

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

(повна назва кафедри)

УДК 681.515

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою – Інжиніринг автоматизованих
електротехнічних та мехатронних комплексів комплексів
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

на тему: «Автоматизація режимів керування стрічковим конвеєром
цегляного заводу під час аварійних станів мережі»

Виконав:

Студент 4 курсу, групи ОА-11 Кричковський К.І. _____
(шифр групи) (прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник _____ к. т. н., доцент Данілін О. В. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з електропостачання _____ к. т. н., доцент Мейта О.В. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____ к. т. н., доцент Мітюк Л.О. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтролер _____ к. т. н., доцент Кулаковський Л.Я. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

Спеціальність (спеціалізація) – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

студенту _____ Кричковському Кірілу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проєкту «Автоматизація режимів керування стрічковим конвеєром цегляного заводу під час аварійних станів мережі» керівник проєкту Данілін Олександр Валерійович, кандидат наук, доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с

2. Дата подання студентом дипломного проєкту «10» червня 2025 р.

3. Вихідні данні до проєкту: план виробничого цеху, геометричні характеристики приміщення.

4. Зміст пояснювальної записки:

Загально-технічна частина. Розглянуто загальні принципи проєктування стрічкових конвеєрів для промисловості. Проведено аналіз типів конвеєрів, вибрано оптимальну конструкцію для умов цегельного заводу. Здійснено розрахунок основних технічних параметрів та вибір електроприводу.

Електропостачання. Розрахунок навантажень, вибір кабелів і захисту, побудова схеми електропостачання цеху.

Спеціальна частина. Здійснено моделювання системи частотного керування асинхронним електроприводом у середовищі Matlab/Simulink. Побудовано структурні схеми, виконано аналіз динамічних характеристик у перехідних режимах.

Автоматизація. Проведено аналіз автоматизованої системи керування конвеєром. Визначено ключові компоненти: ПЛК, датчики швидкості, сходження стрічки, аварійної зупинки. Побудовано функціональну та алгоритмічну схеми. Реалізовано логіку зупинки у разі аварій та передачу інформації на панель оператора.

Охорона праці. Оцінено умови праці, обґрунтовано заходи безпеки та захисту від аварій і пожеж.

5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу:

1 аркуш - Загально-технічна частина;

2 аркуш - Схема електропостачання;

3 аркуш - Спеціальна частина;

4 аркуш - Автоматизація.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
2. Електропостачання	к.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5. Охорона праці	к.т.н., доцент, Мітюк Л.О.		

7. Дата видачі завдання: «15» квітня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів дипломного проекту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	15.04-20.04	виконано
2.	Електропостачання	21.04-01.05	виконано
3.	Спеціальна частина	02.05-10.05	виконано
4.	Автоматизація	11.05-29.05	виконано
5.	Охорона праці	29.05- 01.06	виконано
6.	Підготовка графічного матеріалу	02.06- 06.06	виконано

Студент

_____ (підпис)

Науковий керівник

_____ (підпис)

Кіріл КРИЧКОВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Олександр ДАНІЛІН

(ім'я, прізвище)

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизація режимів
керування стрічковим конвеєром цегляного
заводу під час аварійних станів мережі»

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему: «Автоматизація режимів керування стрічковим конвеєром цегляного заводу під час аварійних станів мережі»: 93 с., 5 розділів, 26 рис., 18 табл., 18 джерел.

Автоматизація, стрічковий конвеєр, аварійні режими, частотне керування, ПЛК,
безпека

Об'єкт дослідження – стрічковий конвеєр цегельного заводу, який функціонує в умовах нестабільного електропостачання.

Мета роботи – створення автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром, здатної забезпечувати надійне та безпечне функціонування обладнання в штатних і аварійних режимах, з мінімізацією впливу перебоїв в енергопостачанні.

Методи дослідження – аналіз і синтез систем керування, техніко-енергетичне моделювання, комп'ютерне моделювання у середовищі Matlab/Simulink, розрахунок електричних навантажень, логіко-структурне проектування систем автоматизації.

У межах дипломного проєкту реалізовано комплекс заходів щодо вдосконалення системи транспортування сировини шляхом автоматизації режимів роботи стрічкового конвеєра. Враховано можливі аварійні ситуації в мережі, спроектовано систему частотного регулювання електропривода, яка дозволяє адаптувати роботу обладнання до умов напружених збоїв та відновлювати функціонування без втручання оператора.

Розроблено логіку роботи системи керування з урахуванням вимог до промислової безпеки, зупинки приводу у разі виникнення критичних станів, а також реалізовано сигнальні модулі для своєчасного оповіщення персоналу. Підібрано необхідні апаратні засоби, у тому числі ПЛК, датчики, пускачі та інтерфейс HMI/SCADA для контролю та моніторингу. Проведено технічне та енергетичне обґрунтування прийнятих рішень.

Також розглянуто аспекти охорони праці при експлуатації обладнання: ідентифіковано потенційні виробничі ризики, запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів для їх зниження, включно з навчанням персоналу правильним діям у разі надзвичайних ситуацій.

Запропонована система автоматизації дозволяє значно знизити імовірність зупинок виробничого процесу внаслідок аварій у мережі, підвищити ефективність експлуатації обладнання та забезпечити стабільну й безпечну роботу стрічкового конвеєра у виробничому середовищі цегельного заводу.

ABSTRACT

Bachelor's Thesis: "Automation of Control Modes for a Brick Plant Belt Conveyor Under Power Network Emergency Conditions": 93 pages, 5 chapters, 26 figures, 18 tables, 18 references.

Keywords: automation, belt conveyor, emergency modes, variable frequency control, PLC, safety.

Object of research: the belt conveyor of a brick manufacturing plant operating under unstable power supply conditions.

The purpose of the work: to develop an automated control system for the belt conveyor capable of ensuring reliable and safe equipment operation in both normal and emergency modes, while minimizing the impact of power supply interruptions.

Research methods: analysis and synthesis of control systems, techno-energetic modeling, computer simulation using Matlab/Simulink, electrical load calculations, and logic-structural design of automation systems.

This thesis presents a comprehensive approach to enhancing the raw material transportation system through automation of the belt conveyor's operating modes. It takes into account potential power network emergencies and includes the design of a variable frequency drive system, which enables adaptive equipment operation during voltage disturbances and facilitates autonomous recovery without operator intervention.

The control system logic was developed in compliance with industrial safety standards, including drive shutdown procedures during critical fault conditions. Signal modules were also implemented to provide timely alerts to personnel. The required hardware components were selected - such as the PLC, sensors, motor starters, and HMI/SCADA interface - to enable monitoring and control. Technical and energy feasibility assessments were conducted to justify the design choices.

Additionally, the project addresses occupational safety considerations during equipment operation. It identifies potential industrial risks and proposes a set of organizational and technical measures to mitigate them, including personnel training on emergency response protocols.

The proposed automation system significantly reduces the likelihood of production downtime caused by power failures, enhances equipment operational efficiency, and ensures stable and safe operation of the belt conveyor in the industrial environment of a brick manufacturing facility.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загально-технічна частина.....	3
1.1 Технологічна роль стрічкового конвеєра на цегляному заводі.....	3
1.1.1 Основні функції конвеєра у виробничому процесі.....	3
1.1.2 Характеристика середовища експлуатації.....	4
1.2 Класифікація стрічкових конвеєрів.....	6
1.2.1 Типи конвеєрів за конструкцією.....	6
1.2.2 Особливості вибору конвеєрів для будівельних матеріалів.....	7
1.3 Конструкція стрічкового конвеєра.....	8
1.3.1 Конвеєрна стрічка.....	8
1.3.2 Привідна система.....	9
1.3.3 Барабани (привідний, натяжний, відхиляючий).....	10
1.3.4 Роликоопори та опорні конструкції.....	10
1.3.5 Очисні системи.....	11
1.3.6 Натяжні пристрої.....	11
1.4 Аналіз аварійних станів в електромережі та їх вплив на роботу конвеєра.....	12
1.5 Розрахунок параметрів конвеєра та вибір привода.....	13
1.6 Підбір електродвигуна для конвеєра.....	16
1.7 Підбір перетворювача частоти та редуктора для конвеєра.....	17
Розділ 2. Електропостачання.....	20
2.1. Розрахунок освітлення.....	21
2.2.1 Розрахунок освітлення приміщення методом використання світлового потоку.....	21
2.2. Розрахунок електричних навантажень.....	24
2.3. Розрахунок електричних мереж.....	29
2.3.1 Основні відомості.....	29
2.3.2 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів.....	29
2.3.3 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом.....	31
2.3.4 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму.....	33
2.3.5 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги.....	34
2.3.6. Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів.....	36
2.4. Розрахунок струмів КЗ.....	39
2.4.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В.....	41
2.5. Вибір електричних апаратів.....	49
2.5.1 Вибір роз'єднувачів.....	49
2.5.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту.....	50

Висновок по розділу електропостачання	54
Розділ 3. Спеціальна частина	55
3.1. Розробка математичних моделей та структурних схем	55
3.2 Побудова імітаційної моделі електропривода	59
3.3 Розрахунок періодичного перехідного процесу	62
Висновок по спеціальній частині	64
Розділ 4. Автоматизація	65
4.1 Аналіз функціональної схеми автоматизації стрічкового конвеєра	65
4.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи управління	68
4.3 Вибір датчика швидкості стрічкового конвеєра	71
4.4 Вибір датчика аварійної зупинки конвеєра	72
4.5 Вибір датчика сходження стрічки	74
4.6 Програмне забезпечення	76
Висновки по розділу автоматизації	78
Розділ 5. Охорона праці	79
5.1 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації обладнання	79
5.2 Засоби зниження впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів	82
5.3 Характеристика виробничого середовища та умов праці	85
5.4 Потенційні загрози та небезпеки під час роботи обладнання	85
5.5 Безпечна експлуатація електрообладнання та захист від ураження струмом	86
5.6 Забезпечення пожежної безпеки при експлуатації стрічкового конвеєра	87
5.7 Аналіз результатів та узагальнення заходів з охорони праці	89
Висновок до дипломної роботи	90
Література	92

Розділ 1. Загально-технічна частина

1.1 Технологічна роль стрічкового конвеєра на цегляному заводі

1.1.1 Основні функції конвеєра у виробничому процесі

Стрічкові конвеєри є невід'ємною частиною механізованих і автоматизованих ліній виробництва, особливо на підприємствах важкої промисловості, зокрема цегельних заводах. Їхнє основне призначення — безперервне транспортування сипучих, кускових або штучних матеріалів між окремими технологічними ділянками з мінімальними витратами енергії та трудових ресурсів.

На цегельному заводі стрічкові конвеєри виконують ключову функцію транспортування глинистої сировини, піску, цементу, вапна, а також вже сформованих цеглин. Вони з'єднують такі основні ділянки, як:

- подача сировини з кар'єру до цеху підготовки;
- переміщення глини до змішувачів та формувальних машин;
- подача сформованої цегли до сушарок або печей;
- транспортування готової продукції до складу або пакувального відділення.

Застосування конвеєрних систем значно скорочує обсяг ручної праці у виробничому процесі, що сприяє ефективнішому використанню часу під час транспортування матеріалів. Це, у свою чергу, зменшує фізичне навантаження на персонал, знижує імовірність виникнення травматичних ситуацій і забезпечує зростання загальної продуктивності підприємства.

Завдяки конвеєрам можливо підтримувати чіткий ритм виробництва — кожна наступна операція відбувається одразу після попередньої без затримок.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кричковський			Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Данілін О.В.					
Реценз.					Загально-технічна частина		
Н. Контр.		Кулаковський			НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Затверд.		Бойченко					

Це забезпечує узгоджену роботу всіх ділянок технологічного процесу. У разі інтеграції з автоматизованими системами керування стає можливим:

- дистанційний контроль переміщення вантажів;
- діагностика стану вузлів конвеєра;
- швидке реагування на збої або аварійні ситуації.

Завдяки стабільності роботи стрічкових конвеєрів зменшується кількість простоїв та збоїв, що особливо важливо для безперервного виробництва цегли. Конвеєрна система здатна працювати у важких умовах (пил, волога, температура) та забезпечує високу ступінь надійності транспортування.

Стрічкові конвеєри відзначаються високою гнучкістю в адаптації до виробничих умов, що дає змогу ефективно впроваджувати їх у різноманітні технологічні процеси. Вони можуть мати як прямолінійну, так і вигнуту конфігурацію, працювати під нахилом, а також бути обладнані додатковими пристроями для зважування, дозування чи сортування продукції. Завдяки цьому транспортна система легко підлаштовується під специфіку конкретного виробничого середовища, що суттєво розширює її функціональні можливості.

1.1.2 Характеристика середовища експлуатації

Характеристика середовища експлуатації стрічкового конвеєра є важливим аспектом при проектуванні та впровадженні систем автоматизації, оскільки вона суттєво впливає на вибір конструктивних рішень, матеріалів та режимів роботи обладнання.

У цегельному виробництві середовище експлуатації конвеєрного обладнання є досить агресивним та специфічним. По-перше, у цехах часто присутня висока запиленість, зумовлена переміщенням та обробкою глини, піску, шамоту (випалена до спікання вогнетривка глина або каолін) та інших сипучих матеріалів. Цей пил здатен проникати у вузли механізмів, викликаючи їх передчасне зношування або навіть вихід з ладу. Тому необхідно передбачати

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		4

ефективні засоби ущільнення та захисту елементів конвеєра, зокрема підшипників, двигунів та приводних механізмів.

По-друге, температура повітря у виробничому приміщенні може коливатися у широкому діапазоні залежно від сезону, вентиляції та тепловиділення від технологічного обладнання. Це накладає певні обмеження на вибір матеріалів стрічки, електроніки та засобів керування — вони мають бути стійкими до перегрівання або переохолодження.

Також слід враховувати наявність вологи та можливий конденсат, особливо в зонах транспортування сировини з відкритих майданчиків або поблизу сушильних камер. Це створює ризик корозії металевих частин, тому важливо використовувати антикорозійні покриття, нержавіючу сталь або спеціальні полімерні матеріали для відповідних елементів конструкції.

Крім того, конвеєрна система повинна функціонувати в умовах високої механічної навантаженості — транспортування важкої сировини, ударні дії при завантаженні, тертя між стрічкою та роликкоопорами. Усі ці фактори вимагають застосування зносостійких матеріалів, посиленого приводу та системи натягу, що підтримує стабільну роботу стрічки в інтенсивному режимі.

У цілому, середовище експлуатації вимагає від конвеєрної системи високої надійності, захищеності та здатності до стабільної роботи навіть за несприятливих умов. Це, у свою чергу, обумовлює потребу в адаптації автоматизованих режимів керування до конкретних особливостей виробництва.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		5

1.2 Класифікація стрічкових конвеєрів

1.2.1 Типи конвеєрів за конструкцією

Типи стрічкових конвеєрів за конструкцією та призначенням охоплюють широку класифікацію, що враховує специфіку технологічного процесу, умов експлуатації та характер вантажів, які транспортуються. Така класифікація дозволяє обирати найбільш ефективний варіант обладнання для конкретних умов виробництва, зокрема на цегельних заводах.

Насамперед, за *конструктивним виконанням* стрічкові конвеєри поділяють на горизонтальні, похилі та комбіновані.

Горизонтальні конвеєри є найпростішими у конструкції та використовуються для транспортування вантажів на одному рівні. Вони є типовими для внутрішньоцехового переміщення сировини або готової продукції.

Похилі конвеєри дозволяють переміщувати вантажі під кутом до горизонту — вгору або вниз. Таке рішення застосовується, коли необхідно передати матеріал з одного рівня на інший, наприклад, з приймального бункера до мішалки чи з виробничої зони до складу.

Комбіновані системи поєднують горизонтальні та похилі ділянки, що дає змогу більш гнучко пристосовувати конвеєр до складної архітектури цеху або технологічної лінії.

За *місцем встановлення* розрізняють стаціонарні та мобільні (пересувні) конвеєри.

Стаціонарні системи монтуються на постійному місці та інтегруються у загальну структуру виробничої лінії. Вони характеризуються високою надійністю та довговічністю.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		6

Мобільні або пересувні конвеєри використовуються в умовах, де необхідна гнучкість переміщення обладнання — наприклад, на відкритих ділянках заводу або в тимчасових виробничих зонах.

За *типом стрічки* конвеєри поділяються на плоскострічкові та жолобчасті.

Плоскострічкові застосовуються для транспортування штучних або сипучих вантажів при невеликих об'ємах.

Жолобчасті забезпечують краще утримання сипучих матеріалів завдяки спеціальній формі стрічки, що набуває жолобоподібної конфігурації на робочій ділянці.

Таким чином, правильний вибір типу стрічкового конвеєра залежить від багатьох факторів: особливостей виробничого процесу, характеристик транспортувальних матеріалів, конфігурації приміщення, а також вимог до автоматизації. Відповідність конструкції призначенню є запорукою надійної, ефективної та безпечної роботи транспортної системи в умовах цегельного виробництва.

1.2.2 Особливості вибору конвеєрів для будівельних матеріалів

Вибір конвеєрів для транспортування будівельних матеріалів має свої особливості, що визначаються фізико-механічними властивостями вантажу, умовами експлуатації та вимогами до безперервності виробництва. Ці матеріали часто бувають абразивними, важкими, сипучими або пилом (наприклад, глина, пісок, щебінь, цемент), тому конвеєр повинен бути стійким до зносу та корозії. Особливу увагу слід приділити вибору стрічки - вона має бути міцною, термостійкою або хімічно стійкою залежно від виду матеріалу.

Конструкція повинна забезпечувати мінімальні втрати вантажу, надійне очищення робочої поверхні стрічки та можливість експлуатації в умовах підвищеної запиленості чи вологості. Важливим критерієм також є простота

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		7

обслуговування та можливість автоматизації процесу зниження впливу людського чинника.

1.3 Конструкція стрічкового конвеєра

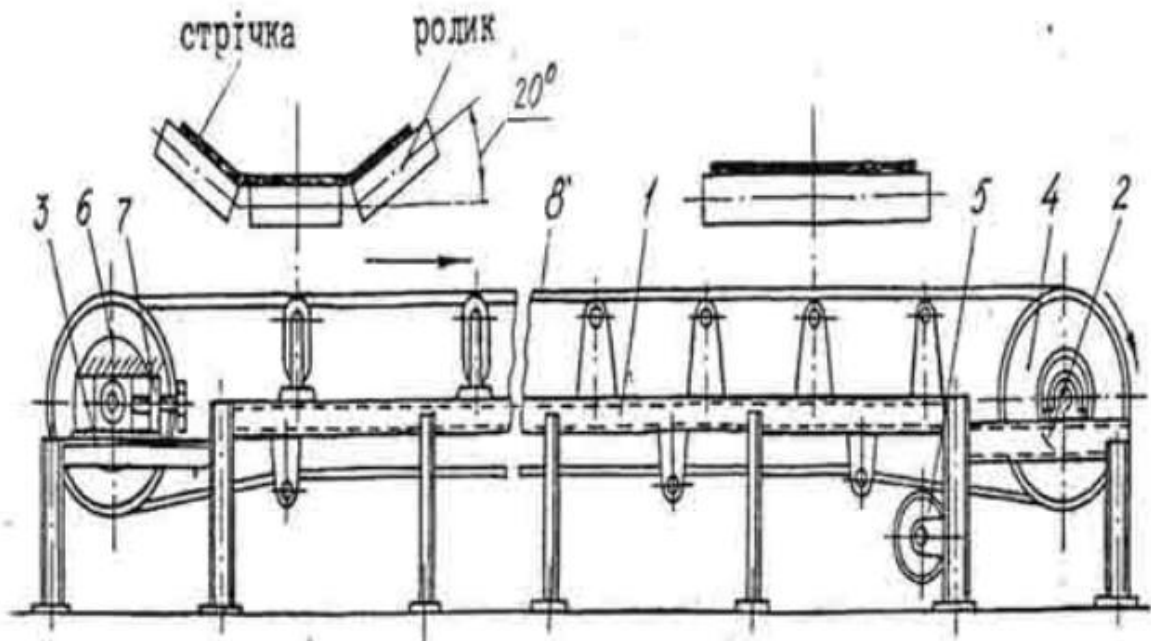


Рисунок 1.1. Схема стрічкового конвеєра: 1 – каркас; 2 – привідна станція; 3 – натяжна станція; 4 – привідний барабан; 5 – відхиляючий барабан; 6 – натяжний барабан; 7 – натяжний пристрій; 8 – стрічка.

1.3.1 Конвеєрна стрічка

Конвеєрна стрічка (транспортер) виконує роль основного тягового та вантажонесучого елемента стрічкового конвеєра. Вона широко використовується в різних галузях промисловості, зокрема у металургії, енергетиці, переробній промисловості, гірничодобувній сфері та сільському господарстві. Завдяки своїй універсальності, стрічка забезпечує безперервне переміщення сипучих, кускових та пакетованих вантажів на значні відстані як у горизонтальному, так і в похилому напрямках.

В Україні єдиним вітчизняним виробником такої стрічки є завод «Берті», розташований у місті Бердянськ. Проте український ринок також насичений продукцією зарубіжних компаній — переважно китайського та європейського походження. Китайські вироби відрізняються широким асортиментом і

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		8

доступною ціною, однак можуть поступатися за якістю. Європейські виробники, навпаки, пропонують більш надійні та довговічні рішення, які відповідають міжнародним стандартам.



Рисунок 1.2. Конвеєрна стрічка

Сучасні стрічки виготовляються з високотехнологічних матеріалів, здатних витримувати вплив агресивних середовищ, високих температур, механічних навантажень та інших несприятливих факторів. Це робить їх ключовим компонентом ефективної та безперебійної роботи конвеєрних систем на підприємствах будь-якого типу.

1.3.2 Привідна система

Привідна система забезпечує обертання привідного барабана і, відповідно, рух стрічки. До її складу входять електродвигун, редуктор, муфти, в деяких випадках — гальмівні механізми. Потужність приводу підбирається з урахуванням довжини транспортної лінії, маси вантажу, кута нахилу та швидкості переміщення. Сучасні приводи можуть оснащуватися інверторами частоти для плавного пуску та регулювання швидкості.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.3.3 Барабани (привідний, натяжний, відхиляючий)

Привідний барабан передає крутний момент від привідної системи до стрічки. Він зазвичай покритий гумовою накладкою для підвищення зчеплення.



Рисунок 1.3. Привідний барабан конвеєра

Натяжний барабан забезпечує постійне зусилля натягу стрічки, що необхідне для її стабільної роботи без прослизання.

Відхиляючі барабани змінюють напрямок руху стрічки та допомагають розміщувати стрічку у потрібному положенні на конвеєрі.

1.3.4 Роликоопори та опорні конструкції

Конвеєрні ролики (також відомі як роликоопори або вали) є невід'ємним елементом конструкції стрічкового конвеєра. Їх основна функція полягає у забезпеченні плавного та безперервного руху конвеєрної стрічки, а також у зменшенні динамічних навантажень, що виникають під час завантаження матеріалу — тобто виконують амортизуючу роль.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

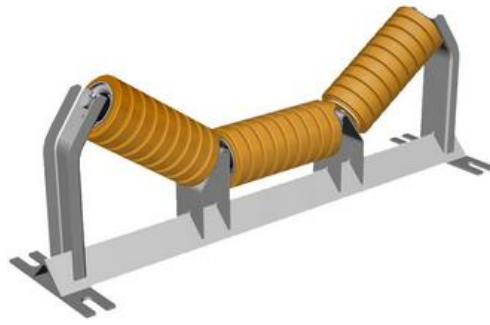


Рисунок 1.4. Роликоопори

Залежно від місця встановлення на конвеєрі ролики поділяються на два основні типи: верхні, які підтримують вантажонесучу частину стрічки, та нижні, що підтримують зворотну гілку. Верхні ролики можуть мати плоску або жолобчасту форму — вибір залежить від форми стрічки: плоскі застосовують для транспортування плоских матеріалів, тоді як жолобчасті — для сипучих вантажів, оскільки сприяють утворенню жолоба в стрічці для зручного переміщення маси.

1.3.5 Очисні системи

З метою запобігання налипанню матеріалу на стрічку та барабани використовуються різні типи очисників — ножові, гумові, щіткові. Вони встановлюються після розвантажувального барабана та очищають стрічку від залишків матеріалу, забезпечуючи безперебійну роботу та зменшуючи зношення елементів.

1.3.6 Натяжні пристрої

Натяжні пристрої забезпечують необхідний рівень натягу стрічки, компенсують подовження, викликане експлуатацією, і дозволяють уникнути прослизання. Вони можуть бути вантажними (з вантажами, що створюють силу натягу) або гвинтовими (з регулюванням за допомогою різьбових елементів). У деяких системах застосовують автоматизовані гідравлічні натяжні пристрої.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.4 Аналіз аварійних станів в електромережі та їх вплив на роботу конвеєра

У процесі експлуатації стрічкових конвеєрів особливу увагу слід приділяти стану системи електропостачання, оскільки її несправності безпосередньо впливають на надійність та безперервність виробничого процесу. Найпоширенішими відмовами в електричних мережах, що живлять електроприводи конвеєра, є коротке замикання, перенапруга та обрив фази. Більш детально типи відмов розглянуті в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Аналіз аварійних станів

Аварійний стан	Причини виникнення	Запобіжні заходи
Коротке замикання	Виникає внаслідок пошкодження ізоляції проводів, пробоя електричних елементів, механічного впливу або зносу електрокомпонентів. Воно призводить до різкого збільшення струму в колі, що може спричинити перегрів обладнання, пошкодження кабельних ліній, спрацювання захисних автоматів або навіть пожежу.	Для запобігання таким ситуаціям застосовуються системи захисту від короткого замикання, зокрема автоматичні вимикачі, запобіжники та реле.
Перенапруга	Причинами можуть бути грозові розряди, різкі коливання напруги в мережі або помилки в підключенні. Перенапруга часто призводить до пробоя ізоляції, перегорання мікросхем та загального порушення роботи системи керування. Цей фактор здатний спричинити вихід з ладу електроприводів, контролерів, датчиків та інших елементів автоматики.	Для захисту від перенапруг використовуються стабілізатори та системи безперебійного живлення.

Обрив фази	Є особливо критичною відмовою для асинхронних двигунів, що найчастіше застосовуються у приводах стрічкових конвеєрів. При такому порушенні двигун працює в аварійному режимі, що супроводжується несиметрією струмів, вібраціями та перегрівом обмоток, і зрештою може призвести до його повного виходу з ладу.	Для виявлення обриву фази застосовують спеціальні реле контролю фаз, які здатні автоматично знеструмити систему при виникненні цієї несправності.
------------	---	---

Таким чином, надійна робота стрічкового конвеєра тісно пов'язана зі стабільністю електроживлення. Своєчасна діагностика, технічне обслуговування та впровадження сучасних засобів захисту дозволяють мінімізувати наслідки типових електричних відмов і забезпечити безперервність виробничого процесу.

1.5 Розрахунок параметрів конвеєра та вибір привода

Вхідні дані для розрахунку обираються з урахуванням потреб та умов експлуатаційного середовища обладнання.

Пропонуються наступні параметри:

Довжина стрічки 35 метрів: $L = 35$ м;

Швидкість руху 0,4 метри на секунду: $V = 0,4$ м/сек;

Продуктивність конвеєра на промисловому виробництві великого заводу становить 800 тон на годину: $Q = 800$ т/год;

Щільність матеріалу становить 1800 кілограм на метр кубічний, для розрахунків переводимо в тони: $\rho = 1,8$ т/м³;

Кут внутрішнього тертя становить 30 градусів (волога, сформована маса): $\varphi = 30^\circ$;

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		13

Ця конвеєрна лінія призначена для транспортування сформованого матеріалу до печей для випалювання, тому кут нахилу приймається рівним нулю, оскільки стрічка рухається строго горизонтально.

Умови роботи – середні;

Ширина стрічки розраховується наступним чином:

$$B = \left(Q / (160 * V * \rho * (3.6 * k_{\beta} * \operatorname{tg}(0.35\varphi) + 1)) \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$= \frac{80}{(160 * 0,4 * 1,8 * (3.6 * 1 * \operatorname{tg}(0.35 * 30) + 1))^{\frac{1}{2}}} = 2,69 \text{ м.}$$

Значення k_{β} приймаємо рівне 1, так як кут нахилу конвеєра дорівнює нулю.

По розрахованому параметру ширини стрічки обираємо гумовотканинну стрічку шириною 2800 мм. Це дає резерв по навантаженню, краще працює при неідеальній подачі.

Так як кут нахилу конвеєра дорівнює нулю, запас міцності $k_{p.n} = 9.5$;

Межа міцності текстильної стрічки $\sigma_{p.n} = 61 \text{ Н/м}$;

На основі заданих і розрахованих параметрів підбираємо відповідні коефіцієнти: перший — залежно від ширини стрічки ($k_1 = 0,04$), другий — залежно від довжини конвеєра ($k_2 = 1,05$).

Розрахунок потужності електроприводу:

$$N_n = (0,0015 * Q * L + k_1 * L * V) * k_2$$
$$= (0,0015 * 800 * 35 + 0,04 * 35 * 0,4) * 1,05 = 44,7 \text{ кВт};$$

Розрахунок тягового зусилля:

$$F_n = \frac{N_n}{V} = \frac{44,7}{0,4} = 111,75 \text{ кН};$$

Розрахунок максимального натягу стрічки:

$$F_{\max} = \frac{F_n e^{fa}}{e^{fa} - 1} = \frac{111,75 * 3}{3 - 1} = 167,625 \text{ кН};$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок числа прокладок у стрічці (z):

$$z = \frac{F_{max} * k_{p.п}}{B_{обрана} * \sigma_{p.п}} = \frac{167,625 * 9,5}{2,8 * 61} = 9,3$$

Отримане значення округлюємо до більшого цілого значення, приймаємо z=10.

Товщина гумових шарів стрічки: робоча сторона $b_1 = 4,5$ мм, зворотна сторона $b_2 = 1,5$ мм. Текстильна прокладка: товщина одного шару $b = 1,25$ мм.

Розрахунок лінійної щільності стрічки:

$$q_{л} = 1,1 * B * (b * z + b_1 + b_2) = 1,1 * 2,8 * (1,25 * 10 + 4,5 + 1,5) = 57 \text{ кг/м}$$

Розрахунок середньої щільності вантажу:

$$q_{г} = \frac{Q}{3,6 * V} = \frac{800}{3,6 * 0,4} = 555,5 \text{ кг/м};$$

На основі отриманих і табличних даних визначаємо значення зовнішнього діаметра ролику ($D_p = 159$ мм) та відповідного коефіцієнта ($A = 1550$ мм).

Орієнтовний крок роликів на робочій гілці для стрічки 2800 мм складає 2200 мм. $I_p = 2,2$ м - як усереднене значення для стрічки шириною 2800 мм, що транспортує сипкий або важкий вантаж.

Орієнтовна маса роликоопори для $B = 2800$ мм складає 25-35кг. Приймаємо $m_{ж} = 35$ кг.

Розрахунок діаметру привідного барабану:

$$D_6 = z * 120 = 10 * 120 = 1200 \text{ мм},$$

де 120 - умовна висота однієї прокладки або крок намотки.

Розрахунок довжини барабану:

$$B_6 = B + 100 = 2800 + 100 = 2900 \text{ мм};$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		15

Розрахунок діаметру натяжного барабану:

$$D_n = \frac{2}{3} D_6 = \frac{2}{3} * 1200 = 800 \text{ мм};$$

1.6 Підбір електродвигуна для конвеєра

Для розрахованого конвеєра з розрахунковою потужністю 44,7 кВт і необхідним запасом доречним вибором буде електродвигун потужністю 55 кВт. Беручи до уваги повністю горизонтальне розміщення конвеєра, швидкість стрічки $V = 0,4 \text{ м/с}$ і продуктивність $Q = 800 \text{ т/год}$, необхідно обрати двигун з відповідною частотою обертання на крутним моментом.

Вибір падає на Siemens 1LE1601-2DC2 IE2 55 кВт, 1000 об/хв. Параметри обраного двигуна більш детально розглянуто в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Параметри двигуна Siemens 1LE1601-2DC2 IE2

Потужність	55 кВт
Частота обертання	985 об/хв
Крутний момент	530 Н·м
ККД	93,1%
cos φ	0,86
Струм	99 А
Корпус (матеріал)	чавунний
Ступінь захисту	IP55
Режим роботи	S1 (тривалий)
Вага	510 кг



Рисунок 1.5. Електродвигун Siemens 1LE1601-2DC2 IE2

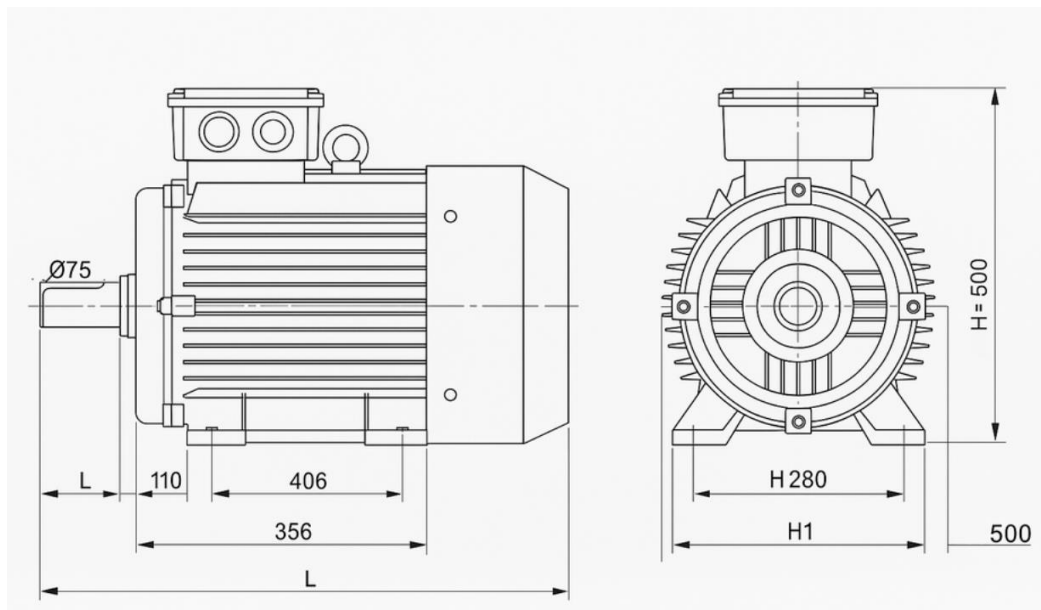


Рисунок 1.6. Креслення з основними розмірами двигуна Siemens 1LE1601-2DC2 IE2

Цей двигун має високий крутний момент, що ідеально підходить для конвеєрів з важким навантаженням.

1.7 Підбір перетворювача частоти та редуктора для конвеєра

Для забезпечення надійної, плавної та енергоефективної роботи приводу стрічкового конвеєра доцільно застосувати перетворювач частоти (ПЧ). Основною його функцією є регулювання частоти обертання електродвигуна, що дозволяє підтримувати задану швидкість руху стрічки, забезпечувати плавний пуск, гальмування та захист електроприводу.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		17

Необхідність застосування перетворювача частоти обумовлена:

- Плавним пуском і зупинкою конвеєра без ривків, що знижує знос стрічки, підшипників і зменшує ударні навантаження.
- Можливістю регулювання швидкості стрічки залежно від поточних умов експлуатації та об'ємів транспортування.
- Захистом електродвигуна від перевантажень, коротких замикань, перегріву та інших аварійних режимів.
- Зниженням енергоспоживання, особливо при роботі на частковому навантаженні.

$$n_{\text{барабана}} = \frac{V}{\pi * D} = \frac{0,4}{3,14 * 1,2} = 0,106 \text{ об/с} = 6,4 \text{ об/хв};$$

Розрахунок передаточного числа:

$$i = \frac{n_{\text{двигуна}}}{n_{\text{барабана}}} = \frac{985}{6,4} = 153,9.$$

На основі проведених розрахунків і попередньо-обраного обладнання обираємо перетворювач частоти Siemens SINAMICS G120.



Рисунок 1.7. Перетворювач частоти Siemens SINAMICS G120

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		18

З огляду на високе передаточне число, великі навантаження та необхідність компактного монтажу оптимальним є застосування циліндро-конічного редуктора або планетарного редуктора.

Отже, обираємо редуктор Siemens Flender KAF157 B3HR132 (циліндро-конічний).

Редуктор Siemens Flender KAF157 повністю задовольняє розрахункові параметри конвеєрної установки — за передаточним числом, моментом, режимом роботи та ступенем надійності. Рекомендується до застосування у зв'язці з електродвигуном 55 кВт та частотним перетворювачем SINAMICS G120.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		19

Розділ 2. Електропостачання

Розділ присвячений проектуванню системи електропостачання цеху на цегельному заводі. Цех входить до складу виробничого комплексу з виготовлення керамічної цегли, розташованого на території промислової зони. До основних функціональних елементів цеху належать обладнання для підготовки сировини, формування, сушіння та транспортування продукції.

Проектування електропостачання виконано відповідно до нормативних документів, з урахуванням технологічних особливостей роботи обладнання, режиму роботи підприємства та вимог щодо надійності електроживлення. Усі розрахунки навантажень виконано методом коефіцієнта попиту.

Живлення електроприймачів цеху здійснюється від внутрішнього розподільчого пункту, що під'єднаний до трансформаторної підстанції підприємства з напругою 0,4 кВ. У загальній системі електропостачання підприємства цех є одним із відповідальних споживачів, оскільки його безперервна робота напряму впливає на продуктивність усього заводу.

У складі електрообладнання цеху функціонують різні типи електроприймачів: насоси, вентилятори, компресори, транспортери, приводи механізмів та інше обладнання, яке забезпечує технологічний процес виробництва. Їхні розрахункові параметри наведено у таблицях розділу, а також представлено у вигляді спрощеної структурної схеми.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Кричковський				Електропостачання	Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Данілін О.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Кулаковський							
Затверд.	Бойченко							
						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		

2.1. Розрахунок освітлення

Раціональне освітлення підприємств покращує умови праці, сприяє зростанню продуктивності та знижує рівень травматизму. Основними завданнями при організації освітлення, поряд з економічністю, є забезпечення належного рівня освітленості на робочих місцях відповідно до нормативних вимог, усунення осліплюючої дії джерел світла, запобігання різким тіням і коливанням світлового потоку, а також забезпечення правильного відтворення кольорів об'єктів. Важливим є використання мінімальної кількості освітлювальних установок при збереженні їхньої ефективності, а також простота, компактність, надійність і мобільність конструкцій.

Розрахунок освітлення приміщення здійснено методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Освітлення територій та приміщень промислових об'єктів відповідає вимогам галузевих нормативних документів. Необхідний рівень освітленості забезпечується системою загального робочого освітлення, а при потребі – додатковим місцевим освітленням.

2.2.1 Розрахунок освітлення приміщення методом використання світлового потоку

Для розрахунку освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку беруться до уваги такі вихідні параметри: основне приміщення розміром 75×25 м та два додаткові приміщення по 25×9 м кожне. Висота підвісу світильників становить $h = 1,9$ м, а нормована освітленість приміщень $E_n = 12$ лк. Стеля світла, стіни сірого кольору.

Цей метод дозволяє враховувати не тільки світловий потік, що безпосередньо падає на робочу поверхню від світильника, але й відбите світло від стін і стелі завдяки коефіцієнту використання освітлювальної установки. Значення коефіцієнта залежить від кольору поверхонь і розмірів приміщення. Метод застосовується для освітлення різних виробничих зон, зокрема насосних станцій, машинних залів, камер та інших технічних приміщень.

При проектуванні системи освітлення для виробничих приміщень

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		21

першочергово враховуються технологічні умови експлуатації, зокрема рівень запиленості, вологість і хімічна агресивність середовища. На основі цих факторів обирають тип світильників: відкриті, захищені або ті, що призначені для хімічно активного середовища. У приміщеннях з постійним перебуванням людей рекомендується використовувати газорозрядні світильники.

Приймаємо типи світильників для двох приміщень (Табл. 1.1) і знаходимо світловий потік лампи $F_{л}$.

Таблиця 1.1 – параметри обраних світильників

Тип світильника	Тип лампи	Напруга (U, В)	Потужність (P, Вт)	Світловий потік ($F_{л}$, лм),	Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$)	ККД (%)
LED INDUSTRY 150	Світлодіодна LED	220-240	150	25500	0.98	92
LED INDUSTRY 60	Світлодіодна LED	220-240	60	8700	0.98	91

Розраховуємо показники приміщень:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{75 \cdot 25}{1,9 \cdot (75 + 25)} = 9,87; \quad (1.1)$$

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 25}{1,9 \cdot (9 + 25)} = 3,48;$$

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

Обчислюємо площу приміщень, беручи до уваги їхню прямокутну форму:

$$S = A \cdot B = 75 \cdot 25 = 1875 \text{ м}^2; \quad (1.2)$$

$$S = A \cdot B = 25 \cdot 9 = 225 \text{ м}^2;$$

Мінімальне значення освітленості визначається відповідно до норм та залежить від умов проектування. Для приміщення цього типу:

$$E_{\min} = E_{н} = 12 \text{ лк};$$

Коефіцієнт використання для приміщень із індексами $i = 9,87$ та $i = 3,48$ (округленими до 5 та 3 відповідно) за умови світлої стелі та сірих стін:

$$K_B = 0,59;$$

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,4 \cdot 12 \cdot 1875 \cdot 1,35}{0,59} = 72076,3 \text{ лм}; \quad (1.3)$$

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,4 \cdot 12 \cdot 225 \cdot 1,35}{0,59} = 8649,2 \text{ лм}$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищення їхніх ковпаків, $K_3 = 1,3 \dots 1,5$ для ламп розжарювання (приймаємо 1,4), $K_3 = 1,5 \dots 2,0$ для люмінесцентних ламп; z - коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,3 \dots 1,4$ (приймаємо 1,35)).

Обчислюємо потрібну кількість ламп для обох приміщень:

$$N = \frac{F}{F_L} = \frac{72076,3}{25500} = 2,8 \approx 3; \quad (1.4)$$

$$N = \frac{F}{F_L} = \frac{8649,2}{8700} \approx 1.$$

Приймаємо $N_1 = 3$ шт. та $N_2 = 1$ шт.

Потужність світильників, необхідну для освітлення всіх трьох приміщень, визначаємо за аналогією з точковим методом.

$$P_{\text{ро}} = N_1 \cdot P_{L1} + 2 \cdot (N_2 \cdot P_{L2}) = 3 \cdot 150 + 2 \cdot (1 \cdot 60) = 570 \text{ Вт}; \quad (1.5)$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок навантажень методом коефіцієнта попиту проводиться від нижчих рівнів напруги до вищих, об'єднуючи електроприймачі у збірки (вузли).

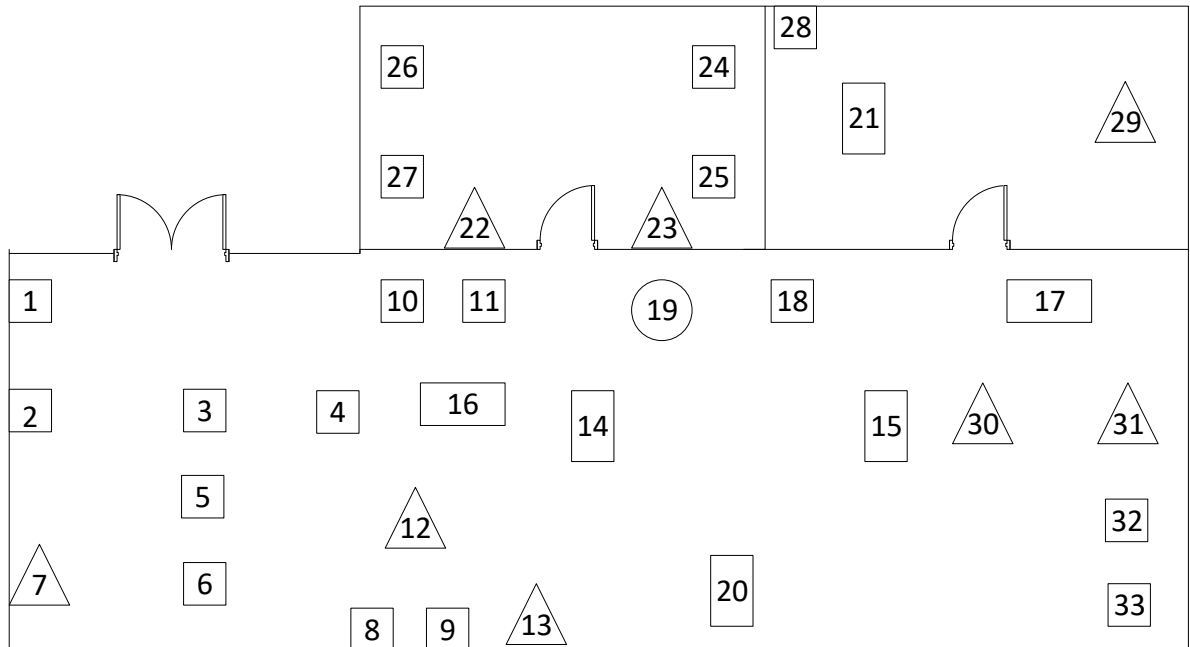


Рисунок 2.1 – Спрощена розрахункова схема

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

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри споживачів приміщень

№	Споживач	Електродвигун	P_H , кВт	n	K_{Π}	η_H	$\cos\varphi$
Секція №1 ($U_H = 0,4$ кВ)							
1	Насос високого тиску	Siemens 1LE1003-2AA	25	2	0,85	0,94	0,8
2	Насос технічної води	WEG W22 225S/M	24	2	0,85	0,93	0,8
3	Насос розчинів	ABB M2BAX100L4	4	2	0,75	0,89	0,8
4	Вентилятор	Siemens 1LE1001-0DA	4	3	0,65	0,88	0,65
5	Насос подачі води	WEG W21 100L4	4	2	0,75	0,89	0,8
6	Насоси скрубера №1	ABB M2BAX132S4	10	2	0,8	0,91	0,8
7	Димосос №1	Siemens 1LA8223-4AA	25	1	0,65	0,94	0,65
8	Вентилятор первинного повітря	WEG W22 160M4	15	1	0,65	0,92	0,65
9	Привід печі №1,2	ABB M3BP160M4	17	2	0,75	0,92	0,75

Продовження таблиці 2.1

10	Тельфер печі №1,2	Siemens 1LE1001-0DA	4	2	0,75	0,88	0,75
11	Зварювальний Трансформатор, ТВ 20%	-	16	1	0,75	0,92	0,75
12	Зварювальний перетворювач	-	19	1	0,75	0,93	0,75
13	Конвеєр	ABB M3BP250M4	55	1	0,75	0,96	0,75
14	Кран-балка, ТВ 40%	Siemens 1LE1003-2AA	15	1	0,75	0,94	0,75
15	Вентилятор вторинного повітря	WEG W22 160M4	16	2	0,65	0,92	0,65
16	Шнек готового продукту	ABB M2BAX132S4	8	2	0,75	0,91	0,75
17	Насос низького тиску	Siemens 1LA8223-4AA	14	2	0,8	0,93	0,8
18	Компресор	WEG W22 280S4	58	1	0,75	0,96	0,75
19	Димосос №2	ABB M3BP200M4	25	1	0,65	0,94	0,65
20	Насоси скрубера №2	WEG W21 160M4	14	2	0,8	0,92	0,8

Показниками освітлення можна знехтувати ($0,57 \text{ кВт} < 1\%$).

За формулою (2.1) визначити розрахункове активне навантаження P_p для кожного з електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол кожного приміщення.

Для прикладу виконаємо розрахунок першого параметру, а подальші обчислення здійснюватимуться в Microsoft Excel.

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

$$P_{p1} = 2 \cdot K_{\Pi 1} \cdot P_{\text{н1}} = 2 \cdot 0,85 \cdot 25 = 41,6 \text{ кВт};$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і.}} = 392,7 \text{ кВт};$$

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

$$\text{tg}\varphi_{\text{н}} = \text{tg}(\arccos(\cos\varphi_{\text{н}})) \quad (2.2)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{н1}} = \text{tg}(\arccos(0,8)) = 0,75;$$

За формулами (2.3) (для електродвигунів) та (2.4) визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача та сумарне реактивне навантаження на вузол приміщення 1:

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						25
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{Hi}}{\eta_{Hi}} \operatorname{tg} \varphi_{Hi} \quad (2.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.4)$$

$$Q_{p1} = \sum_{i=1}^{n=3} \frac{P_{H1}}{\eta_{H1}} \operatorname{tg} \varphi_{H1} = \frac{2 \cdot 25}{0,94} \cdot 0,75 = 39,894 \text{ кВАр};$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_{H.i} = 484,67 \text{ кВАр};$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p для усіх 3х приміщень:

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

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{42,5^2 + 39,894^2} = 58,29 \text{ кВА};$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{392,7^2 + 484,67^2} = 625,3 \text{ кВА};$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні данні									Розрахунок			
№	Електро- приймачі	Тип машин	P_H , кВт	n	ΣP_H , кВт	$K_{п}$	ККД, η_H	$\cos \varphi_n$	P_p , кВт	$\operatorname{tg} \varphi_H$	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Підстанція №1												
Трансформатор ТМ-630/6/0,4												
Секція (Приміщення 1) №1												
1	Насос високого тиску	Siemens 1LE1003- 2AA	25	2	50	0,85	0,94	0,8	42,5	0,750	39,894	58,290
2	Насос технічної води	WEG W22 225S/M	24	2	48	0,85	0,93	0,8	40,8	0,750	38,710	56,241
3	Насос розчинів	ABB M2BAX100 L4	4	2	8	0,75	0,89	0,8	6	0,750	6,742	9,025
4	Вентилятор	Siemens 1LE1001- 0DA	4	2	8	0,65	0,88	0,65	5,2	1,169	10,628	11,832
5	Насос подачі води	WEG W21 100L4	4	2	8	0,75	0,89	0,8	6	0,750	4,500	7,500
6	Насоси скрубера №1	ABB M2BAX132 S4	10	2	20	0,8	0,91	0,8	16	0,750	16,484	22,972

2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ

Лист

26

Зм. Арку № докум. Підпис Дата

7	Димосос №1	Siemens 1LA8223- 4AA	25	1	25	0,65	0,94	0,65	16,25	1,169	18,998	25,000	
8	Вентилятор первинного повітря	WEG W22 160M4	15	1	15	0,65	0,92	0,65	9,75	1,169	19,062	21,411	
9	Привід печі №1,2	ABB M3BP160M 4	17	2	34	0,75	0,92	0,75	25,5	0,882	32,593	41,383	
10	Тельфер печі №1,2	Siemens 1LE1001- 0DA	4	2	8	0,75	0,88	0,75	6	0,882	8,017	10,014	
11	Зварювальний Трансформат ор, ТВ 20%	-	16	1	16	0,75	0,92	0,75	12	0,882	15,338	19,474	
12	Зварювальний перетворювач	-	19	1	19	0,75	0,93	0,75	14,25	0,882	18,018	22,972	
13	Конвеєр	ABB M3BP250M 4	55	1	55	0,75	0,96	0,75	41,25	0,882	50,527	65,226	
14	Димосос №2	ABB M3BP200M 4	25	1	25	0,65	0,94	0,65	16,25	1,169	31,094	35,084	
15	Насоси скрубера №2	WEG W21 160M4	14	2	28	0,8	0,92	0,8	22,400	0,750	22,826	31,981	
Разом										280,15		333,42 9	435,49 8
Секція (Приміщення 2) №2													
1	Вентилятор вторинного повітря	WEG W22 160M4	16	2	32	0,65	0,92	0,65	20,8	1,169	40,665	45,676	
2	Шнек готового продукту	ABB M2BAX132 S4	8	2	16	0,75	0,91	0,75	12	0,882	15,506	19,607	
3	Насос низького тиску	Siemens 1LA8223- 4AA	14	2	28	0,8	0,93	0,8	22,4	0,750	22,581	31,806	
Разом										55,2		78,752	97,089
Секція (Приміщення 3) №3													
1	Кран-балка, ТВ 40%	Siemens 1LE1003- 2AA	15	1	15	0,75	0,94	0,75	11,25	0,882	14,073	18,017	
2	Компресор	WEG W22 280S4	58	1	58	0,75	0,96	0,75	43,5	0,882	53,282	68,784	
3	Вентилятор	Siemens 1LE1001- 0DA	4	1	4	0,65	0,88	0,65	2,6	1,169	5,314	5,916	
Разом										57,35		72,489	92,717
Сума по ГПП										392,7		484,67	625,3

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ							Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата								27

Обираємо трансформатор Т1, згідно заданої потужності, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального, $U_{\text{номВН}} = 6$ кВт, а $U_{\text{номНН}} = 0,4$ кВ;

Таблиця 2.3 – Параметри трансформатора для шини РП-1

Тип	Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності КЗ, $P_{\text{к}}$, кВт	Напруга КЗ, $U_{\text{к}}\%$
		ВН (Y)	НН (Δ)		
ТМ-630/6	630	6	0,4	1,5	6

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторі Т1:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,02 \cdot 630 = 126 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,1 \cdot 630 = 63 \text{ кВАр};$$

2.3. Розрахунок електричних мереж

2.3.1 Основні відомості

При проектуванні систем живлення та розподілу електроенергії виконують електричні та механічні розрахунки ліній електропередач. Перед вибором перерізу проводів і кабелів необхідно скласти схему електропостачання підприємства, вказавши довжину всіх елементів мережі. Оскільки гірничі машини постійно переміщуються, а навантаження в мережі змінюється, схема розробляється для найменш сприятливого розташування обладнання, коли втрати напруги будуть максимальними. При цьому враховується можливість зосередження навантажень у кінцевих точках магістралей відповідно до технологічного процесу.

Стационарні кабельні лінії 6 кВ обирають за економічною щільністю струму, нагрівом з урахуванням умов прокладання, термічною стійкістю до струмів КЗ і втратами напруги. Переносні кабельні лінії розраховують за нагріванням, термічною стійкістю до КЗ та втратами напруги. Кабельні мережі до 1000 В вибирають аналогічно повітряним ЛЕП цієї ж напруги.

2.3.2 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

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

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (3.1)$$

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

Розрахунковий струм двигуна (груп двигунів) визначається по його номінальній потужності:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} \quad (3.2)$$

де η_H – ККД двигуна при номінальному навантаженні; $\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						29
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{P1} = \frac{P_{H1}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H1} \cdot \cos \varphi_{H1}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,94 \cdot 0,8} = 47,98 \text{ A};$$

$$I_{РП1} = \frac{S_{РП1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{160,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 231,5 \text{ A};$$

Аналогічно розраховуємо решту електроприймачів та заносимо дані в Табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані параметри для розрахунку секції №1

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
РП-1							
РП1	РП1	30	КЛ	110,75	-	-	231,5
Насос високого тиску	1	50	КЛ	21,25	0,8	0,94	47,98
Насос високого тиску	2	50	КЛ	21,25	0,8	0,94	47,98
Насос технічної води	3	50	КЛ	20,4	0,8	0,93	46,56
Насос технічної води	4	50	КЛ	20,4	0,8	0,93	46,56
Насос розчинів	5	100	КЛ	3	0,8	0,89	8,11
Насос розчинів	6	100	КЛ	3	0,8	0,89	8,11
Вентилятор	7	150	КЛ	1,73	0,65	0,88	10,09
Вентилятор	8	150	КЛ	1,73	0,65	0,88	10,09
Вентилятор	9	150	КЛ	1,73	0,65	0,88	10,09
Димосос №1	10	100	КЛ	16,25	0,65	0,94	59,06
РП2							
РП2	РП2	50	КЛ	160	-	-	410,35
Вентилятор первинного повітря	11	50	КЛ	9,75	0,65	0,92	36,21
Вентилятор вторинного повітря	12	50	КЛ	10,4	0,65	0,92	38,62
Вентилятор вторинного повітря	13	50	КЛ	10,4	0,65	0,92	38,62
Привід печі №1,2	14	50	КЛ	12,75	0,75	0,92	35,56
Привід печі №1,2	15	50	КЛ	12,75	0,75	0,92	35,56
Тельфер печі №1,2	16	50	КЛ	3	0,75	0,88	8,75
Тельфер печі №1,2	17	50	КЛ	3	0,75	0,88	8,75
Зварювальний Трансформатор, ТВ 20%	18	100	КЛ	12	0,75	0,92	33,47

Продовження таблиці 3.1

Зварювальний перетворювач	19	50	КЛ	14,25	0,75	0,93	39,32
Шнек готового продукту	20	150	КЛ	6	0,75	0,91	16,92
Шнек готового продукту	21	150	КЛ	6	0,75	0,91	16,92
Компресор	22	200	КЛ	43,5	0,75	0,96	116,27
Димосос №2	23	100	КЛ	16,25	0,65	0,94	137,01
РПЗ							
РПЗ	РПЗ	30	КЛ	44,4	-	-	89,88
Насос подачі води	24	150	КЛ	3	0,8	0,89	8,11
Насос подачі води	25	150	КЛ	3	0,8	0,89	8,11
Насоси скрубера №1	26	150	КЛ	8	0,8	0,91	19,83
Насоси скрубера №1	27	150	КЛ	8	0,8	0,91	19,83
Насос низького тиску	28	100	КЛ	11,2	0,8	0,93	27,16
Насос низького тиску	29	100	КЛ	11,2	0,8	0,93	27,16
РП4							
РП4	РП4	40	КЛ	74,9	-	-	166,28
Конвеєр	30	200	КЛ	41,25	0,75	0,96	110,26
Кран-балка, ТВ 40%	31	150	КЛ	11,25	0,75	0,94	30,71
Насоси скрубера №2	32	50	КЛ	11,2	0,8	0,92	27,46
Насоси скрубера №2	33	50	КЛ	11,2	0,8	0,92	27,46

Для всіх споживачів низької напруги ЛЕП проектують з урахуванням втрат напруги, а також перевіряють за критеріями нагрівання та економічної щільності струму, якщо тривалість максимального навантаження перевищує 4000–5000 годин на рік.

2.3.3 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перерізу проводів повітряних ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному тривалому режимі роботи полягає в порівнянні розрахункового струму i -ї лінії з допустимим струмом, для якого ПУЕ рекомендує стандартні значення перерізів проводів КЛ та жил кабелів, за умови

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (3.3)$$

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

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

Обираємо чотирьохжильні кабелі з мідними жилами з гумовою ізоляцією в металевих захисних оболонках:

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 - Параметри та добір чотирижильних кабелів марки ВВГ за струмовим навантаженням

Лінія	I_p	$I_{доп}$	$S_{нагр}$	Марка
$L_{рп1}$	231,50	260	120	ВВГ
$L_{рп2}$	410,35	472	240	ВВГ
$L_{рп3}$	89,88	95	25	ВВГ
$L_{рп4}$	166,28	180	70	ВВГ
L_1	47,98	55	10	ВВГ
L_2	47,98	55	10	ВВГ
L_3	46,56	55	10	ВВГ
L_4	46,56	55	10	ВВГ
L_5	8,11	19	1.5	ВВГ
L_6	8,11	19	1.5	ВВГ
L_7	10,09	19	1.5	ВВГ
L_8	10,09	19	1.5	ВВГ
L_9	10,09	19	1.5	ВВГ
L_{10}	59,06	75	16	ВВГ
L_{11}	36,21	55	10	ВВГ
L_{12}	38,62	55	10	ВВГ
L_{13}	38,62	55	10	ВВГ
L_{14}	35,56	55	10	ВВГ
L_{15}	35,56	55	10	ВВГ
L_{16}	8,75	19	1.5	ВВГ
L_{17}	8,75	19	1.5	ВВГ
L_{18}	33,47	35	4	ВВГ
L_{19}	39,32	55	10	ВВГ
L_{20}	16,92	19	1.5	ВВГ
L_{21}	16,92	19	1.5	ВВГ
L_{22}	116,27	120	35	ВВГ
L_{23}	137,01	145	50	ВВГ
L_{24}	8,11	19	1.5	ВВГ
L_{25}	8,11	19	1.5	ВВГ
L_{26}	19,83	25	2.5	ВВГ
L_{27}	19,83	25	2.5	ВВГ
L_{28}	27,16	35	4	ВВГ
L_{29}	27,16	35	4	ВВГ
L_{30}	110,26	120	35	ВВГ
L_{31}	30,71	35	4	ВВГ
L_{32}	27,46	35	4	ВВГ
L_{33}	27,46	35	4	ВВГ

2.3.4 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму

Вибір економічно доцільного перерізу провідників КЛ і ПЛ, що рекомендують ПВЕ, виконують за економічною густиною струму в залежності від матеріалу провідника та кількості годин використання максимуму навантаження, а для кабелів, крім того, і від матеріалу ізоляції.

Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом i -ї лінії та економічною густиною струму

Для підприємств даного комплексу $T = 5900$ год/рік.

Економічна густина струму $J_{ЕК}$ (А/мм²) при T_M (год/рік):

Кабелі з гумовою та пластмасовою ізоляцією :

Алюмінієві – 1,6 А/мм²;

Мідні – 2,7 А/мм²;

Розраховуємо переріз провідників:

$$S'_{ек} = \frac{I_p}{J_{ек}} \quad (3.4)$$

де I_p - розрахунковий струм, А; $j_{ЕК}$ - економічна густина струму, А/ мм²

Метод поширений завдяки своїй простоті і дозволяє приблизно оцінити економічну доцільність, оскільки не враховує ціну електроенергії. У випадку пошуку економічних резервів мережі застосовуються більш точні розрахунки.

Для ізольованих проводів з перерізом жил більш 16 мм², рекомендується збільшувати економічну густину струму на 40%.

$$S'_{ек1} = \frac{47,98}{2,7} = 17,77 \text{ мм}^2; S_{ек1} = 16 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ек5} = \frac{8,11}{2,7} = 3 \text{ мм}^2; S_{ек1} = 2,5 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{РП1} = \frac{231,50}{2,7 \cdot 1,4} = 61,24 \text{ мм}^2; S_{РП1} = 50 \text{ мм}^2;$$

Подальші обчислення виконуються в Microsoft Excel.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						33
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.5 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Обраний перетин провідників ЛЕП повинен відповідати як економічним, так і технічним вимогам, у тому числі й умовам забезпечення споживачів електроенергією необхідної якості. Тому електрична мережа повинна бути вибрана або перевірена на припустиму втрату напруги.

Для низьковольтних електроприймачів (до 1 кВ) – втрати напруги у вольтах. Ділянка мережі низької напруги складається з трансформатора (або трансформаторної підстанції) та кабелів (магістральні, відгалужувальні, гнучкі), які з'єднують трансформатор та електроприймач. Величину втрат напруги для мережі до 1 кВ приймають рівною 39В, 63В, 117В)– відповідно при U_H мережі 380В, 660В, 1140В.

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

Втрати напруги в низьковольтній мережі – це сума втрат напруги в усіх її елементах, яка не повинна перевищувати нормоване значення (при необхідності знизити втрати збільшують переріз кабелів).

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

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

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;

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

Враховуючи можливість регулювання напруги на виході трансформатора за рахунок переключення відпайок обмотки первинної напруги абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}$$

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 ТМ-630/6:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T.}} = \frac{625,4}{630} = 0,99;$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_k}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{1500}{10 \cdot 630} = 0,238 \%;$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{6^2 - 0,238^2} = 5,99 \%;$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{392,7}{625,3} = 0,62;$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos\varphi^2} = \sqrt{1 - 0,62^2} = 0,78;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%} &= \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos\varphi + U_{p\%} \cdot \sin\varphi) = 0,99 \cdot (0,238 \cdot 0,62 + 5,99 \cdot 0,78) \\ &= 4,77 \% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 4,77 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 19,08 \text{ В};$$

Тоді допустимі втрати напруги в кабелі:

$$\Delta U_{MK} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{TP} = 39 - 19,08 = 19,92 \text{ В};$$

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

$$\Delta U_{M.K.} = \frac{P_H \cdot L_{M.K.} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{M.K.} \cdot U_H \cdot \eta_H}$$

$$\Delta U_{M.K1} = \frac{P_{H1} \cdot L_{M.K1} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{M.K1} \cdot U_H \cdot \eta} = \frac{25 \cdot 50 \cdot 10^3}{50 \cdot 16 \cdot 380 \cdot 0,94} = 4,37 \text{ В};$$

$$\Delta U_{RP1} = \frac{S_{RP1} \cdot L_{RP1} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{RP1} \cdot U_H} = \frac{160,39 \cdot 30 \cdot 10^3}{50 \cdot 50 \cdot 380} = 5,06 \text{ В};$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		35

№	Допустимі втрати ($\Delta U_{\text{МК}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{ТР}} - \Delta U_{\text{РП}}$)
РП1	14,02
РП2	11,2
РП3	12,93
РП4	12,15

Якщо напруга більше допустимої - поступово збільшуємо показники S поки не отримаємо задовільний результат.

$$\Delta U_{\text{М.К7}} = \frac{P_{\text{Н7}} \cdot L_{\text{М.К7}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{М.К7}} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \eta} = \frac{4 \cdot 150 \cdot 10^3}{50 \cdot 4 \cdot 380 \cdot 0,88} = 8,97 \text{ В};$$

$P_{\text{Н}}$ - 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

2.3.6. Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Розрахунок електричної розподільної мережі дільниці зводять у таблицю, у якій повинні бути приведені основні розрахункові параметри елементів мережі, мінімальні значення перетинів провідників, обрані за різними умовами для кожної із ліній, марка остаточно обраного проводу або тип кабелів.

Розрахунок розподільної мережі можна звести у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Остаточний розрахунок мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм I_p, A	За нагрівом		Мех. міцність $S_{мех}, мм^2$	За економічною густиною		За втратами напруги		Остаточна обрана марка
		$I_{доп}, A$	$S_{нагр}, мм^2$		$J_{ек}, мм^2$	$S_{ек}, мм^2$	Втрати напруги, В	$S_{втр}$ напруги $мм^2$	
$L_{рп1}$	231,50	260	120	1,5	3,78	50	5,06	50	ВВГ 4x50
$L_{рп2}$	410,35	472	240	1,5	3,78	95	7,88	95	ВВГ 4x95
$L_{рп3}$	89,88	95	25	1,5	3,78	16	6,15	16	ВВГ 4x16
$L_{рп4}$	166,28	220	95	1,5	3,78	35	6,93	35	ВВГ 4x35
L_1	47,98	55	10	1,5	2,7	16	4,37	16	ВВГ 4x16
L_2	47,98	55	10	1,5	2,7	16	4,37	16	ВВГ 4x16
L_3	46,56	55	10	1,5	2,7	16	4,24	16	ВВГ 4x16
L_4	46,56	55	10	1,5	2,7	16	4,24	16	ВВГ 4x16
L_5	8,11	19	1,5	1,5	2,7	2,5	9,46	2,5	ВВГ 4x2,5
L_6	8,11	19	1,5	1,5	2,7	2,5	9,46	2,5	ВВГ 4x2,5
L_7	10,09	19	1,5	1,5	2,7	2,5	14,35	4	ВВГ 4x4
L_8	10,09	19	1,5	1,5	2,7	2,5	14,35	4	ВВГ 4x4
L_9	10,09	19	1,5	1,5	2,7	2,5	14,35	4	ВВГ 4x4
L_{10}	59,06	75	16	1,5	3,78	10	14	10	ВВГ 4x10
L_{11}	36,21	55	10	1,5	2,7	10	4,29	10	ВВГ 4x10
L_{12}	38,62	55	10	1,5	2,7	10	4,58	10	ВВГ 4x10
L_{13}	38,62	55	10	1,5	2,7	10	4,58	10	ВВГ 4x10
L_{14}	35,56	55	10	1,5	2,7	10	4,86	10	ВВГ 4x10
L_{15}	35,56	55	10	1,5	2,7	10	4,86	10	ВВГ 4x10
L_{16}	8,75	19	1,5	1,5	2,7	2,5	4,78	2,5	ВВГ 4x2,5
L_{17}	8,75	19	1,5	1,5	2,7	2,5	4,78	2,5	ВВГ 4x2,5
L_{18}	33,47	35	4	1,5	2,7	10	9,15	10	ВВГ 4x10
L_{19}	39,32	55	10	1,5	2,7	10	5,38	10	ВВГ 4x10
L_{20}	16,92	19	1,5	1,5	2,7	6	11,57	10	ВВГ 4x10
L_{21}	16,92	19	1,5	1,5	2,7	6	11,57	10	ВВГ 4x10
L_{22}	116,27	120	35	1,5	3,78	25	25,44	70	ВВГ 4x70
L_{23}	137,01	145	50	1,5	3,78	35	9,28	35	ВВГ 4x35
L_{24}	8,11	19	1,5	1,5	2,7	2,5	14,19	4	ВВГ 4x4
L_{25}	8,11	19	1,5	1,5	2,7	2,5	14,19	4	ВВГ 4x4
L_{26}	19,83	25	2,5	1,5	2,7	6	14,46	10	ВВГ 4x10
L_{27}	19,83	25	2,5	1,5	2,7	6	14,46	10	ВВГ 4x10
L_{28}	27,16	35	4	1,5	2,7	10	7,92	10	ВВГ 4x10
L_{29}	27,16	35	4	1,5	2,7	10	7,92	10	ВВГ 4x10
L_{30}	110,26	120	35	1,5	3,78	25	24,12	50	ВВГ 4x50

Продовження таблиці 3.3

L_{31}	30,71	35	4	1,5	2,7	10	5,04	10	ВВГ 4x10
L_{32}	27,46	35	4	1,5	2,7	10	4	10	ВВГ 4x10
L_{33}	27,46	35	4	1,5	2,7	10	4	10	ВВГ 4x10

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						38
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Розрахунок струмів КЗ

При проектуванні системи електропостачання (СЕР) враховуються не лише нормальні, тривалі режими роботи електроустановок (ЕУ), а й аварійні ситуації, серед яких одним із найнебезпечніших є коротке замикання (КЗ). Під КЗ розуміють випадкове або навмисне електричне з'єднання різних точок електроустановки між собою або із землею, яке не передбачене нормальним режимом роботи. У результаті цього струми в гілках різко зростають і перевищують допустимі значення для тривалого режиму.

У трифазних системах змінного струму можливі різні типи КЗ: трифазні, двофазні та однофазні. Найчастіше (у 60–92% випадків) виникають однофазні КЗ. Трифазні КЗ зазвичай спричиняють найбільші струми у пошкодженій ділянці, тому при виборі апаратури розрахунковим струмом КЗ найчастіше вважають струм трифазного замикання. Основні причини КЗ – це механічні пошкодження та старіння ізоляції, падіння опор повітряних ліній, зволоження ізоляції тощо. КЗ можуть бути стійкими або нестійкими, коли причина короткого замикання зникає самостійно під час безструмової паузи комутаційного апарата.

Основні наслідки КЗ – різке збільшення струму в колі, зниження напруги в різних точках системи та виникнення електричної дуги, що може спричинити пошкодження обладнання, механічні навантаження на струмовідні частини й ізолятори, перегрів провідників і навіть пожежу. Зниження напруги може порушити нормальну роботу механізмів: якщо напруга падає нижче 70% номінального значення, електродвигуни можуть зупинитися.

Щоб мінімізувати наслідки КЗ, необхідно якомога швидше відключати пошкоджену ділянку, що досягається використанням швидкодіючих вимикачів та релейного захисту з мінімальною витримкою часу.

Складаємо розрахункову схему заміщення (рис.4.2) на основі схеми підприємства. На схемі позначаємо характерні точки, для яких буде розраховано струми КЗ.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		39

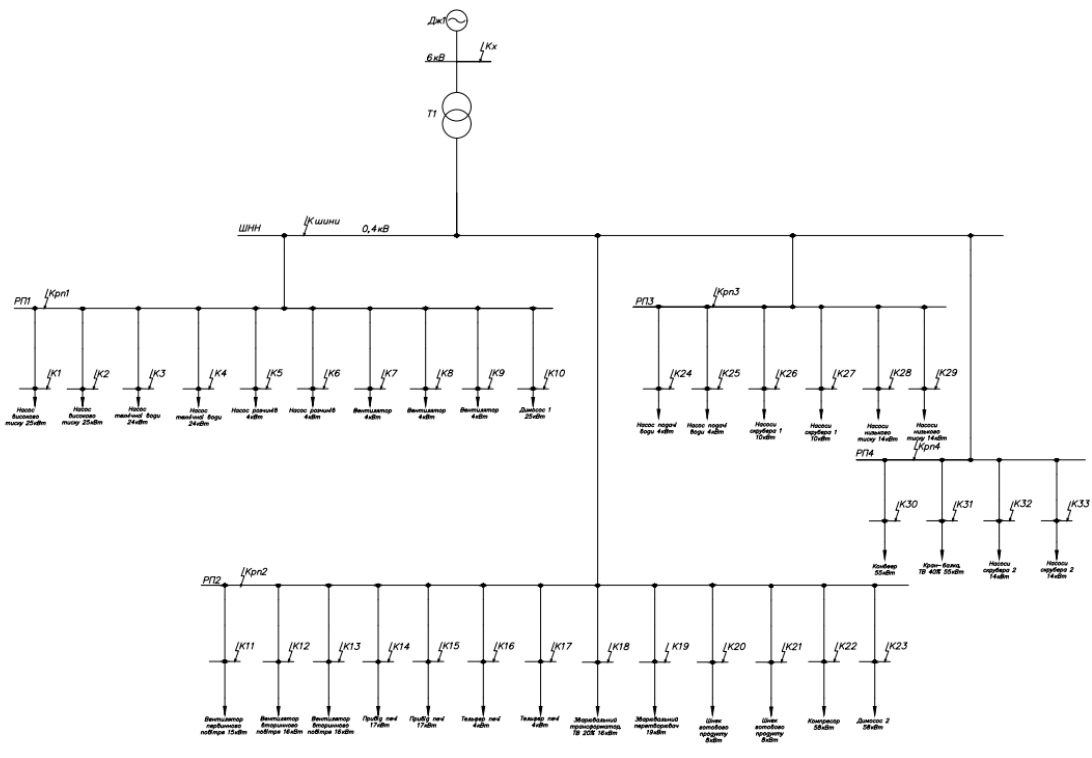


Рисунок 4.1. – Схема електропостачання

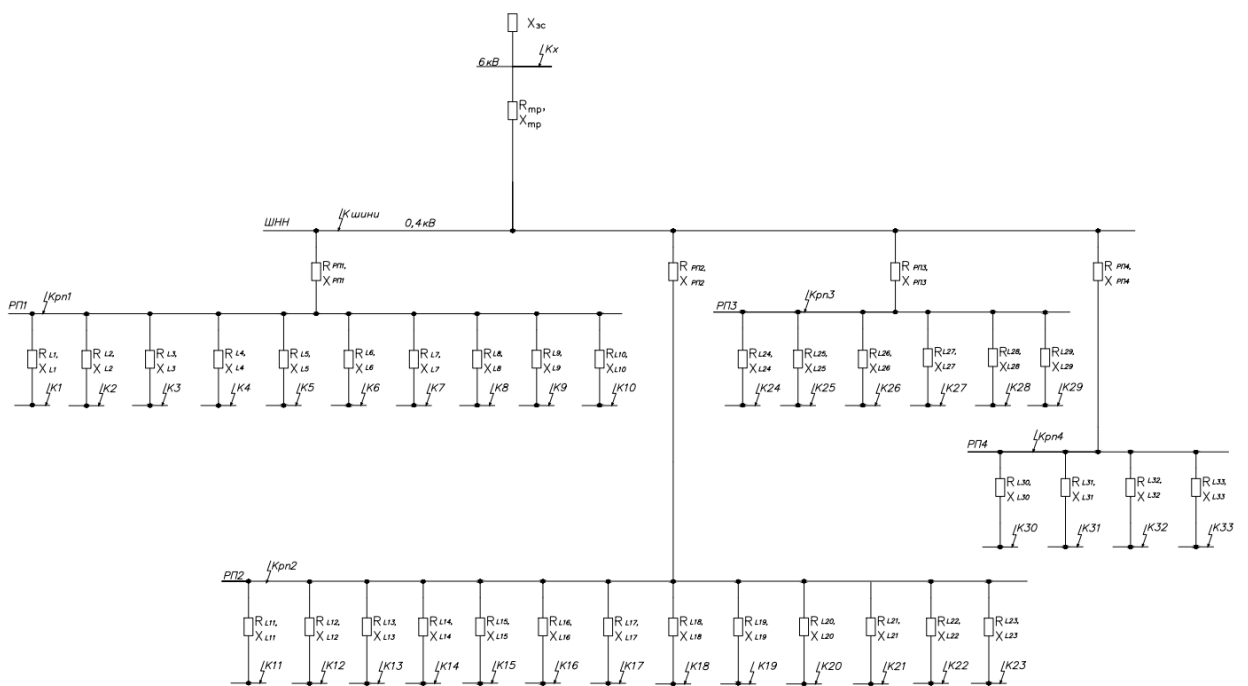


Рисунок 4.2. – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

2.4.1 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 u динамічну стійкість;

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

I_i - 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.

Особливістю розрахунку струмів КЗ. в мережах напругою до 1000 В є необхідність врахування опору всіх елементів схеми (трансформаторів струму, шин, котушок розчеплювачів автоматів, контактних з'єднань апаратів та ін.), врахування активної і реактивної складової опору. Струми КЗ. розраховують в іменованих одиницях.

Величина активного опору лінії визначається за довідниковими даними (додаток 73-74) або в залежності від перерізу ($R = r_0 \cdot L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \cdot L$). Величина реактивного опору лінії визначається за питомим опором ($X = x_0 \cdot L$). Питомий індуктивний опір лінії (може бути прийнято за додатками 73, 76 або для повітряних ЛЕП напругою до 1 кВ - 0,32; до 10 кВ - 0,35; 35 кВ і вище - 0,4; для кабельних ЛЕП напругою до 1 кВ - **0,07**; до 10 кВ - 0,08, Ом/км)

Трифазний струм КЗ:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (4.1)$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						41
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

де U_{cp} - середня номінальна напруга ступіні КЗ (690,400, 230,133 В)
 $\sum r \cdot \sum x$ - 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:

$$X_{zc} = \frac{U_{c.n.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{50 \cdot 10^6} = 0,0032 \text{ Ом}; \quad (4.2)$$

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

$U_{c.n.}^2$ – 230, 400, 690, 1200 В

Опір трансформатора:

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{H.T.}^2); \quad (4.3)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (4.4)$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{c.n.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}; \quad (4.5)$$

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

$$I_{H.T.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909,32 \text{ А};$$

$$Z_{Tp} = \frac{U_k \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}} = \frac{6 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 909,32} = 0,015 \text{ Ом};$$

$$R_{Tp} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{H.T.}^2} = \frac{1500}{3 \cdot 909,32^2} = 0,000605 \text{ Ом};$$

$$X_{Tp} = \sqrt{Z_{Tp}^2 - R_{Tp}^2} = \sqrt{0,015^2 - 0,000605^2} = 0,0152 \text{ Ом};$$

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

$$R_{LP1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{m.k2}} \cdot L_2 = \frac{1000}{50 \cdot 50} \cdot 0,03 = 0,012 \text{ Ом};$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{\text{м.к1}}} \cdot L_1 = \frac{1000}{50 \cdot 16} \cdot 0,05 = 0,0625 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,07$ Ом/км - реактивний опір КЛ, $U < 1$ кВ довжиною 1 км;

$$X_{L_{\text{РП1}}} = x_0 \cdot L_{\text{РП1}} = 0,07 \cdot 0,5 = 0,0035 \text{ Ом};$$

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,07 \cdot 0,5 = 0,0035 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо значення до табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Опори елементів мережі у іменованих одиницях

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	0	0,0032
Трансформатор ТМ-630/6	0,0006	0,015
L _{РП1}	0,012	0,0021
L ₁	0,0625	0,0035
L ₂	0,0625	0,0035
L ₃	0,0625	0,0035
L ₄	0,0625	0,0035
L ₅	0,8	0,007
L ₆	0,8	0,007
L ₇	0,75	0,0105
L ₈	0,75	0,0105
L ₉	0,75	0,0105
L ₁₀	0,2	0,007
L _{РП2}	0,0105	0,0035
L ₁₁	0,1	0,0035
L ₁₂	0,1	0,0035
L ₁₃	0,1	0,0035
L ₁₄	0,1	0,0035
L ₁₅	0,1	0,0035
L ₁₆	0,4	0,0035
L ₁₇	0,4	0,0035
L ₁₈	0,2	0,007
L ₁₉	0,1	0,0035
L ₂₀	0,3	0,0105
L ₂₁	0,3	0,0105
L ₂₂	0,057	0,014
L ₂₃	0,057	0,007
L _{РП3}	0,0375	0,0021
L ₂₄	0,75	0,0105
L ₂₅	0,75	0,0105

Продовження таблиці 4.1

L ₂₆	0,3	0,0105
L ₂₇	0,3	0,0105
L ₂₈	0,2	0,007
L ₂₉	0,2	0,007
L _{РП4}	0,023	0,0028
L ₃₀	0,08	0,014
L ₃₁	0,3	0,0105
L ₃₂	0,1	0,0035
L ₃₃	0,1	0,0035

За розрахунковою схемою складають схему заміщення, де всі її елементи замінюють опорами. Далі, у разі необхідності, спрощують схему шляхом заміни послідовних, паралельних та інших з'єднань опорів еквівалентними:

Розрахуємо сумарний опір до кожної точки КЗ:

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

$$Z_{Кзс} = X_{зс} = 0,0032 \text{ Ом};$$

Точка К_{рп1}: Опір складається з опорів зовнішньої системи X_{зс} та трансформатора ТМ-630/6:

$$\sum R_{Крп1} = R_{Тр} + R_{ЛРП1} = 0,0006 + 0,012 = 0,0126 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{Крп1} = X_{зс} + X_{Тр} + X_{ЛРП1} = 0,0032 + 0,015 + 0,0021 = 0,0203 \text{ Ом};$$

$$Z_{Крп1} = \sqrt{(\sum R_{Крп1})^2 + (\sum X_{Крп1})^2} = \sqrt{0,0126^2 + 0,0203^2} = 0,0239 \text{ Ом};$$

Точка К₁: Складається з опорів зовнішньої системи X_{зс}, трансформатора ТМ-630/6 та РП1:

$$\sum R_{К1} = \sum R_{Крп1} + R_{L1} = 0,0126 + 0,0625 = 0,0751 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{К1} = \sum X_{Крп1} + X_{L1} = 0,0203 + 0,0035 = 0,0238 \text{ Ом};$$

$$Z_{К1} = \sqrt{(\sum R_{К1})^2 + (\sum X_{К1})^2} = \sqrt{0,0751^2 + 0,0238^2} = 0,0788 \text{ Ом};$$

Для інших точок розрахунок аналогічний точці К₁. Результати заносимо в табл. 4.2

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 4.2 – Сумарні опори точок КЗ

Точка	ΣR_K	ΣX_K	Z_K
К _{зс}	0	0,0032	0,0032
К _{Тр}	0,0006	0,0182	0,0182
К _{рп1}	0,0126	0,0203	0,0239
К1	0,0751	0,0238	0,0788
К2	0,0751	0,0238	0,0788
К3	0,0751	0,0238	0,0788
К4	0,0751	0,0238	0,0788
К5	0,8126	0,0273	0,8131
К6	0,8126	0,0273	0,8131
К7	0,7626	0,0308	0,7632
К8	0,7626	0,0308	0,7632
К9	0,7626	0,0308	0,7632
К10	0,2126	0,0273	0,2143
К _{рп2}	0,0111	0,0217	0,0244
К11	0,1111	0,0252	0,1139
К12	0,1111	0,0252	0,1139
К13	0,1111	0,0252	0,1139
К14	0,1111	0,0252	0,1139
К15	0,1111	0,0252	0,1139
К16	0,4111	0,0252	0,4119
К17	0,4111	0,0252	0,4119
К18	0,2111	0,0287	0,2131
К19	0,1139	0,0252	0,1111
К20	0,3111	0,0322	0,3128
К21	0,3111	0,0322	0,3128
К22	0,0683	0,0357	0,0770
К23	0,0683	0,0287	0,0741
К _{рп3}	0,0381	0,0203	0,0432
К24	0,7881	0,0308	0,7887

Продовження таблиці 4.2

K25	0,7881	0,0308	0,7887
K26	0,3381	0,0308	0,3395
K27	0,3381	0,0308	0,3395
K28	0,2381	0,0273	0,2397
K29	0,2381	0,0273	0,2397
K _{рп4}	0,0235	0,0210	0,0315
K30	0,1035	0,0350	0,1092
K31	0,3235	0,0315	0,3250
K32	0,1235	0,0245	0,1259
K33	0,1235	0,0245	0,1259

Приклад розрахунку струмів КЗ для точки

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

$$I_{КЗс}^3 = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{КЗс}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,0032} = 72,168 \text{ кА};$$

б) струм двофазного короткого замикання

$$I_{Крп1}^2 = \frac{U_{с.н.}}{2 \cdot Z_{Крп1}} = \frac{400}{2 \cdot 0,0239} = 8,37 \text{ кА};$$

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

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^3; \quad (4.6)$$

де: k_y - ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2 \dots 1,3$ 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; $\sum I_n$ - сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВ·А.

$$i_{yКЗс} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{КЗс}^3 = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 72,17 = 183,71 \text{ кА};$$

$$i_{yрп1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Крп1}^3 = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,67 = 16,4 \text{ кА};$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$i_{yK1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,93 = 4,15 \text{ кА};$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно.

г) діюче значення повного струму КЗ

$$I_{yKзс} = I_{Kзс}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 72,17 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 109,97 \text{ кА};$$

$$I_{yрп1} = I_{Kрп1}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 9,67 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,2 - 1)^2} = 10,04 \text{ кА};$$

Аналогічно розраховуємо решту струмів короткого замикання та заносимо значення до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок струмів КЗ у іменованих одиницях

Точка	ΣR_K	ΣX_K	Z_K
Kзс	0	0,0032	0,0032
KТр	0,0006	0,0182	0,0182
Kрп1	0,0126	0,0203	0,0239
K1	0,0751	0,0238	0,0788
K2	0,0751	0,0238	0,0788
K3	0,0751	0,0238	0,0788
K4	0,0751	0,0238	0,0788
K5	0,8126	0,0273	0,8131
K6	0,8126	0,0273	0,8131
K7	0,7626	0,0308	0,7632
K8	0,7626	0,0308	0,7632
K9	0,7626	0,0308	0,7632
K10	0,2126	0,0273	0,2143
Kрп2	0,0111	0,0217	0,0244
K11	0,1111	0,0252	0,1139
K12	0,1111	0,0252	0,1139
K13	0,1111	0,0252	0,1139
K14	0,1111	0,0252	0,1139
K15	0,1111	0,0252	0,1139
K16	0,4111	0,0252	0,4119

Продовження таблиці 4.3

K17	0,4111	0,0252	0,4119
K18	0,2111	0,0287	0,2131
K19	0,1139	0,0252	0,1111
K20	0,3111	0,0322	0,3128
K21	0,3111	0,0322	0,3128
K22	0,0683	0,0357	0,0770
K23	0,0683	0,0287	0,0741
K _{рп3}	0,0381	0,0203	0,0432
K24	0,7881	0,0308	0,7887
K25	0,7881	0,0308	0,7887
K26	0,3381	0,0308	0,3395
K27	0,3381	0,0308	0,3395
K28	0,2381	0,0273	0,2397
K29	0,2381	0,0273	0,2397
K _{рп4}	0,0235	0,0210	0,0315
K30	0,1035	0,0350	0,1092
K31	0,3235	0,0315	0,3250
K32	0,1235	0,0245	0,1259
K33	0,1235	0,0245	0,1259

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:

$$I'' = I_\infty = I_k^{(3)}.$$

2.5. Вибір електричних апаратів

Враховуючи умови експлуатації рудникового обладнання, обмеження можливого часу існування пошкодження в мережах у відповідності з вимогами галузевих нормативних документів вибір рудникового електрообладнання та уставок експлуатаційного захисту має свої особливості в порівнянні з загальнопромисловим обладнанням і розглядається окремо.

При проектуванні підстанцій, розподільних і перемикаючих пунктів розподільних електричних мереж необхідно орієнтуватись на застосування сучасних серій комплектних розподільних пристроїв (КРП), підстанцій (КТП), комутаційних апаратів та апаратів експлуатаційного захисту в мережах до 1140 В.

Всі апарати, шини на підстанціях і розподільних пунктах повинні бути обрані за умови тривалої роботи (за номінальним струмом та напругою) і перевірені для режиму КЗ на термічну та динамічну стійкість.

2.5.1 Вибір роз'єднувачів

Для *роз'єднувачів* за номінальною напругою повинні виконуватись умови:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с}; U_{м.а} \geq U_{р.м.} \quad (5.1)$$

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

$$I_{н.а.} \geq I_p; \quad (5.2)$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		49

де $I_{н.а.}$ - дається при розрахунковій температурі зовнішнього середовища $\theta_{о.с.} = +35 \text{ }^\circ\text{C}$. I_p - розрахунковий струм, як правило прирівнюється до номінального.

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

$$I_{\max} \geq I_y \text{ чи } i_{\max} \geq i_y \quad (5.3)$$

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

$$I_t \cdot \sqrt{t} \geq I_\infty \cdot \sqrt{t_\phi} \quad (5.4)$$

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.

2.5.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту

Автоматичні вимикачі є на відміну від плавких запобіжників, апаратами багаторазової дії, які споряджені пристроями витримки часу, забезпечуючи вибіркову дію захисту. Всі автомати мають в кожній фазі максимальне струмове реле прямої дії, що називається розчеплювачем. Останній складається із двох елементів: нагрівання на основі біметалічної пластинки, що забезпечує захист від перевантаження з витримкою часу і називається тепловим, і електромагнітного елемента, що виконує максимальний струмовий захист з витримкою або без витримки часу – струмову відсічку при струмах к. з.

Вибір апаратів захисту здійснюється відповідно до каталогів автоматичних вимикачів та технічних умов їх експлуатації за трьома наведеними нижче критеріями:

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а} = U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_K^{(3)} \quad (5.5)$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а}$ – номінальні струми та напруги автомата; $I_{в.}$ – граничний струм автомата, що вимикається; $I_K^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання на вхідних затискачах автоматичного вимикача. Необхідна додаткова перевірка на термічну та електродинамічну стійкість.

Струм уставки $I_{у.а.}$ максимального захисту автомата обирають за умовою:

$$I_{у.а.} \geq I_{п.мах} + \sum_{i=1}^{K-1} I_{н.і} \quad (5.6)$$

де: $I_{п.мах}$ – номінальний пусковий струм найбільш потужного електродвигуна; $\sum_{i=1}^{K-1} I_{н.і}$ – сума номінальних струмів решти електроспоживачів.

Вибране значення уставки (Додаток 99) повинно бути перевірене на надійність вимикання автоматом струму двофазного короткого замикання $I_{K.min}^{(2)}$ – у найвіддаленішій точці захищеної мережі за умовою

$$I_{K.min}^{(2)} / I_{у.а} \geq 1,5 \quad (1,25) \quad (5.7)$$

Запобіжники в схемі не використовуються для захисту двигунів так як їх функціонал повністю заміщують автоматичні вимикачі які є більш гнучкими у параметрах захисту від перевантажень і струмів КЗ та налаштуванні. Крім цього є ризик виходу з ладу одного з запобіжників трифазного кола двигуна, що не призведе до його повного вимикання і як наслідок призведе до пошкодження споживача.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 5.1 - Електричні апарати

Місце встанов.	Познач. на схемі	Умови вибору електричних апаратів								Тип прийнятого апарата
		За номін. напругою $U_{\text{ном.ап}} \geq U_{\text{м}}$		За номінальним струмом $I_{\text{ном.ап}} \geq I_p$		За струмом вимикання $I_{\text{вим.}} \geq I_{\text{кі}}^{(3)}$		За ел.-дин. Стійкістю $I_{\text{д.с.}} \geq I_y$		
		$U_{\text{н.ап}}$ кВ	$U_{\text{м}}$ кВ	$I_{\text{н.ап}}$ А	I_p А	$I_{\text{в.}}$ кА	$I_{\text{к.мах}}^{(3)}$ кА	$I_{\text{д.с}}$ кА	I_y кА	
Роз'єднувачі та вимикачі навантаження										
	QS1	6(10)	6	400	368,749	-	72,17	51	31,4	ВНА-10/400
	QS2	6(10)	6	400	121,217	-	12,68	51	31,4	ВНА-10/400
Автоматичні вимикачі 0,4 кВ										
ЛРП1	QFрп1	0,4	0,4	250	231,50	25	9,67	35	6,094	ВА-89- 35 250 А
L ₁	QF1	0,4	0,4	63	47,98	4,5	2,93	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₂	QF2	0,4	0,4	63	47,98	4,5	2,93	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₃	QF3	0,4	0,4	63	46,56	4,5	2,93	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₄	QF4	0,4	0,4	63	46,56	4,5	2,93	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₅	QF5	0,4	0,4	25	8,11	4,5	0,28	-	1,538	ВА-47-29 25 А
L ₆	QF6	0,4	0,4	25	8,11	4,5	0,28	-	1,538	ВА-47-29 25 А
L ₇	QF7	0,4	0,4	25	10,09	4,5	0,30	-	1,929	ВА-47-29 25 А
L ₈	QF8	0,4	0,4	25	10,09	4,5	0,30	-	1,929	ВА-47-29 25 А
L ₉	QF9	0,4	0,4	25	10,09	4,5	0,30	-	1,929	ВА-47-29 25 А
L ₁₀	QF10	0,4	0,4	100	59,06	12,5	1,08	6	1,416	АЕ 2056 100А
ЛРП2	QFрп2	0,4	0,4	400	400	35	9,47	35	7,882	ВА-89- 37 400А
L ₁₁	QF11	0,4	0,4	63	36,21	4,5	2,03	-		ВА-47-29 63А
L ₁₂	QF12	0,4	0,4	63	38,62	4,5	2,03	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₁₃	QF13	0,4	0,4	63	38,62	4,5	2,03	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₁₄	QF14	0,4	0,4	63	35,56	4,5	2,03	-	1,416	ВА-47-29 63А
L ₁₅	QF15	0,4	0,4	63	35,56	4,5	2,03	-	1,416	ВА-47-29 63А

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						52
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.1

L ₁₆	QF16	0,4	0,4	25	8,75	4,5	0,56	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₁₇	QF17	0,4	0,4	25	8,75	4,5	0,56	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₁₈	QF18	0,4	0,4	63	33,47	4,5	1,08	-	1,416	BA-47-29 63A
L ₁₉	QF19	0,4	0,4	63	39,32	4,5	2,03	-	1,416	BA-47-29 63A
L ₂₀	QF20	0,4	0,4	25	16,92	4,5	0,74	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₁	QF21	0,4	0,4	25	16,92	4,5	0,74	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₂	QF22	0,4	0,4	125	116,27	12,5	3			BA-47-29 125 A
L ₂₃	QF23	0,4	0,4	250	137,01	25	3,12	35	4,93	BA-89- 35 250 A
L _{PI3}	QF _{PI3}	0,4	0,4	125	89,88	12,5	5,35			BA-47-29 125 A
L ₂₄	QF24	0,4	0,4	25	8,11	4,5	0,29	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₅	QF25	0,4	0,4	25	8,11	4,5	0,29	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₆	QF26	0,4	0,4	25	19,83	4,5	0,68	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₇	QF27	0,4	0,4	25	19,83	4,5	0,68	-	1,538	BA-47-29 25 A
L ₂₈	QF28	0,4	0,4	63	27,16	4,5	0,96	-	1,416	BA-47-29 63A
L ₂₉	QF29	0,4	0,4	63	27,16	4,5	0,96	-	1,416	BA-47-29 63A
L _{PI4}	QF _{PI4}	0,4	0,4	250	166,28	25	7,34	35	4,93	BA-89- 35 250 A
L ₃₀	QF30	0,4	0,4	125	110,26	12,5	2,11			BA-47-29 125 A
L ₃₁	QF31	0,4	0,4	63	30,71	4,5	0,71	-	1,416	BA-47-29 63A
L ₃₂	QF32	0,4	0,4	63	27,46	4,5	1,83	-	1,416	BA-47-29 63A
L ₃₃	QF33	0,4	0,4	63	27,46	4,5	1,83	-	1,416	BA-47-29 63A

Висновок по розділу електропостачання

У результаті виконаного проектного розрахунку системи електропостачання цеху з виготовлення цегли було визначено параметри електричних навантажень обладнання, розраховано необхідні перерізи кабельних ліній, а також обрано відповідне електротехнічне обладнання відповідно до нормативних вимог.

Найбільша потужність навантаження досягає 625,3 кВА, що відповідає сумарному споживанню підприємства. У зв'язку з цим було обрано трансформатор ТМ-630/6/0,4, який здатен працювати при перевантаженні до 30% понад номінальну потужність, тобто до 819 кВА, що забезпечує необхідний резерв потужності.

Рівень реактивної потужності, що споживається підприємством, становить 484,67 кВар, що свідчить про доцільність впровадження заходів з компенсації реактивної потужності у перспективі, з метою підвищення енергоефективності системи та зниження навантаження на трансформатор.

Падіння напруги на лініях не перевищує допустимих значень, найвищий рівень втрати напруги зафіксований на лінії L₂₂ і становить 25,44 В, що відповідає нормативам при вибраних перерізах провідників (ВВГ 4x70).

Усі електричні лінії захищені автоматичними вимикачами згідно з допустимими струмами короткого замикання, забезпечуючи надійний захист мережі. Обране обладнання (трансформатори, кабелі, автоматика) повністю відповідає вимогам електробезпеки, забезпечує належний рівень енергопостачання та має достатній резерв міцності.

Таким чином, спроектована система електропостачання цеху забезпечує безперебійне живлення всього виробничого обладнання, відповідає вимогам нормативних документів, гарантує енергоефективність, надійність та безпеку в експлуатації.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розділ 3. Спеціальна частина

3.1. Розробка математичних моделей та структурних схем

У цьому розділі розглядається метод побудови систем частотного керування асинхронними електродвигунами, який базується на повністю диференційованих енергетичних рівнях, визначених згідно з узагальненою теорією електричних машин. Такий підхід дозволяє ефективно формувати структуру системи керування приводом, а також спрощує процес аналізу та синтезу асинхронних електроприводів.

Для цього координати електропривода, модифіковані у фіксованій системі відліку, перетворюються в обертову систему координат, у якій вони розглядаються як векторні величини. За допомогою проєкцій на обертові координатні осі виконується перетворення координат, що дозволяє виділити складові, які є сталими або пропорційними координатам привода. Ці значення використовуються як сигнали керування в системі електропривода.

Диференціальні рівняння узагальненої машини записуються в різних системах координат. Осі α та β залишаються нерухомими відносно статора, а осі D та Q — відносно ротора. Загалом, рівняння можна формулювати у довільній системі координат, наприклад, уздовж осей U та V , які обертаються з кутовою швидкістю ω_k . Це дозволяє описати будь-який робочий режим електродвигуна. Якщо вісь U є дійсною, а V — уявною, тоді рівняння можна представити у векторній формі.

$$\left. \begin{aligned} \overline{U}_1 &= R_1 \overline{i}_1 + \frac{d\overline{\psi}_1}{dt} + i \cdot Wk \cdot \overline{\psi}_1 \\ \overline{U}_2 &= R_2 \overline{i}_2 + \frac{d\overline{\psi}_2}{dt} + i \cdot (Wk - W) \cdot \overline{\psi}_2 \\ M &= \frac{m}{2} p_n L_{12} I_m (i_1 \cdot i_2) \\ \overline{\psi}_2 &= L_2 \overline{i}_2 + L_{12} \end{aligned} \right\}$$

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Кричковський				Спеціальна частина	Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Данілін О.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Кулаковський							
Затверд.	Бойченко							
						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		

відбуваються в комутаційних машинах. Існує три основні типи кутових швидкостей для осей координат: $W_k = 0$; $W_k = W$; $W_k = W_0$.

Для опису процесу векторного частотного керування асинхронними двигунами доцільно обрати умову $W_k = W_0$, що значно спрощує розрахунки. Координатні системи X та Y можуть обертатися з різними швидкостями залежно від вектора системи координат. У режимі налаштування швидкість W_0 відповідає синхронній швидкості асинхронного двигуна ($W_0 = 2\pi f_1$).

Зміна положення системи координат дозволяє правильно обрати напрямки векторів, що, у свою чергу, спрощує синтез диференціальних рівнянь та побудову системи керування електродвигуном. Перехід від узагальненої машини до реальної трифазної асинхронної машини здійснюється за допомогою перетворень координат, при цьому параметри узагальненої машини замінюються на реальні фазні параметри.

Перетворення координат у такому випадку називають прямим (для переходу від реальної машини до узагальненої моделі) або зворотним (для переходу у зворотному напрямку). Формули таких перетворень виводяться за умови збереження потужності між обома моделями. Ці формули дозволяють подати будь-яку змінну в довільній системі координат.

Наприклад, прямі формули перетворення для струмів статора (I_{1A} , I_{1B} , I_{1C}) в координати α - та β -осей узагальненої машини A , B і C мають вигляд:

$$i_{1\alpha} = \frac{2}{3}K_C \cdot i_{1A}$$
$$i_{1\beta} = \frac{\sqrt{3}}{2}K_C(i_{1B} - i_{1C})$$

Формула оберненого перетворення:

$$i_{1A} = K_C \cdot i_{1\alpha};$$
$$i_{1B} = K_C \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot i_{1\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{1\beta}\right);$$
$$i_{1C} = K_C \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot i_{1\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{1\beta}\right)$$

де $K_C = 2/3$ - коефіцієнт узгодження.

3.2 Побудова імітаційної моделі електропривода

Математичну модель системи електропривода з комп'ютерною підтримкою можна ефективно досліджувати як у статичних, так і в динамічних режимах, використовуючи засоби комп'ютерного моделювання. Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки та програмного забезпечення дозволяє здійснювати моделювання об'єктів швидко, зручно та з високою достовірністю. Такий підхід дозволяє уникнути фізичного експерименту над реальною системою та значно спрощує зміну параметрів моделі.

Для реалізації математичної моделі було обрано програмне середовище Matlab, зокрема його інтерактивну систему візуального моделювання Simulink. Саме за допомогою цього інструменту було побудовано імітаційну модель електропривода. Для моделювання використовувалися безперервні компоненти, оскільки частота роботи сучасних контролерів є достатньо високою, щоб дискретні сигнали можна було розглядати як безперервні.

Була сформована повна структура імітаційної моделі. Деякі блоки реалізовано у вигляді підсистем за допомогою елемента " subsystem", кожна з яких має свою назву. Необхідно подати структурну схему відповідних підсистем.

У моделі були реалізовані такі підсистеми: "частотний перетворювач", "перетворювач фаз", "координатор", "канал потоку", "канал швидкості", а також "вимірювання потоку та обертів".

Структурна схема підсистеми "частотний перетворювач" представлена на рисунку 3.1.

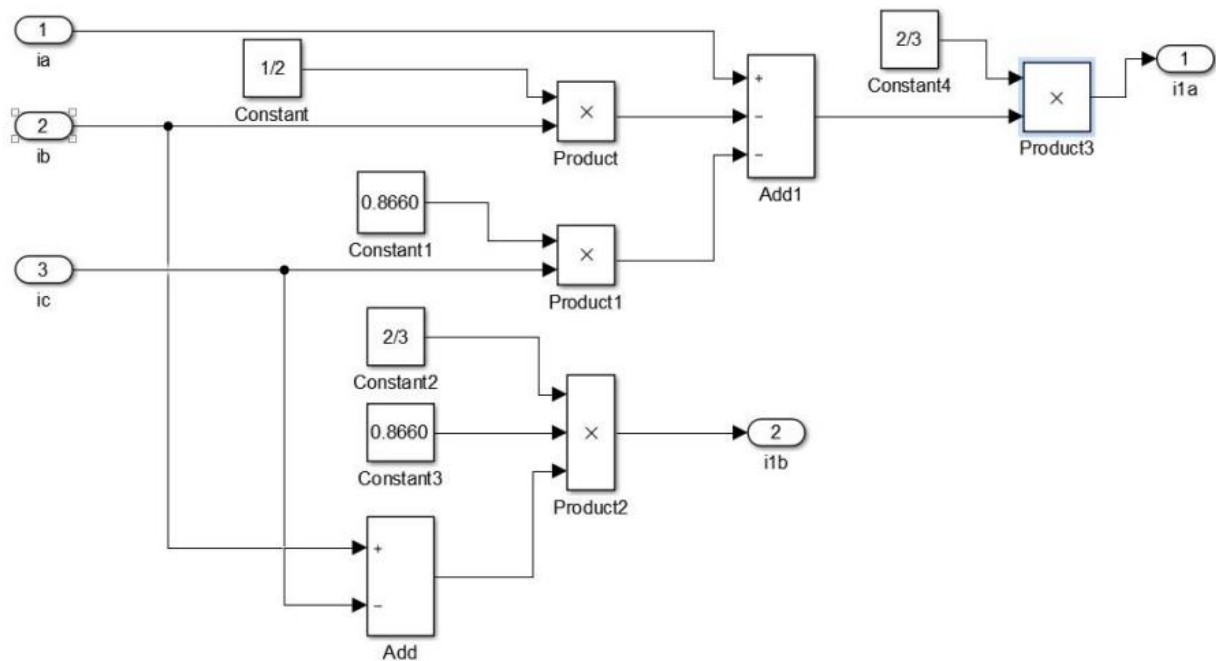


Рисунок 3.3 - Блок-схема моделі «перетворювача фази» струму.

Структурні схеми моделі координатного перетворювача для напруги та струму наведені на рисунках 3.4 і 3.5.

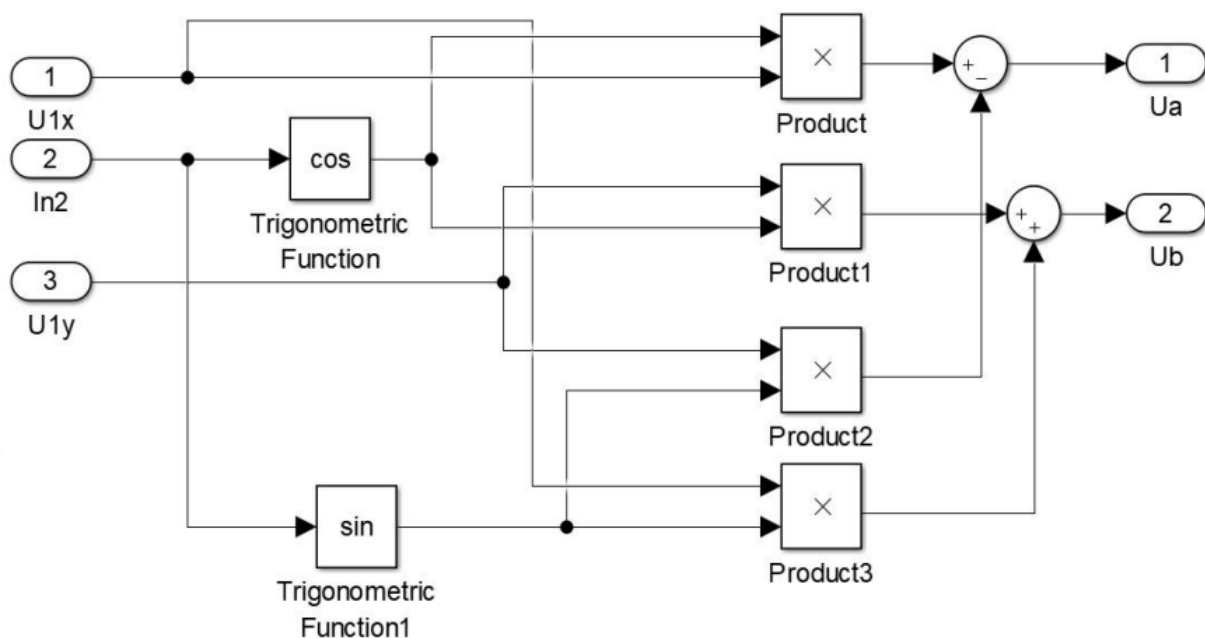


Рисунок 3.4 - Структурна схема моделі «координатного перетворювача» напруги.

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

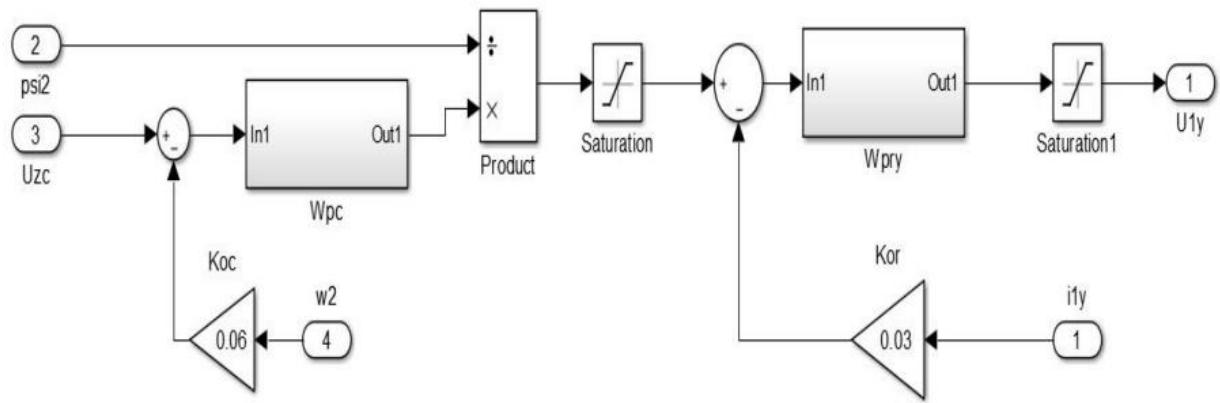


Рисунок 3.5 - Структурна схема моделі підсистеми каналу швидкості.

3.3 Розрахунок періодичного перехідного процесу

На рисунках 3.6 та 3.7 представлені графіки, отримані в результаті моделювання за допомогою середовища Matlab.

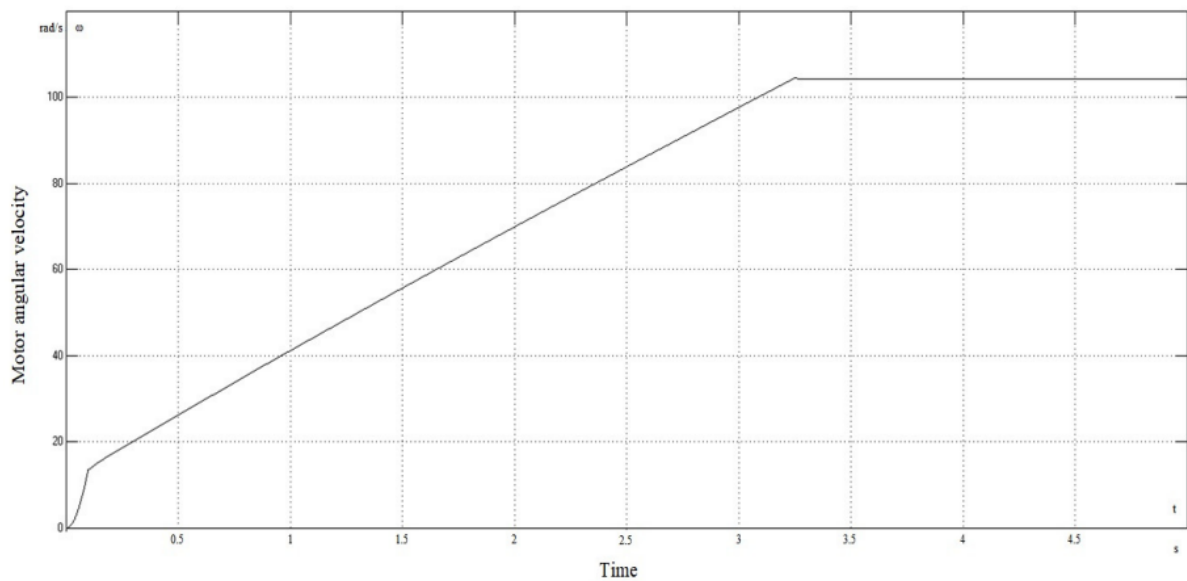


Рисунок 3.6 - Діаграма зміни кутової швидкості.

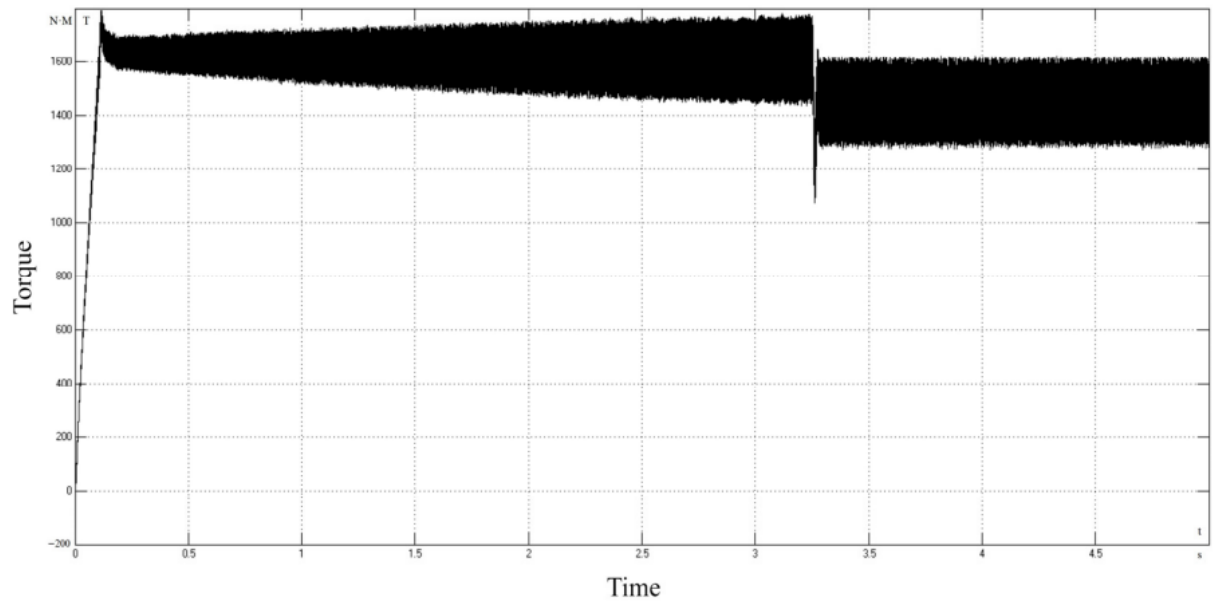


Рисунок 3.7 - Діаграма зміни моменту двигуна.

Кутова швидкість стрімко зросла в інтервалі від 0 до 0,1 с, після чого рівномірно збільшувалась упродовж періоду від 0,1 до 3,2 с. Досягнувши максимуму на моменті 3,2 с, вона дещо зменшилась і стабілізувалась.

Крутний момент двигуна також швидко зріс у проміжку від 0 до 0,1 с, а далі рівномірно зростав до 3,2 с. Після досягнення пікового значення, крутний момент незначно знизився і залишався стабільним.

Висновок по спеціальній частині

У результаті проведеного моделювання системи частотного керування асинхронним електроприводом було побудовано математичні моделі та структурні схеми основних підсистем, таких як частотний перетворювач, фазовий перетворювач, координатний перетворювач, канал швидкості, а також система вимірювання потокозчеплення та обертів. Застосування узагальненої теорії електричних машин та використання перетворень координат дозволили забезпечити точне математичне відображення фізичних процесів у системі керування.

На основі побудованої імітаційної моделі у середовищі Matlab/Simulink було виконано аналіз динамічних характеристик електропривода в перехідних режимах. Згідно з отриманими графіками, система демонструє очікувану поведінку: плавне наростання кутової швидкості та крутного моменту з подальшим виходом на стабільний режим після короткочасного пікового перевищення. Це свідчить про коректність побудованої моделі та ефективність обраної структури керування.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		64

Розділ 4. Автоматизація

Автоматизація є ключовим чинником підвищення ефективності, безпеки та надійності виробничих процесів у сучасній промисловості. Особливо важливу роль вона відіграє на підприємствах із безперервними технологічними циклами, до яких належать і цегельні заводи. Одним із критичних елементів у таких виробництвах є стрічковий конвеєр, що забезпечує транспортування сировини, напівфабрикатів або готової продукції між технологічними ланками.

Упровадження автоматизованої системи управління стрічковим конвеєром дозволяє забезпечити безперервність подачі матеріалу, оптимізувати навантаження, знизити ризики аварійних ситуацій та мінімізувати людський фактор. Система виконує функції контролю натягу та швидкості стрічки, моніторингу її положення, температурного стану, а також забезпечує аварійну зупинку в разі виникнення небезпечних умов. Таким чином, автоматизація сприяє стабільній роботі обладнання, підвищенню продуктивності та зниженню експлуатаційних витрат.

4.1 Аналіз функціональної схеми автоматизації стрічкового конвеєра

Система автоматизації стрічкового конвеєра забезпечує безперервний контроль та безпечне транспортування сировини на цегельному заводі. За допомогою пульта управління (ПУ) оператор здійснює запуск системи, яка контролюється через блок управління (БУ).

Підключені датчики швидкості (ДШ), сходження стрічки (ДССт), натягу й очищення (ДОН) та температури (ДТ) забезпечують моніторинг та стабільну роботу обладнання. У разі небезпеки тросовий вимикач (КТВ) або датчик аварійної зупинки (ДЗА) дозволяє миттєво зупинити конвеєр.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Кричковський				Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Данілін О.В.						
Реценз.					Автоматизація		
Н. Контр.	Кулаковський						
Затверд.	Бойченко						
					НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		

Гучномовний зв'язок (ГЗ) забезпечує голосову координацію між працівниками, а контрольні станції (КС) дозволяють візуально контролювати стан обладнання по місцю.

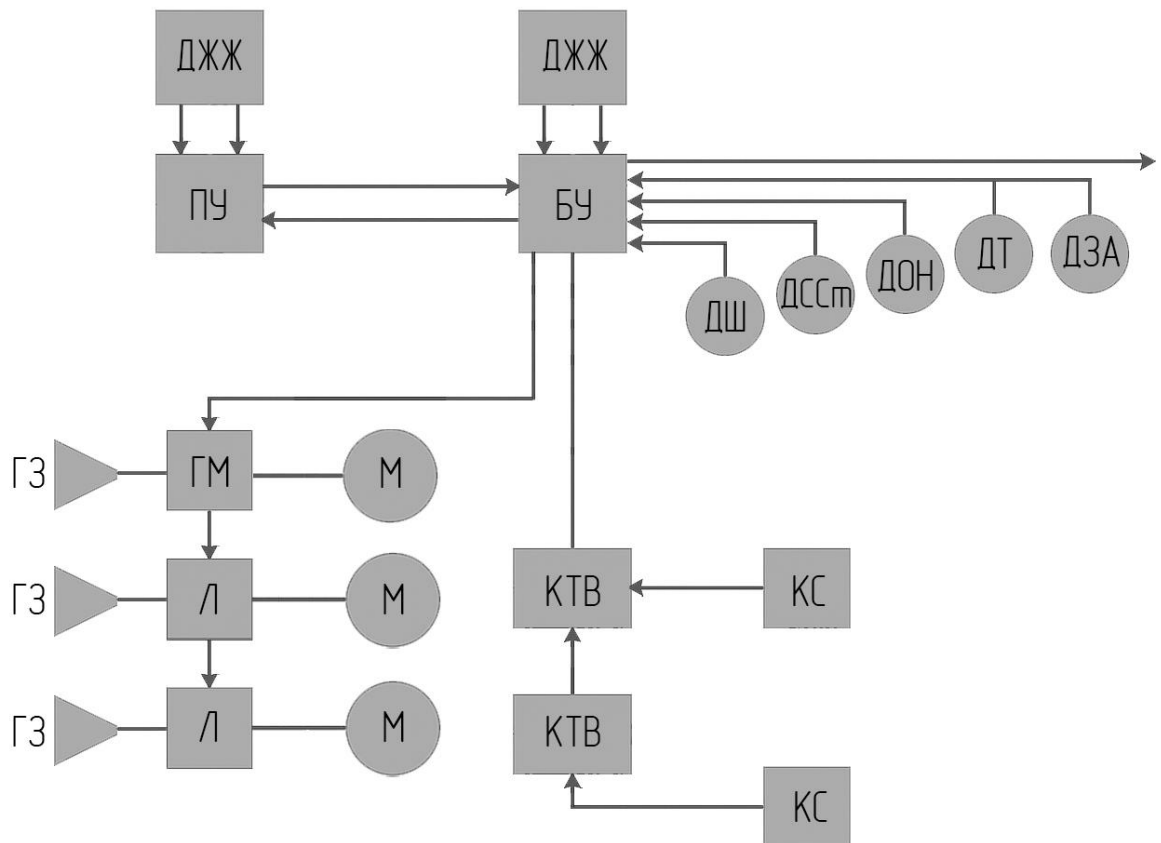


Рисунок 4.1 - Функціональна схема автоматизації стрічкового конвеєра цегельного заводу

Таблиця 4.1 - Опис елементів функціональної схеми автоматизації

<i>Повна назва</i>	<i>Абревіатура</i>	<i>Призначення</i>
Джерело живлення	ДЖЖ	Подає електроживлення до системи
Пульт управління	ПУ	Дає змогу оператору керувати запуском і зупинкою конвеєра
Блок управління	БУ	Центральний вузол обробки сигналів і логіки керування
Кабельний тросовий вимикач	КТВ	Аварійна зупинка при натягуванні троса вздовж конвеєра

Гучномовний зв'язок	ГЗ	Голосова комунікація між ділянками виробництва
Датчик швидкості	ДШ	Контроль реальної швидкості руху стрічки
Датчик сходження стрічки	ДССт	Сигналізує про відхилення або зміщення стрічки
Датчик очищення і натягу	ДОН	Контролює ступінь натягу стрічки та її очищення
Температурний датчик	ДТ	Вимірює температуру ключових вузлів (підшипники, двигун)
Датчик аварійної зупинки	ДЗА	Забезпечує екстрену зупинку конвеєра
Лінія/Канал зв'язку	Л	З'єднання між блоками керування та виконавчими елементами
Електродвигун	М	Приводить у дію механізм конвеєра
Гучномовець	ГМ	Виводить голосові сигнали (попередження, інструкції)
Контрольна станція	КС	Місцева панель керування або сигналізації

Основні функції системи включають:

- Запуск і зупинку конвеєра з пульта.
- Голосове попередження персоналу через гучномовний зв'язок (ГЗ).
- Контроль швидкості (ДШ) та виявлення відхилення стрічки (ДССт) для запобігання аварій.
- Температурний контроль (ДТ) для уникнення перегріву двигунів або підшипників.
- ДОН слідкує за ступенем натягу стрічки та виконує її очищення від забруднень.
- Кабельний тросовий вимикач (КТВ) і датчик аварійної зупинки (ДЗА) забезпечують аварійну зупинку при будь-якій небезпечній ситуації.
- Декілька контрольних станцій (КС) інтегровані в систему для локального моніторингу.

4.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи управління

З метою забезпечення безпечної та надійної експлуатації обладнання в системі автоматизації реалізовано чіткий алгоритм дій. Цей алгоритм визначає послідовність перевірок і дій, що здійснюються автоматизованою системою під час запуску та роботи, включаючи умови безпеки, підготовку оператора, контроль температури та аварійне реагування.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		68

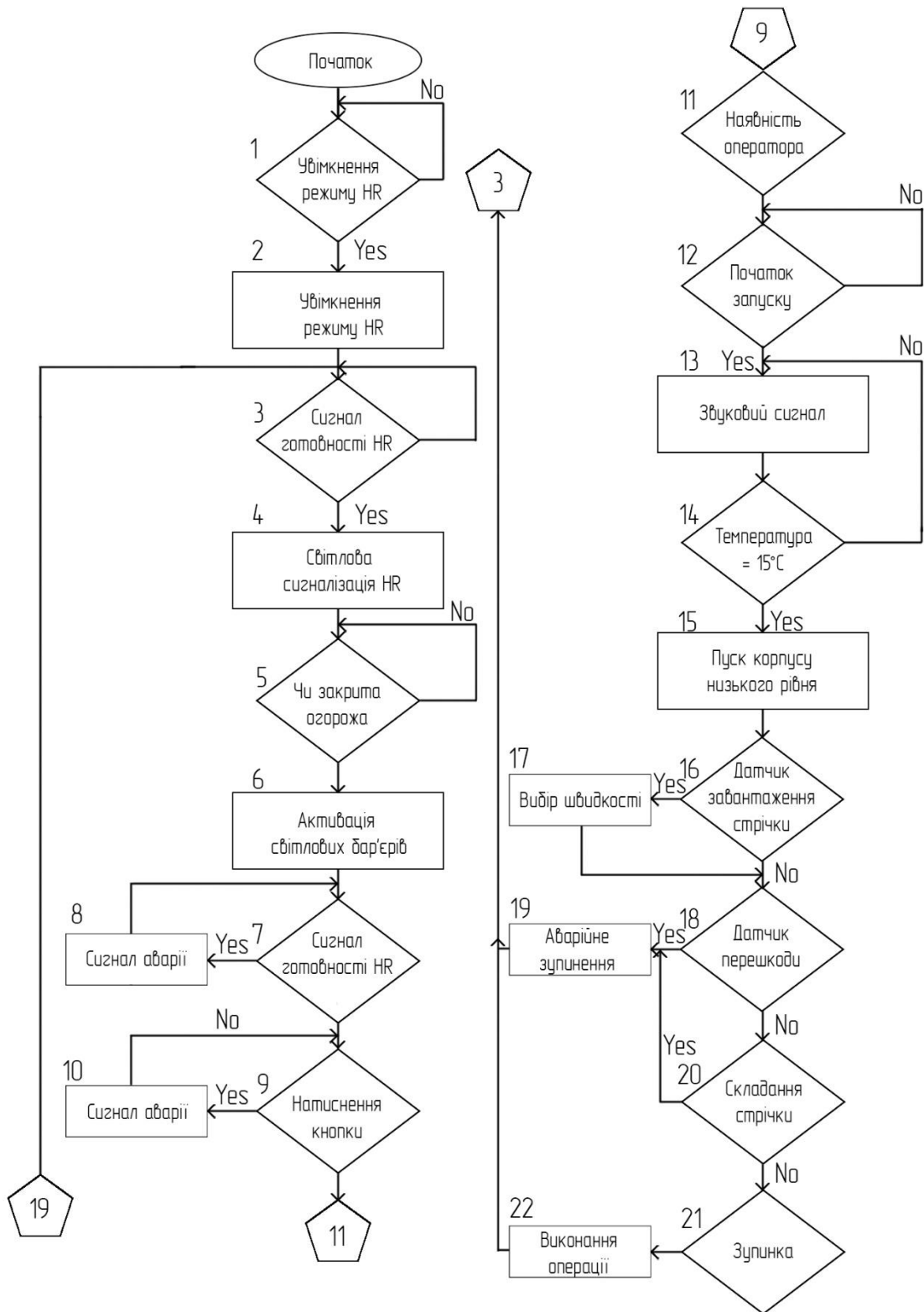


Рисунок 4.2 - Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи з урахуванням контролю оператора та безпечного запуску

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

Робота автоматизованої системи починається з перевірки ввімкнення режиму готовності оператора. Якщо цей режим не активований — система повертається у початковий стан.

Після ввімкнення режиму HR подається сигнал готовності оператора. Далі перевіряється наявність світлової сигналізації HR, яка підтверджує готовність системи до подальших дій.

Якщо сигналізація не спрацювала, система перевіряє, чи зачинена захисна огорожа. У разі її закриття активуються світлові бар'єри, що контролюють зону безпеки.

Після цього знову очікується сигнал готовності HR. Якщо сигналу немає — система видає тривожний сигнал. Якщо сигнал отримано, користувач має натиснути кнопку запуску.

Далі перевіряється, чи активний режим HR. Якщо ні — система перевіряє, чи розпочато процес запуску. У разі підтвердження видається звуковий сигнал, після чого контролюється температура (наприклад, досягнення 15 °C). При досягненні потрібної температури відбувається запуск основного режиму.

Система перевіряє стан датчика подачі стрічки. Якщо стрічка подається, відбувається вибір швидкості руху. Якщо подача стрічки не зафіксована, перевіряється наявність перешкод.

При виявленні перешкоди виконується екстрена зупинка. Якщо перешкод не зафіксовано, система перевіряє, чи завершено збирання стрічки. У разі завершення процесу система переходить у режим "Рух" — тобто активується основна функціональність. Якщо умови не виконано або сталася помилка — система переходить у режим зупинки до усунення причин.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						70
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Вибір датчика швидкості стрічкового конвеєра

Оскільки швидкість руху стрічки є низькою (0,4 м/с), немає потреби у використанні датчика з високою частотою імпульсів. З урахуванням умов роботи на цегельному заводі, де присутні пил, волога та можливі механічні навантаження, необхідно використовувати датчик у захищеному корпусі (IP65+). Завдяки тому, що привід здійснюється електродвигуном Siemens, енкодер доцільно встановити безпосередньо на вал двигуна або на вихід редуктора.

З огляду на вищезазначене, обрано інкрементальний енкодер SICK DBS36E-S3EK01024, характеристики якого наведено у таблиці 4.2. Такий вибір забезпечує оптимальне співвідношення точності, надійності та простоти інтеграції у систему автоматизації стрічкового конвеєра.



Рисунок 4.3 - Зовнішній вигляд енкодера SICK DBS36E-S3EK01024

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		71

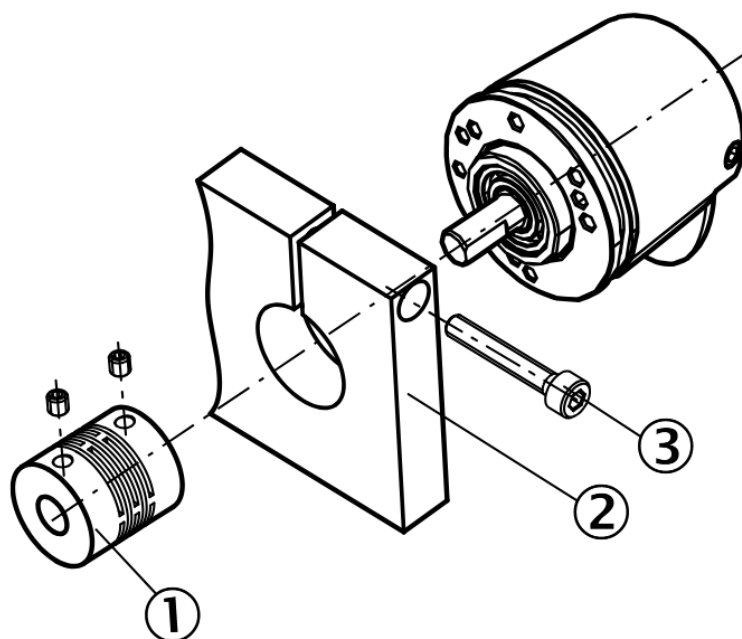


Рисунок 4.4 - Механічне встановлення енкодера SICK DBS36E-S3EK01024

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики енкодера SICK DBS36E-S3EK01024

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
Тип енкодера	Інкрементальний
Роздільна здатність	1024 імпульсів/оберт
Частота вихідного сигналу	300 кГц
Напруга живлення	7–30 В
Температура експлуатації	-20...+85 °С
Ступінь захисту	IP65
Вага	250 г

4.4 Вибір датчика аварійної зупинки конвеєра

У процесі експлуатації стрічкового конвеєра на цегельному заводі можливе виникнення ряду аварійних ситуацій, які становлять загрозу як для обладнання, так і для обслуговуючого персоналу. До таких ситуацій належать: заклинювання стрічки внаслідок попадання сторонніх предметів, обрив або перекіс стрічки, пробуксовка приводу, перевантаження транспортувальної лінії та інші позаштатні стани. У разі виникнення подібних аварійних режимів необхідно мати можливість негайної зупинки конвеєра з будь-якої точки його довжини.

З огляду на значну довжину стрічки (35 м) та необхідність забезпечення максимальної доступності аварійного відключення, найбільш доцільним рішенням є використання тросового вимикача аварійної зупинки. Такий тип вимикача дозволяє обслуговуючому персоналу миттєво зупинити конвеєр шляхом натягування або обриву троса, що прокладений уздовж усього маршруту стрічки.

Крім того, застосування тросового вимикача відповідає сучасним вимогам з охорони праці та промислової безпеки, є простим у реалізації та обслуговуванні, а також сумісним із більшістю систем автоматизації.

Найбільш оптимальним вибором буде вимикач з наступними характеристиками:

- Довжина троса: не менше 35 м;
- Ступінь захисту: IP65 або вище (через запилене та вологе середовище);
- Механічна зносостійкість: висока, для надійної роботи в промислових умовах.

Оптимальним вибором є Allen-Bradley 440E-L13042. Цей тросовий вимикач має:

- Відповідну довжину троса (до 75 м), що забезпечує покриття всієї довжини конвеєра;
- Високий ступінь захисту IP66, що гарантує надійну роботу в запиленому та вологому середовищі;
- Міцний корпус з цинкового сплаву, що забезпечує довговічність;
- Три нормально замкнені контакти, що підвищує надійність системи аварійного відключення;
- Індикатор натягу троса та кнопку скидання, що спрощує обслуговування та контроль стану системи.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.5 - Зовнішній вигляд тросового вимикача аварійної зупинки Allen-Bradley 440E-L13042

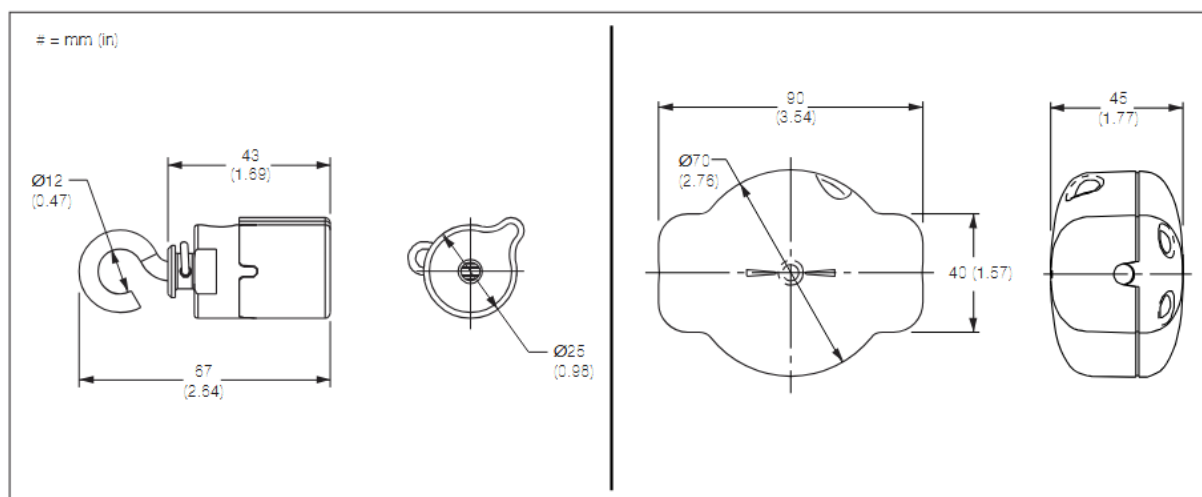


Рисунок 4.6 - Габаритне креслення тросового вимикача аварійної зупинки Allen-Bradley 440E-L13042

4.5 Вибір датчика сходження стрічки

Для забезпечення безпечної та стабільної роботи стрічкового конвеєра з шириною стрічки 2,8 метра передбачено застосування датчиків сходження стрічки. Вони дозволяють своєчасно виявити відхилення стрічки від нормального положення та запобігти її пошкодженню, перекосу або зупинці конвеєра. З огляду на умови експлуатації на цегельному заводі (пил, волога,

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		74

вібрації), датчик має бути виконаний у захищеному корпусі та мати надійний контактний вихід для інтеграції в систему автоматизованого керування.

З урахуванням усіх вхідних параметрів і складних умов експлуатації на виробництві, обрано датчик Steute ZS 92 SR як найбільш придатний варіант для забезпечення надійного контролю сходження стрічки.



Рисунок 4.7 - Зовнішній вигляд датчика сходження стрічки Steute ZS 92 SR

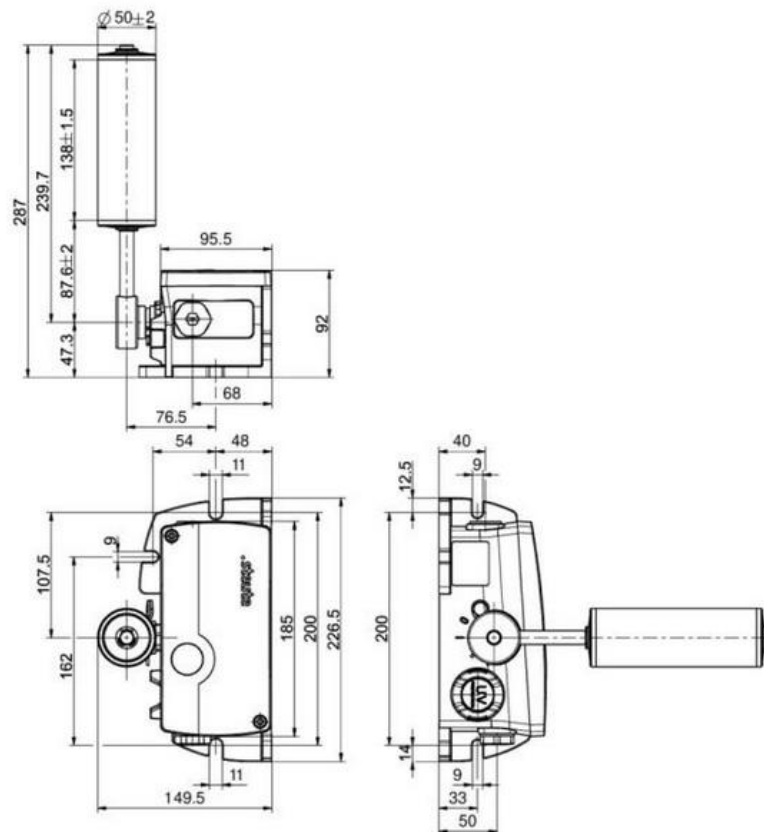


Рисунок 4.8 - Габаритне креслення датчика сходження стрічки Steute ZS 92

SR

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		75

4.6 Програмне забезпечення

Для реалізації системи автоматизованого контролю стану стрічкового конвеєра передбачено використання програмованого логічного контролера (ПЛК), який обробляє сигнали від датчиків та формує команди на виконавчі пристрої.

У якості апаратної платформи обрано Schneider Electric Zelio Logic, який є компактним, надійним та зручним у налаштуванні контролером, що підтримує як дискретні, так і аналогові сигнали, має інтуїтивно зрозуміле програмне середовище Zelio Soft та достатню кількість входів/виходів для керування невеликими автоматизованими системами.

До входів ПЛК підключаються такі датчики:

- Steute ZS 92 SR - для контролю сходження стрічки;
- Allen-Bradley 440E-L13042 - вимикач натяжіння каната для аварійної зупинки конвеєра;
- SICK DBS36E-S3EK01024 - енкодер для визначення швидкості або положення стрічки.

Програмне забезпечення контролера реалізує логіку, згідно з якою при спрацюванні будь-якого з датчиків система зупиняє конвеєр, активує сигналізацію (звукову/світлову) та передає інформацію про подію на панель оператора або SCADA-систему. Це дозволяє оперативно реагувати на небезпечні ситуації та мінімізувати ризики пошкодження обладнання.

Для моніторингу роботи системи та виведення повідомлень передбачається можливість підключення SCADA-системи або панелі оператора НМІ. Такий інтерфейс дозволяє персоналу бачити стан обладнання в реальному часі, отримувати аварійні повідомлення та аналізувати історію спрацювань.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		76



Рисунок 4.9 - Зображення ПЛК Schneider Electric Zelio Logic

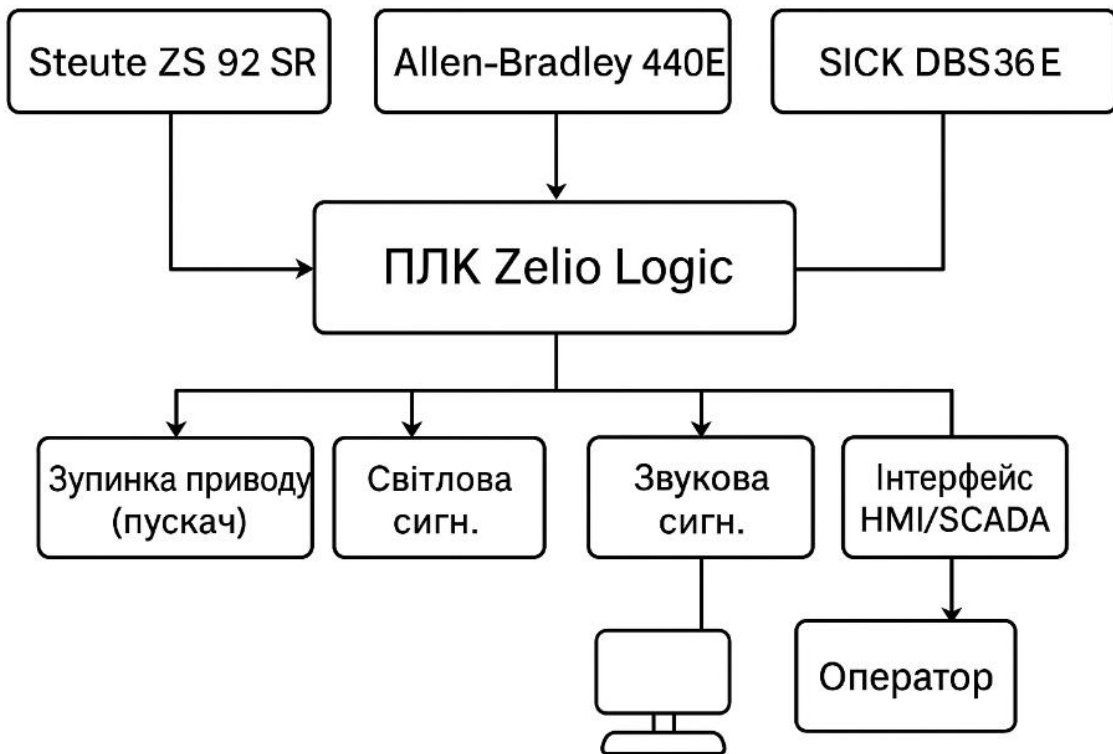


Рисунок 4.10 - Структурна схема автоматизованої системи контролю стану стрічкового конвеєра

Висновки по розділу автоматизації

У даному розділі було проведено комплексний аналіз автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром цегельного заводу. Визначено ключові функціональні елементи, включаючи датчики швидкості, сходження стрічки, аварійної зупинки та інші компоненти, що забезпечують безпечну та стабільну роботу обладнання. Побудовано функціональну та алгоритмічну схеми, які описують логіку взаємодії елементів системи, враховуючи контроль дій оператора, перевірку умов безпеки та порядок запуску механізму.

Також здійснено обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації - датчиків та ПЛК, які відповідають умовам експлуатації та вимогам виробництва. Застосування надійних пристроїв у захищених корпусах та використання сучасного ПЛК забезпечують високий рівень надійності, швидке реагування на аварійні ситуації та зручність інтеграції в загальну систему керування. Таким чином, розроблена система сприяє підвищенню ефективності, зменшенню простоїв та покращенню безпеки виробничого процесу.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		78

Розділ 5. Охорона праці

Умови праці під час експлуатації автоматизованого обладнання на промислових підприємствах, зокрема цегельних заводах, характеризуються наявністю комплексу шкідливих та небезпечних виробничих чинників. З метою забезпечення безпечної роботи персоналу, збереження працездатності обладнання та відповідності вимогам чинного законодавства у сфері охорони праці, необхідно здійснювати аналіз потенційних загроз, пов'язаних із технологічним процесом.

Особливу увагу слід приділяти обладнанню, яке працює в автоматичному або напівавтоматичному режимі, оскільки втручання персоналу в процес експлуатації такого устаткування у разі аварійного відключення або відновлення електропостачання може супроводжуватися підвищеним ризиком.

Даний розділ містить аналіз основних шкідливих та небезпечних чинників, що виникають під час роботи стрічкового конвеєра в умовах аварійного стану електромережі. Аналіз є основою для подальшого розроблення комплексу технічних та організаційних заходів, спрямованих на усунення або зниження рівня цих чинників до допустимих значень.

5.1 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації обладнання

У процесі експлуатації стрічкового конвеєра на цегельному заводі, особливо за умов аварійних станів електромережі, виникають потенційно небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Ці чинники можуть негативно впливати як на безпеку обслуговуючого персоналу, так і на надійність роботи автоматизованої системи. Основними небезпеками є електричне ураження, механічні травми при раптовому запуску або зупинці обладнання, перевантаження елементів системи, підвищення температури тощо.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Кричковський				Охорона праці	Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Данілін О.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Кулаковський							
Затверд.	Бойченко							
						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		

Встановлення систем захисту, таких як аварійне вимкнення, захист від перенапруги, автоматичне блокування механізмів при знеструмленні, дозволяє значно знизити ризики виникнення нещасних випадків та забезпечити безпечні умови праці персоналу.

Таблиця 5.1 – Характеристика шкідливих та небезпечних чинників під час експлуатації стрічкового конвеєра при аварійних станах електромережі

Чинник	Основні характеристики чинника	Допустимі (рекомендовані) параметри
Електричний струм	Можливість ураження при пробі ізоляції, несправності системи заземлення або аварійному пуску	Напруга до 1000 В (захист класу I), наявність ПЗВ та УЗО
Механічне травмування	Рух стрічки, шестерень, привідних валів при відновленні живлення	Захисні кожухи, аварійна зупинка, блокування обслуговування
Перевантаження електродвигуна	Виникає при раптовому відновленні живлення після аварії	Використання реле струмового захисту, систем плавного пуску
Підвищення температури	Може спричинити перегрівання елементів керування	Робоча температура до +40 °С, вентиляція шафи керування
Освітлення робочої зони	Недостатнє освітлення при аварії може спричинити травмування	Мінімум 300 лк, аварійне освітлення
Запиленість середовища	Високий рівень пилу від сировини (глина, пісок), що осідає на обладнанні	До 6 мг/м ³ (для неорганічного пилу), періодичне прибирання
Забрудненість робочих поверхонь	Наявність налипання глини та бруду, що ускладнює доступ до елементів	Візуальний контроль, очищення не рідше 1 разу за зміну
Рівень шуму	Постійний вплив шуму від роботи приводів та механізмів	До 80 дБА згідно ДСП 3.3.6.037-99
Вібрація	Передається на конструкції та органи керування під час роботи конвеєра	До 2 м/с ² за умовами СН 245-71

Найбільш критичними чинниками, що виникають під час експлуатації автоматизованого стрічкового конвеєра в умовах аварійного стану

електромережі, є електричне ураження, механічне травмування персоналу та перевантаження електродвигуна.

Електричний струм є одним із найбільш небезпечних виробничих факторів. В умовах аварійного вимкнення живлення або стрибків напруги можливе порушення роботи систем автоматизації та пробої ізоляції електрообладнання. Особливо небезпечними є випадки, коли після короткочасної втрати живлення напруга подається раптово без контролю, що може призвести до неконтрольованого пуску приводу або ураження персоналу електричним струмом.

Механічне травмування може виникати в результаті неочікуваного запуску стрічкового конвеєра або його окремих механізмів після відновлення подачі електроенергії. Це особливо небезпечно, коли технічне обслуговування або налагоджувальні роботи здійснюються в момент раптового вмикання обладнання. У таких ситуаціях персонал опиняється в безпосередній близькості до рухомих частин конвеєра — стрічки, роликів, редукторів та привідних шківів.

Перевантаження електродвигуна спостерігається при повторному вмиканні обладнання після тривалого або короткочасного знеструмлення, особливо якщо в момент запуску стрічка конвеєра перебуває під навантаженням. Це створює критичні режими роботи для електроприводу, що може призвести до перегрівання, виходу з ладу силових компонентів або короткого замикання.

Підвищення температури у шафах керування або в місцях розміщення електрообладнання можливе через інтенсивну роботу в аварійних умовах. Нестабільна подача живлення або перебої в роботі вентиляційних систем сприяють зростанню температури, що, у свою чергу, негативно впливає на мікропроцесорну техніку та інші елементи керування.

Недостатній рівень освітлення в умовах аварійного режиму (наприклад, при аварійному відключенні основного освітлення) значно ускладнює

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		81

візуальний контроль за роботою конвеєра, що підвищує ризик травмування персоналу під час обслуговування або спроби усунути неполадки вручну.

Запиленість середовища є характерною особливістю виробничого процесу на цегельному заводі, зокрема в зоні роботи стрічкового конвеєра. Основним джерелом пилу є транспортування та пересипання сировини — глини, піску, шамоту та інших добавок, які мають дрібнодисперсну фракцію.

У разі аварійного вимкнення вентиляції або освітлення підвищується ризик накопичення пилу в повітрі, що ускладнює зорову орієнтацію персоналу, знижує якість роботи та підвищує небезпеку травмування. Крім того, пил осідає на поверхні електрообладнання, клемних з'єднань, пуско-захисної апаратури, що в умовах вологості або конденсату може спричинити замикання, пробої ізоляції, помилкові спрацювання автоматики.

Запилене середовище також створює несприятливі умови для функціонування елементів систем автоматизації: датчиків, виконавчих механізмів та сенсорів. Тривала дія пилу призводить до їх залипання, зниження точності сигналів та повного виходу з ладу.

Окрім технічних ризиків, слід враховувати негативний вплив пилу на здоров'я працівників. При перевищенні допустимої концентрації пилу в повітрі (6 мг/м^3 для неорганічного пилу) підвищується ризик розвитку захворювань дихальної системи, особливо при недостатньому провітрюванні виробничих приміщень.

5.2 Засоби зниження впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів

З метою забезпечення безпечної експлуатації стрічкового конвеєра цегельного заводу в умовах аварійних або нестабільних режимів роботи електромережі необхідно передбачити відповідні технічні та організаційні заходи захисту працівників. Нижче наведено узагальнену таблицю таких заходів.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		82

Таблиця 5.2 – Комплекс заходів з мінімізації дії небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації обладнання

Небезпечний чинник	Технічні засоби	Організаційні заходи
Електричний струм	Захисне заземлення, автоматичне відключення живлення (ПЗВ), ізоляція проводів	Інструктаж з електробезпеки, допуск до роботи лише з групою не нижче III
Механічне травмування	Захисні кожухи на рухомих частинах, блокування приводу при відкриванні кожуха	Встановлення знаків безпеки, навчання з охорони праці
Перевантаження двигуна	Реле струмового захисту, частотні перетворювачі з контролем навантаження	Регламентне техобслуговування, журнал обліку аварій
Перегрів електрообладнання	Вентиляція шаф, температурні датчики з аварійним відключенням	Контроль температурного режиму, перевірки перед запуском
Недостатнє освітлення	Аварійне освітлення, світильники з автономним живленням	Перевірка освітлення на початку зміни, графік обслуговування систем освітлення
Запиленість середовища	Пилоуловлювальні установки, вентиляція, закриті стрічкові траси	Вологе прибирання, обмеження перебування в запилених зонах
Забруднення поверхонь	Обладнання для очищення, лотки для збору залишків сировини	Чергова чистка після зміни, призначення відповідального
Рівень шуму	Шумоізолюючі кожухи, мастило механізмів, віброопори	Графік роботи з урахуванням перерв, забезпечення ЗІЗ слуху
Вібрація	Віброізоляція обладнання, балансування рухомих частин	Ротація працівників, обмеження часу роботи в небезпечних зонах

Електричний струм: найбільшу загрозу становить можливість ураження працівника при порушенні ізоляції або при аварійному пуску обладнання. Технічні рішення включають наявність ПЗВ (пристрою захисного відключення), які миттєво знеструмлюють лінію при виявленні витоку струму. Організаційні заходи передбачають проведення інструктажів та допуск до електроустановок лише працівників з відповідною кваліфікаційною групою.

Механічне травмування: при необережному контакті з рухомими частинами (стрічкою, приводом, шківками) існує ризик серйозних травм. Використання захисних кожухів та автоматичних блокувальних систем є обов'язковим. Працівники повинні бути поінформовані про зони підвищеної небезпеки.

Перевантаження двигуна: може призвести до перегріву, короткого замикання або виходу з ладу електроприводу. Установлення пристроїв контролю струму та пускорегулюючої апаратури дозволяє уникнути аварійного зупинення. Журналування інцидентів допомагає виявити повторювані проблеми.

Перегрів електрообладнання: температурне перевантаження виникає при відсутності вентиляції або у разі високих зовнішніх температур. Шафи автоматизації повинні мати системи активного або пасивного охолодження. Працівники зобов'язані перевіряти температурні показники перед запуском обладнання.

Недостатнє освітлення: при аварійному знеструмленні основного освітлення ризик травмування зростає в рази. Установлення аварійного освітлення та використання автономних джерел світла дає змогу уникнути дезорієнтації працівників.

Запиленість середовища: пил створює не лише фізичну загрозу для дихальної системи, а й перешкоджає нормальній роботі електроніки та автоматики. Очищення повітря та систематичне прибирання дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин.

Забрудненість поверхонь: наявність залишків сировини або вологи у зоні обслуговування стрічки або електричних компонентів може спричинити ковзання або пошкодження. Регулярне очищення з дотриманням графіка – обов'язкова умова безпечної роботи.

Рівень шуму: тривала дія підвищеного шумового фону може викликати зниження слуху, втому та втрату уваги. Технічні рішення включають шумоізоляцію, а також мастильні системи, які знижують тертя та гул.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						84
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Вібрація: систематичний вплив вібрацій, зокрема на керівні елементи або підлогу, може спричинити перенапруження м'язів, захворювання суглобів, а також прискорене зношування обладнання. Ефективна віброізоляція та чергування працівників допомагають знизити ризики.

5.3 Характеристика виробничого середовища та умов праці

Умови праці на цегельному заводі, зокрема в зоні функціонування стрічкового конвеєра, залежать від поєднання фізичних, хімічних та організаційних чинників. Робота відбувається в умовах підвищеної запиленості, періодичних вібрацій і шумового фону, що може негативно впливати як на фізичний стан працівників, так і на ефективність виконання виробничих завдань. При аваріях в електромережі ситуація ускладнюється: зниження освітлення, зупинка вентиляції, раптове відключення автоматики створюють потенційно небезпечні умови.

Особливу увагу слід приділяти мікроклімату в приміщеннях: температура, вологість і рух повітря мають відповідати нормативним значенням, установленим для категорії важкої фізичної праці. Надмірна вологість або спека підсилюють вплив інших негативних факторів. Виробниче середовище вимагає систематичного контролю параметрів повітря, шуму, запиленості та рівня освітлення, а також відповідного оснащення робочих місць засобами колективного та індивідуального захисту.

5.4 Потенційні загрози та небезпеки під час роботи обладнання

У процесі експлуатації автоматизованого стрічкового конвеєра існує низка потенційних загроз, які можуть виникати як у штатному режимі, так і під час аварійних ситуацій. Найпоширенішими є ураження електричним струмом, механічні травми через контакт із рухомими частинами, а також негативний вплив виробничих факторів — шуму, вібрацій, запиленості та високої температури.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		85

Окрему групу ризиків становлять ситуації, пов'язані з раптовим знеструмленням або відновленням електропостачання, коли система може автоматично перезапуститися або вийти з ладу. Це створює загрозу як для обладнання, так і для обслуговуючого персоналу. Усвідомлення цих ризиків є важливою складовою при плануванні заходів з охорони праці та формуванні безпечного виробничого середовища.

5.5 Безпечна експлуатація електрообладнання та захист від ураження струмом

У системах автоматизації стрічкового конвеєра цегельного заводу використовується значна кількість електротехнічного обладнання, яке працює як у нормальному, так і в аварійному режимі. Електричний струм становить одну з найсерйозніших загроз для працівників, особливо в умовах аварійного знеструмлення або нестабільної роботи мережі. Тому забезпечення електробезпеки є ключовим аспектом охорони праці.

Технічні засоби захисту передбачають застосування пристроїв автоматичного відключення живлення (ПЗВ), заземлення металевих частин обладнання, контроль ізоляції кабельних ліній, сигнальні індикатори на щитах керування та захисні кожухи на токоведучих частинах. Особливо важливо використовувати обладнання, яке відповідає стандартам IP-захисту, у приміщеннях із запиленістю або підвищеною вологістю.

Організаційні заходи включають обов'язкове проведення первинного, повторного та позапланового інструктажу з електробезпеки. До роботи з електроустановками допускаються лише особи, які мають відповідну групу з електробезпеки (не нижче II або III залежно від рівня напруги). Працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту — діелектричними рукавичками, спецвзуттям, інструментом із захисною ізоляцією та плакатами/знаками безпеки.

У разі аварійних ситуацій, таких як коротке замикання або обрив фази, система має забезпечити миттєве відключення живлення. Надійна система

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		86

електробезпеки мінімізує ризик ураження струмом, пожежі та виходу обладнання з ладу, тим самим захищаючи як персонал, так і виробничий процес загалом.

5.6 Забезпечення пожежної безпеки при експлуатації стрічкового конвеєра

Пожежна безпека є критично важливим аспектом експлуатації електротехнічного та механічного обладнання, зокрема стрічкових конвеєрів, які працюють в умовах підвищеної запиленості, наявності горючих матеріалів та нестабільного електропостачання. Джерелами займання можуть стати перегрів електродвигунів, коротке замикання, іскріння в електрообладнанні або тертя елементів конструкції при зношенні.

Щоб мінімізувати ризик виникнення пожежі, доцільно вжити наступні заходи:

- Застосування кабельно-провідникової продукції з негорючою або важкозаймистою ізоляцією;
- Установлення автоматичних систем захисту (ПЗВ, автоматичні вимикачі, теплові реле);
- Регулярна перевірка електропроводки, контактів, двигунів і пускової апаратури;
- Очищення стрічки та навколишніх елементів від пилу, бруду, залишків сировини;
- Забезпечення приміщення сертифікованими вогнегасниками відповідного типу;
- Ведення інструктажів та тренувань з пожежної евакуації й реагування;
- Розміщення інформаційних табличок та схем з евакуаційними виходами.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		87

Таблиця 5.3 - Основні засоби пожежної безпеки для стрічкових конвеєрів на цегельному виробництві

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Первинні засоби пожежогасіння	Вогнегасники порошкові (ВП-5, ВП-9), вуглекислотні (ВВК-2, ВВК-5)	Вибір за класом пожежі (електрообладнання, тверді речовини, пил)
Електрозахист від займання	Автоматичні вимикачі, теплові реле, УЗО, контроль ізоляції	Вибір за струмом спрацювання, категорією надійності, класом напруги
Засоби контролю температури	Датчики перегріву, термореле, безконтактні ІЧ-датчики температури	Вибір залежно від типу приводу, температури навколишнього середовища
Очищення зони конвеєра	Пиловловлювачі, пневмоздування, скидувачі залишків матеріалу з приводу	Підбір за типом пилу (глина, цемент), ступенем запиленості
Системи оповіщення і евакуації	Звукові та світлові сигнали, евакуаційні таблички, аварійне освітлення	Розташування в зоні доступності, відповідність нормам ДБН
Інструктаж і навчання персоналу	Журнали обліку, інструкції, плани евакуації, протипожежні тренування	Впровадження згідно з наказами підприємства та вимогами ДСНС України

Комплекс заходів пожежної безпеки під час експлуатації стрічкових конвеєрів має ґрунтуватися на поєднанні технічних засобів захисту, профілактичних робіт і належної організації праці. Використання сертифікованих вогнегасників, електрозахисного обладнання та систем контролю за температурою дозволяє вчасно виявляти та нейтралізувати потенційні осередки займання. Особливе значення має регулярне очищення обладнання від пилу та забруднень, що можуть виступати як джерело пожежонебезпеки.

Не менш важливо забезпечити інформування та підготовку персоналу — завдяки проведенню інструктажів, тренувань з евакуації та наявності схем дій у разі пожежі. Усі зазначені заходи повинні реалізовуватись системно та відповідно до нормативних документів, таких як ДБН, ППБУ та вимоги ДСНС України.

5.7 Аналіз результатів та узагальнення заходів з охорони праці

У результаті аналізу умов експлуатації стрічкового конвеєра на цегельному заводі встановлено, що робоче середовище характеризується наявністю як шкідливих, так і небезпечних виробничих чинників. Серед основних — підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість, ризик ураження електричним струмом, можливість механічних травм при обслуговуванні рухомих частин, а також загроза виникнення пожежі в умовах аварійних ситуацій у мережі.

Для забезпечення безпечної роботи персоналу необхідне впровадження комплексу технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів. Особливу увагу слід приділяти підтримці належних умов праці, регулярному технічному обслуговуванню обладнання, а також навчанню працівників діям у надзвичайних ситуаціях.

Таким чином, ефективне функціонування стрічкових конвеєрів на підприємстві можливе лише за умови системного підходу до охорони праці, що охоплює всі етапи експлуатації обладнання — від моніторингу робочого середовища до впровадження протипожежних та електробезпекових рішень.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		89

Висновок до дипломної роботи

У результаті виконаної дипломної роботи було реалізовано комплексний інженерний підхід до проектування, моделювання, автоматизації та забезпечення безпеки експлуатації стрічкового конвеєра на цегельному заводі. Кожен з п'яти розділів відіграє ключову роль у формуванні цілісної системи, що відповідає сучасним вимогам промислової ефективності, надійності та охорони праці.

У першому розділі було проведено всебічний аналіз конструктивних особливостей існуючих стрічкових конвеєрів, виконано технічний розрахунок основних параметрів та обґрунтовано вибір приводу і редуктора. Це заклало основу для створення ефективного та енергоощадного привідного комплексу транспортного обладнання.

У другому розділі розроблено систему електропостачання цеху, у якій детально проаналізовано електричні навантаження, підбрано оптимальні перерізи кабельних ліній і визначено електротехнічне обладнання. Обраний трансформатор ТМ-630/6/0,4 забезпечує необхідний резерв потужності, що дозволяє системі працювати з високим коефіцієнтом надійності.

У третьому розділі було змодельовано систему частотного керування асинхронним електроприводом. Побудовані математичні та структурні моделі дозволили точно відобразити динаміку роботи системи. Аналіз результатів імітаційного моделювання у середовищі *Matlab/Simulink* підтвердив ефективність обраної структури керування, її стійкість та відповідність технічним вимогам.

Четвертий розділ зосереджено на розробці автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром. Визначено ключові функціональні компоненти, розроблено функціональну та алгоритмічну схеми, а також обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації. Система забезпечує не лише ефективне управління процесом транспортування, але й оперативне

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		90

реагування на аварійні ситуації, підвищуючи загальний рівень безпеки та зменшуючи простої виробництва.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці при експлуатації стрічкового конвеєра. Проаналізовано потенційні виробничі ризики та запропоновано комплекс заходів, спрямованих на їх мінімізацію. Підкреслено важливість системного підходу до безпеки - від технічного оснащення до навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях.

У підсумку реалізовано комплекс технічних, енергетичних, автоматизаційних та безпекових рішень, об'єднаних у межах єдиного проекту. Розроблені рішення орієнтовані на підвищення ефективності виробничого процесу, забезпечення стабільної роботи обладнання та створення безпечних умов праці на підприємстві.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
						91
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Бабич І.І. Електропостачання промислових підприємств. — Київ: Либідь, 2018. — 352 с.
2. Михалевич Б.Б. Електричні мережі та системи. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. — 384 с.
3. Головка А.О. Захист і автоматизація в енергосистемах. — Харків: УПА, 2020. — 298 с.
4. Шамрай В.П., Костенко О.В. Електропривод: теорія і практика. — Харків: УПА, 2019. — 256 с.
5. Дубовой О.І. Основи електроприводу технологічних машин. — Київ: КНУТД, 2016. — 244 с.
6. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1: Загальні вимоги.
7. Касьянов В.М. Електротехнічні пристрої і системи. — Київ: НАУ, 2015. — 288 с.
8. Струтинський В.В. Системи автоматизованого керування енергообладнанням. — Вінниця: ВНТУ, 2021. — 320 с.
9. Коваль В.М. Електричні апарати. Частина 1: Комутаційні пристрої. — Тернопіль: ТНТУ, 2018. — 190 с.
10. Грінченко В.М. Системи автоматичного керування у промисловості. — Львів: Львівська політехніка, 2017. — 312 с.
11. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Офіційне видання. — Київ: Техніка, 2017.
12. Інструкція з охорони праці при експлуатації електроустановок споживачів. — Київ: Держгірпромнагляд, 2016.
13. Ковальов С.Ю. Мікропроцесорна техніка в автоматизованих системах. — Київ: КНУБА, 2021. — 310 с.
14. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		92

студентів, м. Київ, 23–26 квітня 2024 р. – Т. 2. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 312 с.

15. Розробка стартап-проектів: Конспект лекцій / О.А. Гавриш, К.О. Бояринова, К.О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.
16. Козак С.М. Електричні апарати та пристрої автоматики. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. — 276 с.
17. Павлюк В.В. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. — Київ: КНУБА, 2021. — 288 с.
18. Рябенко І. С., Мейта О. В. Основи електропостачання. Навчальний посібник для здобувачів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані.

					2410 ДП.ОА-11.12.ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		93