td></tr></table>													02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.	Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата	72			
						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.																	
Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата		72																	

6.6. Загальні висновки з охорони праці

За результатами проведеного аналізу умов праці та вимог нормативних документів встановлено, що система керування електроприводом стрічкового конвеєра на базі пристрою плавного пуску ATS480C21Y забезпечує необхідний рівень електробезпеки, пожежної безпеки та безпеки обслуговуючого персоналу. Застосування системи заземлення TN-S із окремим захисним провідником РЕ перерізом 35 мм² гарантує ефективний захист від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або появи напруги на металевих частинах обладнання.

Використання сучасного пристрою плавного пуску ATS480 значно підвищує надійність та безпечність роботи електроприводу порівняно з традиційними схемами прямого пуску. Вбудовані функції захисту від перевантаження, обриву фази, асиметрії напруг, перегріву тиристорів та аварійних режимів дозволяють своєчасно виявляти несправності та автоматично відключати двигун до виникнення небезпечних ситуацій.

Конструкція шафи керування, система блокування доступу до струмоведучих частин, застосування попереджувальних знаків, а також використання засобів індивідуального захисту відповідають вимогам чинних нормативних документів з охорони праці та електробезпеки. Організація технічного обслуговування відповідно до графіка планово-запобіжних ремонтів забезпечує своєчасний контроль стану електрообладнання, зменшує ймовірність аварій та підвищує термін служби системи керування.

Реалізація комплексу технічних і організаційних заходів з охорони праці дозволяє забезпечити безпечну, стабільну та надійну експлуатацію електроприводу стрічкового конвеєра протягом усього розрахункового терміну служби обладнання.

Зам. інв. №		забезпечує своєчасний контроль стану електрообладнання, зменшує ймовірність аварій та підвищує термін служби системи керування.							
Підпис/дата		Реалізація комплексу технічних і організаційних заходів з охорони праці дозволяє забезпечити безпечну, стабільну та надійну експлуатацію електроприводу стрічкового конвеєра протягом усього розрахункового терміну служби обладнання.							
Інв. № ориг.								02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
									73
		Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено проєктні рішення системи керування асинхронним двигуном стрічкового конвеєра для сервісного центру технічного обслуговування електрообладнання. У роботі проведено аналіз особливостей роботи стрічкових конвеєрів, досліджено режими роботи електроприводу та визначено основні проблеми експлуатації, пов'язані з великими пусковими струмами, механічними перевантаженнями та зниженням надійності обладнання при прямому пуску двигуна.

У процесі виконання роботи було обґрунтовано доцільність використання пристрою плавного пуску ATS480C21Y для керування асинхронним двигуном потужністю 110 кВт. Проведено аналіз прямого та плавного пуску, визначено їх вплив на електричну мережу, механічну частину приводу та експлуатаційні характеристики системи. Встановлено, що застосування тиристорного регулятора напруги дозволяє значно обмежити пускові струми, зменшити динамічні навантаження на редуктор і стрічку конвеєра, а також підвищити ресурс електродвигуна та механічних вузлів.

У роботі виконано вибір основного електрообладнання системи керування: автоматичних вимикачів, контакторів, трансформатора живлення кіл керування, проміжних реле, антиперешкодних RC-ланцюгів та пристрою плавного пуску. Розроблено принципову електричну схему керування електроприводом стрічкового конвеєра та детально описано принцип її роботи.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища. Розроблено заходи щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, забезпечення надійного заземлення, безпечного технічного обслуговування обладнання та попередження аварійних ситуацій.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
										74
			Змін.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата		

Проведений аналіз ефективності показав, що впровадження системи плавного пуску дозволяє знизити пускові струми у 2–3 рази, зменшити механічні навантаження на елементи приводу, покращити якість електроенергії та підвищити енергоефективність роботи конвеєрної системи. Використання сучасних засобів автоматизації забезпечує підвищення надійності роботи сервісного центру та зменшення експлуатаційних витрат.

Отже, поставлена мета бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнута, а запропоновані проєктні рішення можуть бути рекомендовані до практичного застосування у системах електроприводу стрічкових конвеєрів промислових та сервісних підприємств.

Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ			75

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків : Форт, 2017. – 760 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ : Мінпаливенерго України, 2012. – 308 с.
3. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ : Основа, 2018. – 144 с.
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 2016-07-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.
5. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 132 с.
6. Кацман М. М. Електричні машини : підручник. – 6-те вид., стер. – Москва : Академія, 2013. – 496 с.
7. Беляєв О. І. Електропривод виробничих механізмів : навч. посіб. – Київ : Вища школа, 2014. – 463 с.
8. Копилов І. П. Електричні машини : підручник для ВНЗ. – Москва : Юрайт, 2016. – 607 с.
9. Москаленко В. В. Електричний привод : підручник. – Київ : Академія, 2015. – 624 с.
10. Терехов В. М. Системи керування електроприводами : навч. посіб. – Київ : Либідь, 2012. – 352 с.
11. Schneider Electric. Altivar Soft Starter ATS480. User Manual. – Rueil-Malmaison : Schneider Electric, 2023. – 250 p.
12. Schneider Electric. Altivar Soft Starter ATS480 Installation Manual. – Rueil-Malmaison : Schneider Electric, 2023. – 180 p.
13. ETI Elektroelement d.o.o. Каталог автоматичних вимикачів ETIBREAK та ETIMAT. – Ljubljana : ETI, 2023. – 220 с.

Інв. № ориг.	Підписі дата	Зам. інв. №	11. Schneider Electric. Altivar Soft Starter ATS480. User Manual. – Rueil-Malmaison : Schneider Electric, 2023. – 250 p.									
			12. Schneider Electric. Altivar Soft Starter ATS480 Installation Manual. – Rueil-Malmaison : Schneider Electric, 2023. – 180 p.									
			13. ETI Elektroelement d.o.o. Каталог автоматичних вимикачів ETIBREAK та ETIMAT. – Ljubljana : ETI, 2023. – 220 с.									
						02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.
												76
Змін.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата							

14. ETI Elektroelement d.o.o. Каталог контакторів СЕ та допоміжного обладнання. – Ljubljana : ETI, 2023. – 180 с.
15. Сибікіна І. О., Сибікін Ю. Д. Охорона праці в електроустановках : навч. посіб. – Київ : Кондор, 2018. – 304 с.
16. Гук Ю. Б. Теорія електропривода : навч. посіб. – Львів : Новий Світ-2000, 2016. – 412 с.
17. Бондаренко Є. М. Автоматизація електромеханічних систем : навч. посіб. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – 368 с.
18. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 540 с.
19. Кузьмін О. В. Основи проєктування електроприводів промислових механізмів : навч. посіб. – Київ : Каравела, 2019. – 296 с.

Інв. № ориг.	Підпис/дата	Зам. інв. №							02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.002.ПЗ						Арк.
															77
			Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата							