

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

«___» _____ 2026р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг автоматизованих
електротехнічних комплексів»**

спеціальності 141 «Електроенергетика, електроніка та електромеханіка»

**на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація конвеєрної установки лінії з
виробництва комбікорму»**

Виконала:

Студентка IV курсу, групи ОА-21

Шевченко Юлія Сергіївна _____

Керівник:

к.т.н. доцент

Босак Ала Василівна _____

Консультант з електропостачання:

к.т.н. , доцент

Мейта Олександр В'ячеславович _____

Консультант з охорони праці:

д.н. , доцент

Мітюк Людмила Олексіївна _____

Рецензент: _____

(Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я, по батькові)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

«___» _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Шевченко Юлі Сергіївні

Тема проєкту «Електромеханічне обладнання та автоматизація конвеєрної установки лінії з виробництва комбікорму», керівник проєкту к.т.н. доцент Босак Ала Василівна, затверджені наказом по університету від «26» травня 2026р. №1910-С

1. Термін подання студентом проєкту 5 червня 2026р.

2. Вихідні дані про проєкту – Розміри виробничого цеху з виготовлення комбікорму – 50·30 м., розвантажувальний майданчик – 20·25 м.

3. Зміст пояснювальної записки:

Загально-технічна частина Технологія виробництва комбікорму. Розрахунок параметрів стрічкового конвеєру.

Електропостачання Розрахунок електричних навантажень, вибір перетину проводів, розробка принципової електричної схеми.

Спеціальна частина Аналіз технологічного процесу та об'єкту керування.

Теоретичні основи електроприводу скребкового конвеєру. Математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Принципи частотного керування асинхронним двигуном.

Автоматизація Вибір системи автоматизації та пристроїв керування. Принцип роботи системи автоматизації.

Охорона праці Розробка заходів безпеки на робочому місці, заходів та засобів протипожежної безпеки.

4. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій, тощо):

1 аркуш – Загально-технічна частина;

2 аркуш – Спеціальна частина;

3 аркуш – Схема електропостачання цеху з виробництва комбікорму;

4 аркуш – Автоматизація.

5. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2 Електропостачання	к.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5 Охорона праці	д.н. , доцент Мітюк Людмила Олексіївна		

6. Дата видачі завдання 20.05.2026_____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	20.05-23.05	
2.	Електропостачання	23.05-25.05	
3.	Спеціальна частина	25.05-29.05	
4.	Охорона праці	29.05-1.06	
5.	Підготовка графічного матеріалу	1.06-7.06	

Студент

Юлія ШЕВЧЕНКО

Керівник

Ала БОСАК

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Пояснювальна записка	110	
3	A1	ОА.21.01.1910-С.000 С1	Загально-технічна частина	1	
4	A1	ОА.21.01.1910-С.000 С2	Спеціальна частина	1	
5	A1	ОА.21.01.1910-С.000 С3	Схема електропостачання	1	
6	A1	ОА.21.01.1910-С.000 С4	Автоматизація системи керування скребковим конвеєром	1	

					ОА.21.01.1910-С.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Латп	Відомість дипломного проєкту		
Розробив	Шевченко Ю.С.						
Перевірив	Босак А.В.						
Рецензент							
Н. Контр.	Кулаковський Л.Я.						
Затверд.	Бойченко С.В.				Літ. Арк. Аркушів		
					4 110		
						КПІ ім. Ігоря Сікорського	
						Каф. АЕМК. гр. ОА-21	

**Пояснювальна записка
До дипломного проєкту
На тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація конвеєрної
установки лінії з виробництва комбікорму»**

Київ – 2026 року

Реферат

Пояснювальна записка до дипломного проєкту: містить 4 розділи, ілюстрації, таблиці.

Об'єкт розробки: електромеханічне обладнання та система автоматизації конвеєрної установки лінії з виробництва комбікорму.

Мета проєкту: підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи цеху з виробництва комбікорму шляхом проєктування сучасної системи електропостачання та впровадження частотно-регульованого електроприводу для скребкового конвеєра.

У першому розділі наведено загально-технічну характеристику технології виробництва комбікорму, що охоплює підготовку сировини, дозування, змішування та експандування. Також виконано розрахунок параметрів стрічкового конвеєра довжиною 1900 м і продуктивністю 400 т/год.

У другому розділі спроектовано систему електропостачання виробничого цеху (50х30 м) та розвантажувального майданчика (20х25 м). Виконано розрахунок освітлення, електричних навантажень, на основі яких обрано два силові трансформатори ТМ-160/6. Проведено розрахунок електричної мережі, обрано кабелі марки СБл та апарати захисту (автоматичні вимикачі ВА-89-33 та ВА-47-29).

Третій розділ присвячено автоматизації скребкового конвеєра продуктивністю 25 т/год за допомогою програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 та частотного перетворювача Altivar ATV320. Математичне моделювання в MATLAB/Simulink підтвердило зниження пускових струмів у 5,8 раза та можливість економії електроенергії на 25–35 % завдяки адаптивному керуванню швидкістю.

У четвертому розділі розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки для приміщень категорії «Б», обґрунтовано вибір засобів індивідуального захисту та розглянуто питання охорони праці жінок на автоматизованому виробництві.

Abstract

Explanatory note to the diploma project: contains 4 chapters, illustrations, tables. Object of development: electromechanical equipment and automation system of a conveyor installation for a compound feed production line. Project aim: improving the energy efficiency, reliability, and safety of a compound feed production shop by designing a modern power supply system and implementing a variable frequency drive for a scraper conveyor.

The first chapter presents the general technical characteristics of the compound feed production technology, covering raw material preparation, dosing, mixing, and expanding. The parameters of a belt conveyor with a length of 1900 m and a capacity of 400 t/h are also calculated.

The second chapter designs the power supply system for the production shop (50x30 m) and the unloading area (20x25 m). Calculations for lighting and electrical loads were performed, based on which two TM-160/6 power transformers were selected. The electrical network was calculated, and SBI brand cables alongside protection devices (circuit breakers VA-89-33 and VA-47-29) were chosen.

The third chapter focuses on the automation of a scraper conveyor with a capacity of 25 t/h using a Siemens S7-1200 programmable logic controller and an Altivar ATV320 frequency converter. Mathematical modeling in MATLAB/Simulink confirmed a 5.8-fold reduction in starting currents and the potential to save 25–35% of electrical energy through adaptive speed control.

The fourth chapter develops occupational health and fire safety measures for category "B" premises, justifies the selection of personal protective equipment, and addresses the occupational safety of women in automated production environments.

Зміст

Вступ.....	11
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	12
1.1 Технологія виробництва комбікорму	12
1.2 Етапи виготовлення комбікорму	15
1.2.1 Лінія зернової сировини	15
1.2.2 Лінія борошністої сировини.....	16
1.2.3 Лінія мінеральної сировини	16
1.2.4 Лінія фракціонування та подрібнення.....	17
1.2.5 Лінія преміксів.....	18
1.2.6 Лінія дозування і змішування	18
1.2.7 Лінія експандування.....	19
1.3 Розрахунок основних параметрів стрічкового конвеєра	21
1.3.1 Вибір функцій конвеєра.....	22
1.3.2 Підбір профілю і ширини стрічки	22
1.3.3 Повний опір руху транспортерної стрічки	24
1.3.4 Визначення максимального розрахункового натягу ремня	25
1.3.5 Уточнимо правильність вибору типорозміру тягового елемента.....	26
1.3.6 Визначення діаметрів барабанів	26
1.3.7 Розрахунковий крутний момент на валу ведучого барабана	27
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	28
2.1 Загальна характеристика об'єкта проектування	28
2.2 Розрахунок освітлення.....	29
2.2.1 Розрахунок освітлення виробничого цеху та розмантажувального майданчику методом коефіцієнта використання світлового потоку.....	29
2.2.2 Розрахунок освітлення розвантажувального майданчику методом питомої потужності	30
2.4. Розрахунок електричних мереж.....	38
2.4.1 Основні відомості.....	38
2.4.2 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів.....	38
2.4.3 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом	41
2.4.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги	42
2.4.5 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів	45
2.5. Розрахунок струмів КЗ.....	48
2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В.....	49
2.6. Вибір електричних апаратів	57
2.6.1. Захист електродвигунів напругою до 1000 в плавкими запобіжниками.....	58

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту	59
Висновок ро розділу.....	62
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	63
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	63
СКРЕБКОВИМ КОНВЕЄРОМ.....	63
3.1 Аналіз технологічного процесу та об'єкта керування	63
3.2 Теоретичні основи електроприводу скребкового конвеєра	66
3.2.1 Особливості скребкового конвеєра як об'єкта електромеханічного перетворення енергії	66
3.2.2 Математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	67
3.2.3 Принципи частотного керування асинхронним двигуном.....	69
3.2.4 Структура частотного перетворювача	70
3.3 Розрахунок параметрів електромеханічної системи.....	72
3.3.1 Вихідні дані для розрахунку	72
3.3.2 Розрахунок тягового зусилля та потужності приводу	73
4.3.3 Вибір та перевірка електродвигуна	74
3.3.4 Розрахунок моменту інерції, приведенного до валу двигуна.....	75
4.4 Розрахунок параметрів та вибір частотного перетворювача	77
3.5 Розробка структури автоматизованої системи керування.....	79
3.5.1 Функціональні вимоги до АСК.....	79
3.5.2 Ієрархічна структура АСК.....	80
3.5.3 Вибір програмованого логічного контролера	80
3.5.4 Функціональна схема автоматизації.....	81
4.5.5 Алгоритм адаптивного керування швидкістю.....	82
3.6 Математичне моделювання електропривода у середовищі MATLAB/Simulink	85
3.6.1 Мета та задачі моделювання	85
3.6.2 Структура моделі.....	85
3.6.3 Результати моделювання	86
3.7 Розробка програмного забезпечення ПЛК.....	91
3.8 Розробка SCADA-інтерфейсу	92
3.9 Оцінка ефективності розробленого рішення	93
Висновки до розділу 3	95
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ РОБОТІ В ЦЕХУ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМУ.....	97
4.1. Аналіз умов праці на ділянці виробництва комбікорму	97
4.2. Навчання з питань безпеки праці та інструктажі.....	98
4.3. Пожежна та вибухонебезпека на комбікормовому виробництві.....	100

4.4 Заходи електробезпеки при експлуатації електрообладнання.....	102
4.5 Особливості охорони праці жінок на автоматизованому виробництві	103
4.6 Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)	104
Висновок до розділу 4.....	106
Висновок	108
Джерела	110

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Сучасне агропромислове виробництво вимагає впровадження новітніх технологій для забезпечення високої продуктивності та конкурентоздатності продукції. Виробництво комбікормів є багатоступеневим технологічним комплексом, у якому сировина проходить послідовність операцій: приймання, подрібнення, дозування, змішування та гранулювання. Основний матеріалопотік між цими вузлами забезпечується транспортними механізмами, ключову роль серед яких відіграють конвеєрні установки. Від надійності, енергоефективності та рівня автоматизації цих систем безпосередньо залежить рентабельність усього комбікормового підприємства.

Проте аналіз існуючих систем електроприводу на підприємствах галузі свідчить, що більшість з них використовує асинхронні двигуни з коротким замкненням ротора, увімкнені безпосередньо у мережу. Такий підхід зумовлює низку експлуатаційних недоліків: пускові струми перевищують номінальні у 5–7 разів, виникають ударні навантаження на тягові органи конвеєрів, а двигуни працюють у режимі значного недозавантаження (менше 35 % від номінальної потужності). Це призводить до передчасного зносу обладнання, низького коефіцієнта корисної дії та нерациональних витрат електричної енергії.

Вирішення цих проблем полягає у комплексній модернізації цехів: від правильного проектування надійної системи електропостачання до впровадження автоматизованих систем керування (АСК) на базі частотно-регульованого електроприводу та програмованих логічних контролерів (ПЛК). Такий підхід дозволяє узгодити продуктивність конвеєрів з фактичним технологічним завантаженням, суттєво зменшити динамічні навантаження та забезпечити високий рівень безпеки праці.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія виробництва комбікорму

Згідно з галузевими нормами проектування комбікормових підприємств, виробництво кормових продуктів потребує системного підходу, що охоплює кожен етап виготовлення. Ця концепція базується на забезпеченні безперебійного постачання сировини, її належній підготовці, застосуванні високоефективних методів обробки, а також суворому дотриманні стандартів якості при раціональному використанні виробничих потужностей. Всі логістичні операції, починаючи від транспортування сировини та її подачі на лінії й закінчуючи безпосередньою обробкою та відвантаженням готової продукції, підлягають обов'язковій механізації, а в багатьох випадках — і повноцінній автоматизації. Організація самого технологічного процесу на таких об'єктах може варіюватися: практикується як роздільна підготовка сировини з дозуванням на фінальному етапі, так і створення попередніх сумішей за схемою двоетапного дозування. Крім того, можливі варіанти спільної переробки інгредієнтів з одноетапним дозуванням або ж дозування всієї маси компонентів одночасно з їх подальшою сумісною обробкою.

					ОА.21.01.1910-С.000			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загально-технічна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Шевченко Ю.С.						
Перевірив		Босак А.В.					10	110
Репензент.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК. гр. ОА-21		
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.		Бойченко С.В.						

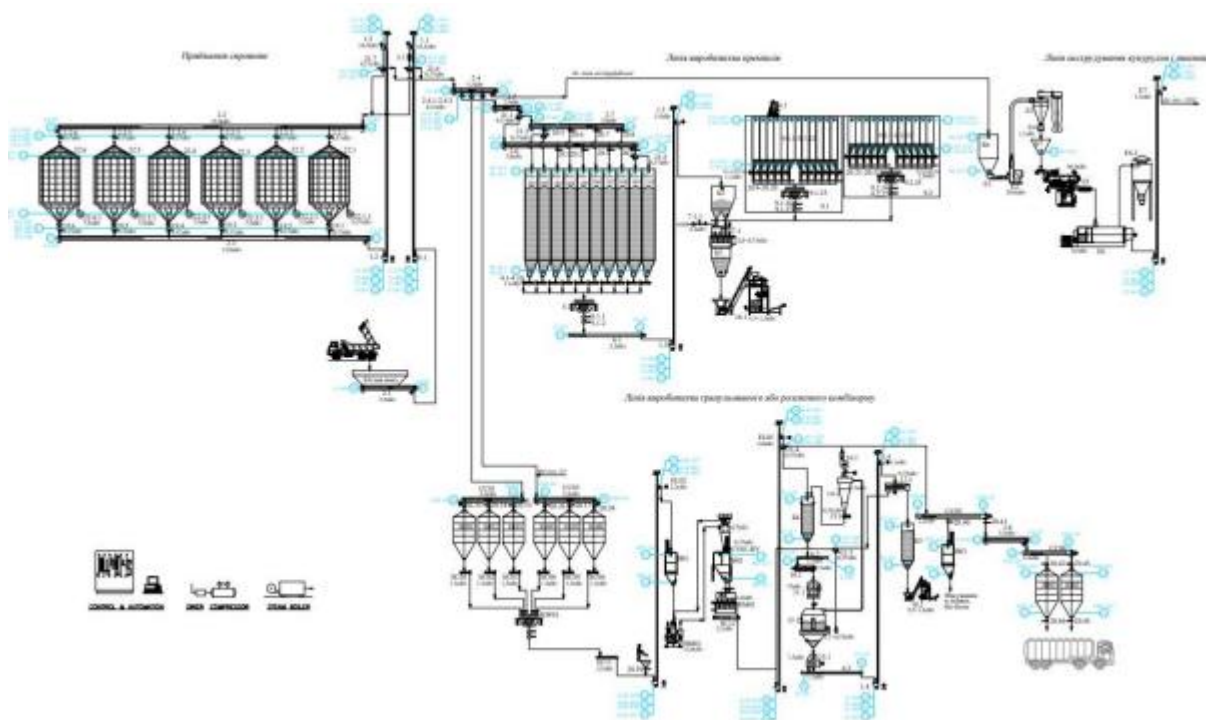


Рисунок 1.1 – Технологія виготовлення комбікормів

Комбікорми — це науково обґрунтовані суміші, створені на основі подрібненої та технічно обробленої сировини, склад яких точно вивірений для досягнення максимальної засвоюваності поживних речовин тваринами. Залежно від мети застосування, таку продукцію класифікують на кілька категорій: повнораціонні склади, концентрати, спеціалізовані кормові суміші, а також широкий спектр добавок — від мінеральних та вітамінно-білкових комплексів до преміксів і заміників цільного молока.

Ключову роль у раціонах свиней та птиці відіграють повнораціонні комбікорми. Вони розроблені як цілісне джерело всіх необхідних нутрієнтів та біологічно активних сполук, що виключає потребу в інших кормах. Такі продукти повинні не лише підтримувати високу продуктивність тварин, а й мати привабливі для них смакові та ароматичні властивості, що позитивно впливає на процеси травлення та загальний стан здоров'я. На противагу їм, комбікорми-концентрати використовуються як додатковий компонент до соковитих або грубих кормів, дозволяючи усунути дефіцит поживних речовин у основному раціоні.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ		Арк.
							13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Окремий сегмент становлять кормові суміші, покликані раціонально використовувати власні ресурси господарств. До їхнього складу часто включають сировину з менш суворими вимогами до якості, зокрема зернові залишки, трав'яне борошно, побічні продукти харчового виробництва чи садові відходи. У виробництві всіх перелічених видів кормів залучають інгредієнти тваринного, мінерального, мікробіологічного та рослинного походження. Саме останні, до яких належать зерна злакових, бобових культур та продукти їхньої переробки, є фундаментальною складовою більшості сучасних кормових рецептур.

До будь-якого виду чи вікової категорії сільськогосподарських тварин висуваються суворі вимоги: виготовлені для них комбікорми повинні повністю відповідати державним стандартам якості та енергетичної цінності, а також містити чітко регламентовану концентрацію вітамінних добавок. Технологія створення таких кормів базується на комплексному поєднанні інгредієнтів різного генезису — від продуктів рослинництва та тваринництва до компонентів мікробіологічного походження. Для візуалізації структурного складу цих сумішей розроблено спеціальну схему, яку наведено на відповідному рисунку.

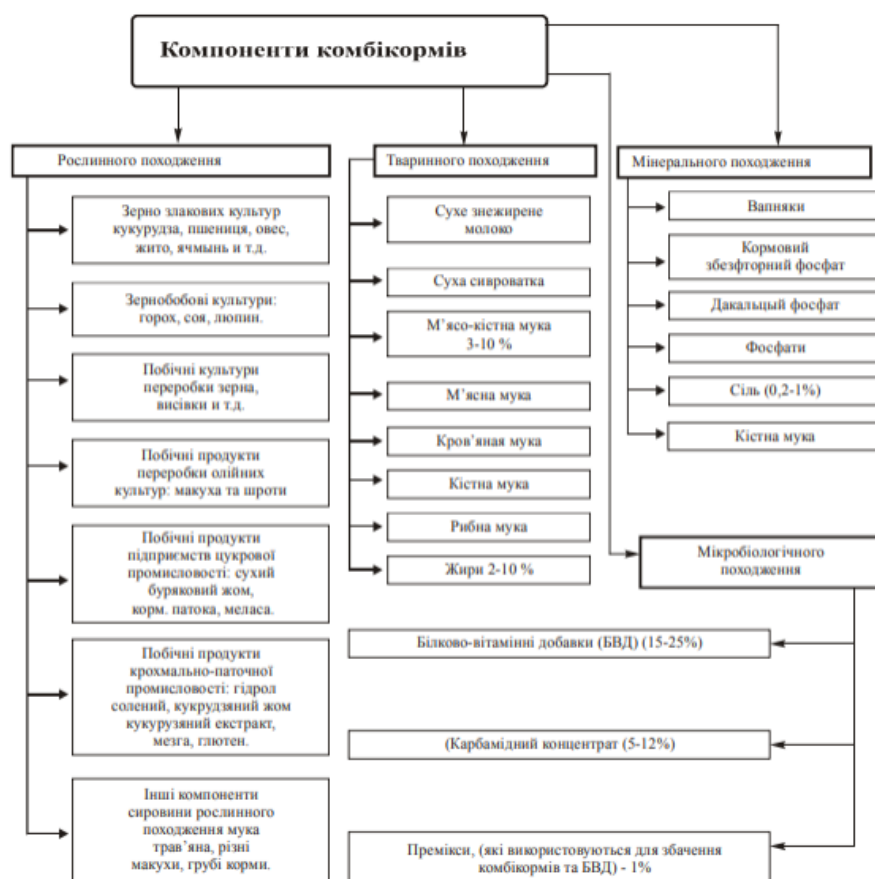


Рисунок 1.2 – Структура комбікорму

1.2 Етапи виготовлення комбікорму

1.2.1 Лінія зернової сировини

Технологічна лінія підготовки зернової сировини базується на трьох ключових етапах: ретельному очищенні від сторонніх домішок, фракціонуванні та безпосередньому подрібненні. Для видалення домішок використовують спеціалізовані сепаратори, налаштування яких адаптують під конкретний вид та стан зерна. Ефективність процесу залежить від правильно підібраних сит; при цьому діють суворі норми: втрати корисного зерна у відходах не повинні перевищувати 2%. На виробництві застосовують металеві штамповані сита двох типів: сортувальні та підсівні. Зокрема, у використуваному сепараторі А1-БЛС-12 задіяні дві ситові рами: сортувальні оснащені решітним полотном № 100–160 (круглими отворами) або сітками № 8–14, тоді як у підсівних рамах встановлені решіта № 10–14 (кругла перфорація), полотна № 12 з довгастими отворами або ж дротяні сітки № 0,85–1,0.

Логістичний ланцюг починається з прийому зерна автотранспортом, звідки воно норіями та конвеєрами спрямовується на зберігання в силоси. Безпосередньо перед переробкою зернова маса подається на сепаратор А1-БЛС-12. Після того, як сита відділяють великі та дрібні домішки, продукт проходить через вібралоток у пневмосепаруючий канал. Тут за рахунок повітряного потоку видаляються легкі домішки, які осідають у горизонтальному циклоні, тоді як очищене зерно крізь спеціальний отвір у підлозі самопливом спрямовується на наступні стадії виробництва. Завершальним етапом підготовки є завантаження очищеної сировини в оперативні бункери через норію, звідки за допомогою шнекових дозаторів зерно подається на розділення за фракціями та подальше подрібнення.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.2.2 Лінія борошнистої сировини

Технологічний процес підготовки борошнистої сировини передбачає послідовне видалення сторонніх включень, фракціонування та подрібнення компонентів. Для операцій очищення використовується обладнання просіювального типу, конструкція якого варіюється залежно від виробничих потреб. Стандартним оснащенням для таких машин є металеві решітні полотна з діаметром отворів 10 мм або ж дротяні сітки з вічками розміром 8х8 мм.

Окремої уваги потребує підготовка сировини для промислових свинарських комплексів, де для досягнення заданої дисперсності висівки піддають просіюванню на ситах із діаметром отворів 2 або 3 мм. Фракцію, що залишається на ситах (схід), надалі або піддають додатковому подрібненню, або спрямовують у рецептури інших видів комбікормів.

На розглянутому підприємстві для очищення борошнистої сировини задіяний сепаратор А1-БЛС-12, оснащений двома ситовими рамами. Зберігається сировина в силосах, звідки за допомогою системи конвеєрів та норій вона подається безпосередньо на зазначений сепаратор для подальшої очистки.

1.2.3 Лінія мінеральної сировини

Технологічна лінія підготовки мінеральних компонентів передбачає етапи вивільнення сировини з тари (розтарування) та її ретельне очищення від сторонніх домішок. Для вивантаження використовують установки типу У1-ДРМ/1, здатні обробляти до 300 мішків на годину, при цьому рівень втрат сировини в порожній упаковці суворо обмежений і не має перевищувати 0,2% від її номінальної маси.

Наступним кроком є очищення матеріалу на просіювачах моделі А1-ДСМ. Параметри сит підбираються індивідуально залежно від типу сировини: для солі використовують решітні полотна № 100 з отворами 10 мм або дротяні сітки № 8 з вічками 8х8 мм, тоді як для обробки крейди застосовують дротяні сітки № 3,5

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або решітні полотна № 40. Такий процес очищення є невід'ємною частиною системи підлогового зберігання.

Після завершення підготовчих процедур мінеральна сировина транспортується норіями до оперативних бункерів. Звідти, завдяки шнековим дозаторам, матеріал подається на подальші етапи фракціонування та подрібнення.

1.2.4 Лінія фракціонування та подрібнення

Технологічний цикл передбачає попереднє розділення сировини на фракції з наступним подрібненням до заданих розмірів. Для фракціонування зернових, борошнистих та мінеральних компонентів застосовують сепаратор А1-БЛС-16. Його функціонал ідентичний моделі А1-БЛС-12, проте відрізняється конструкцією ситової системи: замість двох рамок у кожному ярусі, як у попередній версії, тут використовується одна.

Процес реалізований наступним чином: сировина зі сховищ через шнекові дозатори надходить на сепаратор. Дрібні фракції через норію спрямовуються безпосередньо в наддозаторні бункери, тоді як великі частинки (схід) направляються на стадію подрібнення. Останнє здійснюється за один прохід, що в поєднанні з підбором відповідних сит дозволяє отримати кінцевий продукт необхідної зернистості.

Безпосередньо для подрібнення використовують дробарку НМ-1400-2Д. Технологія її роботи базується на подачі продукту через верхній живильник, де датчики рівня регулюють навантаження на барабан та двигун. У системі також передбачено магнітний сепаратор, зблокований із пневмоциліндром, що дозволяє автоматично вилучати металеві домішки. Після очищення сировина потрапляє в камеру подрібнення. Конструкція дробарки відзначається використанням зносостійких дек зі збільшеною корисною площею, що мінімізує навантаження на сита, подовжуючи термін їхньої експлуатації. Завдяки відповідності діаметра ротора розмірам камери, в обладнанні встановлюють

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компактні молотки, що позитивно впливає на загальну надійність механізму. Фінальним етапом подрібнений матеріал подається норією до наддозаторних бункерів для переходу на лінію змішування.

1.2.5 Лінія преміксів

Технологічна лінія розроблена для виконання операцій розпакування преміксів та їх спрямування до наддозаторних бункерів, що є частиною загального вузла дозування та змішування.

Перед додаванням преміксів до складу основних комбікормів, концентратів, білково-вітамінних добавок чи преміксів іншого типу, сировина проходить обов'язковий етап очищення. В межах системи підлогового зберігання використовується сепаратор, оснащений решітним полотном № 100, що дозволяє ефективно видалити випадкові домішки. Очищений таким чином премікс завантажується норією та транспортується до оперативних бункерів для подальшого використання у виробничому процесі.

1.2.6 Лінія дозування і змішування

Функціональне призначення дозувальної лінії полягає у формуванні комбікорму з попередньо підготовлених інгредієнтів відповідно до затверджених рецептур. Усі компоненти надходять із відповідних наддозаторних бункерів до вагових дозаторів періодичної дії, що дозволяють здійснювати багатокомпонентне зважування.

Центральним елементом системи є дозатор моделі АД2000-2К. Процес починається з того, що вантажопідйомний пристрій знаходиться у вихідному нульовому стані, а всі затвори надійно закриті, забезпечуючи щільне прилягання дисків до гумових ущільнювачів. Робота автоматизується через програмне забезпечення: живильники послідовно подають сировину, при цьому контрольно-вимірювальна система фіксує масу за допомогою кодового диска перетворювача кута повороту, що синхронізований зі стрілкою циферблата.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після набору необхідної кількості всіх інгредієнтів подається команда на розвантаження. Пневмоциліндри повертають затворні диски на 90 градусів у вертикальну позицію, відкриваючи випускний отвір. Для забезпечення повної вивантажки одночасно активуються пневмозбудники бункера. Після звільнення пристрою від сировини та повернення вагової стрілки на нульову позначку, система закриває засувки для підготовки до нового циклу.

Далі віддозована суміш спрямовується до змішувача А9-БСГ-30. Інтенсивність та однорідність перемішування досягаються завдяки спеціальній конструкції лопатевого вала: зовнішні лопаті транспортують продукт в одному напрямку, а внутрішні — у протилежному, створюючи зустрічні потоки сировини.

Завершальним етапом є розподіл готового продукту: 65% суміші за допомогою шнекового дозатора та норій транспортується до складу готової продукції, тоді як решта 35% спрямовується на норію для подальшої обробки методом експандування.

1.2.7 Лінія експандування

Технологічний процес експандування складається з трьох ключових етапів: безпосередньої обробки в експандері, подальшого охолодження та фінального просіювання. Після змішування 35% кормової маси спрямовується норією до експандера моделі ЕК-1-250. Робочий принцип цього обладнання подібний до екструзійного, проте має важливу технологічну особливість: випресовування сировини здійснюється не крізь фільтри матриці, а через регульований кільцевий зазор. Для покращення якісних показників у робочу камеру додатково подається пара, яка забезпечує необхідний термічний вплив на продукт.

Отриманий експандат надходить у горизонтальний охолоджувач Б6-ДОБ. Його функціонування базується на продуванні продукту потоками повітря: живильний лоток рівномірно розподіляє матеріал по поверхні транспортера, тоді як потужний вентилятор, з'єднаний із верхнім кожухом камери, інтенсивно

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засмоктує навколишнє повітря. Воно проходить крізь шар продукту та ґратчасте полотно транспортера, ефективно знижуючи температуру корму під час його руху до вивантажувального бункера. Для очищення системи від дрібних часток, що просипаються крізь полотно, передбачено піддон зі скребковим механізмом вилучення відходів.

На завершальному етапі охолоджений продукт потрапляє на сепаратор А1-БЛС-12 для калібрування. Частинки, що пройшли крізь сита, транспортуються до складу готової продукції, тоді як більші фракції (схід) повертаються норією на повторне експандування для забезпечення належної якості кінцевого виробу.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Розрахунок основних параметрів стрічкового конвеєра

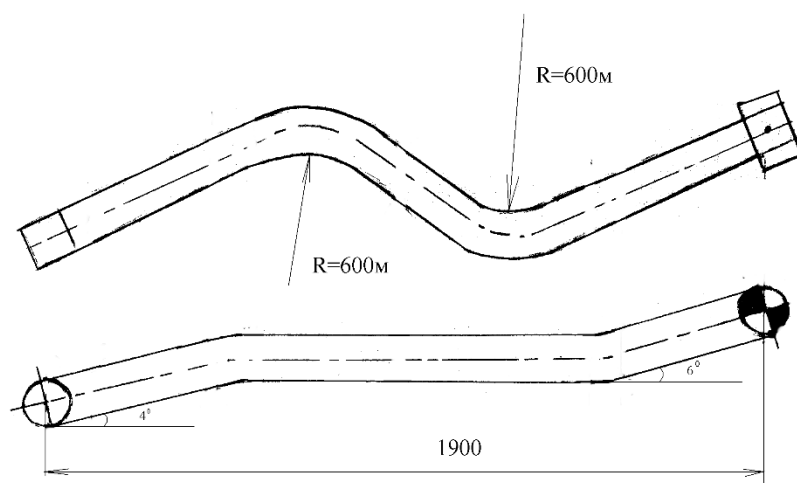


Рис. 1.3 - Схема конструкції конвеєра

Вихідні дані для розрахунку та проектування стрічкового конвеєра:

- Тип сипучих вантажів: вапняк
- кут природного нахилу вантажу в стані спокою: $\varphi = 40^\circ$
- щільність сипучих вантажів: $\rho = 1,5 \text{ т/м}^3$
- Необхідна потужність: $Q = 400 \text{ т/год}$
- довжина конвеєра: $L = 1900 \text{ м}$
- кут нахилу конвеєра: $\beta_1 = 4^\circ, \beta_2 = 6^\circ$
- умови експлуатації: середні

На підставі вихідних даних складається конструктивна схема конвеєра із зазначенням загальної довжини і висотних відміток.

Висота конвеєра :

$$H = L \cdot \operatorname{tg} \beta = 1900 \cdot \operatorname{tg} 10 = 335 \text{ м}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.3.1 Вибір функцій конвеєра

Несучий тяговий елемент - резинотканинний ремінь,
Встановити 3-роликову опору на робочу гілку транспортера,
тип приводу - електродвигун з редуктором;
транспортер вивантажується через приводний барабан;
Тип натяжного пристрою - вантажний.

Максимально допустимий кут нахилу транспортера

$$\beta_{max} \leq k_1 \cdot \varphi = 0,4 \cdot 40 = 16^\circ \leq \beta_1 = 4^\circ \leq \beta_2 = 6^\circ$$

де k_1 - коефіцієнт запасу міцності, що враховує мобільність вантажу; для вантажів середньої мобільності $k_1 = 0,4$; φ – кут природного нахилу вантажу в стані спокою.

1.3.2 Підбір профілю і ширини стрічки

Так як спроектований транспортер призначений для транспортування вапняку, при максимальному розмірі шматка 250 мм, ми використовуємо трюхроликову рифлену опору з кутом нахилу бічних роликів 30° . Припустимо, що стрічка повинна мати ширину 800 – , 1000 мм то припустимо швидкість руху стрічки $v = 1,6$ м/с [1, табл. 4.12].

Визначте ширину стрічки (на ділянках 1-2, 4-5)

$$B_p = 1.1 \left(\sqrt{\frac{Q_p}{K_{II} \cdot v \cdot \rho \cdot K_\beta}} + 0.05 \right) = 1.1 \left(\sqrt{\frac{482}{550 \cdot 1,6 \cdot 1,5 \cdot 0,97}} + 0,05 \right) = 0,72 \text{ м}$$

де K_{II} – коефіцієнт продуктивності праці [2, 4.11].

K_β – коефіцієнт, що враховує зменшення площі поперечного перерізу в залежності від кута нахилу траси.

$$Q_p = Q \frac{K_H}{K_B \cdot K_\Gamma} = 400 \cdot \frac{1,1}{0,95 \cdot 0,96} = 482 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

де Q – задана продуктивність, т/год; K_H - коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку; K_P - коефіцієнт використання конвеєра в динаміці; K_Γ – коефіцієнт доступності.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За звичайним рядом вибираємо найближчу велику ширину стрічки $B = 1$ м.
 Ширина стрічки на ділянках 2-3, 3-4 визначається з умов залежності
 вантажопідйомності конвеєра від кута нахилу роликів опор
 Площа поперечного перерізу вантажу в залежності від кута нахилу ділянок
 конвеєра дорівнює

$$S(\gamma) = \frac{1}{2} \cdot \frac{b \cdot \tan(\beta - \gamma) \cdot \tan(\beta + \gamma)}{\tan(\beta - \gamma) + \tan(\beta + \gamma)} + \frac{l_2 + b}{2} \cdot l_1 \cdot \sin(\alpha)$$

де γ – кут нахилу секції транспортера $\gamma=60^\circ$, β – кут нахилу природного
 ухилу вантажу

Розрахуємо коефіцієнт площі поперечного перерізу навантаження на
 ремінь

$$CP = 3600 \cdot S(\gamma) / b^2 = 3600 \cdot 0,28 / 0,85 = 1185,8$$

$$b = 0,9B - 0,05 = 0,85 \text{ – робоча ширина стрічки}$$

Потім на ширину стрічки

$$B_p = 1,1 \left(\sqrt{\frac{Q_p}{K_{II} \cdot v \cdot \rho \cdot K_\beta}} + 0,05 \right) = 1,1 \left(\sqrt{\frac{729}{1185,8 \cdot 1,6 \cdot 1,5 \cdot 0,97}} + 0,05 \right) = 0,7 \text{ м}$$

Ширина стрічки (по нормальному ряду) приймається рівною $B = 0,8$ м

Перевірте обрану стрічку на грудкість:

$$B_K = X \cdot a + 200 = 2 \cdot 250 + 200 = 700 \text{ мм,}$$

$$B > B_K \quad 800 \text{ мм} > 700 \text{ мм}$$

Умова дотримана, отже, стрічка підібрана правильно. Вкажіть його
 стандартний розмір: ТК – 400

Уточнення нового значення швидкості стрічки:

$$v_{нов} = \frac{B_p^2}{B^2} v_p = \frac{0,7^2}{0,8^2} 1,6 = 1,4 \text{ м/с} \quad v_{нов} = \frac{B_p^2}{B^2} v_p = \frac{0,7^2}{0,8^2} 1,6 = 1,3 \text{ м/с}$$

Відповідно до нормальної серії швидкостей, ми нарешті приймаємо
 $v = 1,6 \text{ м/с}$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підбір роликів опор і відстань між ними

Встановлюємо 3-роликову рифлену опору для вантажного відгалуження, а для холостого відгалуження - однороликову. Відстань між роликами:

- вантажне відгалуження $l_{gr} = 1,3$ м [2, 4,5];
- порожня гілка $l_x = 2 \cdot l_{gr} = 2,5 \cdot 1,3 = 2,6$ м;
- в зоні навантаження $l_z = D_p + 200 = 0,4$ м.

Діаметр ролика $D_p = 102$ мм;

На криволінійній ділянці т.2 робочої гілки опуклістю догори встановлюємо роликові батареї не менше 3 на відстані

$$l_{p.b.} = 0,5 \cdot l_{gr} = 0,5 \cdot 1,3 = 0,65 \text{ м}$$

На ненавантаженій стрічковій нозі – відхиляючі барабани на відстані 0,65 м

На криволінійній ділянці т.4 холостого відгалуження опуклістю донизу встановлюємо роликові батареї не менше 3 на відстані

$$l_{p.b.} = 0,5 \cdot l_{gr} = 0,5 \cdot 1,3 = 0,65 \text{ м}$$

На робочій гілці стрічки є відхиляючі барабани на відстані 0,65 м

У зоні переходу від прямого до рифленого стану встановлюємо 2-3 перехідні роликові опори з різним $\alpha_{на}$ відстані 0,8 м на робочій гілці біля головного і хвостового барабанів

Центруючі і регулювальні роликові опори чергуються між собою і встановлюються на робочій гілці через кожні 10 рядів роликів, на холостому ході регулювальні ролики встановлюються на відстані 20-25 м

1.3.3 Повний опір руху транспортерної стрічки

Сумарна сила опору при сталому русі стрічки по всьому маршруту навантаженого конвеєра, що дорівнює силі тяги приводу, визначається за узагальненою формулою:

$$W = k_D \cdot (\sum W_{ГВ} + \sum W_{НВ}) + \sum W_{ГН} + \sum W_{НН}$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

де W - опір руху похилого конвеєра при сталому русі стрічки, WGV ,
 WGN - сума опору руху на горизонтальних верхньому і нижньому ділянках
відповідно; WNB , WNN – також на похилих верхніх і нижніх ділянках,

H ; k_D - коефіцієнт врахування додаткових опорів при вигині направляючої
доріжки у вертикальній і горизонтальній площинах;

L - горизонтальна проекція відстані між осями кінцевих барабанів
конвеєра, м; H - вертикальна проекція відстані між осями кінцевих
барабанів конвеєра; $q_{\Gamma}, q_{P.B.}, q_{P.H.}, q_{\Delta}$ - розподілені навантаження від ваги,
відповідно, вантажу, роликів опор вантажу (верхня) і холостої (нижня) гілок,
стрічковий, Н/м; ω_B, ω_H - узагальнений коефіцієнт опору руху верхньої та
нижньої гілок стрічки.

$$q_{\Gamma} = \frac{Q_p \cdot g}{3.6 \cdot v} = \frac{482 \cdot 9.8}{3.6 \cdot 1.6} = 820 \text{ Н / м}$$

де пан В., пл.в. – вага обертових частин верхньої і нижньої роlikової
опори, кг.

$$q_{\Delta} = (8 \dots 10) gB = 8 \cdot 9.8 \cdot 0.8 = 62 \text{ Н / м}$$

Використовуючи формули, наведені в джерелі [3] таблиці 4.69, отримаємо
 $W = 1,1 \cdot (100658 + 26470) + 4846 - 198 = 144488 \text{ Н}$

Потужність електродвигуна приводу:

$$N = \frac{W \cdot v \cdot K_3}{1000 \cdot \eta} = \frac{144488 \cdot 1,6 \cdot 1,1}{1000 \cdot 0,9} = 282 \text{ кВт},$$

де K_3 - коефіцієнт запасу міцності (1,1... 1.2), η - сумарний ККД приводних
механізмів (0,8 ... 0,9).

Вибирайте двигун А-12-32-3 з $N = 300$ кВт, $n = 1500$ об / хв.

1.3.4 Визначення максимального розрахункового натягу ремня

Розрахунковий натяг стрічки, $S_{нб}$ що проходить через приводний барабан
для однобарабанного приводу, визначається:

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{нб} = \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} P \cdot k_3 = \frac{2,4}{2,4 - 1} \cdot 144488 \cdot 1,1 = 272463 \text{ Н}$$

де $S_{нб}$ - натяг гілки стрічки, що проходить по приводному барабану, Н; e - підстава натурального логарифма $e = 2,71$;
 $\mu = 0,25$ - коефіцієнт тертя об поверхню барабана; α - кут обхвату стрічки ведучого барабана, рад; k_3 - Чинник.

1.3.5 Уточнимо правильність вибору типорозміру тягового елемента

Виходячи зі величини розрахункового натягу, уточнюється вибір типу і міцності стрічки на необхідну кількість прокладок

$$i \geq \frac{n \cdot S_{нб}}{[\sigma_{pi}] \cdot B} = \frac{10 \cdot 272463}{2500 \cdot 800} = 1,36$$

де i - кількість прокладок тягової рами ременя (беремо 2); $S_{нб}$ - максимальний розрахунковий натяг стрічки, Н; σ_{pi} - межа міцності на розрив 1 мм від ширини стрічки стрічки, для стрічки RTL-2500 $[\sigma_{pi}] = 2500 \text{ Н/мм}$; n - розрахунковий коефіцієнт міцності стрічки; B - ширина стрічки, мм.

1.3.6 Визначення діаметрів барабанів

Зовнішній діаметр барабана визначається призначенням барабана, напругою, шириною і типом тягової рами стрічки.

$$D_6 = k_A \cdot k_B \cdot i = 400 \cdot 1 \cdot 2 = 800 \text{ мм}$$

де k_A - коефіцієнт типу прокладок; k_B - коефіцієнт призначення барабана, для приводного барабана $k_B = 1$, для прогину барабана - $k_B = 0,8$; i - кількість прокладок тягової рами ременя.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо діаметр барабана по ГОСТ 22544-77 [1, стор.158, табл. 4.61 $D_{\delta} = 800 \text{ мм}$].

Діаметр натяжного (дефлекторного) барабана:

$$D_{нат} = k_A \cdot k_B \cdot i = 400 \cdot 0,8 \cdot 4 = 630 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр відхиляючого барабана по ГОСТ 22544-77 $D_{\delta} = 630 \text{ мм}$.

Перевірка питомого тиску в приводному барабані:

$$P_1 = \frac{360 \cdot S_{нб}}{\alpha \cdot \pi \cdot D_{\delta} \cdot B} \cdot \frac{e^{\mu\alpha} + 1}{e^{\mu\alpha}} = \frac{360 \cdot 272463}{180 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,8} \cdot \frac{2,4 + 1}{2,4} = 0,28 \text{ МПа} \leq [P] = 0,2 \dots 0,3 \text{ МПа} .$$

1.3.7 Розрахунковий крутний момент на валу ведучого барабана

$$M_{кр} = k_3 \cdot W \frac{D_{\delta}}{2} = 1,1 \cdot 144488 \cdot \frac{0,8}{2} = 63574 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де W - окружна сила на приводному барабані, Н; k_3 - Коефіцієнт запасів і неврахованих збитків, $k_3 = 1,1 \dots 1,2$; D_{δ} - Діаметр приводного барабана, м.

Розрахунковий крутний момент муфти становить

$$M_{р.м} = k_1 \cdot k_2 \cdot M_{кр} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 63574 = 99175 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

де $k_1 = 1,2$ – поломка зчеплення без людських жертв; $k_2 = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує характер навантаження.

Розрахунковий крутний момент є розрахунковою основою для вибору типорозміру муфти МУЗ-10000.

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Загальна характеристика об'єкта проектування

Об'єктом проектування є виробничий цех (цех переробки та грануляції) з відкритим розвантажувальним майданчиком. Основними електроприймачами об'єкта є силові технологічні установки: прес-гранулятор (75 кВт), дробарка (30 кВт), змішувач, норії, системи кондиціювання та вентиляції, а також магістральні конвеєри. Більшість силових споживачів працює в тривалому режимі та живиться трифазним змінним струмом напругою 0,4 кВ (380/220 В) із частотою 50 Гц.

За надійністю електропостачання комплекс належить до I категорії, оскільки тривала перерва в живленні призводить до значного недовідпуску продукції та порушення безперервного циклу виробництва. Зовнішнє живлення об'єкта здійснюється від енергосистеми напругою 0.4 кВ через проектовану двотрансформаторну комплектну підстанцію, що забезпечує 100% взаємне резервування в післяаварійних режимах.

Заходи з електробезпеки регламентуються вимогами ПУЕ та передбачають реалізацію системи заземлення типу TN-S (із розділеними N та PE провідниками), виконання захисного заземлення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, вирівнювання потенціалів, а також встановлення автоматичних вимикачів для миттєвого вимкнення пошкоджених ділянок мережі при КЗ чи перевантаженнях.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис				
Розробив		Шевченко Ю.С.			Електропостачання	Літ.	Арк.
Перевірів		Босак А.В.					26
Репензент							110
Н. Контр.		Кулаковський				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК. гр. ОА-21	
Затвердив		Бойченко					

2.2 Розрахунок освітлення

Ефективне промислове освітлення оптимізує роботу персоналу, стимулюючи продуктивність і знижуючи рівень травматизму. При його проектуванні важливо поєднати економічність із вимогами стандартів: забезпечити нормовану яскравість, правильну передачу кольору, відсутність мікропульсацій та засліплення при мінімальній кількості надійних і мобільних світильників.

Для закритих цехів розрахунок зазвичай ведуть за питомою потужністю або коефіцієнтом використання потоку, тоді як відкриті зони обладнують прожекторами, параметри яких обчислюють методом світлового потоку.

2.2.1 Розрахунок освітлення виробничого цеху та розвантажувального майданчику методом коефіцієнта використання світлового потоку

Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є розміри виробничого цеху - 50·30 м, та висота підвісу світильника $h = 5$ м. $E_n = 15$ лк. Для прожекторного освітлення - розвантажувальний майданчик 20*25 м, $E_n=10$ лк.

Цей метод оцінює повний розподіл світла, враховуючи як прямі промені, так і відбиття від внутрішніх поверхонь. Ключовий параметр — коефіцієнт використання установки — розраховується індивідуально, оскільки залежить від геометрії приміщення та відбивної здатності (кольору) стін і стелі.

Алгоритм є базовим для проектування закритих техприміщень: машинних залів, насосних станцій та розподільчих підстанцій. Завершується розрахунок вибором типу світильника та визначенням необхідного світлового потоку лампи F_{λ} .

Тип світильника для виробничого цеху – ЛСПО2-2·80; Тип лампи – ЛБ-80 (люмінесцентна):

$P = 80$ Вт; $U = 220$ В; ККД – 70%; $\cos \varphi = 0.95$; $F_{\lambda} = 5220$ лм.

Розраховуємо індекс приміщення виробничого цеху:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{50 \cdot 30}{4.2 \cdot (50 + 30)} = 4.46;$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: A і B - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м; h - висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Розраховуємо площу приміщення, враховуючи його прямокутну форму:

$$S = A \cdot B = 50 \cdot 30 = 1500 \text{ м}^2;$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування. Для виробничого цеху:

$$E_{\min} = 15 \text{ лк};$$

Коефіцієнт використання при індексі приміщення $i = 4.46$ (округлюємо до меншого значення 4) для світлого кольору стелі та сірого кольору стін визначаємо з довідкової літератури:

$$K_B = 0.65;$$

Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$N = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{F_L \cdot K_B} = \frac{15 \cdot 1500 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{5220 \cdot 0.65} = 10.9;$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищеність їхніх ковпаків, $K_3 = 1.5$ для люмінесцентних ламп у виробничих приміщеннях, z - коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1.1$).

Приймаємо $N = 12$ шт.(для симетричного розміщення 3 ряди по 4 світильників)

2.2.2 Розрахунок освітлення розвантажувального майданчику методом питомої потужності

Вхідними умовами для розрахунку є розміри насосного відділення - $20 \cdot 25$ м, $E_H = 10$ лк.

Тип світильника для розвантажувального майданчику – ПЗС-35; Тип лампи – ДРЛ-400 (дугова ртутна люмінесцентна):

$P = 400$ Вт; $U = 220$ В; ККД – 65%; $\cos \varphi = 0.95$;

Питома потужність для прожекторного освітлення визначається за виразом , Вт/м²

$$\omega = 0.25 \cdot K_3 \cdot E_H = 0.25 \cdot 1.5 \cdot 10 = 3.75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Кз – коефіцієнт запасу;

Тоді потужність на освітлення:

$$P_{\text{осв}} = \omega \cdot S = 3.75 \cdot 20 \cdot 25 = 1875 \text{ Вт};$$

Кількість світильників та відстань між ними:

$$N = \frac{P_{\text{осв}}}{P_{\text{л}}} = \frac{1875}{400} \approx 4.68$$

де $P_{\text{л}}$ - потужність лампи світильника, Вт.

Округлюємо до найближчого – 5 прожекторів.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розрахунок електричних навантажень

Визначення електричних навантажень із застосуванням методу коефіцієнта попиту завжди реалізується за принципом послідовного переходу від нижніх ланок напруги до вищих. Під час такого моделювання окремі струмоприймачі систематизуються та поєднуються у відповідні вузлові збірки. Цей ієрархічний алгоритм дає змогу інженерам-проектувальникам сформулювати чітку та структурно спрощену модель живлення, яка слугуватиме надійною основою для подальшої розробки комплексної системи електропостачання об'єкта. (рис.2.1).

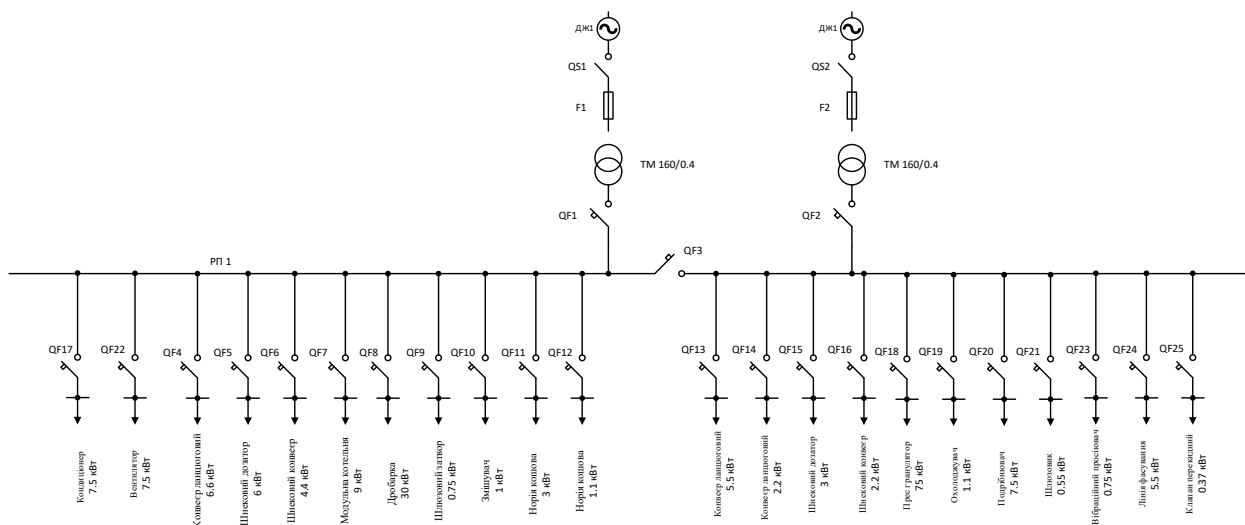


Рисунок 2.1 – Спрощена схема електропостачання

Згідно рис.2.1 формується таблиця 2.1 зі збірками в які входять споживачі та їх розрахункові параметри

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри споживачів

№	Споживач	P_H , кВт	n	K_{Π}	η_n	$\cos\varphi$
Збірка 1						
1	Кондиціонер	7.5	1	0.8	0.87	0.84
2	Вентилятор	7.5	1	0.8	0.87	0.85
3	Конвеєр ланцюговий	2.2	3	0.6	0.82	0.75
4	Шнековий дозатор	1.5	4	0.5	0.80	0.70
5	Шнековий конвеєр	2.2	2	0.6	0.82	0.75
6	Модульна котельня	9	1	0.8	0.88	0.85
7	Дробарка	30	1	0.7	0.91	0.87
8	Шлюзовий затвор	0.75	1	0.6	0.75	0.65
9	Змішувач	4	1	0.7	0.85	0.80
10	Норія кошова	3	1	0.7	0.84	0.78
11	Норія кошова	1.1	1	0.7	0.78	0.72
Збірка 2						
1	Конвеєр ланцюговий	5.5	1	0.6	0.85	0.80
2	Конвеєр ланцюговий	2.2	1	0.6	0.82	0.75
3	Шнековий дозатор	1.5	2	0.5	0.80	0.70
4	Шнековий конвеєр	1.1	2	0.6	0.78	0.72
5	Прес гранулятор	75	1	0.8	0.93	0.89
6	Охолоджувач	1.1	1	0.6	0.78	0.72
7	Подрібнювач	7.5	1	0.7	0.87	0.82
8	Шлюзовик	0.55	1	0.6	0.72	0.65
9	Вібраційний просіювач	0.75	1	0.5	0.75	0.70
10	Лінія фасування	5.5	1	0.6	0.85	0.80
11	Клапан перекидний	0.37	1	0.2	0.65	0.60

За формулою (2.1) згідно з [1] визначається розрахункове активне навантаження P_p для електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол.

$$P_p = K_{\Pi} \cdot \sum_{i=1}^n P_{H.i.} \quad (2.1)$$

$$P_{p1} = K_{\Pi 1} \cdot \sum_{i=1}^{n=3} P_{H1} = 0.6 \cdot 3 \cdot 2.2 = 3.96 \text{ кВт};$$

За формулою (2.2) обрахуємо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача:

$$\operatorname{tg} \varphi_H = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_H)) \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{H1} = \operatorname{tg}(\arccos(0.75)) = 0.869;$$

За формулами (2.3) визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача та сумарне реактивне навантаження:

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.3)$$

$$Q_{p1} = 3.96 \cdot 0.869 = 3.4 \text{ кВАр};$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень збірка 1

Вхідні данні								Розрахунок			
№	Електроприймачі	P_H кВт	n	$\sum P_H$ кВт	K_{Π}	η_H	$\cos \varphi_H$	P_p кВт	$\operatorname{tg} \varphi_H$	Q_p кВАр	S_p кВА
Збірка 1(0.4 кВ)											
1	Кондиціонер	7.5	1	7.5	0.8	0.87	0.84	6	0.649	3.9	
2	Вентилятор	7.5	1	7.5	0.8	0.87	0.85	6	0.625	3.75	
3	Конвеєр ланцюговий	2.2	3	6.6	0.6	0.82	0.75	3.96	0.869	3.4	
4	Шнековий дозатор	1.5	4	6	0.5	0.80	0.70	3	1	3	
5	Шнековий конвеєр	2.2	2	4.4	0.6	0.82	0.75	2.64	0.869	2.29	

Продовження таблиці 2.4

6	Модульна котельня	9	1	9	0.8	0.88	0.85	7.2	0.625	4.5	
7	Дробарка	30	1	30	0.7	0.91	0.87	21	0.554	11.6	
8	Шлюзовий затвор	0.75	1	0.75	0.6	0.75	0.65	0.45	1.15	0.52	
9	Змішувач	4	1	4	0.7	0.85	0.80	2.8	0.754	2.1	
10	Норія кошова	3	1	3	0.7	0.84	0.78	2.1	0.781	1.64	
11	Норія кошова	1.1	1	1.1	0.7	0.78	0.72	0.77	0.966	0.74	
Σ								55.92	-	37.44	67.29

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p збірки 1:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.5)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{55.92^2 + 37.44^2} = 57.28 \text{кВА};$$

Підбираємо силовий трансформатор Т1 відповідно до розрахункової потужності параметри якого відповідають довідковим даним навчального посібника [1], обов'язково враховуючи здатність обладнання витримувати перевантаження на 30% та гарантувати надійне електропостачання для споживачів другої групи впродовж аварійних ситуацій.

Таблиця 2.3 – Параметри трансформатора збірка 1

Тип	Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Напруга КЗ, $U_k\%$
		ВН	НН		
ТМ-160/6	160	6	0,4	2.65	4.5

Таблиця 2.4 – Розрахунок електричних навантажень збірка 2

Вхідні данні								Розрахунок			
№	Електроприймачі	P_H ,кВт	n	$\sum P_H$ кВт	K_{Π}	η_H	$\cos\varphi_H$	P_p кВт	$\operatorname{tg}\varphi_H$	Q_p кВАр	S_p кВА
Збірка 2 (0.4 кВ)											
1	Конвеєр ланцюговий	5.5	1	5.5	0.6	0.85	0.80	3.3	0.754	2.49	
2	Конвеєр ланцюговий	2.2	1	2.2	0.6	0.82	0.75	1.32	0.869	1.15	
3	Шнековий дозатор	1.5	2	3	0.5	0.80	0.70	0.75	1	0.75	
4	Шнековий конвеєр	1.1	2	2.2	0.6	0.78	0.72	0.66	0.966	0.64	
5	Прес гранулятор	75	1	75	0.8	0.93	0.89	60	0.510	30.6	
6	Охолоджувач	1.1	1	1.1	0.6	0.78	0.72	0.66	0.966	0.64	
7	Подрібнювач	7.5	1	7.5	0.7	0.87	0.82	5.25	0.7	3.67	
8	Шлюзовик	0.55	1	0.55	0.6	0.72	0.65	0.33	1.15	0.38	
9	Вібраційний просіювач	0.75	1	0.75	0.5	0.75	0.70	0.37	1	0.375	
10	Лінія фасування	5.5	1	5.5	0.6	0.85	0.80	3.3	0.754	2.48	
11	Клапан перекидний	0.37	1	0.37	0.2	0.65	0.60	0.07	1.327	0.09	
Σ								76	-	43.27	87.47

Підбираємо силовий трансформатор Т1 відповідно до розрахункової потужності параметри якого відповідають довідковим даним навчального посібника [1], обов'язково враховуючи здатність обладнання витримувати перевантаження на 30% та гарантувати надійне електропостачання для споживачів другої групи впродовж аварійних ситуацій.

Таблиця 2.5 – Параметри трансформатора збірка 2

Тип	Номинальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номинальні напруги, кВ		Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Напруга КЗ, $U_k\%$
		ВН	НН		
ТМ-160/6	160	6	0,4	2.65	4.5

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах Т1, Т2:

$$\Delta P_{T1} = \Delta P_{T2} = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т1}} = 0,02 \cdot 160 = 3.2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T1} = \Delta Q_{T2} = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т1}} = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ кВАр};$$

2.4. Розрахунок електричних мереж

2.4.1 Основні відомості

Проектування починають із формування плану електропостачання з точними довжинами всіх ділянок. Переріз жил обирають на основі технічних вимог (допустимий нагрів у нормальному й післяаварійному режимах, термічна стійкість при КЗ, втрати напруги, механічна міцність, а для ліній від 35 кВ — ефект корони) та економічних критеріїв.

Повітряні лінії 6–10 кВ розраховують за оптимальною густиною струму, додатково перевіряючи нагрів та граничне падіння напруги. Мережі до 1000 В зазвичай проєктують за втратами напруги, а критерій густини струму залучають лише за умови використання пікових потужностей понад 4000–5000 год/рік. Обраний переріз обов'язково узгоджують із параметрами захисних автоматів та перевіряють на здатність релейного захисту фіксувати мінімальні струми КЗ.

2.4.2 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.6)$$
$$I_{P1} = \frac{S_{P1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{5.22}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 7.53 \text{ A};$$

Де S_P – розрахункове навантаження групи споживачів, кВА; U_H – напруга мережі, кВ.

Аналогічно розраховуємо решту електроприймачів та заносимо дані в Табл. 2.6.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.6 – Дані параметри для розрахунку ліній РП-1

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрах. робочий струм лінії I _p , А
Збірка №1							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
Кондиціонер	1	60	КЛ	7.5	0.84	0.87	10.33
Вентилятор	2	50	КЛ	7.5	0.85	0.87	10.21
Конвеєр ланцюговий	3	40	КЛ	6.6	0.75	0.82	7.53
Шнековий дозатор	4	60	КЛ	6	0.70	0.80	6.12
Шнековий конвеєр	5	60	КЛ	4.4	0.75	0.82	5.04
Модульна котельня	6	60	КЛ	9	0.85	0.88	12.25
Дробарка	7	50	КЛ	30	0.87	0.91	34.6
Шлюзовий затвор	8	50	КЛ	0.75	0.65	0.75	0.99
Змішувач	9	50	КЛ	4	0.80	0.85	5.05
Норія кошова	10	35	КЛ	3	0.78	0.84	3.84
Норія кошова	11	35	КЛ	1.1	0.72	0.78	1.54

Збірка №2							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
Конвеєр ланцюговий	1	60	КЛ	5.5	0.80	0.85	5.96
Конвеєр ланцюговий	2	60	КЛ	2.2	0.75	0.82	2.52
Шнековий дозатор	3	60	КЛ	1.5	0.70	0.80	1.53
Шнековий конвеєр	4	60	КЛ	1.1	0.72	0.78	1.32
Прес гранулятор	5	60	КЛ	75	0.89	0.93	97.2
Охолоджувач	6	50	КЛ	1.1	0.72	0.78	1.32
Подрібнювач	7	50	КЛ	7.5	0.82	0.87	9.25
Шлюзовик	8	50	КЛ	0.55	0.65	0.72	0.73
Вібраційний просіювач	9	50	КЛ	0.75	0.70	0.75	0.76
Лінія фасування	10	35	КЛ	5.5	0.80	0.85	5.95
Клапан перекидний	11	35	КЛ	0.37	0.60	0.65	0.18

Для всіх споживачів низької напруги ЛЕП розраховують за втратами напруги і перевіряють за умовами нагрівання та економічній щільності струму при тривалості використання максимуму навантаження понад 4000...5000 г/рік.

2.4.3 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Визначення площі перерізу провідників повітряних трас і кабельних жил за тепловим фактором від робочого струму при штатному довготривалому функціонуванні базується на зіставленні очікуваного струму конкретної лінії із гранично припустимим значенням, під яке ПУЕ регламентує уніфіковані габарити провідникових перерізів.

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.7)$$

де I_p - розрахунковий (або робочий) струм i -ї лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ - тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Для живлення виробничого цеху доцільно використовувати кабелі марки СБл, технічні параметри яких відповідають довідковим даним навчального посібника [1]. Прокладання КЛ буде здійснено в вогнетривких каналах. Результати вибору заносяться до табл. 2.7

Таблиця 2.7 – Вибір перетину провідників за допустимим нагрівом

Лінія	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	$S_{\text{нагр}}$, мм ²	Марка
Збірка 1				
L_1	7.53	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_2	6.12	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_3	5.04	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_4	12.25	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_5	34.6	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_6	0.99	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_7	5.05	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_8	3.84	40	2.5	СБл 3х2.5-1

Збірка 2				
L_1	5.96	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_2	2.52	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_3	1.53	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_4	1.32	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_5	10.33	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_6	97.2	120	16	СБл 3х16-1
L_7	1.32	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_8	9.25	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_9	0.73	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_{10}	10.21	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_{11}	0.76	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_{12}	5.95	40	2.5	СБл 3х2.5-1
L_{13}	0.18	40	2.5	СБл 3х2.5-1

2.4.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Обраний переріз жил обов'язково перевіряють на падіння напруги для забезпечення належної якості електроенергії у споживачів. У низьковольтних ланцюгах до 1 кВ, які сполучають джерело живлення з навантаженням, цей спад фіксують безпосередньо у вольтах. При цьому гранично допустимі значення втрат чітко регламентовані й становлять 39 В для мереж номіналом 380 В, 63 В для ліній 660 В та 117 В для комплексів на 1140 В.

$$\Delta U_{\text{доп}} = 39 \text{ В};$$

Падіння вольтажу в низьковольтному ланцюзі визначається як сукупність втрат у кожній його ланці й не може виходити за встановлені ліміти (зادля їх зменшення нарощують товщину провідників). Обчислення цього спаду для силового трансформатора у відсотках здійснюють так:

$$\Delta U_{\text{ТР}\%} = \beta (U_{a\%} \cos \varphi_{\text{ТР}} + U_{p\%} \sin \varphi_{\text{ТР}}); \quad (2.8)$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\beta = \frac{S_p}{S_{H.T}}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 S_{H.T.}}$ – активна складова напруги КЗ трансформатора;

ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{H.T.}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2}$ – реактивна складова напруги КЗ трансформатора;

Зважаючи на опцію підлаштування вольтажу на виводах трансформатора завдяки перемиканню відгалужень обмотки первинної напруги, абсолютна величина спаду напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}; \quad (2.9)$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі, що дорівнює 0,95, 1,0 та 1,05 при відпайках +5%, 0, -5%. U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора.

Розраховуємо втрати напруги для трансформатора:

$$\beta_1 = \frac{S_{p1}}{S_{H.T.1}} = \frac{58.28}{160} = 0.36; \quad (2.10)$$

$$\beta_2 = \frac{S_{p2}}{S_{H.T.2}} = \frac{101.67}{160} = 0.64; \quad (2.11)$$

$$U_{a\%1} = U_{a\%2} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{2650}{10 \cdot 160} = 1.65 \%; \quad (2.12)$$

$$U_{p\%1} = U_{p\%2} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4.5^2 - 1.65^2} = 4.18 \%; \quad (2.13)$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S} = \frac{43.92}{57.28} = 0.76; \quad (2.14.1)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{88.02}{101.670} = 0.86; \quad (2.14.2)$$

$$\sin \varphi_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1} = \sqrt{1 - 0.76^2} = 0.65; \quad (2.15.1)$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sin\varphi_2 = \sqrt{1 - \cos\varphi_2^2} = \sqrt{1 - 0.86^2} = 0.51; \quad (2.15.2)$$

$$\Delta U_{TP\%1} = \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos\varphi + U_{p\%} \cdot \sin\varphi) = 0.36 \cdot (1.65 \cdot 0.76 + 4.18 \cdot 0.65) = 1.42 \%$$

$$\Delta U_{TP\%1} = \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos\varphi + U_{p\%} \cdot \sin\varphi) = 0.64 \cdot (1.65 \cdot 0.86 + 4.18 \cdot 0.51) = 2.27 \%$$

$$\Delta U_{TP1} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 1.42 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 5.68 \text{ В}; \quad (2.16.1)$$

$$\Delta U_{TP2} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 2.27 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 9.08 \text{ В}; \quad 2.16.2)$$

Тоді допустимі втрати напруги в проводі:

$$\Delta U_{\text{ПЛ1}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{TP1} = 39 - 5.68 = 33.32 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{ПЛ2}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{TP2} = 39 - 9.08 = 29.92 \text{ В};$$

Розрахунок втрат напруги в кабелі [В] проводиться за формулою:

Без урахування індуктивного опору (можна знехтувати індуктивним опором лінії при $X \leq \frac{1}{3} R$):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos\varphi_p}{\gamma \cdot S} \quad (2.17)$$

де L- довжина проводу, км, r , x - відповідно активний (при робочій температурі жил) та індуктивний опір 1км кабеля, Ом/км; γ -питома провідність матеріалу жил кабеля, м/(Ом·мм²) для кабеля з мідними жилами при температурі 65⁰С $\gamma=32$; S – площа перерізу жил кабеля, мм², I_p – розрахунковий струм лінії, А.

Активний опір проводу при робочій температурі

$$r_0 = K_r \cdot r_{20} \quad (2.18)$$

де r₂₀ - активний опір 1 км кабеля, Ом/км при температурі зовнішнього середовища 20⁰С згідно з довідниковою літературою посібника [1], K_r=1.029 - поправочний коефіцієнт на опір кабеля залежно від температури нагріву жил згідно з довідниковою літературою посібника [1].

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$\Delta U_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 7.53 \cdot 0.04 \cdot 1.029 \cdot 0.75}{50 \cdot 2.5} = 0,003 < 5.68 \text{ В}$$

$$\Delta U_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 5.96 \cdot 0.06 \cdot 1.029 \cdot 0.8}{50 \cdot 2.5} = 0,004 < 9.08 \text{ В}$$

Аналогічні дії повторюються з кожним проводом.

Розрахунок втрат напруги в кабелі Шина-Трансформатор [В] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{м.к.}} = \frac{P_{\text{Н}} \cdot L_{\text{м.к.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.}} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{Н}}}; \quad (2.19)$$

$P_{\text{Н}}$ - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем [кВт];

$L_{\text{м.к.}}$ - довжина кабелю [м];

$\gamma=50$ [м/(Ом•мм²)] - питома провідність мідного кабелю ($\gamma=32$ для алюмінієвих жил);

$S_{\text{м.к.}}$ - найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок [мм²];

$U_{\text{Н}}$ - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги [В];

$\eta_{\text{Н}}$ - ККД електроприймача

$$\Delta U_{\text{м.к.шина1}} = \frac{P_{\text{Н.13}} \cdot L_{\text{м.к.13}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.13}} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \eta} = \frac{43.92 \cdot 100 \cdot 10^3}{50 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 0,9} = 3.9 \text{ В} < 5.68 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{м.к.шина1}} = \frac{P_{\text{Н.13}} \cdot L_{\text{м.к.13}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.13}} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \eta} = \frac{88.02 \cdot 100 \cdot 10^3}{50 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 0,9} = 7.8 \text{ В} < 9.08 \text{ В};$$

2.4.5 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Підсумки проектування дільничної розподільної електромережі оформлюють у вигляді таблиці, де фіксують ключові обчислювальні параметри системних компонентів, найменші припустимі площі перерізу провідників, визначені за різноманітними факторами для кожної окремої лінії, та маркування остаточно затвердженого проводу чи модифікацію кабелю. Розрахунок розподільної мережі можна звести у таблицю 2.8.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Остаточні розрахунки електричної мережі

№ лінії	Розраху- нковий робочий струм I _p , А	За нагрівом		За втратами напруги		Остаточно обрана марка
		I _{доп} , А	S _{нагр} , мм ²	Втрати напруги, В	S _{втр} напруги мм ²	
Збірка 1						
1	7.53	40	2.5	0.0032	2.5	СБЛ 3х2.5-1
2	6.12	40	2.5	0.0036	2.5	СБЛ 3х2.5-1
3	5.04	40	2.5	0.0032	2.5	СБЛ 3х2.5-1
4	12.25	40	2.5	0.0089	2.5	СБЛ 3х2.5-1
5	34.6	40	2.5	0.0214	2.5	СБЛ 3х2.5-1
6	0.99	40	2.5	0.0004	2.5	СБЛ 3х2.5-1
7	5.05	40	2.5	0.0028	2.5	СБЛ 3х2.5-1
8	3.84	40	2.5	0.0014	2.5	СБЛ 3х2.5-1
9	7.53	40	2.5	0.0027	2.5	СБЛ 3х2.5-1

Збірка 2						
1	5.96	40	2.5	0.0041	2.5	СБл 3х2.5-1
2	2.52	40	2.5	0.0016	2.5	СБл 3х2.5-1
3	1.53	40	2.5	0.0009	2.5	СБл 3х2.5-1
4	1.32	40	2.5	0.0008	2.5	СБл 3х2.5-1
5	10.33	40	2.5	0.0074	2.5	СБл 3х2.5-1
6	97.2	120	16	0.0115	16	СБл 3х16-1
7	1.32	40	2.5	0.0006	2.5	СБл 3х2.5-1
8	9.25	40	2.5	0.0054	2.5	СБл 3х2.5-1
9	0.73	40	2.5	0.0003	2.5	СБл 3х2.5-1
10	10.21	40	2.5	0.0061	2.5	СБл 3х2.5-1
11	0.76	40	2.5	0.0003	2.5	СБл 3х2.5-1
12	5.95	40	2.5	0.0023	2.5	СБл 3х2.5-1
13	0.18	40	2.5	0.00005	2.5	СБл 3х2.5-1
Шина-Трансформатор						
14	147.26	160	25	0.0189	25	СБл 4х25-1

2.5. Розрахунок струмів КЗ

При проектуванні СЕП обов'язково аналізують аварійні режими, насамперед короткі замикання (КЗ) — непередбачені з'єднання фаз між собою чи з землею, які викликають різкі стрибки струму. Замикання бувають трифазними, двофазними та однофазними, причому останні є найпоширенішими (60–92% випадків). Проте саме трифазні КЗ провокують максимальні надструми, тому їхні значення є базовими для перевірки та вибору електрообладнання. Головними причинами таких аварій є знос або зволоження ізоляції та механічні пошкодження ліній, а за тривалістю їх поділяють на стійкі й нестійкі.

Наслідки КЗ мають руйнівний термічний та динамічний характер: колосальні механічні навантаження деформують струмопроводи й обмотки машин, екстремальний перегрів створює ризик пожеж, а електрична дуга нищить комутаційну апаратуру. Крім того, глибоке зниження напруги в мережі (нижче 70% від номіналу) викликає перекидання й зупинку електродвигунів, що повністю порушує технологічні процеси. Для мінімізації цих збитків аварійні сегменти необхідно негайно ізолювати за допомогою швидкодіючих вимикачів та релейного захисту.

Складаємо розрахункову схему заміщення (рис.2.2) на основі схеми розділу 2 (рис 2.1). На схемі позначаємо характерні точки, для яких буде розраховано струми КЗ.

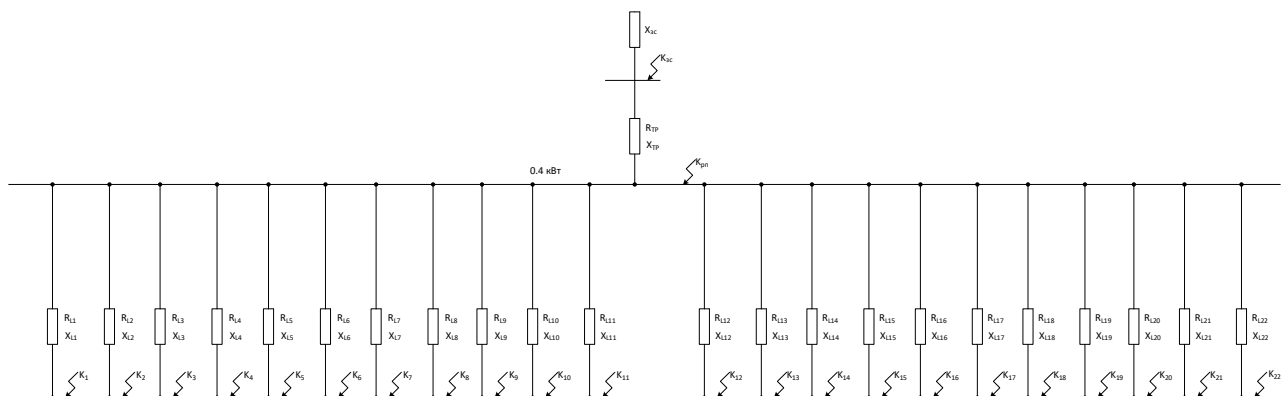


Рисунок 2.2 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В

При розрахунку струмів КЗ визначаються величини:

I'' - діюче значення початкового зверхперехідного струму для вибору уставки для вибору уставок спрацювання швидкодіючого захисту;

I_{∞} - усталений струм КЗ для перевірки на термічну стійкість електричних апаратів та кабелів;

i_y - миттєве значення ударного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на динамічну стійкість;

I_y - найбільше діюче значення повного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на динамічну стійкість на протязі першого періоду КЗ;

I_t - діюче значення повного струму КЗ для довільного моменту часу для вибору t вимикачів за відмикаючим струмом;

S_t - потужність КЗ для довільного моменту часу для перевірки вимикача за відключаючою ним потужністю.

Трифазний струм КЗ:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (2.20)$$

де U_{cp} - середня номінальна напруга ступіні КЗ (690,400, 230,133 В)

$\sum r$, $\sum x$ - сума активних і реактивних опорів до точки КЗ, включаючи трансформатор та опір зовнішньої системи, МОм.

Опір зовнішньої системи приведений до напруги споживачів 0,4 кВт:

$$X_{zc} = \frac{U_{c.n.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad (2.21)$$

де $S_K^{(3)}$ – потужність трифазного короткого замикання на шинах;

$U_{c.n.}$ – 230, 400, 690, 1200 В

Опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{H.T.}^2); \quad (2.22)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (2.23)$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_T = U_K \cdot U_{CH} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}; \quad (2.24)$$

де: ΔP_K - втрати короткого замикання трансформатора, Вт; $I_{H.T.}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора. А; U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

$$I_{H.T} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 230.9 \text{ А};$$

$$Z_{Tp} = \frac{U_k \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T}} = \frac{4.5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 230.9} = 0.045 \text{ Ом};$$

$$R_{Tp} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{H.T}^2} = \frac{2650}{3 \cdot 230.9^2} = 0.0166 \text{ Ом};$$

$$X_{Tp} = \sqrt{Z_{Tp}^2 - R_{Tp}^2} = \sqrt{0.045^2 - 0.0166^2} = 0.04183 \text{ Ом};$$

Активний опір ліній, що живить споживачів низької напруги (Ом) (довжину КЛ переводимо в кілометри):

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{M.K1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{50 \cdot 25} \cdot 0.1 = 0.08 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0.08$ Ом/км - реактивний опір КЛ;

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0.08 \cdot 0.1 = 0.008 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо значення до табл.2.9.1-2.9.2

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9.1 – Опори елементів мережі у іменованих одиницях збірка 1

Елемент мережі	L, км	S, мм ²	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	-	-	0	0,004
Трансформатор ТМ-160/6	0.1	25	0.08	0.008
L ₁	0.06	2.5	0.48	0.0048
L ₂	0.05	2.5	0.40	0.0040
L ₃	0.04	2.5	0.32	0.0032
L ₄	0.06	2.5	0.48	0.0048
L ₅	0.06	2.5	0.48	0.0048
L ₆	0.06	2.5	0.48	0.0048
L ₇	0.05	2.5	0.40	0.0040
L ₈	0.05	2.5	0.40	0.0040
L ₉	0.05	2.5	0.40	0.0040
L ₁₀	0.035	2.5	0.28	0.0028
L ₁₁	0.035	2.5	0.28	0.0028

Таблиця 2.9.2 – Опори елементів мережі у іменованих одиницях збірка 2

Елемент мережі	L, км	S, мм ²	R, Ом	X, Ом
L ₁₂	0.06	2.5	0.480	0.0048
L ₁₃	0.06	2.5	0.480	0.0048
L ₁₄	0.06	2.5	0.480	0.0048
L ₁₅	0.06	2.5	0.480	0.0048
L ₁₆	0.06	16	0.075	0.0048
L ₁₇	0.05	2.5	0.400	0.0040
L ₁₈	0.05	2.5	0.400	0.0040
L ₁₉	0.05	2.5	0.400	0.0040

L_{20}	0.05	2.5	0.400	0.0040
L_{21}	0.035	2.5	0.280	0.0028
L_{22}	0.035	2.5	0.280	0.0028

Розрахуємо сумарний опір до кожної точки КЗ:

Точка $K_{зс}$: Опір складається лише з реактивного опору зовнішньої системи $X_{зс}$

$$Z_{K_{зс}} = X_{зс} = 0.004 \text{ Ом};$$

Точка $K_{рп}$: Опір складається з опорів зовнішньої системи $X_{зс}$ та трансформатора ТМ-160/6:

$$\sum R_{K_{рп}} = R_{Tp} = 0.0166 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K_{рп}} = X_{зс} + X_{Tp} = 0.004 + 0.04183 = 0.04583 \text{ Ом};$$

$$Z_{K_{рп}} = \sqrt{(\sum R_{K_{рп}})^2 + (\sum X_{K_{рп}})^2} = \sqrt{0.0166^2 + 0.04583^2} = 0.04874 \text{ Ом};$$

Точка K_1 : Складається з опорів зовнішньої системи $X_{зс}$, трансформатора ТМ-160/6 та лінії:

$$\sum R_{K_1} = \sum R_{K_{рп}} + R_{L1} = 0.0166 + 0.480 = 0.4966 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K_1} = \sum X_{K_{рп}} + X_{L1} = 0.04583 + 0.0048 = 0.05063 \text{ Ом};$$

$$Z_{K_1} = \sqrt{(\sum R_{K_1})^2 + (\sum X_{K_1})^2} = \sqrt{0.4966^2 + 0.05063^2} = 0.4992 \text{ Ом};$$

Результати заносимо в табл. 2.10.1 – 2.10.2

Таблиця 2.10.1 – Сумарні опори точок КЗ збірка 1

Точка	$\sum R_K$	$\sum X_K$	Z_K
К _{зс}	0	0.004	0.004
К _{рп}	0.0166	0.04583	0.04874
К1	0.4966	0.05063	0.4992
К2	0.4166	0.04983	0.4196
К3	0.3366	0.04903	0.3401
К4	0.4966	0.05063	0.4992
К5	0.4966	0.05063	0.4992
К6	0.4966	0.05063	0.4992
К7	0.4166	0.04983	0.4196
К8	0.4166	0.04983	0.4196
К9	0.4166	0.04983	0.4196
К10	0.2966	0.04863	0.3006
К11	0.2966	0.04863	0.3006

Таблиця 2.10.2 – Сумарні опори точок КЗ збірка 2

Точка	$\sum R_K$	$\sum X_K$	Z_K
К12	0.4966	0.05063	0.4992
К13	0.4966	0.05063	0.4992
К14	0.4966	0.05063	0.4992
К15	0.4966	0.05063	0.4992
К16	0.0916	0.05063	0.1046
К17	0.4166	0.04983	0.4196
К18	0.4166	0.04983	0.4196
К19	0.4166	0.04983	0.4196
К20	0.4166	0.04983	0.4196
К21	0.2966	0.04863	0.3006
К22	0.2966	0.04863	0.3006

Приклад розрахунку струмів КЗ для точки

а) діюче значення струму трифазного КЗ для і-ої точки ланцюга

$$I_{\text{КЗс}}^3 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗс}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.004} = 57,7350 \text{ кА};$$

б) струм двофазного короткого замикання

$$I_{\text{КЗс}}^2 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{2 \cdot Z_{\text{КЗс}}} = \frac{400}{2 \cdot 0.004} = 50 \text{ кА};$$

в) миттєве значення ударного струму КЗ через півперіоду (0.01с) після виникнення КЗ

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{К}}^3; \quad (2.25)$$

де: k_y - ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2...1,3$ при короткому замиканні на шинах підстанції, $k_y = 1,8$ при короткому замиканні зі сторони високої напруги, $k_y = 1$ при короткому замиканні у віддаленій точці; $\sum I_{\text{н}}$ - сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВ·А.

$$i_{y\text{КЗс}} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{КЗс}}^3 = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 57,7350 = 146,969 \text{ кА};$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно.

г) діюче значення повного струму КЗ

$$I_{y\text{КЗс}} = I_{\text{КЗс}}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 57,7350 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 87,178 \text{ кА};$$

Аналогічно розраховуємо решту струмів короткого замикання та заносимо значення до табл. 2.11.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Розрахунок струмів КЗ у іменованих одиницях

Точка КЗ	$U_{CH},$ В	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	$I_K^{(3)},$ А	$I_K^{(2)},$ А	$i_y,$ А	$I_y,$ А
K _{зс}	400	0	0.004	0.004	57.7350	50	146.969	87.178
K _{рп}	400	0.0166	0.04583	0.04874	4.738	4.103	8.040	4.924
K1	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K2	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K3	400	0.3366	0.04903	0.3401	0.6790	0.5881	0.9601	0.6790
K4	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K5	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K6	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K7	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K8	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K9	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K10	400	0.2966	0.04863	0.3006	0.7682	0.6653	1.0862	0.7682
K11	400	0.2966	0.04863	0.3006	0.7682	0.6653	1.0862	0.7682
K12	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K13	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K14	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K15	400	0.4966	0.05063	0.4992	0.4626	0.4006	0.6541	0.4626
K16	400	0.0916	0.05063	0.1046	2.2078	1.9120	3.1218	2.2078
K17	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K18	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K19	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K20	400	0.4166	0.04983	0.4196	0.5503	0.4766	0.7781	0.5503
K21	400	0.2966	0.04863	0.3006	0.7682	0.6653	1.0862	0.7682
K22	400	0.2966	0.04863	0.3006	0.7682	0.6653	1.0862	0.7682

Слід зауважити, що звичайно розрахунки КЗ виконують для найнесприятливіших очікуваних умов. Отже, допускаючи, що потужність

енергосистеми необмежена, а напруга в мережі при КЗ залишається незмінною, то діючі значення надперехідного струму КЗ (I''), усталеного (I_∞) та струму трифазного КЗ $I_K^{(3)}$ можна вважати рівними між собою.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Вибір електричних апаратів

При розробці підстанцій і розподільчих пунктів до 1140 В пріоритетом є впровадження сучасних КРП, КТП та новітніх засобів комутації й захисту. Усі апарати, шини та провідники підбирають за номінальними параметрами для тривалої безперебійної роботи, а також обов'язково перевіряють на термічну й динамічну стійкість в умовах аварійних коротких замикань.

При роз'єднувачах за номінальною напругою повинні виконуватись умови:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с}; U_{м.а} \geq U_{р.м.}$$

де $U_{н.а.}$, $U_{н.с}$ - номінальна напруга відповідно апарату, що вибирається та напруга мережі; $U_{р.м.}$ - максимально тривала робоча напруга; $U_{м.а}$ - максимально допустима напруга апарата (можна прийняти для розрядників - $1,25U_{н.}$; для вимикачів, роз'єднувачів, ізоляторів – $1,15 U_{н.}$; для запобіжників, реакторів, трансформаторів струму і напруги, кабелів $1,1 U_{н.}$).

При виборі апаратів за струмом

$$I_{н.а.} \geq I_p;$$

де $I_{н.а.}$ - дається при розрахунковій температурі зовнішнього середовища $\theta_{о.с.} = +35^{\circ}\text{C}$.

Струмоведачі частини й електричні апарати повинні бути динамічно і термічно стійкі при струмах КЗ:

$$I_{\max} \geq I_y \text{ чи } i_{\max} \geq i_y$$

де $I_{\max}$, $i_{\max}$ - діюче значення й амплітуда максимально припустимого струму, що характеризують динамічну стійкість апарата;

I_y , i_y - діюче значення та амплітудне значення ударного струму КЗ

$$I_t \cdot \sqrt{t} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\phi}}$$

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_t - струм термічної стійкості, що даний апарат може витримати без ушкодження протягом t (1...10 с) (приводиться в каталогах); t_ϕ - приймається 0,25 с.

2.6.1. Захист електродвигунів напругою до 1000 в плавкими запобіжниками

Апарати захисту мають гарантовано відсікати аварійні струми КЗ, забезпечуючи безпеку електродвигунів та кабельних ліній, проте залишатися стійкими до хибних спрацьовувань під час пуску двигунів або пікових навантажень у мережі.

Стосовно плавких вставок із низькою термічною інерцією (на основі міді, срібла чи цинку), коректна селективність захисту досягається шляхом дотримання таких розрахункових умов:

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.}$$

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.} / K_n$$

де $I_{п.дв.}$ – пусковий струм електродвигуна; K_n – коефіцієнт короткочасного теплового перевантаження вставки, що враховує умови пуску двигуна.

Для легкого пуску (час розгону не більше 10 с.) $K_n=2,5$; для важкого – часті та затяжні пуски (час розгону більше 10 с.) $K_n=1,6-2,0$; для зварювальних апаратів $K_n=1,6$. Струм плавкої вставки $I_{н.вст.}$ вибирають за шкалою для більшого значення із отриманих за вище наведеними умовами.

Для захисту освітлювального навантаження

$$I_{н.в.} \geq I_{р.о.}$$

де - $I_{р.о.}$ розрахункове навантаження освітлення.

Для захисту первинних обмоток освітлювальних трансформаторів

$$I_{н.в.} \geq (1,2...1,4) \cdot I_{р.т} / K_{тр}$$

де $I_{р.т}$ – розрахунковий струм вторинної обмотки трансформатора.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту

На відміну від одноразових запобіжників, автоматичні вимикачі є апаратами багаторазової дії, що забезпечують вибірковий (селективний) захист мереж. Кожна фаза автомата оснащена розчеплювачем максимального струму, який об'єднує два елементи: тепловий на основі біметалевої пластини, що з витримкою часу відсікає перевантаження, та електромагнітний, який забезпечує миттєву або регульовану за часом відсічку при коротких замиканнях.

На основі каталогів на автомати та технічних умов їх роботи вибір апаратів захисту виконується за трьома нижче наведеними умовами.

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а} \geq U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_k^{(3)};$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата; $I_{в.}$ – граничний струм автомата, що вимикається; $I_k^{(3)}$ – струм трифазного КЗ на входних затискачах автоматичного вимикача

Таблиця 2.12 – Автоматичні вимикачі

Місце встановлення	$I_{н.а.},$ А	I_p, A	$U_{н.а.},$ В	$U_{н.м.},$ В	$I_{в.},$ кА	$1,2 \cdot I_k^{(3)},$ кА	Тип прийнятого апарату
Автоматичні вимикачі							
QF1	160	147.26	400	400	35	5.6856	ВА-89-33
QF2	160	147.26	400	400	35	5.6856	ВА-89-33
QF3	160	147.26	400	400	35	5.6856	ВА-89-33
QF4	8	7.53	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF5	8	6.12	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF6	6	5.04	400	400	4.5	0.8148	ВА-47-29
QF7	13	12.25	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF8	40	34.6	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF9	2	0.99	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF10	6	5.05	400	400	4.5	0.66036	ВА-89-29
QF11	5	3.84	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF12	8	7.53	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF13	6	5.96	400	400	4.5	0.92184	ВА-47-29
QF14	3	2.52	400	400	4.5	0.92184	ВА-47-29
QF15	2	1.53	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF16	2	1.32	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF17	13	10.33	400	400	4.5	0.55512	ВА-47-29
QF18	100	97.2	400	400	10	0.55512	ВА-47-100
QF19	2	1.32	400	400	4.5	2.64936	ВА-47-29
QF20	10	9.25	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF21	1	0.73	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF22	13	10.21	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29

Продовження таблиці 2.12

QF23	1	0.76	400	400	4.5	0.66036	ВА-47-29
QF24	6	5.95	400	400	4.5	0.92184	ВА-47-29
QF25	1	0.18	400	400	4.5	0.92184	ВА-47-29

Таблиця 2.14 – Запобіжники

Місце встановлення	$I_{\text{н.}}$	$I_{\text{вст.}}$	Тип прийнятого апарату
F1	147.26	250	ППН-35
F2	147.26	250	ППН-35

Таблиця 2.15 – Ящики силові

Місце встановлення	$I_{\text{н.}}$	$I_{\text{с.ящ.}}$	Тип прийнятого апарату	Тип запобіжника
РП	147.26	250	ЯПРП - 250	ПН2 - 250

Таблиця 2.16 – Роз'єднувачі

Місце встановлення	$U_{\text{н.}}$ кВ	$I_{\text{р.}}$ А	$I_{\text{н.}}$ А	$I_{\text{т.с.}}$ кА	Тип прийнятого апарату
Q1(ЗС-РП)	10	147.26	630	35	P2215
Q2(ЗС-РП)	10	147.26	630	35	P2215

Висновок ро розділу

У результаті виконання роботи було розроблено проект системи внутрішнього електропостачання та зовнішнього освітлення виробничого цеху та розвантажувального майданчика. Під час проектування було вирішено ряд інженерних завдань, спрямованих на створення надійного, безпечного та енергоефективного електротехнічного комплексу.

На першому етапі проведено світлотехнічні розрахунки за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку. Для освітлення цеху обрано світильники типу ЛСПО2-2·80 з люмінесцентними лампами ЛБ-80, а для відкритого майданчика — прожектори ПЗС-35 з лампами ДРЛ-400. Запропонована схема розташування обладнання забезпечує нормовані рівні освітленості (15 лк та 10 лк відповідно), що відповідає стандартам охорони праці та сприяє зниженню виробничого травматизму.

На основі розрахунку електричних навантажень об'єкта було обґрунтовано вибір трансформаторної підстанції з двома силовими трансформаторами типу ТМ-160/6. Така конфігурація забезпечує необхідний резерв потужності та надійність живлення промислових споживачів.

При проектуванні розподільчої мережі 0,4 кВ було вибрано кабелі марки СБл. Усі перерізи провідників пройшли перевірку за умовами допустимого тривалого нагріву струмом навантаження та за допустимими втратами напруги в лініях, що гарантує стабільну роботу електроприймачів у нормальних режимах. Для захисту мережі від струмів короткого замикання та перевантажень обрано сучасну апаратуру — автоматичні вимикачі серій ВА-89-33 та ВА-47-29, параметри яких відповідають розрахунковим значенням пускових та робочих струмів.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СКРЕБКОВИМ КОНВЕЄРОМ

3.1 Аналіз технологічного процесу та об'єкта керування

Лінія виробництва гранульованого або розсипного комбікорму є багатоступеневим технологічним комплексом, у якому сировина (зернові, шроти, мінеральні добавки, премікси) проходить послідовність операцій — приймання, зважування, подрібнення, дозування, змішування, гранулювання, охолодження та фасування готового продукту. Основний матеріалопотік між технологічними вузлами забезпечується системою транспортувальних механізмів, серед яких ключову роль відіграють скребкові (ланцюгові) конвеєри завдяки своїй здатності транспортувати сипкі матеріали у закритому жолобі в горизонтальному та похилому напрямках без пилоутворення.

Об'єктом керування в даному розділі є скребковий конвеєр поз. СС01 (аналогічно СС02) технологічної лінії виробництва комбікорму продуктивністю 25 т/год. Конвеєр встановлений над групою приймальних силосів S101–S106 і виконує збір сировини з їх випускних патрубків (через шнекові дозатори SC01–SC06) з наступною подачею матеріалу у збірний бункер BW01 перед подальшим технологічним обробленням. Довжина траси транспортування складає 12 м, розміщення — горизонтальне, режим роботи — тривалий з періодичними змінами продуктивності залежно від рецептури комбікорму, що випускається.

Транспортованим матеріалом є гранульований комбікорм з насипною густиною 600 кг/м³, кутом природного укосу 35–40°, абразивністю, характерною для концентрованих кормів.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Спеціальна частина			
Розробив		Шевченко Ю.С.						
Перевірів		Босак А.В.						
Репензент								
Н. Контр.		Кулаковський						
Затвердив		Бойченко			Літ. Арк. Аркушів			
							61	110
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК. гр. ОА-21			

Матеріал не злежується, не схильний до самозаймання, має помірну вологість (12–14 %), що відповідає вимогам ДСТУ 4508:2005.

Конструктивно скребковий конвеєр являє собою жолоб прямокутного перерізу, всередині якого рухається тяговий ланцюг зі скребками, що проштовхують матеріал вздовж жолоба. Привідна станція розміщена у хвостовій частині й містить електродвигун, редуктор та привідну зірочку. На початковій ділянці встановлена натяжна станція з регулюванням натягу ланцюга.

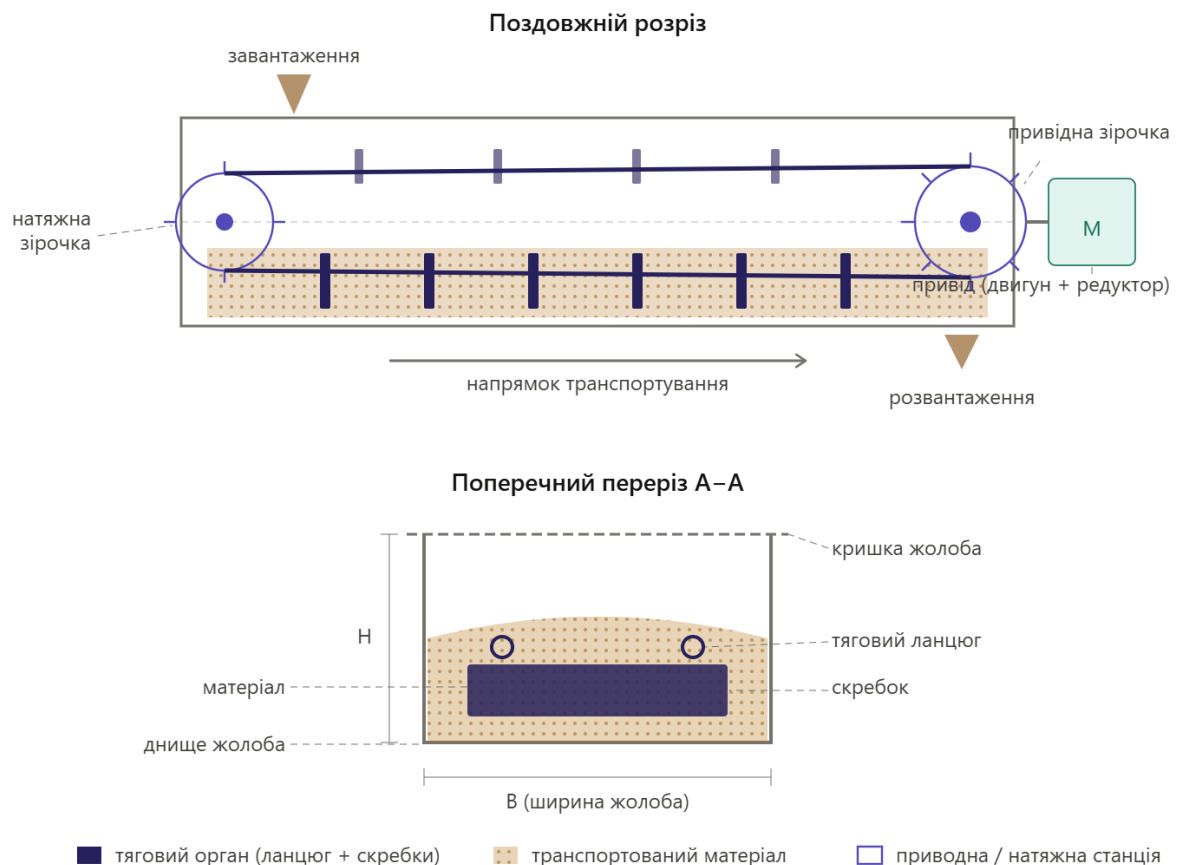


Рис. 3.1. Поперечний переріз з ключовими елементами конструкції

Аналіз існуючої системи електроприводу показує, що на підприємствах галузі домінує підхід з використанням асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, увімкнених безпосередньо у мережу або через схему перемикачання «зірка–трикутник». Такий підхід має ряд принципових недоліків, які обмежують експлуатаційні показники лінії:

— значні пускові струми, у 5–7 разів вищі за номінальні, що спричиняють провали напруги у цеховій мережі та скорочують ресурс комутаційної апаратури;

— ударні навантаження на тяговий ланцюг і приводну зірочку під час пуску, особливо з завантаженим жолобом, що прискорює знос елементів механічної передачі;

— відсутність можливості узгодження поточної продуктивності конвеєра з реальною продуктивністю дозувального обладнання, що призводить до роботи конвеєра з неоптимальним коефіцієнтом наповнення жолоба;

— робота двигуна у режимі значного недозавантаження (за попередньою оцінкою — менше 35 % від номінальної потужності), що супроводжується низьким коефіцієнтом корисної дії та низьким коефіцієнтом потужності;

— відсутність засобів безперервної діагностики стану приводу, внаслідок чого аварійні режими (пробуксовування ланцюга, обрив скребка, заклинювання) виявляються несвоєчасно.

З урахуванням наведених недоліків обґрунтованим є перехід до автоматизованої системи керування на основі частотно-регульованого електроприводу з адаптивним формуванням завдання швидкості руху тягового органа відповідно до поточного технологічного стану лінії. Такий підхід дозволяє одночасно досягти декількох цілей: знизити питому витрату електроенергії на тонну транспортованого продукту, забезпечити плавні пуско-гальмівні режими з обмеженням динамічних навантажень, реалізувати функції безперервної діагностики та інтегрувати конвеєр у загальну автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва комбікорму.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Теоретичні основи електроприводу скребкового конвеєра

3.2.1 Особливості скребкового конвеєра як об'єкта електромеханічного перетворення енергії

Скребковий конвеєр являє собою транспортну машину з тягово-несучим органом у вигляді нескінченного ланцюга зі встановленими на ньому скребками (лопатками). Принцип дії полягає у волочінні матеріалу скребками уздовж жолоба, причому матеріал рухається як загальною масою, так і у зазорах між скребками за рахунок внутрішнього тертя.

На відміну від стрічкового конвеєра, у скребкового значно вищі питомі опори руху, що обумовлено тертям ланцюга та скребків по днищу жолоба, а також тертям транспортованого матеріалу. Коефіцієнт опору для скребкових конвеєрів становить 0,10–0,15 для ланцюга по сталевому жолобу проти 0,02–0,04 для роликового стрічкового конвеєра. Водночас скребковий конвеєр має суттєві переваги: повна герметизація траси, можливість транспортування по складній траєкторії, менша ширина при однаковій продуктивності, відсутність проблеми сходження стрічки.

З точки зору електроприводу скребковий конвеєр характеризується такими особливостями:

1) Момент опору на валу приводної зірочки має переважно сталий характер (реактивний момент), пропорційний масі матеріалу в жолобі. Залежність моменту від швидкості слабка, тобто характеристика навантаження близька до $M = \text{const}$.

2) Момент інерції приведений до вала двигуна порівняно великий через значну масу рухомих частин (ланцюг + скребки + матеріал), що визначає тривалість перехідних процесів.

3) Статичний момент опору при пуску (рушанні з місця із завантаженим жолобом) може у 1,5–2 рази перевищувати усталене значення через необхідність подолання статичного тертя та «зрушення» матеріалу.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Ланцюгова передача схильна до передачі динамічних ударів від двигуна до ведених ланок, тому швидкі зміни швидкості або моменту двигуна небажані з точки зору ресурсу механічної частини.

Ці особливості висувають конкретні вимоги до системи електроприводу: забезпечення підвищеного пускового моменту, плавне керування швидкістю, обмеження темпу зміни моменту та швидкості, можливість роботи з номінальним моментом у широкому діапазоні частот обертання.

3.2.2 Математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Як двигун приводу скребкового конвеєра застосовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором завдяки його простоті конструкції, надійності, відсутності щітково-колекторного вузла та низькій вартості в порівнянні з двигунами інших типів. Для побудови системи керування і проведення моделювання необхідний адекватний математичний опис двигуна.

Повна математична модель трифазного асинхронного двигуна у нерухомій системі координат описується системою диференціальних рівнянь шостого порядку, що включає рівняння напруг статора і ротора у кожній фазі. Для спрощення аналізу і синтезу систем керування застосовують перетворення до системи координат, що обертається разом з певним вектором (синхронною системою dq). У такій системі усталені режими описуються алгебраїчними рівняннями, а змінні величини — стаціонарні, що істотно спрощує розрахунки.

Рівняння напруг асинхронного двигуна у синхронно обертовій системі координат dq мають вигляд:

$$u_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\Psi_{sd}}{dt} - \omega_e \cdot \Psi_{sq}, \quad (3.1)$$

$$u_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\Psi_{sq}}{dt} + \omega_e \cdot \Psi_{sd}, \quad (3.2)$$

$$0 = R_r \cdot i_{rd} + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega_e - \omega_r \cdot p) \cdot \Psi_{rq}, \quad (3.3)$$

$$0 = R_r \cdot i_{rq} + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + (\omega_e - \omega_r \cdot p) \cdot \Psi_{rd}. \quad (3.4)$$

Рівняння потокозчеплень:

$$\Psi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + L_m \cdot i_{rd}, \quad (3.5)$$

$$\Psi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + L_m \cdot i_{rq}, \quad (3.6)$$

$$\Psi_{rd} = L_r \cdot i_{rd} + L_m \cdot i_{sd}, \quad (3.7)$$

$$\Psi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + L_m \cdot i_{sq}. \quad (3.8)$$

Електромагнітний момент, що розвивається двигуном:

$$M_{em} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot (i_{sq} \cdot i_{rd} - i_{sd} \cdot i_{rq}). \quad (3.9)$$

Рівняння руху ротора з урахуванням моменту опору:

$$J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = M_{em} - M_c. \quad (3.10)$$

У наведених рівняннях: u_{sd}, u_{sq} — напруги статора; $i_{sd}, i_{sq}, i_{rd}, i_{rq}$ — струми статора та ротора; $\Psi_{sd}, \Psi_{sq}, \Psi_{rd}, \Psi_{rq}$ — потокозчеплення; R_s, R_r — активні опори; $L_s, L_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}$ — індуктивності; ω_e, ω_r — частота поля та швидкість ротора; p — кількість пар полюсів; J — момент інерції; M_c — момент опору.

Для усталених режимів на основі системи (3.1–3.10) можна отримати спрощену Т-подібну схему заміщення однієї фази двигуна, через яку обчислюються параметри усталеної роботи: пусковий момент, критичний момент, критичне ковзання, механічна характеристика. Залежність електромагнітного моменту від ковзання описується формулою Клосса:

$$M(s) = (2 \cdot M_k) / (s/s_k + s_k/s), \quad (3.11)$$

де M_k — критичний (максимальний) момент; s_k — критичне ковзання.

Формула Клосса є зручним інженерним інструментом для побудови механічної характеристики без розв'язання повної системи (3.1–3.10) і широко використовується у розрахунках приводів.

3.2.3 Принципи частотного керування асинхронним двигуном

Регулювання швидкості асинхронного двигуна здійснюється шляхом зміни частоти живлячої напруги. Якщо змінювати лише частоту, зберігаючи амплітуду напруги постійною, то зі зменшенням частоти пропорційно зменшується індуктивний опір обмоток ($X = \omega \cdot L$), що призводить до зростання магнітного потоку у сталі, насичення магнітопроводу та різкого збільшення струму намагнічування. Щоб уникнути цього, амплітуду напруги змінюють пропорційно частоті, підтримуючи співвідношення $U/f = \text{const}$, що еквівалентне сталості магнітного потоку.

Залежно від способу реалізації закону керування, частотне керування поділяється на скалярне та векторне.

При скалярному керуванні регулюються лише модулі (амплітуди) напруги і частоти за певним наперед заданим законом U/f . Система керування оперує трьома скалярними величинами — заданою частотою, розрахованою за законом напругою і фазою. Це найпростіший тип керування, який не вимагає точних відомостей про параметри двигуна та датчиків зворотного зв'язку за швидкістю. Скалярне керування забезпечує задовільну точність регулювання швидкості (5–8 % ковзання) і придатне для переважної більшості приводів механізмів із сталим або слабо залежним від швидкості навантаженням — конвеєрів, вентиляторів, насосів.

Закон $U/f = \text{const}$ у чистому вигляді має суттєвий недолік: на низьких частотах (менше 10–15 Гц) падіння напруги на активному опорі статора R_s стає сумірним з номінальним значенням напруги, через що фактичний магнітний потік зменшується і пусковий момент падає. Для компенсації цього явища застосовують закон з буст-компенсацією:

$$U(f) = U_0 + (U_n - U_0) \cdot \frac{f}{f_n}, \quad (3.12)$$

де U_0 — стартова напруга (буст), що задається у межах 5–15 % від номінальної фазної напруги.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Значення U_0 компенсує падіння напруги на R_s і забезпечує необхідний момент у зоні низьких частот, зокрема номінальний пусковий момент, що критично важливо для конвеєрів при пуску з завантаженим жолобом.

Векторне керування передбачає роздільне регулювання потокоутворюючої і моментоутворюючої складових струму статора у системі координат, прив'язаній до вектора потокозчеплення ротора. Цей тип керування забезпечує значно кращу динаміку (час відгуку на завдання моменту — десятки мілісекунд), точність підтримки швидкості (0,1–1 %) і можливість роботи з номінальним моментом на нульовій швидкості. Однак векторне керування вимагає точного знання параметрів двигуна, наявності датчика швидкості (або якісного спостерігача) і значно складнішого програмного забезпечення.

Для приводу скребкового конвеєра, де вимоги до динаміки помірні, а характеристика навантаження близька до сталої, обґрунтованим є застосування скалярного керування за законом U/f з компенсацією падіння на R_s . Це рішення поєднує достатню для технологічних потреб точність з мінімальною вартістю й простотою налаштування.

3.2.4 Структура частотного перетворювача

Сучасний частотний перетворювач (ПЧ) являє собою статичний напівпровідниковий пристрій з подвійним перетворенням енергії за схемою «випрямляч — ланка постійного струму — інвертор». На вході розміщено некерований трифазний діодний випрямляч, який перетворює змінну напругу мережі на постійну пульсуючу. У ланці постійного струму встановлено фільтр (конденсатори великої ємності), який згладжує пульсації і створює стабільну напругу на входах інвертора. Інверторна частина виконана на IGBT-транзисторах, які за сигналами системи керування комутують напругу постійного струму на обмотки двигуна за алгоритмом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк. 70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота ШІМ зазвичай складає 2–16 кГц. Вищі частоти дають кращу форму кривої струму (ближчу до синусоїдальної) і менший акустичний шум двигуна, але збільшують комутаційні втрати у транзисторах. Для приводів малої та середньої потужності (до 22 кВт) оптимальним є діапазон 4–8 кГц.

Система керування перетворювачем будується на основі мікроконтролера або цифрового сигнального процесора, який реалізує алгоритм керування (скалярний U/f або векторний), формує завдання для ШІМ-модулятора, виконує функції захисту (струмовий захист, захист від перенапруги у ланці постійного струму, тепловий захист) та забезпечує комунікацію з зовнішньою системою керування через послідовні інтерфейси (Modbus RTU, Profibus, EtherNet/IP).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок параметрів електромеханічної системи

3.3.1 Вихідні дані для розрахунку

Для проведення розрахунків прийнято такі вихідні дані, обґрунтовані за результатами аналізу технологічної схеми (рис. 3.1) та довідникових даних для комбікормового виробництва:

Таблиця 3.1 — Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Продуктивність конвеєра	Q	25	т/год
Довжина траси транспортування	L	12	м
Кут нахилу траси	β	0	град
Швидкість тягового ланцюга	v	0,4	м/с
Насипна густина комбікорму	ρ	600	кг/м ³
Коефіцієнт опору руху ланцюга	w	0,13	—
Коефіцієнт опору руху матеріалу	w'	0,40	—
Коефіцієнт наповнення жолоба	ψ	0,75	—
Крок скребків	$t_{ск}$	0,25	м
ККД механічної передачі	$\eta_{мех}$	0,85	—
Погонна маса тягового органа	$q_{то}$	8,0	кг/м

3.3.2 Розрахунок тягового зусилля та потужності приводу

Погонне навантаження від транспортованого продукту визначається за формулою:

$$q_{\text{пр}} = \frac{q}{3,6 \cdot v}. \quad (3.13)$$

Підставляючи значення:

$$q_{\text{пр}} = \frac{25}{3,6 \cdot 0,4} = 17,36 \text{ кг/м}. \quad (3.14)$$

Сумарне погонне навантаження на жолоб:

$$q_{\Sigma} = q_{\text{пр}} + q_{\text{то}} = 17,36 + 8,0 = 25,36 \text{ кг/м}. \quad (3.15)$$

Для горизонтального скребкового конвеєра тягове зусилля на привідній зірочці визначається сумою опорів руху ланцюга зі скребками та опору переміщенню матеріалу:

$$F = L \cdot g \cdot [(q_{\text{пр}} + q_{\text{то}}) \cdot w + q_{\text{пр}} \cdot w']. \quad (3.16)$$

Підставляючи значення:

$$F = 12 \cdot 9,81 \cdot [(17,36 + 8) \cdot 0,13 + 17,36 \cdot 0,40]. \quad (3.17)$$

$$F = 117,72 \cdot [3,297 + 6,944] = 117,72 \cdot 10,24 \approx 1205 \text{ Н}. \quad (3.18)$$

Потужність на валу приводної зірочки:

$$P_{\text{вал}} = F \cdot v = 1205 \cdot 0,4 = 482 \text{ Вт} = 0,48 \text{ кВт}. \quad (3.19)$$

Необхідна потужність двигуна з урахуванням ККД механічної передачі та коефіцієнта запасу $k_z = 1,25$:

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_z \cdot P_{\text{вал}}}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{1,25 \cdot 0,48}{0,85} = 0,71 \text{ кВт} \quad (3.20)$$

Розрахункова потужність двигуна складає 0,71 кВт. У технологічній схемі лінії (специфікація обладнання) для конвеєрів СС01–СС02 встановлено асинхронні двигуни потужністю 2,2 кВт кожен. Таким чином, існуючий двигун має значний запас потужності: коефіцієнт завантаження складає $k_{\text{зав}} = 0,71/2,2 = 0,32$, тобто у номінальному режимі роботи лінії двигун використовується лише на 32 % своєї потужності. Ця обставина є типовою для виробничого обладнання — двигуни обираються з запасом «на випадок» перевантажень і нерозрахункових режимів.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме значний недозавантаження двигуна робить особливо ефективним застосування частотно-регульованого приводу, оскільки дозволяє узгодити споживану потужність з реальним технологічним завантаженням.

4.3.3 Вибір та перевірка електродвигуна

Для приводу скребкового конвеєра обираємо трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серії АИР90L4 (або аналог закордонного виробництва), номінальні дані якого наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Технічні характеристики двигуна АИР90L4

Параметр	Позначення	Значення
Номінальна потужність	P_n	2,2 кВт
Номінальна лінійна напруга	U_n	380 В
Номінальна частота мережі	f_n	50 Гц
Синхронна частота обертання	n_0	1500 об/хв
Номінальна частота обертання	n_n	1425 об/хв
Номінальне ковзання	s_n	0,05
Номінальний струм статора	I_n	4,7 А
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi$	0,83
Номінальний ККД двигуна	$\eta_{\partial\partial}$	0,81
Кратність пускового моменту	M_p/M_n	2,0
Кратність максимального моменту	M_k/M_n	2,3
Кратність пускового струму	I_p/I_n	6,5
Момент інерції ротора	J_p	0,0056 кг·м ²
Число пар полюсів	p	2

Номинальний момент двигуна:

$$\omega_{м.н} = \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1425}{60} = 149,2 \text{ рад/с.} \quad (3.21)$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_{м.н}} = \frac{2200}{149,2} = 14,75 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.22)$$

Критичний (максимальний) момент:

$$M_k = 2,3 \cdot M_n = 2,3 \cdot 14,75 = 33,93 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.23)$$

Критичне ковзання визначається з формули Клосса:

$$s_k = s_n \cdot \left[\frac{M_k}{M_n} + \sqrt{\left(\frac{M_k}{M_n} \right)^2 - 1} \right] = 0,05 \cdot (2,3 + \sqrt{4,29}) = 0,218. \quad (3.24)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення двигуна АИР90L4 для моделювання, отримані за довідниковими даними та методикою наближеного розрахунку (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 — Параметри схеми заміщення

Параметр	Позначення	Значення
Активний опір обмотки статора	R_s	3,35 Ом
Приведений активний опір ротора	$R'_{r'}$	2,64 Ом
Індуктивність розсіювання статора	L_{ls}	0,0127 Гн
Приведена індуктивність розсіювання ротора	L'_{lr}	0,0127 Гн
Взаємна (намагнічуюча) індуктивність	L_m	0,28 Гн
Повна індуктивність статора	$L_s = L_{ls} + L_m$	0,2927 Гн
Повна індуктивність ротора	$L_r = L'_{lr} + L_m$	0,2927 Гн

3.3.4 Розрахунок моменту інерції, приведенного до валу двигуна

Для розрахунку динамічних режимів необхідно обчислити сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна. Він включає момент інерції ротора двигуна, редуктора та еквівалентну інерцію рухомих мас конвеєра (ланцюг, скребки, матеріал).

2v зірочки при номінальній швидкості ланцюга:

$$\omega_{3B} = \frac{2v}{D_{3B}} = \frac{(2 \cdot 0,4)}{0,25} = 3,2. \quad (3.25)$$

Необхідне передаточне число редуктора:

$$i_p = \frac{\omega_{M.H}}{\omega_{3B}} = \frac{149,2}{3,2} = 46,6. \quad (3.26)$$

Обираємо стандартний редуктор з передаточним числом $i_p = 47$ (наприклад, циліндричний двоступінчастий редуктор Ц2-125-47 або мотор-редуктор з передаточним числом з ряду Ra 10).

Маса рухомих частин (ланцюг зі скребками + матеріал у жолобі):

$$m_{рух} = (q_{mo} + q_{np}) \cdot L = (8 + 17,36) \cdot 12 = 304,3 \text{ кг} \quad (3.27)$$

Момент інерції цієї маси, приведений до валу приводної зірочки:

$$J_{3B} = m_{рух} \cdot \left(\frac{D_{3B}}{2}\right)^2 = 304,3 \cdot 0,125^2 = 4,76 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.28)$$

Приведення до валу двигуна через передаточне число (з урахуванням квадратичного множника):

$$J_{np} = \frac{J_{3B}}{i_p^2} = \frac{4,76}{47^2} = 0,0021 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.29)$$

Приймаємо момент інерції редуктора $J_{ред} = 0,002 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна:

$$J_{\Sigma} = J_p + J_{np} + J_{ред} = 0,0056 + 0,0021 + 0,002 = 0,0097 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.30)$$

Момент опору на валу двигуна у номінальному режимі:

$$M_c = \frac{F \cdot \left(\frac{D_{3B}}{2}\right)}{i_p \cdot \eta_{мех}} = \frac{1205 \cdot 0,125}{47 \cdot 0,85} = 3,77 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.31)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна за моментом:

$$k_M = \frac{M_c}{M_H} = \frac{3,77}{14,75} = 0,256 \quad (3.32)$$

Таким чином, у номінальному технологічному режимі двигун завантажений на 25,6 % за моментом і на 32 % за потужністю, що вкотре підтверджує значний потенціал для оптимізації шляхом частотного регулювання.

4.4 Розрахунок параметрів та вибір частотного перетворювача

Вибір частотного перетворювача здійснюється за номінальною потужністю двигуна з урахуванням перевантажувальної здатності для забезпечення стабільної роботи у перехідних режимах. Розрахунковий струм ПЧ:

$$I_{\text{ПЧ}} \geq k_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} = 1,1 \cdot 4,7 = 5,17 \text{ А}, \quad (3.33)$$

де $k_{\text{п}} = 1,1$ — коефіцієнт запасу за струмом.

На основі розрахунку обираємо частотний перетворювач Schneider Electric Altivar ATV320U22N4 з наступними характеристиками: номінальна потужність 2,2 кВт, напруга живлення 380–480 В (три фази), вихідний номінальний струм 5,5 А, максимальний короткочасний струм 8,3 А (150 % на 60 с), діапазон вихідних частот 0,1–500 Гц, частота ШІМ 2–16 кГц, вбудовані функції векторного керування, інтерфейс Modbus RTU. Альтернативами, прийнятними за технічними показниками, є Danfoss VLT FC51, ABB ACS310, Hitachi WJ200, ОВЕН ПЧВ3 (українське виробництво).

Основні параметри ПЧ, що конфігуруються при введенні в експлуатацію:

Таблиця 3.4 — Параметри налаштування частотного перетворювача

Параметр	Значення
Тип керування	Скалярне U/f з буст-компенсацією
Буст напруги на низьких частотах	8 % від $U_{\text{н}}$
Мінімальна вихідна частота	5 Гц
Максимальна вихідна частота	50 Гц
Темп розгону (0 → 50 Гц)	5 с
Темп гальмування (50 → 0 Гц)	5 с
Частота ШІМ	4 кГц
Крива пуску	S-подібна (смягчена)

Гальмівний резистор	Не потрібний (навантаження не генераторне)
Струмовий захист (миттєвий)	$1,5 \cdot I_n = 7,05 \text{ A}$
Тепловий захист двигуна (I^2t)	Активований

Напруга буст-компенсації обчислюється як:

$$U_0 = 0,08 \cdot U_\phi = 0,08 \cdot 220 = 17,6 \text{ В.} \quad (3.34)$$

Закон U/f з компенсацією:

$$U(f) = 17,6 + (220 - 17,6) \cdot \frac{f}{50} = 17,6 + 4,048 \cdot f, \quad (3.35)$$

де f — вихідна частота у Гц; $U(f)$ — фазна напруга у В.

3.5 Розробка структури автоматизованої системи керування

3.5.1 Функціональні вимоги до АСК

Автоматизована система керування скребковим конвеєром повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- 1) Автоматичний плавний пуск і зупинка приводу з обмеженням темпу розгону/гальмування для зниження динамічних навантажень на тяговий ланцюг.
- 2) Регулювання швидкості руху тягового органа в діапазоні від 10 до 100 % від номінальної з метою узгодження продуктивності конвеєра з фактичним технологічним завантаженням лінії.
- 3) Безперервний контроль швидкості тягового ланцюга з виявленням пробуксовування (розходження між заданою та фактичною швидкостями понад 10 %).
- 4) Контроль рівня матеріалу у приймальному та розвантажувальному бункерах з автоматичною блокіровкою пуску конвеєра при переповненому розвантажувальному бункері.
- 5) Моніторинг теплового режиму приводу (температура підшипникових вузлів, температура двигуна за вбудованими термодавачами).
- 6) Аварійний захист (електромагнітна сумісність, захист від струмів короткого замикання, теплові захисти, захист від обриву фази, захист від понижень напруги мережі).
- 7) Реалізація локальних аварійних впливів від тросових вимикачів, розміщених уздовж траси конвеєра відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.62-12.
- 8) Збереження журналу технологічних параметрів і аварійних подій з глибиною архіву не менше 30 діб.
- 9) Інтеграція з верхнім рівнем АСУ ТП лінії через промисловий інтерфейс для передачі інформації про стан конвеєра та прийому завдань продуктивності.
- 10) Забезпечення трьох режимів роботи: ручний налагоджувальний (з місцевого поста), автоматичний локальний (за уставками з панелі оператора), автоматичний дистанційний (за завданням з верхнього рівня АСУ ТП).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

3.5.2 Ієрархічна структура АСК

Автоматизована система керування побудована за класичним трирівневим принципом, прийнятим у сучасній промисловій автоматизації:

Нижній (польовий) рівень — включає виконавчі механізми та первинні засоби вимірювання: електродвигун, частотний перетворювач, датчики швидкості ланцюга, рівня у бункерах, температури підшипникових вузлів, давач струму, тросові аварійні вимикачі. Обмін даними між польовим обладнанням та контролером здійснюється аналоговими сигналами 4–20 мА, дискретними сигналами 24 В DC та цифровим інтерфейсом Modbus RTU.

Середній (контрольний) рівень — реалізований на базі програмованого логічного контролера (ПЛК), який виконує усі функції керування, захистів, діагностики та комунікації. ПЛК зчитує сигнали польового обладнання, обробляє їх за програмою, формує керуючі впливи та передає їх до виконавчих пристроїв, зокрема на частотний перетворювач.

Верхній (інформаційний) рівень — станція оператора з SCADA-системою, що виконує функції візуалізації технологічного процесу, архівування даних, формування звітів, керування рецептурами та координації роботи конвеєра з рештою технологічних вузлів лінії. На верхньому рівні реалізовано також ведення журналу подій та аварій для потреб виробничого контролю та сертифікації якості.

3.5.3 Вибір програмованого логічного контролера

Для реалізації АСК скребкового конвеєра обираємо програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC. Вибір зумовлений такими чинниками: широке розповсюдження на території України та наявність локальної технічної підтримки, повна лінійка модулів вводу-виводу, розвинуте середовище програмування TIA Portal, підтримка промислових інтерфейсів Profinet та Modbus, відповідна продуктивність (час виконання

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

бітової операції — 0,08 мкс), достатня кількість вбудованих дискретних входів (14) та виходів (10), підтримка аналогових входів через сигнальні плати.

Склад периферійних модулів:

- CPU 1214C DC/DC/DC — 14 DI, 10 DQ, 2 AI 0–10 В (вбудовані);
- Модуль SM 1231 AI 4×13 біт — для підключення струмових аналогових сигналів 4–20 мА;
- Модуль CM 1241 RS485 — для Modbus-комунікації з частотним перетворювачем;
- Комунікаційний процесор CP 1243-1 — для підключення до Industrial Ethernet та верхнього рівня АСК.

Модуль SIMATIC HMI KTP700 Basic — кольорова сенсорна панель оператора 7 дюймів для локального керування та візуалізації. Зв'язок з ПЛК через Profinet.

3.5.4 Функціональна схема автоматизації

Структурна схема автоматизованої системи керування скребковим конвеєром зображена на рис. 3.2.

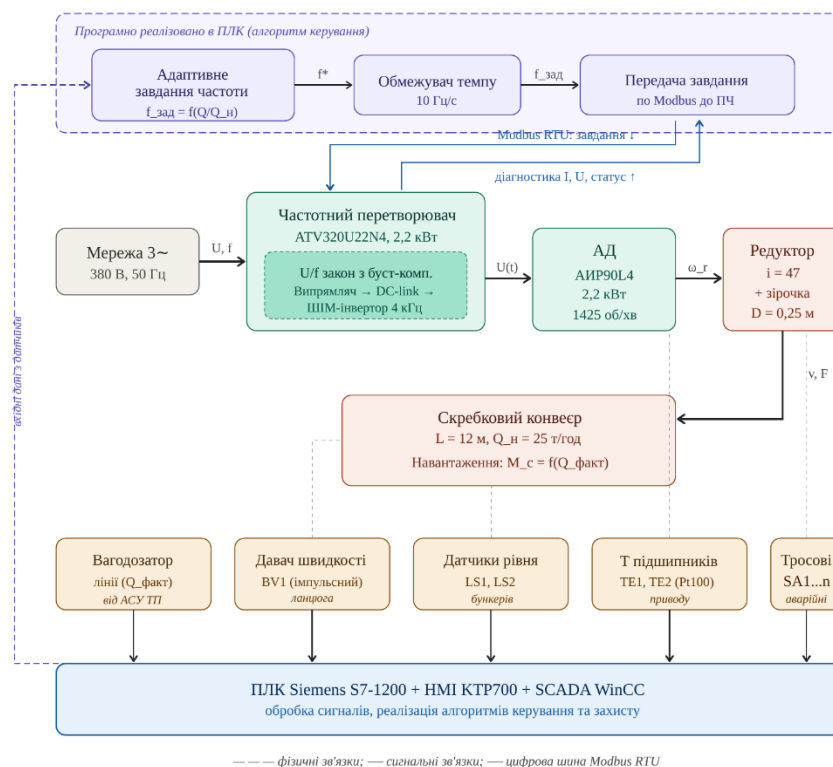


Рис. 3.2. Структурна схема автоматизованої системи керування скребковим конвеєром

Основні функціональні зв'язки:

1) Електродвигун М1 отримує живлення від частотного перетворювача ПЧ через контактор К1 (силовий, додатковий з боку ПЧ для ізоляції під час технічного обслуговування).

2) Частотний перетворювач ПЧ керується ПЛК по цифровому інтерфейсу Modbus RTU: завдання частоти, команди пуск/стоп, читання діагностичних параметрів (струм, напруга, частота, стан захистів).

3) Давач швидкості BV1 — індуктивний датчик, встановлений біля приводної зірочки, формує імпульси, частота яких пропорційна швидкості тягового ланцюга. Сигнал подається на швидкий лічильник ПЛК для обчислення фактичної швидкості.

4) Датчики рівня LS1 (приймальний бункер), LS2 (розвантажувальний бункер) — сигналізатори рівня ємнісного або вібраційного типу з дискретним виходом.

5) Давачі температури TE1, TE2 — термоопори Pt100 у підшипникових вузлах приводної та хвостової станцій, підключаються через перетворювачі з виходом 4–20 мА.

6) Тросові аварійні вимикачі SA1–SAn, розміщені з кроком 10–15 м уздовж траси, підключаються дискретно за схемою «нормально замкнений контакт у розриві кола пуску».

7) Вагодозатор на вході лінії (зовнішнє обладнання) передає сигнал поточної продуктивності через верхній рівень АСУ ТП до ПЛК конвеєра для розрахунку адаптивного завдання швидкості.

4.5.5 Алгоритм адаптивного керування швидкістю

Ключовим елементом АСК є алгоритм адаптивного керування, що формує завдання швидкості руху тягового органа залежно від поточної продуктивності лінії. Мета алгоритму — підтримувати оптимальне наповнення жолоба $\psi \approx 0,75–0,9$ при будь-якому реальному навантаженні, забезпечуючи мінімальну питому витрату електроенергії на тонну транспортованого продукту.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Математичне формулювання алгоритму:

$$v_{зад} = v_n \cdot \frac{Q_{факт}}{Q_n} \cdot k_{запас}, \quad (3.36)$$

де $v_{зад}$ — задана швидкість тягового ланцюга; v_n — номінальна швидкість; $Q_{факт}$ — фактична продуктивність лінії (поточні покази вагодозатора); Q_n — номінальна продуктивність; $k_{запас} = 1,1$ — коефіцієнт запасу для уникнення переповнення жолоба в динамічних режимах.

Зворотним перетворенням через діаметр приводної зірочки та передаточне число редуктора отримуємо задану частоту обертання двигуна, яка передається на ПЧ як уставка вихідної частоти:

$$f_{зад} = f_n \cdot \frac{v_{зад}}{v_n} = 50 \cdot \frac{Q_{факт}}{Q_n} \cdot k_{запас}. \quad (3.37)$$

Обмеження:

- $f_{зад} \geq f_{min} = 5$ Гц (нижній поріг забезпечує стабільне транспортування та охолодження двигуна самовентиляцією);
- $f_{зад} \leq f_{max} = 50$ Гц (верхній поріг — номінальна частота);
- темп зміни $f_{зад}$ обмежено значенням 10 Гц/с для запобігання ударним навантаженням на ланцюг.

Алгоритм роботи ПЛК для автоматизації тягового приводу:

1. **Зчитування вхідних даних.** Отримання значення фактичної продуктивності $Q_{факт}$ від вагодозатора через протокол Modbus TCP/RTU від верхнього рівня АСУ ТП.

2. **Розрахунок базової частоти.** Обчислення теоретично необхідної частоти завдання за формулою:

$$f_{баз} = 50 \cdot \frac{Q_{факт}}{Q_n} \cdot k_{запас}.$$

3. **Логічне обмеження діапазону.** Перевірка розрахованого значення на відповідність технологічним межам:

$$f_{баз} = \max(f_{min}, \min(f_{max}, f_{баз})).$$

4. **Динамічна стабілізація.** Пропускання сигналу через блок обмеження темпу зміни частоти (Rate Limiter) для уникнення динамічних ударів:

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left| \frac{df_{\text{зад}}}{dt} \right| \leq 10 \text{ Гц/с.}$$

5. **Передача команди.** Запис отриманого значення $f_{\text{зад}}$ у відповідний регістр частотного перетворювача (ПЧ) через мережу Modbus.

6. **Зворотний зв'язок та діагностика** Циклічне читання фактичних параметрів з ПЧ ($f_{\text{факт}}$, $I_{\text{факт}}$, слово стану аварій) для візуалізації на НМІ-панелі та формування сигналів захисту.

Цикл виконується у основному програмному скані ПЛК з періодом 100 мс, що є достатнім для інерційного технологічного процесу.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціональна структура моделі включає такі блоки:

- блок задання технологічного навантаження (Signal Builder) — формує ступінчастий профіль відносного завантаження конвеєра $Q(t)/Q_n$;
- блок розрахунку адаптивного завдання частоти — реалізує формулу (4.36)–(4.37) з обмеженням темпу зміни;
- блок генератора U/f — формує амплітуду фазної напруги за законом (4.35) з буст-компенсацією;
- блок трифазного джерела напруги (Controlled Voltage Source $\times 3$) — генерує симетричну трифазну напругу змінної амплітуди та частоти;
- блок асинхронного двигуна (Asynchronous Machine SI Units) з параметрами таблиці 4.3;
- блок моделі механіки конвеєра — формує момент опору $M_c(k, \omega_r)$ відповідно до поточного завантаження;
- блоки вимірювання та візуалізації (Scope, To Workspace) — фіксують струми, швидкість, момент, потужність.

3.6.3 Результати моделювання

На рис. 3.4 показана теоретична механічна характеристика двигуна АИР90L4, побудована за формулою Клосса (3.11), з позначенням номінальної робочої точки ($M_n = 14,75 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при $s_n = 0,05$) та поточного моменту опору ($M_c = 3,77 \text{ Н}\cdot\text{м}$). Видно, що робоча точка розташована у зоні значного недозавантаження — двигун працює при ковзанні, значно меншому від номінального, що знижує його ККД.

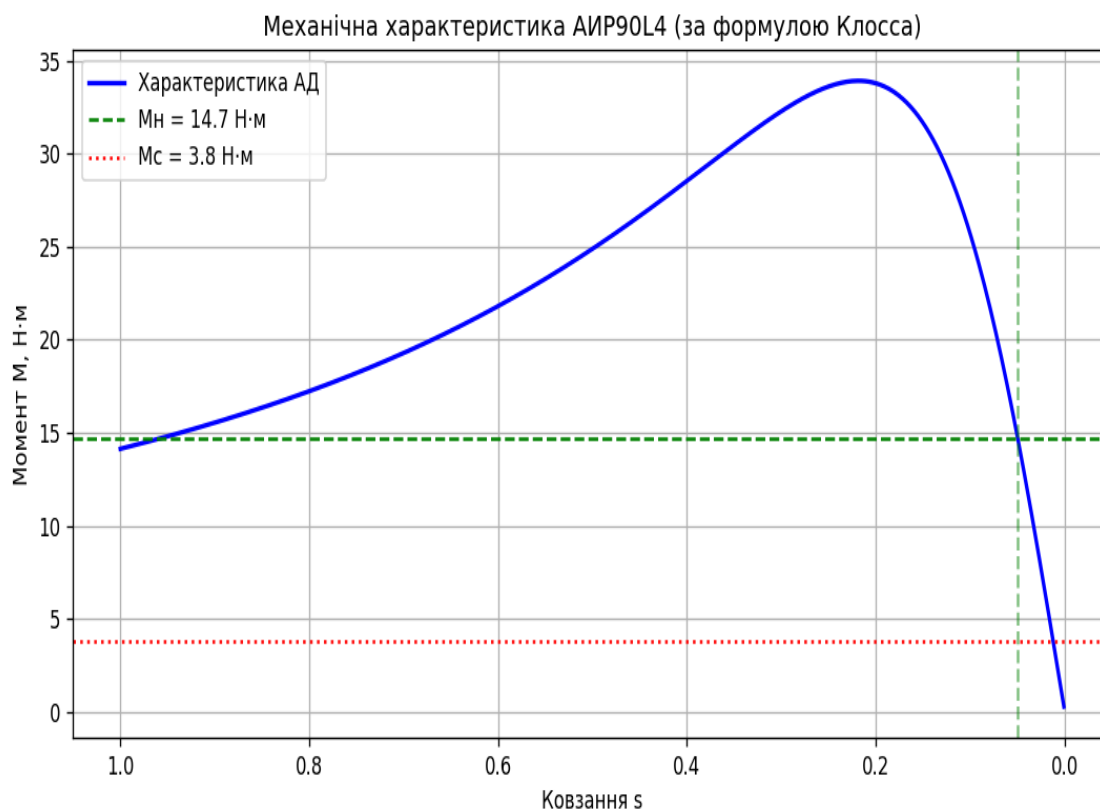


Рис.3.4. Механічна характеристика двигуна АИР90L4

На рис. 3.5 порівняно перехідні процеси при прямому пуску та пуску через ПЧ. Встановлено такі кількісні результати:

- прямий пуск: пусковий струм досягає 24 А ($5,1 \cdot I_n$), електромагнітний момент — 38,5 Н·м ($2,6 \cdot M_n$), час розгону — 0,2 с;
- пуск через ПЧ: максимальний струм у перехідному процесі не перевищує 5,2 А ($1,1 \cdot I_n$), момент — у межах 4,5 Н·м (в зоні усталеного режиму), тривалість розгону — 5 с відповідно до заданого темпу.

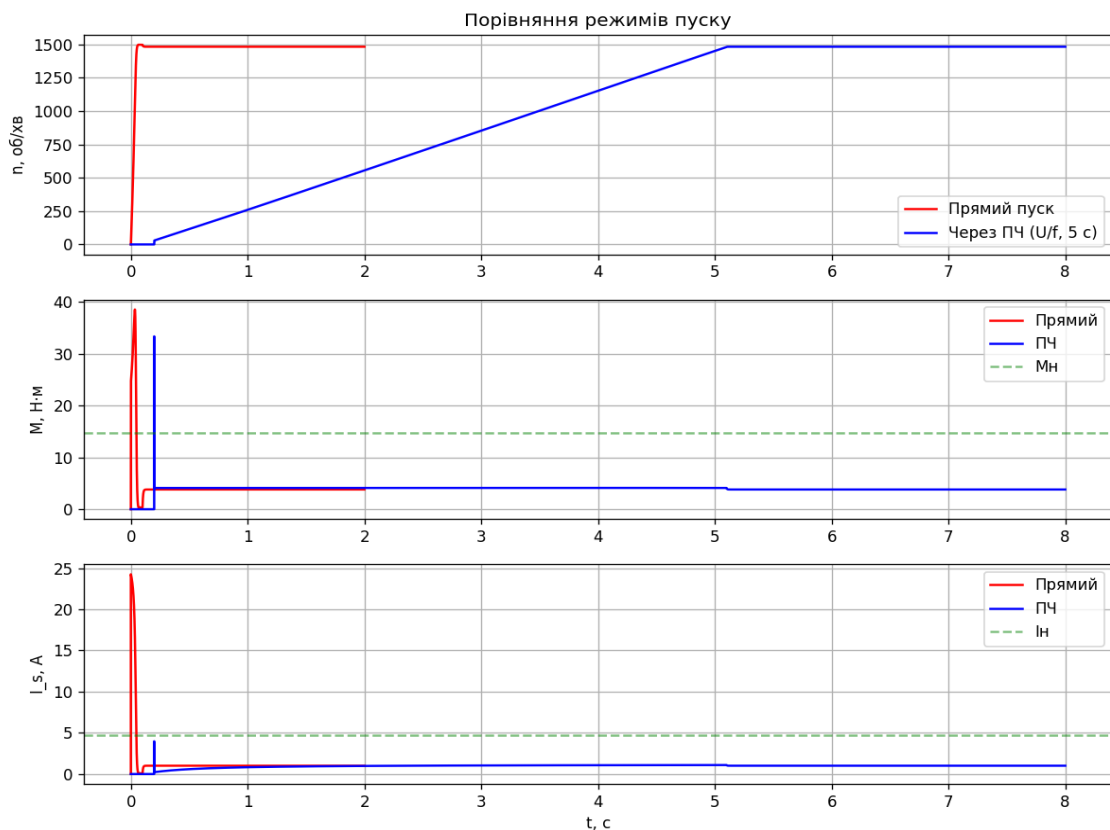


Рис. 3.5. Порівняння перехідних процесів пуску: прямий пуск vs пуск через ПЧ

Таким чином, застосування частотного перетворювача дозволяє зменшити пусковий струм у 4,6 рази, пусковий момент — у 2,3 рази, що має наступні практичні наслідки: виключення провалів напруги у цеховій мережі під час пуску, суттєве зниження ударних навантажень на тяговий ланцюг і редуктор, збільшення міжремонтного ресурсу елементів механічної передачі.

На рис. 3.6 представлені результати моделювання роботи електроприводу в режимі адаптивного керування за профілем зміни продуктивності лінії, що включає чотири різних рівні завантаження: 100 %, 60 %, 40 % (мінімальне) та 80 %. Задана частота плавно слідує за завданням продуктивності з обмеженням темпу зміни, швидкість двигуна та швидкість тягового ланцюга змінюються пропорційно, а споживана потужність падає зі зменшенням завантаження.

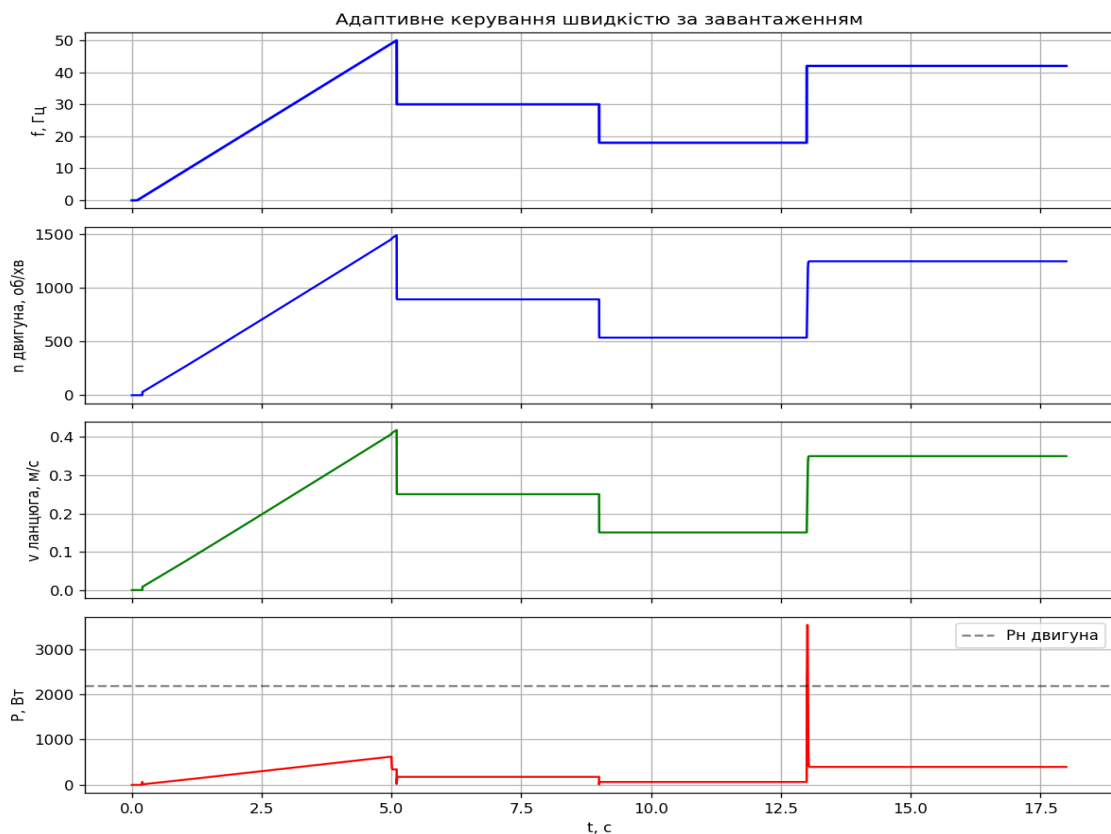


Рис. 3.6. Перехідні процеси в режимі адаптивного керування

Кількісний аналіз енергоспоживання за сценарієм моделювання показав такі результати (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 — Енергетична ефективність адаптивного керування

Показник	Фіксована $f = 50$ Гц	Адаптивна f	Різниця
Середня споживана потужність, Вт	920	425	−495 (−54 %)
Витрати енергії за 18 с, Дж	16 560	7 650	−8 910 (−54 %)
Середній коефіцієнт завантаження	0,42	0,19	—

Слід враховувати, що отриманий показник економії 54 % відповідає модельованому сценарію з різкими змінами завантаження у широкому діапазоні.

У реальних умовах експлуатації, де профіль завантаження лінії більш згладжений, очікувана економія електроенергії складатиме 25–35 %. Навіть такий консервативний прогноз свідчить про високу економічну ефективність запропонованого технічного рішення. При річному фонді робочого часу конвеєра 6000 годин і тарифі на електроенергію 4,5 грн/кВт·год очікуваний річний економічний ефект від одного конвеєра складає:

$$\Delta E = P_n \cdot k_{зав} \cdot \eta_{економії} \cdot T \cdot c_m, \quad (3.38)$$

$$\Delta E = 2,2 \cdot 0,32 \cdot 0,30 \cdot 6000 \cdot 4,5 \approx 5700 \text{ грн/рік}. \quad (3.39)$$

Окрім прямого економічного ефекту від економії електроенергії, слід врахувати зниження витрат на технічне обслуговування за рахунок збільшення ресурсу механічних елементів (приблизно 15–20 % за даними виробників ланцюгових конвеєрів).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7 Розробка програмного забезпечення ПЛК

Програма ПЛК розробляється у середовищі Siemens TIA Portal V17 мовою Structured Text (ST), що відповідає стандарту IEC 61131-3. Структура програми — модульна, з розподілом функцій на окремі функціональні блоки (FB) та функції (FC).

Основні програмні модулі представлені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 — Структура програмного забезпечення ПЛК

Ідентифікатор	Назва	Призначення
OB1	Main	Головна циклічна програма, виклик інших блоків
FB1	ConveyorControl	Головний автомат керування (стан, режим)
FB2	AdaptiveSpeed	Розрахунок адаптивного завдання швидкості
FB3	VFDComm	Обмін з ПЧ через Modbus RTU
FB4	SpeedMonitor	Контроль швидкості, виявлення пробуксовування
FB5	Protection	Захисти (тросові вимикачі, рівні, температура)
FB6	Diagnostics	Збір та архівування діагностичних параметрів
FC1	RampLimiter	Обмеження темпу зміни сигналу
FC2	EngUnitsConv	Перетворення інженерних одиниць

Програма реалізує кінцевий автомат (state machine) роботи конвеєра зі станами: «Зупинений», «Готовий», «Пуск», «Робота», «Гальмування», «Аварія».

Переходи між станами відбуваються за зовнішніми командами (кнопки, команди верхнього рівня) та за умовами захистів.

Період основного сканування ПЛК — 10 мс, обмін по Modbus з ПЧ — кожні 100 мс (циклічно у фоновому завданні), час реакції на аварійні сигнали тросових вимикачів — не більше 50 мс (через прямий дискретний вхід).

3.8 Розробка SCADA-інтерфейсу

Програмне забезпечення операторської станції реалізоване на платформі WinCC Advanced V17, інтегрований з TIA Portal. Розроблена система включає наступні екранні форми:

- 1) Мнемосхема конвеєра — загальний вигляд з анімацією руху ланцюга, індикацією швидкості, продуктивності, стану обладнання.
- 2) Графіки трендів — поточні та архівні діаграми швидкості, струму, моменту, температури.
- 3) Панель керування — перемикання режимів роботи, введення уставок, запуск/зупинка.
- 4) Журнал подій — хронологічний перелік усіх подій (пуски, зупинки, аварії, спрацьовування захистів).
- 5) Діагностична панель — детальні параметри ПЧ, стани всіх датчиків, коди помилок.
- 6) Звіти — добовий і місячний звіти про роботу конвеєра (напрацювання, кількість циклів, спожита енергія, простої).

Архів значень технологічних параметрів ведеться з дискретністю 1 секунда при глибині 30 діб для миттєвих значень та 1 рік для усереднених хвилинних значень. Журнал подій зберігається за весь період роботи системи.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.9 Оцінка ефективності розробленого рішення

Підсумовуючи результати теоретичного аналізу, виконаних розрахунків та проведеного моделювання, можна виділити такі основні результати впровадження автоматизованої системи керування скребковим конвеєром з частотно-регульованим приводом і адаптивним керуванням швидкістю:

Технічний ефект проявляється у зниженні пускового струму з 30 А до 5,2 А (у 5,8 рази), зниженні пускового моменту з 38,5 Н·м до 4,5 Н·м (у 8,6 рази), забезпеченні плавного регулювання швидкості у діапазоні 10–100 % від номінальної з точністю не гірше 2 %, збільшенні ресурсу механічних елементів приводу на 15–20 %, скороченні часу реагування на аварійні ситуації до 50 мс.

Енергетичний ефект: за результатами моделювання очікувана економія електроенергії у діапазоні 25–35 % у реальних умовах експлуатації з нерівномірним завантаженням лінії, що у грошовому вираженні складає близько 5700 грн на рік на один конвеєр при поточних тарифах. З урахуванням того, що на лінії встановлено два аналогічних конвеєра (СС01 і СС02), загальна економія сягає 11400 грн на рік.

Технологічний ефект включає можливість тонкого узгодження продуктивності конвеєра з продуктивністю дозувального обладнання, стабілізацію заповнення жолоба на оптимальному рівні, можливість роботи на зниженій швидкості у разі необхідності (наприклад, при транспортуванні проблемних фракцій), підвищення загальної стабільності технологічного процесу.

Інформаційний ефект: повна інтеграція конвеєра у загальну АСУ ТП підприємства, ведення архіву параметрів відповідно до вимог системи управління якістю ISO 9001 та системи аналізу ризиків НАССР, обов'язкових для виробників кормів.

Експлуатаційний ефект: зниження вимог до кваліфікації оперативного персоналу за рахунок автоматизації, зменшення кількості ручних операцій, спрощення процедур налагодження та технічного обслуговування, покращення умов праці операторів.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблена автоматизована система керування скребковим конвеєром на основі сучасних засобів промислової електроніки (частотний перетворювач Altivar ATV320, контролер Siemens S7-1200, панель оператора КТР700) є комерційно доступним, технічно обґрунтованим і економічно ефективним рішенням для впровадження на підприємствах комбікормової промисловості України. Запропонована структура та алгоритми легко масштабуються на інші аналогічні транспортні установки лінії без принципових змін.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 3

У четвертому розділі дипломної роботи розроблено комплексне технічне рішення автоматизованої системи керування скребковим конвеєром лінії виробництва комбікорму. Основні результати полягають у наступному.

Виконано аналіз технологічного процесу та об'єкта керування, виявлено основні недоліки існуючих систем з нерегульованим електроприводом: значні пускові струми і ударні навантаження, робота у режимі глибокого недозавантаження, відсутність засобів узгодження продуктивності з реальним технологічним попитом.

Теоретично обґрунтовано вибір частотно-регульованого електроприводу зі скалярним керуванням за законом U/f з буст-компенсацією як оптимального рішення для скребкового конвеєра з огляду на співвідношення функціональних можливостей, складності реалізації та вартості.

Проведено комплексний розрахунок електромеханічної системи: обчислено тягове зусилля (1205 Н), потужність на валу (0,48 кВт), приведений момент інерції (0,010 кг·м²), підтверджено правильність вибору двигуна 2,2 кВт з коефіцієнтом завантаження 0,32. Обґрунтовано параметри редуктора ($i = 47$) і характеристики закону U/f (буст 8 %, темп 5 с).

Розроблено трирівневу архітектуру АСК з використанням ПЛК Siemens S7-1200, панелі оператора KTP700 та SCADA WinCC Advanced. Запропоновано алгоритм адаптивного керування швидкістю за сигналом вагодозатора, визначено структуру програмного забезпечення з дев'яти функціональних блоків.

Побудовано детальну модель електропривода у MATLAB/Simulink R2023b, що базується на повній системі рівнянь АД у dq-координатах. Проведено моделювання трьох ключових режимів: прямий пуск, пуск через ПЧ, робота у адаптивному режимі. Підтверджено теоретичні очікування: зниження пускового струму у 5,8 рази, пускового моменту у 8,6 рази.

Оцінено економічну ефективність: прогнозована економія електроенергії 25–35 % у реальних умовах експлуатації, що еквівалентно 5700 грн/рік на один

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

конвеєр; загальний економічний ефект від модернізації двох конвеєрів СС01 і СС02 складає близько 11400 грн/рік за поточними тарифами.

Запропоноване рішення придатне для практичного впровадження як при модернізації діючих, так і при проектуванні нових комбикормових ліній; воно відповідає сучасним тенденціям розвитку промислової автоматизації та вимогам енергоефективності виробництва.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ РОБОТІ В ЦЕХУ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМУ

4.1. Аналіз умов праці на дільниці виробництва комбікорму

Умови праці на лінії виробництва гранульованого та розсипного комбікорму формуються під впливом низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів, притаманних процесам транспортування, подрібнення та змішування сипучих матеріалів. До основних факторів належать:

- Запиленість робочої зони: Транспортування зернової та борошністої сировини скребковим конвеєром, незважаючи на закритий короб, супроводжується виділенням органічного пилу при завантаженні та розвантаженні.
- Підвищений рівень шуму та вібрації: Основними джерелами є механічні передачі (редуктор конвеєра, ланцюг зі скребками), дробарки та прес-гранулятори.
- Небезпека ураження електричним струмом: Експлуатація трифазних асинхронних двигунів (наприклад, АИР90L4 потужністю 2,2 кВт), частотних перетворювачів (Altivar ATV320), кабельних ліній мережі 0,4 кВ та шаф керування з ПЛК Siemens S7-1200.
- Рухомі частини обладнання: Зірочки натяжної та привідної станцій, тяговий ланцюг зі скребками, обертові елементи шнекових дозаторів.
- Психофізіологічні фактори: Для оператора АСУ ТП (робота зі SCADA-системою) характерне зорове та нервово-емоційне напруження, пов'язане з моніторингом технологічного процесу. Нормалізація зорового навантаження досягається за рахунок спроектованої системи освітлення (світильники ЛСПО2-2·80), що забезпечує нормовану освітленість.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис		Охорона праці			
Розробив		Шевченко Ю.С.						
Перевірів		Босак А.В.						
Репензент								
Н. Контр.		Кулаковський						
Затвердив		Бойченко			Літ. Арк. Аркушів			
							95	110
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК. гр. ОА-21			

4.2. Навчання з питань безпеки праці та інструктажі

З метою запобігання виробничому травматизму на підприємстві функціонує суворя система навчання та перевірки знань з охорони праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» та Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, з персоналом (операторами, електромеханіками, наладчиками) проводяться інструктажі, класифікацію яких наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці

Вид інструктажу	Ким проводиться	Коли проводиться	З ким проводиться
Вступний	Спеціаліст служби охорони праці підприємства	При прийнятті на роботу (до початку виконання обов'язків)	З усіма новоприйнятими працівниками, студентами-практикантами, відрядженими особами
Первинний	Безпосередній керівник робіт (майстер, начальник цеху)	На робочому місці до початку роботи	З новоприйнятими, переведеними з іншого підрозділу або тими, хто виконуватиме нову для них роботу
Повторний	Безпосередній керівник робіт	Не рідше 1 разу на 3 місяці	З усіма працівниками цеху незалежно від кваліфікації та стажу

Позаплановий	Безпосередній керівник робіт	При зміні технологічного процесу, заміні обладнання, після нещасних випадків або перерви в роботі понад 30 днів	З працівниками, яких стосуються зміни або які порушили вимоги безпеки
Цільовий	Безпосередній керівник робіт	Перед виконанням разових робіт, що не входять до прямих обов'язків, або робіт за нарядом-допуском	З особами, залученими до виконання конкретного разового завдання (наприклад, очищення силосів)

Програма проведення первинного (та повторного) інструктажу на робочому місці для операторів та обслуговуючого персоналу автоматизованої системи скребкового конвеєра включає наступні обов'язкові питання:

- Загальні відомості про технологічне обладнання дільниці: Будова скребкового конвеєра, принцип дії привідної станції, розташування датчиків (швидкості, рівня, температури підшипників).
- Безпечна організація робочого місця: Вимоги до утримання робочої зони, забезпечення вільного доступу до шаф керування та пультів місцевого управління. Порядок застосування засобів індивідуального захисту (спецодяг, респіратори від зернового пилу, діелектричні рукавички при огляді ПЧ).
- Порядок підготовки до пуску та безпечна експлуатація:
 - Перевірка цілісності захисних огорожень механічних передач (редуктора, муфт).

- Перевірка справності аварійних тросових вимикачів (SA1–SAn), розташованих уздовж траси конвеєра.
- Послідовність подачі напруги від КРП на частотний перетворювач та ПЛК.
- Дії при виникненні нештатних ситуацій: спрацьовування теплового захисту двигуна, виявлення пробуксовування ланцюга або заклинювання скребків.
- Електробезпека: Заборона самостійного відкриття шаф із силовим обладнанням (380 В) та проведення ремонтних робіт на кабельних лініях під напругою.

Після проведення інструктажу (первинного, повторного чи позапланового) керівник робіт проводить усне опитування для перевірки засвоєння матеріалу. Факт проведення інструктажу фіксується у відповідному Журналі реєстрації інструктажів з підписами особи, яка інструктувала, та працівника, який пройшов інструктаж.

4.3. Пожежна та вибухонебезпека на комбікормовому виробництві

Виробництво комбікормів належить до об'єктів підвищеної пожежної та вибухової небезпеки (категорія приміщення «Б» за вибухопожежною небезпекою). Головною загрозою є органічний пил (борошняний, зернових культур), який здатен утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші при концентрації нижче нижньої межі вибуховості (НКМВ), а також осідати на конструкціях та обладнанні, створюючи ризик швидкого поширення полум'я.

Можливі джерела запалювання на проєктованій дільниці:

- Іскріння при коротких замиканнях в електромережах (кабельні лінії 0,4 кВ) або перевантаженні електродвигуна понад норму.
- Нагрівання підшипникових вузлів привідної та натяжної станцій конвеєра внаслідок відсутності мастила.
- Іскроутворення внаслідок тертя тягового ланцюга або скребків об деформований металевий жолоб конвеєра.
- Розряди статичної електрики при русі сипучих матеріалів ізольованими каналами.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Профілактичні протипожежні заходи, реалізовані у проєкті:

- Автоматичний захист обладнання: Інтегровані в АСУ ТП датчики температури (Pt100) підшипникових вузлів приводу безперервно передають дані на контролер Siemens S7-1200. У разі перевищення критичної температури система автоматично зупиняє конвеєр, запобігаючи загорянню пилу від гарячого металу.
- Захист електромереж: Всі кабельні лінії (марки СБл) та електродвигуни захищені від струмів короткого замикання та перевантажень автоматичними вимикачами (серії ВА-89-33, ВА-47-29) з належним запасом термічної стійкості, що було розраховано у розділі електропостачання.
- Виключення умов для іскроутворення: Частотно-регульований привід (Altivar ATV320) забезпечує плавний пуск конвеєра (темп розгону 5 с), що виключає різкі динамічні удари, ривки ланцюга та механічне іскріння під час рушання навантаженого жолоба.
- Зняття статичної та заземлення: Всі металеві корпуси обладнання (конвеєр, силоси, електродвигун, шафи ПЛК та ПЧ) надійно приєднані до загального контуру заземлення цеху.
- Організаційні заходи: Суворе дотримання графіків прибирання пилу з поверхонь обладнання, кабельних трас та світильників. Заборона проведення зварювальних (вогневих) робіт без зупинки лінії, ретельного очищення зони та оформлення спеціального наряду-допуску.

Засоби пожежогасіння: У разі виникнення пожежі персонал зобов'язаний негайно знеструмити електрообладнання кнопкою аварійної зупинки. Для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В (двигуни, датчики, розподільчі щити), на ділянці передбачені вуглекислотні (ВВК) та порошкові (ВП) вогнегасники. Застосування пінних вогнегасників або води для гасіння незнеструмленого електрообладнання категорично забороняється. Для ліквідації загоряння самої сировини у силосах або бункерах використовується система внутрішнього протипожежного водопроводу (після повного знеструмлення цеху).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Заходи електробезпеки при експлуатації електрообладнання

Враховуючи наявність струмопровідного та органічного пилу, а також великої кількості заземлених металоконструкцій (силоси, короби конвеєрів), приміщення комбікормового цеху за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою (або особливо небезпечних). Основне обладнання дільниці живиться від трифазної мережі змінного струму напругою 0,4 кВ.

Для захисту обслуговуючого персоналу (операторів, наладчиків, електромонтерів) від ураження електричним струмом у проєкті передбачено комплекс технічних та організаційних заходів:

- Захисне заземлення та система живлення: Електропостачання дільниці здійснюється за системою заземлення TN-C-S або TN-S, де нульовий робочий (N) та нульовий захисний (PE) провідники розділені. Всі металеві неструмопровідні частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пробоя ізоляції (корпус електродвигуна АИР, станина конвеєра, металеві оболонки шаф керування з ПЛК Siemens та перетворювачем частоти Altivar), надійно приєднані до контуру заземлення цеху за допомогою PE-провідника.
- Захист від непрямого дотику: Для автоматичного відключення живлення у разі виникнення струмів витоку на корпус або короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі з відповідними характеристиками спрацювання, а в колах живлення кіл керування та освітлення доцільне застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ).
- Ізоляція та огороження: Усі струмопровідні частини надійно ізольовані. Силові кабелі та кабелі кіл керування прокладаються у захисних металорукавах або закритих металевих лотках. Клемні коробки електродвигунів та датчиків мають ступінь захисту не нижче IP54, що запобігає потраплянню всередину вологи та пилу.
- Організаційні заходи: До обслуговування електроустановок та шаф АСУ ТП допускаються лише особи, які пройшли спеціальне навчання та мають

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідну групу з електробезпеки (не нижче III для самостійного огляду та обслуговування електроустановок до 1000 В). Роботи з технічного обслуговування ПЧ та контролера проводяться виключно після зняття напруги, вивішування плакатів «Не вмикати! Працюють люди» та перевірки відсутності напруги.

4.5 Особливості охорони праці жінок на автоматизованому виробництві

Відповідно до Кодексу законів про працю України (КЗпП, глава VIII) та Закону України «Про охорону праці», на підприємствах створюються спеціальні умови, що враховують фізіологічні особливості жіночого організму та охорону материнства. На сучасному комбікормовому заводі жінки часто обіймають посади операторів пульта керування АСУ ТП, диспетчерів або лаборантів відділу контролю якості.

Впровадження розробленої в проєкті системи автоматизації на базі SCADA-системи та ПЛК кардинально покращує умови праці та робить їх повністю придатними для жінок, оскільки:

- Усунення важкої фізичної праці: Завдяки автоматичному керуванню скребковим конвеєром, дозуванням та маршрутизацією сировини, повністю виключається необхідність ручної праці, пов'язаної з переміщенням вантажів. Це гарантує дотримання Наказу МОЗ України щодо граничних норм підймання і переміщення важких речей жінками (не більше 10 кг при чергуванні з іншою роботою та не більше 7 кг при постійному переміщенні протягом зміни).
- Зниження впливу шкідливих факторів: Робоче місце оператора АСУ ТП розташоване в окремому диспетчерському приміщенні, яке ізольоване від виробничого цеху. Це захищає працівниць від впливу виробничого шуму, вібрації (від дробарок та конвеєрів) та зернового пилу, забезпечуючи комфортний мікроклімат.
- Ергономіка робочого місця: Робоче місце за комп'ютером проєктується з урахуванням ергономічних вимог (зручне крісло, правильне освітлення,

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

оптимальне розміщення моніторів), що знижує зорове та статичне навантаження на хребет під час тривалої зміни.

- Режим праці та відпочинку: Жінки не залучаються до робіт у нічний час (за винятком випадків, передбачених законодавством у період дії воєнного стану), до надурочних робіт та робіт у вихідні дні без їхньої згоди. Вагітні жінки та жінки, які мають дітей віком до трьох років, повністю звільняються від нічних змін і відряджень та, за необхідності, переводяться на легшу роботу із збереженням середнього заробітку.
- Санітарно-побутове забезпечення: Для жінок на підприємстві передбачено окремі санітарно-побутові приміщення (гардеробні, душові, кімнати особистої гігієни), обладнані відповідно до санітарних норм.

4.6 Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)

Незважаючи на високий рівень автоматизації технологічного процесу та застосування засобів колективного захисту (аспіраційні системи, захисні огороження, ізоляція), специфіка комбікормового виробництва вимагає обов'язкового застосування засобів індивідуального захисту. Відповідно до статті 8 Закону України «Про охорону праці» та діючих Галузевих норм, роботодавець зобов'язаний за власні кошти забезпечити працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими ЗІЗ залежно від характеру виконуваних робіт.

Для персоналу, що обслуговує автоматизовану лінію скребкового конвеєра (оператори, слюсарі-ремонтники, електромеханіки), передбачено такий комплекс засобів індивідуального захисту:

- Захист органів дихання: Оскільки транспортування та переробка зернової сировини супроводжується виділенням дрібнодисперсного органічного пилу, при знаходженні безпосередньо в цеху (особливо під час технічного обслуговування, очищення бункерів чи ремонтних робіт) працівники зобов'язані використовувати протипилові респіратори (класу захисту FFP2 або FFP3, наприклад, типу «Пульс» або «Пелюсток»).

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Захист органів слуху: Робота дробарок, прес-грануляторів та привідних станцій конвеєрів створює підвищений рівень шуму. Для запобігання професійним захворюванням (приглухуватості) працівникам, які виконують обходи та огляди обладнання, видаються протишумові вкладиші (беруші) або антифони (протишумові навушники).
- Спецодяг та спецвзуття: Для захисту від виробничого забруднення, пилу та механічних впливів персоналу видаються бавовняні костюми з пилонепроникним просоченням. Для захисту ніг від можливого падіння важких предметів (наприклад, інструменту або деталей ланцюга під час ремонту) використовується шкіряне взуття з металевим або композитним жорстким підноском.
- Захист голови та зору: При виконанні робіт поблизу силосів, на естакадах або під час ремонтних робіт обов'язковим є носіння захисної каски. Для захисту очей від пилу та дрібних часток під час продувки чи очищення датчиків та механізмів застосовуються закриті захисні окуляри.
- Електрозахисні засоби: Враховуючи, що електромеханіки обслуговують мережу 0,4 кВ, шафи керування з контролером Siemens S7-1200 та частотним перетворювачем Altivar ATV320, до обов'язкового інвентарю належать діелектричні засоби. Біля кожної шафи керування та силового щита розміщуються діелектричні килимки. Для виконання оперативних перемикань або робіт під напругою до 1000 В персонал забезпечується діелектричними рукавичками, діелектричними ботами та ручним слюсарно-монтажним інструментом з ізольованими рукоятками. Всі діелектричні засоби підлягають регулярним періодичним випробуванням з нанесенням відповідного тавра.

Контроль за правильністю використання ЗІЗ, а також організація їх своєчасного прання, знепилювання, ремонту та заміни покладається на керівництво цеху та службу охорони праці підприємства. Робота без передбачених нормами засобів індивідуального захисту категорично забороняється.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі дипломного проєкту виконано комплексний аналіз умов праці та розроблено ефективну систему заходів щодо забезпечення охорони праці, електробезпеки й пожежної безпеки на дільниці автоматизованого скребкового конвеєра комбікормового цеху.

На основі дослідження технологічного процесу встановлено, що основними виробничими небезпеками є висока запиленість середовища дрібнодисперсним органічним пилом, підвищений рівень шуму від механічних передач, наявність рухомих елементів обладнання та небезпека ураження струмом під час експлуатації мережі 0,4 кВ. Враховуючи, що виробництво належить до категорії «Б» за вибухопожежною небезпекою, у проєкті реалізовано низку превентивних технічних рішень на базі розробленої АСУ ТП (ПЛК Siemens S7-1200 та ПЧ Altivar ATV320). До них належать: безперервний автоматичний моніторинг температури підшипникових вузлів, захист від перевантажень, плавний пуск конвеєра для уникнення іскроутворення та надійне захисне заземлення (система TN-C-S).

Для нівелювання залишкових виробничих ризиків обґрунтовано обов'язкову номенклатуру засобів індивідуального захисту. Зокрема, визначено необхідність застосування персоналом протипилових респіраторів, засобів захисту органів слуху та повного комплекту діелектричного інвентарю для безпечного обслуговування електроустановок. Разом із цим сформовано регламент проведення навчання та інструктажів з охорони праці для всіх категорій працівників.

Окрему увагу приділено питанням створення безпечних умов праці для жінок. Доведено, що впровадження системи автоматизації з віддаленим диспетчерським контролем на базі SCADA-системи повністю усуває необхідність важкої фізичної праці, мінімізує вплив шкідливих факторів цеху на організм та забезпечує високі ергономічні показники робочого місця оператора. Це цілком відповідає нормам чинного трудового законодавства щодо охорони материнства та праці жінок.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Впровадження запропонованого комплексу інженерно-технічних та організаційних рішень гарантує створення безпечних, здорових і комфортних умов праці, зводить до мінімуму ймовірність виникнення аварій, пожеж та виробничого травматизму, а також забезпечує повну відповідність проєктованої ділянки нормативно-правовим актам України з охорони праці.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

У результаті виконання дипломного проєкту було успішно розв'язано комплексне інженерне завдання з розробки електромеханічного обладнання та автоматизації конвеєрної установки лінії з виробництва комбікорму. На основі проведених розрахунків та досліджень можна зробити такі загальні висновки:

- Загально-технічна частина. Детально проаналізовано технологічний процес виготовлення комбікорму, який включає підготовку зернової, борошністої та мінеральної сировини, її фракціонування, подрібнення, дозування та змішування. Проведено механічний розрахунок стрічкового конвеєра довжиною 1900 м. Для заданої продуктивності 400 т/год обґрунтовано вибір резинотканинної стрічки шириною 800-1000 мм та визначено необхідну потужність приводного електродвигуна на рівні 300 кВт.
- Електропостачання об'єкта. Спроектовано надійну систему живлення виробничого цеху та відкритого розвантажувального майданчика. За допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку обрано освітлювальне обладнання (світильники ЛСПО2-2·80 та прожектори ПЗС-35), що забезпечує нормовану освітленість. Розрахунок електричних навантажень підтвердив доцільність встановлення двотрансформаторної підстанції з трансформаторами ТМ-160/6. Вибір кабелів марки СБл та автоматичних вимикачів (ВА-89-33, ВА-47-29) виконано з урахуванням допустимого нагріву, втрат напруги та струмів короткого замикання, що гарантує безперебійність та безпеку мережі 0,4 кВ.
- Автоматизація технологічного процесу. Розроблено АСК скребковим конвеєром з використанням частотно-регульованого електроприводу (Altivar ATV320) та логічного контролера (Siemens S7-1200). Доведено, що скалярне керування за законом U/f з буст-компенсацією є оптимальним для даного механізму. Математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink показало, що перехід від прямого пуску до пуску через частотний перетворювач знижує пусковий струм у 5,8 раза (з 30 А до 5,2 А) та ударний момент у 8,6 раза. Впровадження адаптивного алгоритму керування швидкістю конвеєра залежно від поточного технологічного навантаження забезпечує економію електроенергії

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

на рівні 25–35 %, що дорівнює близько 5700 грн/рік економії для одного конвеєра.

- Охорона праці та безпека життєдіяльності. Ідентифіковано основні небезпечні фактори на виробництві (органічний пил, шум, рухомі механізми, електричний струм) . Розроблено заходи з пожежної безпеки для цеху категорії «Б», включаючи контроль температури підшипників та заземлення обладнання для зняття статичної напруги. Обґрунтовано систему заземлення TN-S / TN-C-S та вибір засобів індивідуального захисту (респіратори, антифони, діелектричний інструмент) . Доведено, що впроваджена автоматизація повністю ліквідує важку ручну працю, що дозволяє організувати безпечні та комфортні робочі місця, які повністю відповідають нормам охорони праці жінок.

Загалом, запропоновані в дипломному проєкті рішення є економічно обґрунтованими, технічно доцільними та готовими до інтеграції на сучасних підприємствах комбікормової галузі.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерела

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Електропостачання» / Уклад.: В.В. Прокопенко, А.В. Волошко та ін. — К.: НТУУ «КПІ», 2014. — 92 с.
2. МЕЙТА, Олександр Вячеславович; ОСАДЧУК, Микола Павлович. Релейний захист та автоматизація енергосистем. Лабораторний практикум. 2022
3. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 56 с
4. ДБН В.2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 67 с
5. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2008, 25 с
6. Барало, О. В., Самойленко, П. Г., Гранат, С. Є., & Ковальов, В. О. (2010). Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник. К.: Аграрна освіта.
7. Лукінюк, М. В. (2008). Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації.
8. Осадчий, С. І., & Волков, І. В. (2020). Автоматизація технологічних процесів.
9. Проць, Я. І., Данилюк, О. А., & Лобур, Т. Б. (2008). Автоматизація неперервних технологічних процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.
10. Бабчук, С. М. (2017). Визначення безпроводних спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, (2), 187-191.
11. Сіроклин, І. М. (2023). Автоматизація технологічних процесів.
12. Гончаренко, Б. М., & Ладанюк, А. П. (2014). Автоматизація виробничих процесів харчових технологій.

					ОА.21.01.1910-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110