

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**Бакалаврська дипломна робота на тему:**

«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
ЕСКАЛАТОРА»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМ-22мс  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Артем СУЛИМА  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК  
Олена НАНАКА  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«28» 05 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ  
Олексій БАБЕНКО  
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Допущено до захисту

зав. кафедри КЕМСК  
«28» 05 2024 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“11” 03 2024 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сулимі Артему Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування електропривода ескалатора

Керівник роботи Нанака Олена Миколаївна, к.т.н., доц. каф.КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” 03 2024 року № 80

2. Термін подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: механізм повторно-короткочасної дії, вага 1-ї сходинки – 120 кг, вага 1 м тягового ланцюга – 58 кг, коефіцієнт тертя кочення основного бігунка - 0.05, коефіцієнт опору в підшипниках бігунка - 0.015, діаметр цапфи осі основного валу бігунка - 5 см

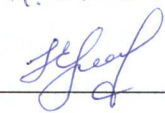
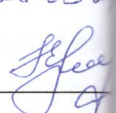
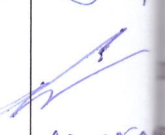
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1 Аналіз режимів роботи та характеристик досліджуваного механізму. 2 Розрахунок потужності привідного двигуна ескалатора. 3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 4 Вибір електродвигуна та його перевірка. 5 Вибір схеми електропривода. 6 розрахунок і вибір силових елементів перетворювального агрегату. 6 Розробка схем електричних системи електропривода ескалатора. 7 Математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик САЕП. 8 Охорона праці. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Загальна характеристика, будова, особливості механізму. Розрахунок потужності приводного двигуна ескалатора. Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП. Вибір двигуна та його перевірка. Базова схема керування ЕП. Розрахунок та вибір засобів керування ЕП ескалатора. Розрахунок та вибір засобів автоматизації ЕП ескалатора. Схема електрична структурна керування ЕП ескалатора. Схема електрична принципова керування ЕП ескалатора. Алгоритм та програма керування ПЛК. Дослідження динамічних характеристик СЕП ескалатора. Висновки



## 6. Консультанти розділів роботи

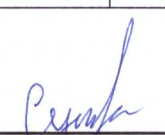
| Розділ             | Прізвище, ініціали та посада консультанта                 | Підпис, дата                                                                                    |                                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                                                           | завдання видав                                                                                  | виконав прийняв                                                                                 |
| Спеціальна частина | к. т. н., доц. каф. КЕМСК<br>Нанака О.М.                  | 11.03.24<br> | 28.05.24<br> |
| Охорона праці      | Зав. каф. БЖДПБ,<br>д.пед.н., проф.<br>Кобилянський О. В. | <br>11.03.24  | <br>28.05.24 |

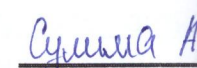
7. Дата видачі завдання 11.03.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

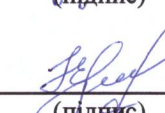
| № з/п | Назва етапів роботи                                                       | Строк виконання етапів роботи | При |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----|
| 1     | Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)      | 11.03.2024                    |     |
| 2     | Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР | 21.05.2024                    |     |
| 3     | Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР | 28.05.2024                    |     |
| 4     | Виконання розділу «Охорона праці»                                         | 28.05.2024                    |     |
| 5     | Попередній захист БДР                                                     | 28.05.2024                    |     |
| 6     | Нормоконтроль БДР                                                         | 28.05.2024                    |     |
| 7     | Рецензування БДР                                                          | 10.06.2024                    |     |
| 8     | Захист БДР                                                                | 13.06.2024.                   |     |

Студент

  
(підпис)

  
(прізвище та іні

Керівник роботи

  
(підпис)

  
(прізвище та іні

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 112 сторінок формату А4, на яких є 32 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел містить 21 найменування.

В результаті виконання дипломної роботи було досліджено декілька електроприводів для даного типу виробничого механізму. Як наслідок техніко-економічного порівняння та попереднього розрахунку потужності двигуна вибрано найбільш оптимальну систему електропривода типу ПЧ-АД. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу ескалатора. Розроблено схеми електричну структурну та принципову системи електропривода та її опис, виконано вибір засобів автоматизації технологічного процесу із використанням перетворювача частоти ATV610 30кВт 380-460В, фотоелектричних сенсорів OsiSense XU, інкрементального енкодера серії ХСС, інтелектуального реле Zelio Logo. Розроблено алгоритм функціонування системи керування електропривода з використанням можливостей середовища програмування Zelio Soft. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП Matlab Simulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод конвеєра забезпечує необхідні якісні показники.

Ключові слова: електропривод, ескалатор, система керування, ПЛК, частотний перетворювач, моделювання, стійкість роботи, навантаження.



## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis consists of 112 pages of A4 format, on which there are 32 figures, 16 tables, the list of used sources contains 21 names.

As a result of the thesis, several electric drives for this type of production mechanism were investigated. As a result of a technical and economic comparison and a preliminary calculation of the engine power, the most optimal system of the electric drive of the type ПЧ-АД was selected. The calculation and selection of the main elements of the electrical equipment of the power circuit of the electric drive system were performed, the features of the choice of the frequency-regulated drive of the escalator were substantiated. The electrical structural and principle diagrams of the electric drive system and its description were developed, the means of automation of the technological process were selected using the frequency converter ATV610 30kW 380-460V, photoelectric sensors OsiSense XU, incremental encoder of the XCC series, intelligent relay Zelio Logo. An algorithm for the operation of the electric drive control system was developed using the capabilities of the Zelio Soft programming environment. Mathematical modeling and evaluation of dynamic characteristics was carried out in Matlab Simulink PPP. The obtained results of simulation studies prove that the developed frequency-regulated electric drive of the conveyor provides the necessary quality indicators.

Key words: electric drive, escalator, control system, PLC, frequency converter, modeling, stability of operation, load.

## ЗМІСТ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                            | 5  |
| 1 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК<br>ДОСЛІДЖУВАНОВОГО МЕХАНІЗМУ.....                           | 9  |
| 1.1 Призначення, характеристики та параметри ескалатора.....                                          | 9  |
| 1.2 Кінематична схема, будова та характеристики ескалатора.....                                       | 11 |
| 1.3 Технічні характеристики ескалатора.....                                                           | 14 |
| 1.4 Основні вимоги до системи керування електропривода ескалатора ...                                 | 15 |
| 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА<br>ЕСКАЛАТОРА.....                                         | 17 |
| 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ<br>ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....                              | 29 |
| 4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА.....                                                         | 34 |
| 4.1 Вибір електродвигуна.....                                                                         | 34 |
| 4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, умовами пуску та<br>перевантажувальною здатністю.....    | 35 |
| 5 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. РОЗРАХУНОК І ВИБІР<br>СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ..... | 38 |
| 5.1 Існуюча схема системи керування електропривода ескалатора.....                                    | 38 |
| 5.2 Розробка системи керування та вибір елементів кола керування.....                                 | 42 |
| 5.3 Вибір елементів керування БПЛА.....                                                               |    |
| 6 РОЗРОБКА СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА<br>ЕСКАЛАТОРА.....                                 | 59 |
| 6.1 Розробка схеми електричної та структурної.....                                                    | 59 |
| 6.2 Алгоритм функціонування Zelio Logic та розробка програми в<br>середовищі Zelio Soft.....          | 62 |
| 6.3 Розробка програми функціонування контролера.....                                                  | 64 |
| 7 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ<br>ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП.....                         | 67 |
| 8 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                                  | 73 |



|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВИСНОВКИ.....                                                                           | 86  |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                         | 87  |
| ДОДАТКИ.....                                                                            | 90  |
| ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання.....                                         | 90  |
| ДОДАТОК Б Графічна частина.....                                                         | 95  |
| ДОДАТОК В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність<br>текстових запозичень..... | 108 |

## ВСТУП

Ескалатори – основні транспортні засоби для переміщення людей між різними рівнями. Вони вражають своєю великою місткістю та надійністю, забезпечують безпечність користування і комфорт, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Саме слово «ескалатор» (з англ. Escalator) виникло за аналогією зі словом elevator, а в перекладі з французької слово escalade означає «штурмова драбина».

Перший діючий ескалатор був виготовлений компанією "Отіс елевейтор" за угодою з його винахідником К.Зеебергером і експонований на Паризькій виставці 1900. У нього були горизонтальні сходи, які виходили з-під огорожі на одній вхідний майданчику і йшли під таке ж огорожу на інший вхідний майданчику.

Існують два основних типи ескалаторів: тунельні і поверхові. Тунельні ескалатори встановлюються у довгих нахилених тунелях, зокрема, на виходах зі станцій метро глибокого закладання. Їхній значний розмір вимагає особливо міцної конструкції та надійних гальм. Поверхові ескалатори використовуються на станціях метро та в інших підземних приміщеннях, а також у будівлях. Оскільки вони зазвичай доступні з усіх боків, широкі балюстради тут не потрібні.

Переваги ескалаторів полягають у їхній вищій пропускну здатності порівняно з ліфтами та фунікулерами. Крім того, коли ескалатор зупинений, його можна використати як звичайні сходи. Ескалатори працюють безперервно, тому пасажиром не доводиться чекати на прибуття транспортного засобу, як у випадку з кабіною.

Серед недоліків ескалаторів можна відзначити їхню високу вартість порівняно з іншими видами вертикального транспорту, особливо при значній висоті підйому. Також ескалатори можуть забирати більше часу на підйом, ніж високошвидкісні ліфти. Будівництво споруд для

розміщення ескалаторів також потребує значних витрат. Крім того, використання ескалаторів споживає більше енергії на підйом пасажирів порівняно з ліфтами, особливо через великі опори при русі по нахилу і відсутність противаги, яка б компенсувала частину пасажирського навантаження.

У сучасному світі швидкий технологічний прогрес відзначається всюди. Головними пріоритетами суспільства стають економічний розвиток і ефективне використання ресурсів. Вдосконалення кожного аспекту виробництва, обслуговування та транспорту дозволяє зменшити витрати, включаючи ресурси та робочу силу. У цьому дослідженні будуть проаналізовані проблеми та шляхи їх вирішення на прикладі ескалаторів ЭТ-3М у Дніпровському метрополітені.

Сучасні технології спрямовані на автоматизацію технологічних процесів для досягнення найвищої ефективності. Використання інтелектуальних реле дозволяє програмувати різні аспекти технологічних процесів. Наприклад, оболонка Zelio Logic надає можливість виконувати не лише основні, а й допоміжні та сервісні функції.

Автоматизація — це процес, коли контроль та управління передаються автоматичним пристроям замість людського втручання. Вона допомагає зменшити витрати, знизити собівартість і раціоналізувати кількість працівників. Особливо важливою автоматизація стає там, де є монотонна робота або робота, що може бути небезпечною для людей.

Мета цієї роботи полягає в модернізації існуючої системи управління електроприводом за допомогою інтелектуального реле Zelio Logic. Це реле буде отримувати та обробляти дискретні сигнали від датчиків. Також буде використаний пристрій плавного пуску Altistart.

Інтелектуальні реле Zelio Logic призначені для впровадження невеликих систем управління і застосовуються як у промисловості, так і в невиробничій сфері. Вони використовуються для конвертації сигналів від

датчиків або приладів у стандартні електричні сигнали, які сумісні з автоматизованими системами та регуляторами, такими як системи терморегулювання, системи регулювання швидкості тощо.

**Об'єктом дослідження в роботі** є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода ескалатора.

**Предметом дослідження** є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну та функціональну ефективність електропривода ескалатора.

**Метою** бакалаврської дипломної роботи є модернізація системи електропривода транспортної лінії для забезпечення ресурсозберігаючої та економічної його роботи відповідно до інтенсивності завантаження механізму шляхом впровадження сучасних програмованих логічних контролерів із мінімальним втручанням людини в процеси функціонування.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна механізму;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода виробничого механізму;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та функціональної схем системи електроприводу із застосуванням сучасних засобів автоматизації технологічного процесу;
- для вибраної системи електроприводу виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи отримано автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній



конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)».

**Публікації.** За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

Модернізація системи керування електропривода ескалатора/ А.В. Сулима, О.М. Нанака, О.А. Паянок – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL:. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 3 с.

## **1 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОСЛІДЖУВАНОГО МЕХАНІЗМУ**

### **1.1 Призначення, характеристики та параметри ескалатора**

Ескалатор - це підйомно-транспортний пристрій, що складається з нахиленого на  $30-35^\circ$  сходу з рухомими сходами, який призначений для пересування людей з одного рівня на інший. Зазвичай ескалатор складається з сходинок, які приводяться в рух від електродвигуна через редуктор, утворюючи замкнуте коло. Він є невід'ємною частиною інфраструктури станцій метрополітену, вокзалів, великих торгових центрів та підземних переходів.

Загальний вигляд ескалатора наведено на рисунку 1.1, а його будова на рисунку 1.2



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд ескалатора

Сходинок рухаються на роликах вздовж напрямних за допомогою ланцюгової передачі від електричного приводу. Швидкість руху сходинок

становить 0,3 — 0,8 м/с. Максимальний кут нахилу ескалатора відносно горизонтальної поверхні переважно не перевищує  $30^\circ$ .

Полотно з двома нескінченними тяговими ланцюгами огинає вгорі тягові, а внизу — натяжні зірки і котиться по направляючих шляхах конструкції. Привод тягових зірок складається з електродвигуна, редуктора з додатковими зубчатими або ланцюговими передачами і сполучувальних муфт. Для безпеки і зручності використання ескалатор обладнаний вхідними майданчиками з гребінками, опущеними в повздовжні пази настилів сходів, і рухомими з обох боків балюстради поручнями на висоті 0,9 – 1 м від сходів. Поручні рухаються по направляючим пластинам і відхиляючим блокам. Верхні приводні блоки отримують обертання через систему ланцюгових передач від валу тягових зірок. Натяжні блоки поручнів знаходяться на частині похилої всередині балюстради. Перед вхідними майданчиками за допомогою направляючих шляхів полотно набуває горизонтального положення на довжині 0,8 – 1,2 м, а на похилій частині утворює сходи з кутом нахилу  $30^\circ$  (для закордонних ескалаторів — до  $35^\circ$ ), використовувану пасажирями для самостійного пересування при зупинці ескалатора.

Потужність двигуна визначається по сумі опорів від рухомих полотна і поручнів по методах, прийнятих відповідно для пластинчастих і стрічкових конвеєрів.

До ключових геометричних параметрів тунельних ескалаторів відносяться висота, кут нахилу, ширина сходового настилу та інші важливі аспекти (див. рис. 6). Серед інших параметрів можна виділити теоретичну пропускну здатність, яка залежить від ширини і швидкості руху ескалаторів. Ефективна пропускну здатність зазвичай становить від 40% до 80% від теоретичної пропускну здатності, залежно від інтенсивності потоку і ширини сходової смуги.

Ескалатор ЕТ-3М має висоту підйому 48 метрів, кут нахилу 30 градусів і ширину сходового настилу 1000 мм. Основні геометричні розміри ескалатора ЕТ-3М зображені на рисунку 6.

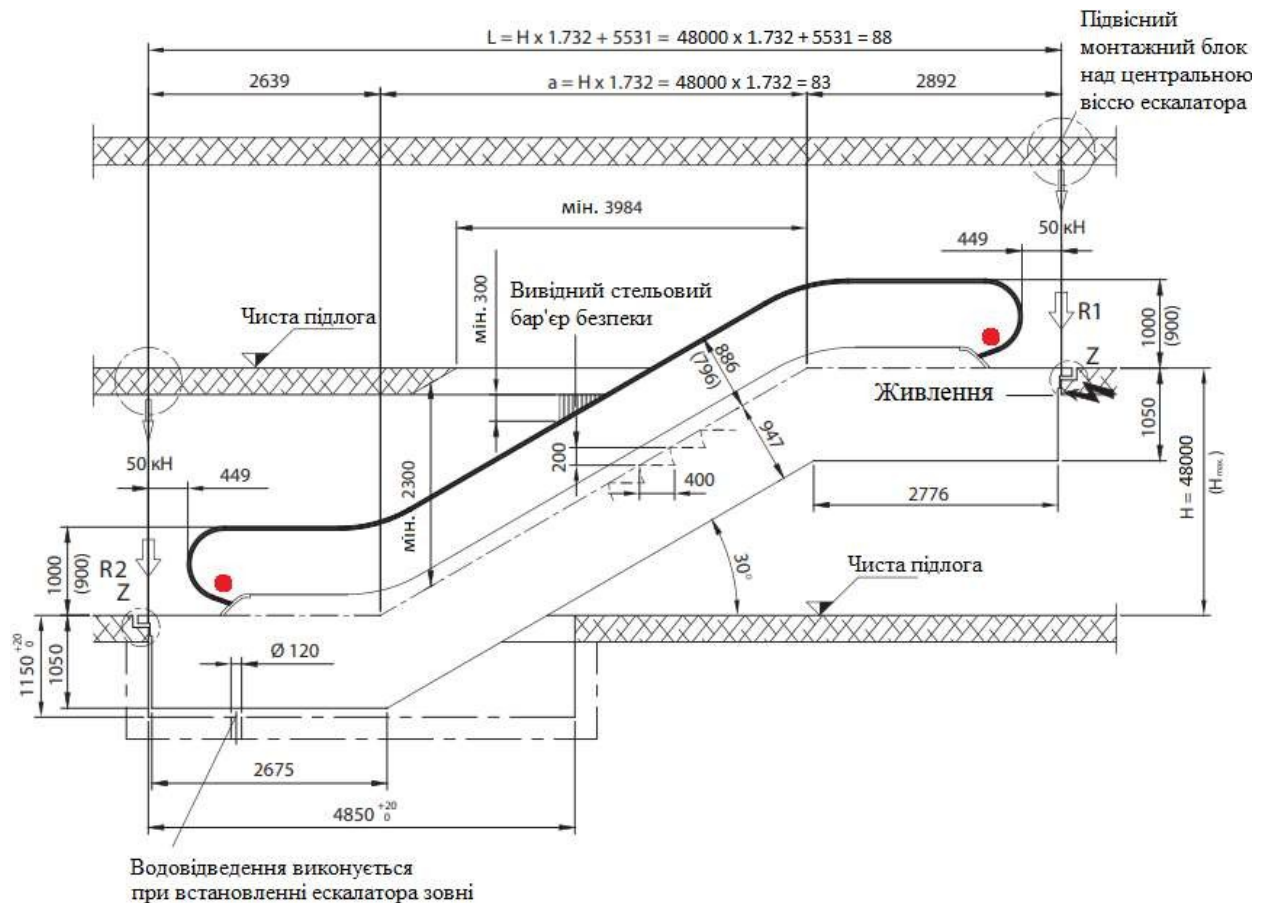


Рисунок 1.2 – Геометричні параметри ескалатора ЕТ-3М

На рисунку червоними крапками зображено розташування фотоелектричних датчиків OsiSense XU, що зможуть за допомогою інфрачервоного променя розпізнавати перехід людей на рухливу частину.

## 1.2 Кінематична схема, будова та характеристики ескалатора

Східці більшості ескалаторів рухаються на бігунках по тих, що направляють, закріпленим усередині жорсткої сталевій металоконструкції ескалатора. Назад вони проходять з нижнього боку, так що їх не видно. Для зручності пасажирів передбачається поручень, що рухається з тією ж

швидкістю, що і сходи. Увесь пристрій працює з одним приводним електродвигуном, який зазвичай розташовується в невеликому машинному відділенні під підлогою поряд з верхнім входним майданчиком. Кожен ескалатор забезпечується аварійним гальмом, регулятором швидкості і засобами захисту, що автоматично зупиняють його у разі обриву тягового ланцюга або поручня, а також у разі непередбаченого реверсування.

Ескалатор шириною 90 см, що рухається із швидкістю 30 м/хв, може транспортувати близько 6000 чоловік в годину.

Будова механічної частини ескалатора показана на рисунку 1.3

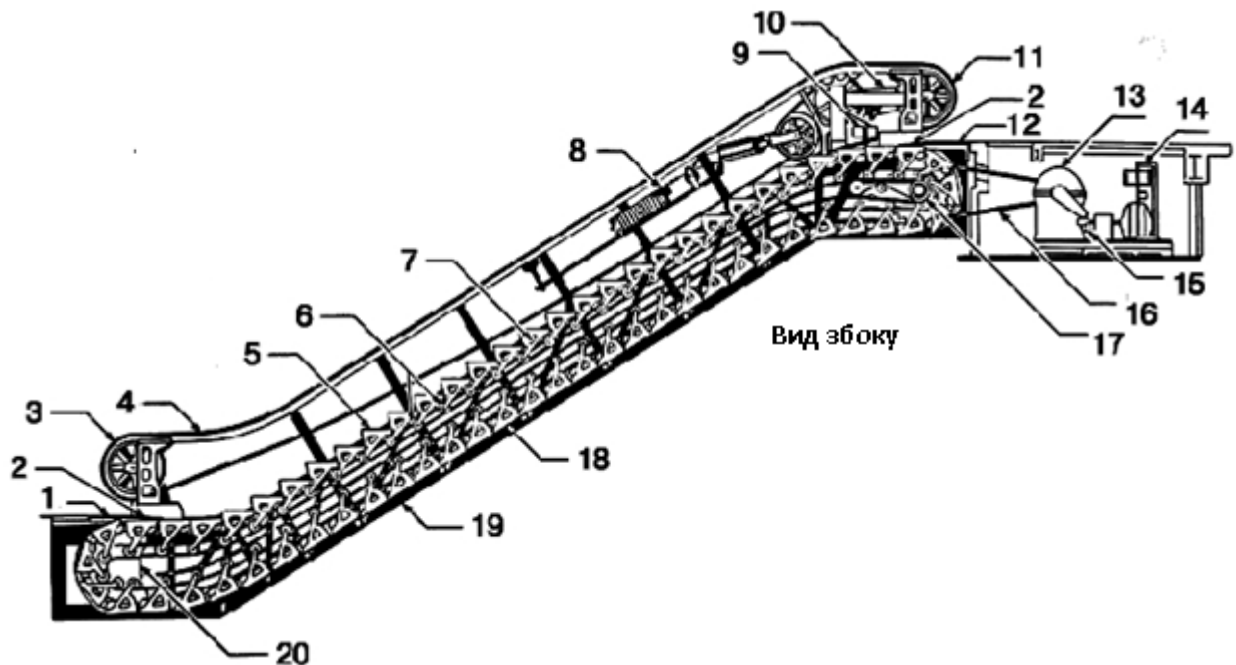


Рисунок 1.3 – Схема механічної частини ескалатора

На рисунку 1.3 приведені такі позначення: 2 – входний майданчик; 2 – гребінка; 3 – нижня опора поручневого пристрою; 4 – поручень; 5 – сходинок; 6 – бігунок ланцюга і сходинок; 7 – ланцюг сходинок; 9 – гальмівний механізм; 10 – приводний механізм поручня; 12 – входний майданчик; 13 – двигун; 14,15 – силовий перетворювач; 16 – тяговий ланцюг; 17 – головний вал; 18 – сходинок, що рухаються в зворотньому напрямку; 19 – металокаркас; 20 – натяжна зірка.

Сходи ескалатора (див. рисунок 1.3) складаються зі сталевих каркасу, двох основних та двох допоміжних пластикових або сталевих обгумованих (безшумних) катків, які наділені осію, і двох тягових ланцюгів. Пластикові рейкові настилки розміщені горизонтально на всіх ділянках робочої (зовнішньої) гілки траси. Пластинчасті втулково-роликові тягові ланцюги сходів мають опори на зовнішніх пластинах. Ці опори, разом з обмежувальними шинами траси, запобігають складанню та падінню сходів при непередбачуваному обриві тягових ланцюгів.

Кінематична схема приводу ескалатора приведена на рисунку 1.4.

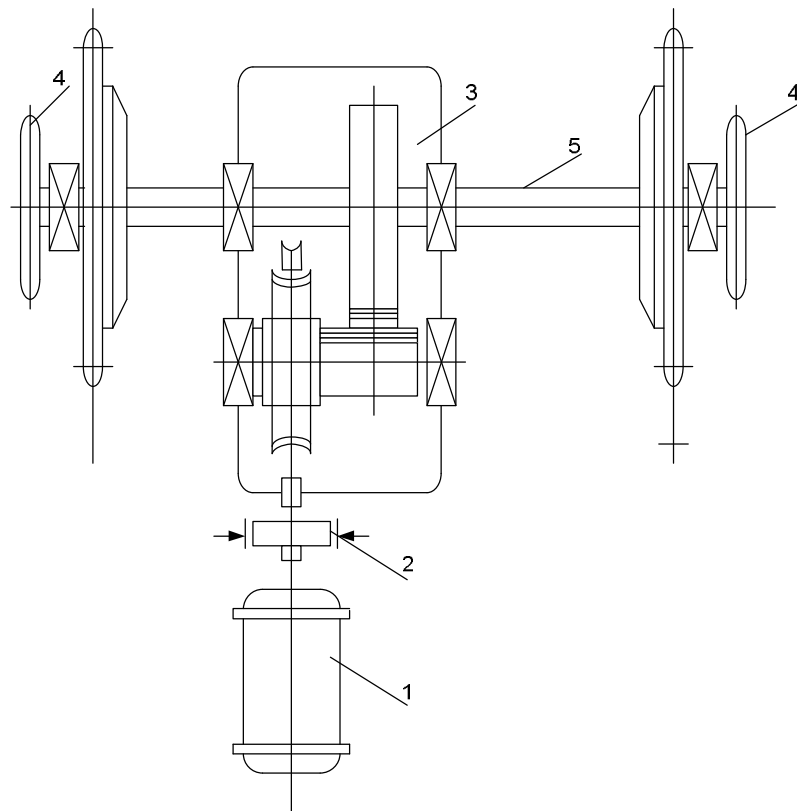


Рисунок 1.4 – Кінематична схема приводу ескалатора

На рисунку 1.4 приведені такі позначення: 1 - головний двигун; 2 – робоче гальмо; 3 – редуктор головного приводу; 4 – зірочка приводу поручня; 5 - головний вал з тяговими зірочками і аварійним гальмом.

Привод тягових зірок складається з електродвигуна, редуктора з додатковими зубчатими або ланцюговими передачами і сполучувальних муфт.



Електродвигун ескалатора працює в довготривалому номінальному режимі (*SI*).

### 1.3 Технічні характеристики ескалатора

Вітчизняні тунельні ескалатори мають одну загальну схему конструкції, характеризуються шириною ступенів 1 метр, кутом нахилу  $30^\circ$  і мають редукторний привід, розташований в машинному приміщенні. При висоті підйому понад 15 метрів розміри приводу стають такими, що для встановлення сусідніх ескалаторів доводиться робити центральні з подовженою горизонтальною частиною. Технічні характеристики ескалатора ЕТ-3М наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики ескалатора ЕТ-3М

| Найменування параметрів | Висота підйому, м | Швидкість полотна, м/с | Типова потужність головного приводу, кВт | Потужність допоміжного приводу, кВт |
|-------------------------|-------------------|------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| ЕТ-3М                   | 48                | 0,94                   | 132-170                                  | 7,5                                 |

Швидкість руху сходового полотна на початкових ескалаторах Н і ЕМ становила 0,75-0,77 метрів за секунду. Пізніше, з метою підвищення продуктивності ескалаторів і швидшого перевезення пасажирів, цю швидкість збільшили до 0,9 і 0,94 метрів за секунду, і важливо зазначити, що пасажирів не відчували жодних незручностей. Однак очікуваного збільшення продуктивності не відбулося, але значно зросли експлуатаційні витрати, що призвело до повернення до початкової економічної швидкості 0,75 метрів за секунду [2].

Основний привід обладнаний трьохфазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором під назвою 4АНК315М8. Двигуни серії 4АН мають перевагу над електродвигунами попередніх серій завдяки меншій

вагою та розмірами, зменшеному рівню шуму і вібрацій, збільшеним пусковим моментом та підвищеною надійністю. Крім того, вони мають брзкозахисне виконання.

Допоміжний привід виконується за допомогою трьохфазного асинхронного двигуна з моделлю 4AM132M6 та потужністю 7,5 кВт.

#### **1.4 Основні вимоги до системи керування електропривода ескалатора**

Протягом тривалого періоду експлуатації ескалаторів у метро з високою пасажироносністю, було сформульовано основні вимоги до системи управління механізмом, які включають:

- Можливість пуску та зупинки ескалатора з головного приводу з пультів управління на верхніх і нижніх платформах та з диспетчерського пульта.
- Пуск ескалатора вгору та вниз від допоміжного приводу з пультів управління на верхніх і нижніх платформах. Рух ескалатора повинен відбуватися лише при утриманні кнопок управління допоміжним приводом.
- Зупинка ескалатора при відмиканні блокуючих пристроїв та неможливість його повторного запуску до усунення причин зупинки.
- Активування аварійного гальма ескалатора при перевищенні швидкості руху на спуску більше ніж на 25%.
- Активування аварійного гальма ескалатора при зміні напрямку руху на підйом («перекидання ескалатора»).
- Активування аварійного гальма ескалатора при непередбаченому русі на спуску зі стану зупинки («самохід»).
- Активування аварійного гальма рухомого ескалатора при втраті хоча б одного з сигналів датчика контролю швидкості.

- В режимі "Тест" або аналогічному забезпечити перевірку роботи контрольних пристроїв без включення головного або допоміжного електроприводу.
- В режимі "Тест" або аналогічному забезпечити перевірку функціонування робочого гальма без включення головного або допоміжного приводу.
- Час готовності пристрою управління до роботи після включення повинен бути не більше 5 хвилин.
- Процес управління має забезпечувати цілодобовий режим безперервної роботи.

**Висновок:** виходячи із досвіду проектування систем електроприводу, та особливостей ескалятора, як об'єкта керування, можна припустити, що для керування електроприводом даного механізму можна вибирати такі системи електроприводу: асинхронний двигун з фазним ротором, перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Детальний розрахунок доцільності кожної системи буде проведений в наступних розділах.

## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА ЕСКАЛАТОРА

Знайдемо погоне навантаження від ваги сходиноквого полотна, згідно схеми траси полотна, приведеної на рисунку 2.1.

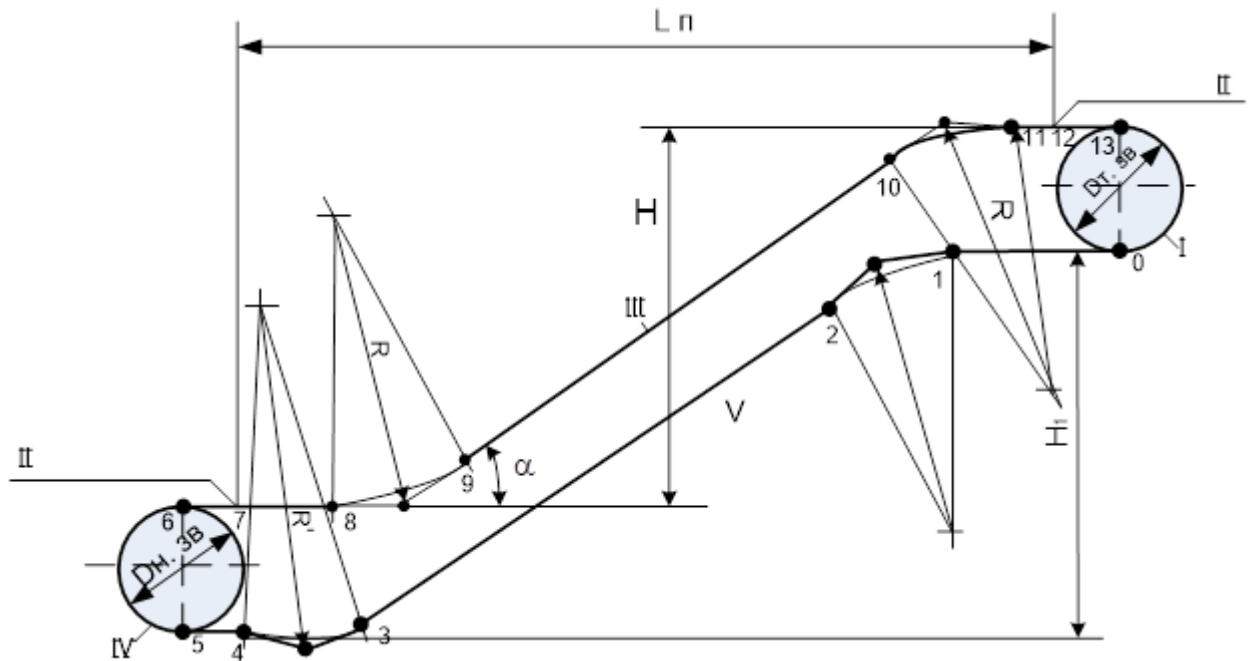


Рисунок 2.1 – Схема траси сходиноквого полотна

На рисунку: I – тягова зірочка, II – вхідні площадки, III – верхня вітка сходиноквого полотна, IV – натяжна зірочка, V – нижня вітка полотна.

Для холостого навантаження:

$$\tilde{N}_{\delta} = q_{\text{пд}} + 2 \cdot q_{\delta}, \quad (2.1)$$

де  $q_{\text{см}}$  – вага 1-ї сходинок ( $q_{\text{см}}=120$  кг),

$q_{\text{л}}$  – вага 1 м тягового ланцюга ( $q_{\text{л}}=58$  кг),

$$\tilde{N}_{\delta} = 120 + 2 \cdot 58 = 236.$$

Для роботи на навантаження:

$$\tilde{N}_{\delta} = q + q_{\text{пд}} + 2 \cdot q_{\delta}, \quad (2.2)$$

де  $q$  – вага людини і вантажу на одній сходинокці ( $q=215$  кг),

$$\tilde{N}_{\delta} = 215 + 120 + 2 \cdot 58 = 451.$$

Знайдемо навантаження на основний бігунок в холостому режимі:

$$\dot{A}_{\tilde{o}} = K_o q_{\tilde{n}\tilde{o}} + 2q_{\tilde{o}}, \quad (2.3)$$

де  $K_o$  - коефіцієнт навантаження на основні бігунки,

$$K_o = \frac{l_{\hat{a}}}{l}, \quad (2.4)$$

де  $l_{\hat{a}}$  - відстань між допоміжним катком та точкою прикладання навантаження ( $l_{\hat{a}} = 240$  мм),

$l$  - глибина сходинки ( $l = 440$  мм),

$$K_o = \frac{240}{440} = 0.545,$$

$$\dot{A}_{\tilde{o}} = 0.545 \cdot 210 + 2 \cdot 58 = 182 \text{ (кг)},$$

Знайдемо навантаження на основний бігунок в навантажувальному режимі:

$$\dot{A}_{\tilde{a}} = K_o (q + q_{\tilde{n}\tilde{o}}) + 2q_{\tilde{o}}, \quad (2.5)$$

$$\dot{A}_{\tilde{a}} = 0.545 \cdot (215 + 210) + 2 \cdot 58 = 300 \text{ (кг)}$$

Знайдемо навантаження на допоміжний бігунок в холостому режимі:

$$\hat{A}_{\tilde{o}} = K_{\hat{a}} q_{\tilde{n}\tilde{o}}, \quad (2.6)$$

де  $K_{\hat{a}}$  - коефіцієнт навантаження на допоміжні бігунки.

$$K_{\hat{a}} = \frac{l_{\hat{o}}}{l}, \quad (2.7)$$

де  $l_{\hat{o}}$  - відстань між допоміжним катком та точкою прикладання навантаження ( $l_{\hat{o}} = 240$  мм);

$$K_{\hat{a}} = \frac{200}{440} = 0.45.$$

Знайдемо навантаження на допоміжний бігунок в навантажувальному режимі:

$$\hat{A}_{\tilde{a}} = K_{\hat{a}} (q + q_{\tilde{n}\tilde{o}}), \quad (2.8)$$

$$\hat{A}_{\hat{a}} = 0.45(215 + 120) = 151 \text{ (кг)}.$$

Знайдемо коефіцієнт опору основних бігунків:

$$\omega_{\hat{i}} = \beta \left( \frac{2f_o + \mu d_0}{D_0} \right), \quad (2.9)$$

де  $f_o$  - коефіцієнт тертя кочення основного бігунка ( $f_o = 0.05$ ),

$\mu$  - коефіцієнт опору в підшипниках бігунка ( $\mu = 0.015$ ),

$d_0$  - діаметр цапфи осі основного валу бігунка ( $d_0 = 5$  см),

$D_0$  - діаметр основного бігунка ( $D_0 = 18$  см),

$\beta$  - коефіцієнт який враховує тертя бігунка об реборди та ковзання бігунка по направляючим внаслідок зсуву ескалаторного полотна в сторону ( $\beta = 2$ ),

$$\omega_{\hat{i}} = 2 \left( \frac{2 \cdot 0.05 + 0.015 \cdot 5}{18} \right) = 0.0188.$$

Знайдемо коефіцієнт опору допоміжних бігунків:

$$\omega_{\hat{a}} = \frac{2f_{\hat{a}} + \mu d_{\hat{a}}}{D_{\hat{a}}}, \quad (2.10)$$

де  $f_{\hat{a}}$  - коефіцієнт тертя кочення основного бігунка ( $f_{\hat{a}} = 0.3$ ),

$d_{\hat{a}}$  - діаметр цапфи осі основного валу бігунка ( $d_{\hat{a}} = 2$  см),

$D_{\hat{a}}$  - діаметр основного бігунка ( $D_{\hat{a}} = 14$  см),

$$\omega_{\hat{a}} = \frac{2 \cdot 0.3 + 0.015 \cdot 2}{14} = 0.045.$$

Знайдемо приведений коефіцієнт опору руху бігунків по направляючим, для роботи на навантаження:

$$\omega' = \frac{\hat{A}_{\hat{a}} \omega_{\hat{i}} + \hat{A}_{\hat{a}} \omega_{\hat{a}}}{\hat{A}_{\hat{a}} + \hat{A}_{\hat{a}}}, \quad (2.11)$$

$$\omega' = \frac{300 \cdot 0.018 + 151 \cdot 0.045}{300 + 151} = 0.028.$$

Знайдемо приведений коефіцієнт опору руху бігунків по направляючим, для роботи на холостому ходу:

$$\omega'' = \frac{\dot{A}_{\ddot{o}} \omega_{\dot{i}} + \dot{A}_{\ddot{o}} \omega_{\dot{a}}}{\dot{A}_{\ddot{o}} + \dot{A}_{\ddot{o}}}, \quad (2.12)$$

$$\omega'' = \frac{182 \cdot 0.018 + 54 \cdot 0.045}{182 + 54} = 0.025.$$

Знайдемо приведений коефіцієнт опору руху для тягової зірочки:

$$\omega''_{\dot{\text{çâí}}} = \left( \frac{\mu_{\ddot{o}} d_{\ddot{o}}}{D_{\dot{\text{çâí}}}} + \frac{\mu_{\dot{\text{çâí}}} d_{\dot{\text{çâí}}}}{D_{\dot{\text{çâí}}}} \right), \quad (2.13)$$

де  $\mu_{\ddot{o}}$  - коефіцієнт тертя в шарнірі тягового ланцюга ( $\mu_{\ddot{o}}=0.3$ ),

$\mu_{\dot{\text{çâí}}}$  - коефіцієнт опору підшипників валу зірочки ( $\mu_{\dot{\text{çâí}}}=0.02$ ),

$d_{\ddot{o}}$  - діаметр валика ланцюга ( $d_{\ddot{o}}=6$  мм),

$d_{\dot{\text{çâí}}}$  - діаметр цапфи валу натяжної зірочки ( $d_{\dot{\text{çâí}}}=10$  мм),

$D_{\dot{\text{çâí}}}$  - діаметр натяжної зірочки ( $D_{\dot{\text{çâí}}}=185$  мм),

$$\omega''_{\dot{\text{çâí}}} = \left( \frac{0.3 \cdot 6}{185} + \frac{0.02 \cdot 10}{185} \right) = 0.0108.$$

Знайдемо приведений коефіцієнт опору руху для тягової зірочки:

$$\omega'_{\dot{\text{çâò}}} = \left( \frac{\mu_{\ddot{o}} d_{\ddot{o}}}{D_{\dot{\text{çâò}}}} + \frac{\mu_{\dot{\text{çâò}}} d_{\dot{\text{çâò}}}}{D_{\dot{\text{çâò}}}} \right), \quad (2.14)$$

де  $d_{\dot{\text{çâò}}}$  - діаметр цапфи валу тягової зірочки ( $d_{\dot{\text{çâò}}}=26$  мм),

$D_{\dot{\text{çâí}}}$  - діаметр тягової зірочки ( $D_{\dot{\text{çâí}}}=223,2$  мм),

$$\omega'_{\dot{\text{çâò}}} = \left( \frac{0.3 \cdot 6}{223.2} + \frac{0.02 \cdot 26}{223.2} \right) = 0.0104.$$

Знайдемо коефіцієнт опору повороту ланки ланцюга для криволінійних відрізків:

$$\omega_{\ddot{o}\dot{i}} = \frac{\mu_{\ddot{o}} d_{\ddot{o}}}{R_6}, \quad (2.15)$$

де  $R_6$  - радіус нижнього криволінійного відрізка ( $R_6=6$  м),



$$\omega_{\text{öí}} = \frac{0.3 \cdot 6}{600} = 0.003,$$

$$\omega_{\text{öâ}} = \frac{\mu_{\text{ö}} d_{\text{ö}}}{R_{10}}, \quad (2.16)$$

де  $R_{10}$  - радіус верхнього криволінійного відрізка ( $R_{10}=10$  м),

$$\omega_{\text{öâ}} = \frac{0.3 \cdot 6}{1000} = 0.0018.$$

Знайдемо приведені коефіцієнти опору на криволінійних відрізках при роботі на навантаження.

Для нижнього криволінійного відрізка:

$$\omega_6^{\text{с}} = \omega' + \omega_{\text{цн}}, \quad (2.17)$$

$$\omega_6^{\text{с}} = 0.028 + 0.003 = 0.031.$$

Для верхнього криволінійного відрізка:

$$\omega_{10}^{\text{с}} = \omega' + \omega_{\text{цв}}, \quad (2.18)$$

$$\omega_{10}^{\text{с}} = 0.028 + 0.0018 = 0.03.$$

Знайдемо приведені коефіцієнти опору на криволінійних відрізках при роботі на холостому ходу:

Для нижнього криволінійного відрізка:

$$\omega_6^{\text{х}} = \omega'' + \omega_{\text{цн}}, \quad (2.19)$$

$$\omega_6^{\text{х}} = 0.0248 + 0.003 = 0.0278 \approx 0.028.$$

Для верхнього криволінійного відрізка:

$$\omega_{10}^{\text{х}} = \omega'' + \omega_{\text{цв}}, \quad (2.20)$$

$$\omega_{10}^{\text{х}} = 0.0248 + 0.0018 = 0.0266 \approx 0.027.$$

Знаходимо натяг тягового ланцюга при роботі на спуск з навантаженням.

В точці 9:

$$S_9 = C_x R_6, \quad (2.21)$$

$$S_9 = 236 \cdot 6 = 1416 \text{ (кг)}.$$

В точці 8:

$$S_8 = S_9 e^{\omega_6^x \alpha} + C_x \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_6^x \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_6^x \alpha} - 1}{\omega_6^x}, \quad (2.22)$$

$$S_8 = 1416 \cdot 1.0146 + 236(-0.2588 - 0.028 \cdot 0.9659) \cdot 6 \cdot 0.523 = 1223 \text{ (кг)}.$$

В точці 7:

$$S_7 = S_8 + C_z l_{7-8} \omega', \quad (2.23)$$

$$S_7 = 1223 + 451 \cdot 1 \cdot 0.028 = 1236 \text{ (кг)}.$$

В точці 6:

$$S_6 = S_7 + C_x l_{6-7} \omega'', \quad (2.24)$$

$$S_6 = 1236 + 236 \cdot 2.26 \cdot 0.025 = 1249 \text{ (кг)}.$$

В точці 5:

$$S_5 = S_6 (1 + 2\omega_{36}'') - C_x D_{36H} (1 + \omega_{36}''), \quad (2.25)$$

$$S_5 = 1249(1 + 2 \cdot 0.0108) - 236 \cdot 1.85(1 + 0.0108) = 823 \text{ (кг)}.$$

Перевіряємо допустиму величину натягу в точці 5 з ціллю виключення можливого задівання ролика ланцюга за контр шину холостої вітки ескалатора:

$$S_5 > K \frac{2q_y t_{cm} t_y}{f d_y}, \quad (2.26)$$

$$823 > 0.5 \frac{2 \cdot 58 \cdot 0.4 \cdot 0.2}{0.15 \cdot 0.06},$$

$$823 > 526 \text{ (кг)}.$$

В точці 4:

$$S_4 = S_5 + C_x l_{4-5} \omega'', \quad (2.27)$$

$$S_4 = 823 + 236 \cdot 1.32 \cdot 0.025 = 831 \text{ (кг)}.$$

В точці 3:

$$S_3 = S_4 e^{\omega_6^x \alpha} + C_x \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_6^x \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_6^x \alpha} - 1}{\omega_6^x}, \quad (2.28)$$

$$S_3 = 831 \cdot 1.0146 + 236(-0.2588 - 0.028 \cdot 0.9659) \cdot 6 \cdot 0.523 = 1015 \text{ (кг)}.$$

В точці 2:

$$S_2 = S_3 + C_x l_{2-3} (\omega'' \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (2.29)$$

$$S_2 = 1015 + 236 \cdot 125 (0.025 \cdot 0.866 + 0.5) = 6555 \text{ (кг)}.$$

В точці 1:

$$S_1 = S_2 e^{\omega_{10}^x \alpha} + C_x \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_{10}^x \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_{10}^x \alpha} - 1}{\omega_{10}^x}, \quad (2.30)$$

$$S_1 = 16395 \cdot 1.0146 + 236(0.2588 + 0.027 \cdot 0.9659) \cdot 10 \cdot 0.523 = 7002 \text{ (кг)}.$$

В точці 0:

$$S_0 = S_1 + C_x l_{0-1} \omega'', \quad (2.31)$$

$$S_0 = 7002 + 236 \cdot 5.5 \cdot 0.025 = 7035 \text{ (кг)}.$$

В точці 9:

$$S_9 = S_8 \frac{1}{e^{\omega_6^z \alpha}} + C_z \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_6^z \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_6^z \alpha} - 1}{\omega_6^z}, \quad (2.32)$$

$$S_9 = 1223 \cdot \frac{1}{1.016} - 451(-0.2588 - 0.031 \cdot 0.9659) \cdot 6 \cdot 0.523 = 1528 \text{ (кг)}.$$

В точці 10:

$$S_{10} = S_9 + C_{\tilde{a}} l_{9-10} (\omega' \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (2.33)$$

$$S_{10} = 1528 - 451 \cdot 45 (0.028 \cdot 0.866 - 0.5) = 11180 \text{ (кг)}.$$

В точці 11:

$$S_{11} = S_{10} \frac{1}{e^{\omega_{10}^{\tilde{a}} \alpha}} + C_{\tilde{a}} \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_{10}^{\tilde{a}} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_{10} \frac{e^{\omega_{10}^{\tilde{a}} \alpha} - 1}{\omega_{10}^{\tilde{a}}}, \quad (2.34)$$

$$S_{11} = 11180 \cdot \frac{1}{1.015} - 451(-0.2588 + 0.029 \cdot 0.9659) \cdot 10 \cdot 0.523 = 11560 \text{ (кг)}.$$

В точці 12:

$$S_{12} = S_{11} + C_{\tilde{a}} l_{11-12} \omega', \quad (2.35)$$

$$S_{12} = 11560 - 451 \cdot 1 \cdot 0.028 = 11580 \text{ (кг)}.$$

В точці 13:

$$S_{13} = S_{12} + C_{\tilde{o}} l_{12-13} \omega'', \quad (2.36)$$

$$S_{13} = 28763 - 236 \cdot 1.9 \cdot 0.28 = 11450 \text{ (кг)}.$$

Тягове зусилля на зірочці буде дорівнювати:

$$P = S_0 - S_{13} + (S_0 + S_{13}) \omega'_{\tilde{a}\tilde{o}} + C_{\tilde{o}} D_{\tilde{a}\tilde{o}}, \quad (2.37)$$

$$P = 17035 - 28750 + (17035 + 28750) 0.0104 + 236 \cdot 2.232 = -3696 \text{ (кг)}.$$

Знаходимо натяг тягового ланцюга при роботі на підйом з навантаженням. Відстані між точками і самі точки показані на рисунку 2.1

В точці 5:

$$S_5 = S_6 (1 + 2\omega''_{\tilde{a}\tilde{i}}) - C_{\tilde{o}} D_{\tilde{a}\tilde{i}} (1 + \omega''_{\tilde{a}\tilde{i}}), \quad (2.38)$$

$$S_5 = 1249(1 + 2 \cdot 0.0108) - 236 \cdot 1.85(1 + 0.0108) = 823 \text{ (кг)}.$$

В точці 6:

$$S_6 = S_5 (1 + 2\omega''_{\tilde{a}\tilde{H}}) - C_x D_{\tilde{a}\tilde{H}} (1 + \omega''_{\tilde{a}\tilde{H}}), \quad (2.39)$$

$$S_6 = 823(1 + 2 \cdot 0.0108) - 236 \cdot 1.85(1 + 0.0108) = 1283 \text{ (кг)}.$$

В точці 7:

$$S_7 = S_6 + C_x l_{6-7} \omega'', \quad (2.40)$$

$$S_7 = 1283 - 236 \cdot 2.26 \cdot 0.025 = 1296 \text{ (кг)}.$$

В точці 8:

$$S_8 = S_7 + C_z l_{7-8} \omega', \quad (2.41)$$

$$S_8 = 1296 + 451 \cdot 1 \cdot 0.028 = 1309 \text{ (кг)}.$$

Перевіряємо:

$$S_8 \prec C_x R_6, \quad (2.42)$$

$$1309 \prec 236 \cdot 6,$$

$$1309 \prec 1415.$$

В точці 9:

$$S_9 = S_8 e^{\omega_6^2 \alpha} + C_z \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_6^2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_6^2 \alpha} - 1}{\omega_6^2}, \quad (2.43)$$

$$S_9 = 1309 \cdot 1.016 + 451(0.2588 - 0.031 \cdot 0.9659) \cdot 6 \cdot 0.523 = 1654 \text{ (кг)}.$$

В точці 10:

$$S_{10} = S_9 + C_z l_{9-10} (\sin \alpha + \omega' \cos \alpha), \quad (2.44)$$

$$S_{10} = 1654 + 451 \cdot 125.7 (0.028 \cdot 0.866 + 0.5) = 12290 \text{ (кг)}.$$

В точці 11:

$$S_{11} = S_{10} e^{\omega_{10}^2 \alpha} + C_z \left( \sin \frac{\alpha}{2} + \omega_{10}^2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_{10}^2 \alpha} - 1}{\omega_{10}^2}, \quad (2.45)$$

$$S_{11} = 12290 \cdot 1.015 + 451(0.2588 + 0.029 \cdot 0.9659) \cdot 10 \cdot 0.523 = 11800 \text{ (кг)}.$$

В точці 12:

$$S_{12} = S_{11} + C_z l_{11-12} \omega', \quad (2.46)$$

$$S_{12} = 11800 + 451 \cdot 1 \cdot 0.028 = 11810 \text{ (кг)}.$$

В точці 13:

$$S_{13} = S_{12} + C_x l_{12-13} \omega'', \quad (2.47)$$

$$S_{13} = 32488 + 236 \cdot 1.9 \cdot 0.025 = 11830 \text{ (кг)}.$$

В точці 4:

$$S_4 = S_5 + C_x l_{4-5} \omega'', \quad (2.48)$$

$$S_5 = 823 - 236 \cdot 1.32 \cdot 0.025 = 815 \text{ (кг)}.$$

В точці 3:

$$S_3 = S_4 \frac{1}{e^{\omega_6^x \alpha}} - C_x \left( -\sin \frac{\alpha}{2} - \omega_6^x \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_6^x \alpha} - 1}{\omega_6^x}, \quad (2.49)$$

$$S_3 = 815 \cdot \frac{1}{1.0146} - 236(-0.2588 - 0.028 \cdot 0.9659) \cdot 6 \cdot 0.523 = 1016 \text{ (кг)}.$$

В точці 2:

$$S_2 = S_3 + C_x l_{2-3} (\sin \alpha - \omega'' \cos \alpha), \quad (2.50)$$

$$S_2 = 1016 + 236 \cdot 45(0.5 - 0.025 \cdot 0.866) = 6096 \text{ (кг)}.$$

В точці 1:

$$S_1 = S_2 \frac{1}{e^{\omega_{10}^x \alpha}} - C_x \left( -\sin \frac{\alpha}{2} + \omega_{10}^x \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) R_6 \frac{e^{\omega_{10}^x \alpha} - 1}{\omega_{10}^x}, \quad (2.51)$$

$$S_1 = 6096 \cdot \frac{1}{1.014} - 236(-0.2588 + 0.027 \cdot 0.9659) \cdot 10 \cdot 0.523 = 6299 \text{ (кг)}.$$

В точці 0:

$$S_0 = S_1 + C_x l_{0-1} \omega'', \quad (2.52)$$

$$S_0 = 6299 - 236 \cdot 5.5 \cdot 0.025 = 6267 \text{ (кг)}.$$

Тягове зусилля на приводній зірочці буде дорівнювати:

$$P_{\ddot{e}} = S_{13} - S_0 + (S_0 + S_{13}) \omega''_{\zeta \hat{a} \hat{o}} - C_{\hat{o}} D_{\zeta \hat{a} \hat{o}}, \quad (2.53)$$

$$P_{\ddot{e}} = (11830 - 6267) + (11830 + 6267) 0.0104 - 236 \cdot 2.232 = 5110 \text{ (кг)}.$$

Знаючи з тягового розрахунку сходинкового полотна та поручневої установки, окружне зусилля на тягових зірочках – знайдемо розрахункову потужність в кВт:

$$N = \frac{P_{\ddot{e}} v}{102} + N_{\ddot{i}}, \quad (2.54)$$

де  $P_L$  - окружне зусилля отримане при розрахунку сходового полотна,

$N_n$  - потужність необхідна для роботи поручневої установки ( $N_n = 5$  кВт),

$v$  - швидкість руху сходового полотна ( $v = 0.75$  м/с),

$$N = \frac{5110 \cdot 0.5}{102} + 0.95 = 23.29 \text{ (кВт)}. \quad (2.55)$$

Необхідна попередня потужність головного двигуна ескалатора:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta_{\text{дв}}}, \quad (2.56)$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  - ККД передачі від головного валу до валу електродвигуна ( $\eta_{\text{дв}} = 0.9$ ),

$$N_{\text{дв}} = \frac{23.29}{0.9} = 25.88 \text{ (кВт)}.$$

Знайдемо потужність необхідну для роботи головного двигуна ескалатора:

$$N_{\text{дв}} = 1.1 \cdot N_{\text{дв}}, \quad (2.57)$$

де 1.1 – коефіцієнт що враховує можливі перевантаження двигуна в результаті підвищення коефіцієнта заповнення пасажирами сходового полотна ескалатора.

$$N_{\text{дв}} = 1.1 \cdot 25.88 = 28.4 \text{ (кВт)}.$$

Статичний момент навантаження буде дорівнювати:

$$M_{\text{ст}} = \frac{60 N_{\text{дв}}}{2 \pi n_{\text{дв}}}, \quad (2.58)$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{60 \cdot 28.4}{2 \cdot 3.14 \cdot 1500} = 181 \text{ (Н·м)}.$$

Кінематична схема приводу ескалатора приведена на рисунку 2.2.

**Висновок:** отже, в результаті розрахунків зусиль на стрічку ескалатора було визначено сумарну потужність, необхідну для роботи даного механізму відповідно до вихідних даних, ця потужність є орієнтиром для вибору потужності електричного приводного двигуна, що буде здійснено в наступних розділах.



## **3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА**

### **3.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода**

В ескаляторах використовуються ряд електродвигунів таких як: АД з фазним ротором, АД з КЗ-ротором а також двигун постійного струму.

Приводні АД з КЗ ротором повинні мати однакові параметри. Для регулювання швидкості однодвигунного приводу ескалятора використовуються додаткові реостати механічні або регульовані електричні і гідравлічні муфти.

Характеристики АД з фазним ротором можна довести до однакових параметрів за допомогою введення в коло їх роторів додаткових опорів .

Також можливе регулювання електроприводу шляхом зміни частоти обертання, якщо використовувати асинхронний двигун з фазним ротором або асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

У бакалаврській дипломній роботі розглядається регулювання роботи ескалятора за рахунок зміни частоти обертання робочого колеса (частоти обертання валу електродвигуна), оскільки воно є на сьогоднішній день найбільш економічним і сучасним способом управління. Далі розглядаються системи управління асинхронним двигуном.

АД є найпопулярнішим у використанні електричним двигуном. Їх випуск можливий у потужностях від 0,1 кВт до кількох тисяч кіловат. Не велика вартість та простота його конструкції – це його найголовніша перевага. За наявності звичайної схеми підключення асинхронний двигун не допускає регулювання швидкості його обертання. Перш за все, слід звернути увагу на те, що потрібно уникати значних втрат енергії. А це означає, що для короткозамкнених асинхронних двигунів щоб не допустити перегріву його ротора, потрібно забезпечити роботи двигуна в тривалому режимі з найменшим значеннями ковзання [7].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу одночасно в функції частоти і навантаження, що реалізовується тільки в замкнених системах електропривода. У розімкнених системах напруга регулюється лише у функції частоти по деякому закону, залежному від виду навантаження.

### 3.2 Економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Для порівняння техніко-економічних показників систем електроприводу розглядатимемо такі системи:

- широтно-імпульсний перетворювач з двигуном постійного струму (ШПІ-ДПС);
- пристрій плавного пуску з асинхронним двигуном з КЗ ротором;
- асинхронний вентильний каскад (АД з ФР та системою керування);
- перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Наведемо приклад розрахунку для одного із запропонованих варіантів системи керування (ПЧ-АД), в розрахунку на те, що потужність приводного двигуна складає 30 кВт.

Розглянемо ці варіанти з економічної точки зору. Результати розрахунків будуть зведені в таблицю 3.1.

Визначаємо споживану потужність системи електроприводу:

$$P_1 = P_n / \eta_n, \quad (3.1)$$

$$P_1 = 30 / 0,91 = 33 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності:

$$\Delta p = P_1 - P_n, \quad (3.2)$$

$$\Delta p = 33 - 30 = 3 \text{ (кВт)}.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

| Система електроприводу                                           | ШПП-ДПС  | ППП-АД з КЗ | АВК (АД з ФР) | ПЧ-АД   |
|------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------------|---------|
| Потужність двигуна, кВт                                          | 30,0     |             |               |         |
| ККД двигуна та системи                                           | 0,91     | 0,9         | 0,89          | 0,91    |
| Вартість двигуна Д, грн                                          | 91250,0  | 36500,0     | 54750,0       | 36500,0 |
| Вартість системи керування С, грн                                | 72830,0  | 93450,0     | 76420,0       | 80074,0 |
| Капітальні вкладення К, грн.                                     | 164080,0 | 129950,0    | 131170,0      | 116574  |
| Тариф електроенергії, грн/кВт год                                | 4,93     | 4,93        | 4,93          | 4,93    |
| Додаткові відрахування (електроенергія) С <sub>д</sub> , грн/рік | 58509,9  | 65733,3     | 73119,1       | 58509,9 |
| Амортизаційні відрахування С <sub>а</sub> , грн/рік              | 24612,0  | 19492,5     | 19675,5       | 17486,1 |
| Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)                    | 900,5    | 851,2       | 3016,9        | 2681,2  |
| Вартість експлуатації електроприводу, грн                        | 84022,4  | 86077,0     | 95811,5       | 78677,2 |
| Зведені витрати З = Е <sub>н</sub> *К + С, грн.                  | 108634,4 | 105569,5    | 115487,0      | 96163,3 |

Приймаємо тривалість роботи системи електроприводу рівною двом робочим змінам, тобто  $t_{\text{год}} = 8$  год. Кількість робочих днів в 2022 році складатиме  $t_{\text{д}} = 250$  днів.

Тоді тривалість роботи обладнання на рік:

$$t_p = t_{\text{год}} \cdot t_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

$$t_p = 8 \cdot 2 \cdot 250 = 4000 \text{ (год/рік)}.$$

Розрахуємо річну вартість втрат електроенергії в системі електроприводу, виходячи з тривалості роботи обладнання, величини втрат потужності та діючого тарифу на електроенергію.

$$\Delta w = \Delta p \cdot t_p \cdot T, \quad (3.4)$$

де  $T$  – тариф на електроенергію. Ціна на універсальні послуги для малих непобутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з класом напруги з ПДВ складає приблизно 8 грн/кВт·год.

$$\Delta w = 3 \cdot 4000 \cdot 8 = 96000 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначаємо нормовані затрати на амортизацію (оновлення основних засобів виробництва) в сумі 15% від вартості системи електроприводу.

$$A = 0,15 \cdot (C + D), \quad (3.5)$$

де  $C$  – вартість системи керування,  $C = 80074$  (грн),  
 $D$  – вартість електродвигуна,  $D = 36500$  (грн);

$$A = 0,15 \cdot (36500 + 80074) = 17486,1 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на обслуговування і ремонт:

$$E = 0,02 \cdot (C + D + A) = 0,02 \cdot (36500 + 80074 + 17486,1) = 2681,2 \text{ (грн.)}$$

Собівартість експлуатації системи електроприводу із врахування обслуговування та витрат електроенергії:

$$C = A + E + \Delta w, \quad (3.6)$$

де  $E$  – експлуатаційні затрати,  $E = 2681,2$  грн/рік;

$$C = 17486,1 + 2681,2 + 58509,9 = 78677,2 \text{ (грн)}.$$

Зведені витрати:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (3.7)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_n = 0,15$ );

К – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна Д та системи керування СК;

С – собівартість.

$$З = 0,15 \cdot 116574 + 78677,2 = 96163,3 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічним чином розраховуються економічні показники і для інших систем.

**Висновок:** В результаті розрахунку вибираємо електропривод на базі системи перетворювач частоти асинхронний двигун з КЗ ротором, перспективним є перехід до використання асинхронного електропривода переважувальної лінії з частотним регулюванням, який за функціональними можливостями та експлуатаційними характеристиками відповідає технічним вимогам та умовам поставленого завдання.

## 4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА

### 4.1 Вибір електродвигуна

За розрахунками потужності вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу ВРП200L6.

Основні технічні характеристики данного двигуна зведено в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Паспортні дані

| Паспортні дані                                              | Значення |
|-------------------------------------------------------------|----------|
| Номинальна потужність $P_{ном}, кВт$                        | 30       |
| Номинальна частота обертання $n_{ном}, об/хв$               | 988      |
| Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$                         | 0,87     |
| Коефіцієнт корисної дії $\eta, \%$                          | 91       |
| Момент інерції $J_p, кг \cdot м^2$                          | 0,92     |
| Номинальний струм, А                                        | 91       |
| Номинальний момент, Нм                                      | 289,9    |
| $\frac{M_n}{M_{ном}}$ – кратність пускового моменту         | 2,2      |
| $\frac{M_{min}}{M_{ном}}$ – кратність мінімального моменту  | 1,5      |
| $\frac{M_{max}}{M_{ном}}$ – кратність максимального моменту | 2,5      |
| $\frac{I_n}{I_{ном}}$ – кратність пускового струму          | 6,5      |

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором вважається найпростішим і найнадійнішим серед електричних двигунів. Завдяки своїм компактним розмірам та масі і простоті виготовлення він має менші втрати (безконтактний), що робить його економічно вигідним з точки зору обслуговування і ремонту.

Середній пусковий момент двигуна залишається сталим значенням, яке визначається характеристиками самого двигуна і не змінюється в залежності від типу роботи, що виконує механізм.

При зміні навантаження на механізм і характеру незмінність величини середнього пускового моменту викликає зміну часу розгону механізму оскільки тривалість часу розгону механізму залежить від параметрів двигуна (його махового моменту, пускового моменту, частоти обертання) і від параметрів самого механізму, тобто визначення середньоквадратичного моменту можна зробити тільки для обраного двигуна.

#### **4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, умовами пуску та перевантажувальною здатністю**

Перевірку приводного двигуна за нагрівом виконуємо за допомогою методу еквівалентного моменту ЕП [5], який полягає у порівнянні номінального моменту двигуна та деякого середнього значення моменту опору за один технологічний цикл:

$$M_{\text{екв1}} = \sqrt{\frac{M_{\Sigma 1}^2 \cdot t_p + M_H^2 \cdot t_{\text{роб}} + M_{\Sigma 2}^2 \cdot t_r}{t_p + t_{\text{роб}} + t_r + t_0}}, \quad (4.1)$$

$$M_{\text{екв1}} = \sqrt{\frac{329,13^2 \cdot 3,2 + 290,13^2 \cdot 11,4 + 250,73^2 \cdot 3,2}{3,2 + 12,8 + 3,2 + 19,2}} = 198,1 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Визначимо номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{ном.д}} = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}, \quad (4.2)$$

$$M_{\text{ном.д}} = 9550 \cdot \frac{30}{988} = 289,97 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Як видно  $M_{\text{ном.д}} > M_{\text{екв1}}$ , тому можна сказати, що двигун має запас по нагріванню і не нагріється до максимально допустимої температури за даних умов його роботи.

Для забезпечення надійного пуску двигуна слід зробити перевірку за умовою:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{п}} \geq M_{\text{тп}}, \quad (4.3)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт, що визначає кратність дійсної напруги при пуску по відношенню до номінальної ( $k_u = 0,93$ ).

$M_{\text{п}}$  – пусковий момент;

$M_{\text{тп}}$  – момент пуску робочого органу механізму, який приблизно можна розрахувати за виразом:

$$M_{\text{тп}} = \frac{P_c}{\omega_n}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{тп}} = \frac{30000}{103,5} = 289,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

$$M_{\text{п}} = M_n \cdot m_{\text{п}}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{п}} = 290,13 \cdot 2 = 580,26 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

$$0,93^2 \cdot 580,26 \geq 289,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Найбільшого навантаження зазнає двигун при його пуску під навантаженням ( $M_{\text{п.нав.}} = 501,86 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ ). Даний момент є менший ніж момент допустимого короткочасного перевантаження  $M_{\text{доп}}$  який складає  $580,26 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ . Отже, можна зробити висновок, що даний двигун забезпечує достатній пусковий момент при виконанні даного циклу роботи.



**Висновок:** В даному розділі було проведено вибір приводного двигуна та перевірка вибраного двигуна за нагрівом, умовами пуску та перевантажувальною здатністю. За умовами перевірки двигун придатний для експлуатації в перевантажувальній лінії.

## **5 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ**

### **5.1 Існуюча схема системи керування електропривода ескалатора**

У Вступі зазначався акцент на виконанні модернізації існуючої системи електропривода ескалатора. Тому в роботі пропонуються рішення щодо модернізації за допомогою сучасних мікроконтролерів фірми Schneider Electric, зокрема програмованого логічного реле Zelio Logic та частотного перетворювача, що дозволить покращити показники роботи електропривода.

Електропривід включає в себе електродвигуни, передавальні механізми та системи управління, і може бути складеним як з одного, так і з кількох двигунів. Основні вимоги до електроприводу ескалатора включають:

- Забезпечення енергозбереження з робочим та резервним живленням;
- Можливість зміни напрямку руху ескалатора (вгору або вниз) при максимальному навантаженні;
- Плавний запуск та зупинка ескалатора;
- Наявність принаймні двох гальм (робочого і аварійного), призначених для повної зупинки ескалатора;
- Просте керування з декількох місць;
- Автоматична система безпеки, яка автоматично зупиняє ескалатор при виявленні несправностей;
- Наявність ручок екстреної зупинки для пасажирів;
- Можливість випробування схем управління без руху ескалатора;
- Регулювання робочого гальма без руху ескалатора;
- Наявність технічних засобів, що забезпечують безпеку виробництва під час ремонтно-ревізійних робіт, таких як стоп-трос і розетки для малого приводу.

Перед початком модернізації системи, розглянемо існуюче силове

колоскалатора ЭТ-3М (рисунк 5.1).

У силових колах ескалатора використовуються різні елементи, зокрема:

- Електродвигун головного привода (М1) та допоміжного привода (М2);
- Електромагніти робочого гальма (ЕРГ);
- Головні силові контакти контакторів дублюючого (КД), гальма (КТ), верхнього (КВ) і нижнього (КН);
- Рубильник головного електродвигуна (В10) та автоматичні вимикачі для допоміжного електродвигуна (В11) і електромагнітів робочого гальма (В12);
- Пускові резистори (R1, R2, R3);
- Головні силові контакти контакторів прискорення (КУ1, КУ2, КУ3, КУ4);
- Трансформатори струму (Тр3, Тр4, Тр5);
- Реле нульового струму (РОФ1, РОФ2, РОФ3).

Головний привід відповідає за переміщення смуги ескалатора за допомогою 3-фазного асинхронного двигуна змінного струму. Допоміжний привід відповідає за рух поручнів.

Робота головного двигуна ескалатора здійснюється в колі управління та живлення, а також в силовому колі (QF1, QF2), коли автоматичні вимикачі та рубильники включені, і при відключеному вимикачі В11 відповідно до схеми керування.

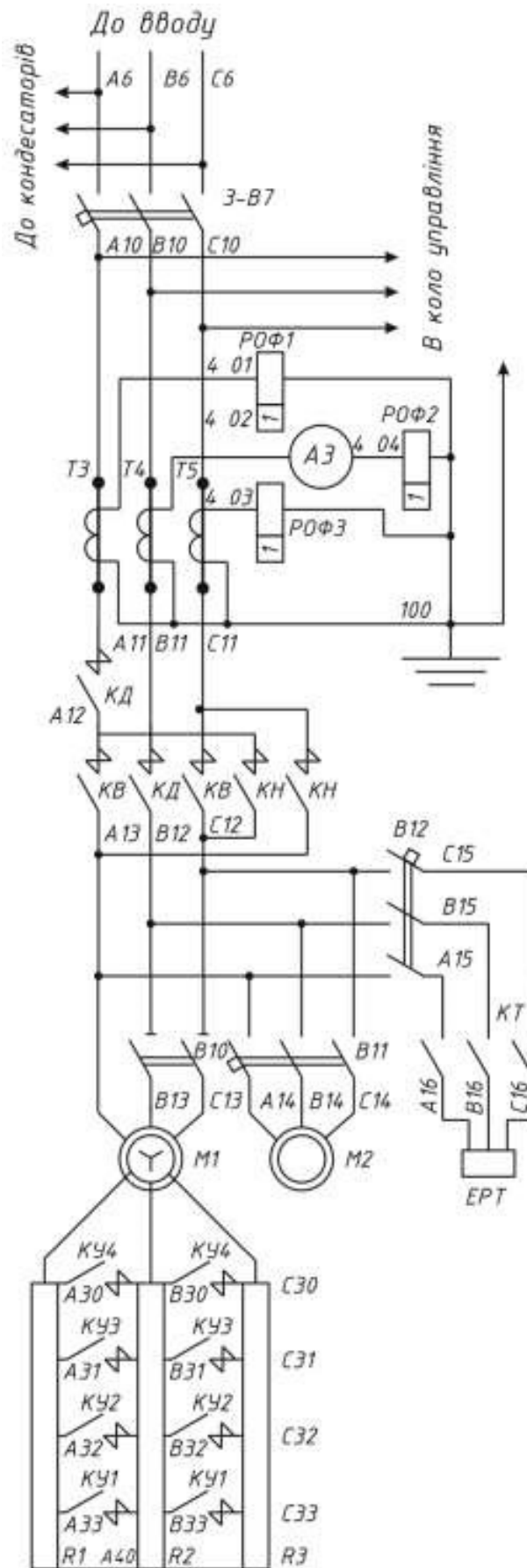


Рисунок 5.1 – Існуюча принципова схема силових кіл ескалатора

При активації електричної апаратури кіл управління спочатку з'єднується контактор КТ, а потім КВ або КН. Вони підготовлюють живлення для кола ЕРТ та головного електродвигуна в потрібному напрямку. При подальшому включенні контактора КД напруга подається на електромагніт ЕРТ і одночасно на двигун М1.

Двигун розпочинає розгін за штучною характеристикою. Час розгону визначається часом впливу відповідного реле в колі управління. Потім послідовно, з певною затримкою, живлення подається на котушки контакторів КУ1, КУ2, КУ3, КУ4. Після того, як контакти КУ4 замикнуться, пусковий резистор обходиться і завершується розгін двигуна. Після цього двигун починає працювати за природною характеристикою.

При роботі на спуск одночасно активуються контактори КУ1 і КУ2, що призводить до того, що двигун миттєво переходить на третю природну характеристику. Подальший розгін двигуна відбувається так само, як і на підйомі. Це необхідно для того, щоб уникнути різкого збільшення швидкості двигуна при спуску, що може створити загрозу для безпеки пасажирів на полотні ескалатора.

При зупинці ескалатора з будь-якої причини всі контактори відключаються. Двигун та електромагніт робочого гальма переходять в безнавантажений режим, і спрацьовує робочий тормоз, що зупиняє рух ескалатора [5].

Основним недоліком поточної системи керування ескалатором є використання релейно-контакторної технології, яка при кожній комутації привода зазнає зносу, що негативно впливає на точність його роботи. Це стає причиною швидкого зносу рухомих частин та контактів, що в свою чергу може призвести до виходу з ладу окремих компонентів або навіть всієї системи управління. Ймовірність виникнення таких проблем висока, а це робить роботу системи ненадійною. Наприклад, витрати часу на спрацювання можуть збільшитися на 10-40% через стирання контактів.

Функціонал такого типу управління обмежений, що призводить до необхідності перегляду топології схеми і використання нового обладнання.

Також варто звернути увагу на низьку енергоефективність цієї системи керування електропривода ескалатора. Використання релейно-контакторного типу управління є дуже неефективним з енергетичної точки зору порівняно з використанням інтелектуальних реле та їх аналогів.

## **5.2 Розробка системи керування та вибір елементів кола керування**

### **5.2.1 Вибір та розрахунок кіл захисту системи керування**

У схемах управління ескалатором використовуються захисні пристрої і механізми, такі як:

- блокувальне коло та блокувальні зв'язки між електроапаратами;
- дублюючі електроапарати для найвідповідальніших функцій;
- допоміжний привід;
- автоматичні вимикачі, запобіжники та, у деяких випадках, спеціальні реле для захисту силових і управляючих колах;
- апарати, які контролюють виконання програми пуску, часу гальмування, напрямку руху та збільшення швидкості;
- захисне заземлення корпусів електрообладнання та конструкцій, що можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції;
- захист від перегріву підшипників вхідного вала редуктора за допомогою температурних реле РТП, РТЛ, які включаються в коло реле Р13.

**Захист основного приводного двигуна ескалатора.** Струмівий захист силового кола ескалатора виконується за допомогою автоматичних вимикачів QF1 та QF2.

Основні технічні характеристики цих автоматичних вимикачів такі:

Номінальна напруга: в колі змінного струму частотою 50 Гц: 660 В;

Номінальний струм: для вставок: 250 А, 320 А, 400 А (вибір залежить

від вставки);

струм вставки теплового розчеплювача (кратність): 2, 3, 4;

струм вставки електромагнітного розчеплювача (кратність до номінального струму): 5, 7, 10.

Контактна система включає в себе рухомі контакти і контакти струмообмежуючого або компенсуючого пристрою.

Струмообмежуючий пристрій призначений для швидкого замикання контактів у випадку короткого замикання, незалежно від активації розчеплювачів максимального струму.

Автоматичний вимикач містить тепловий розчеплювач і електромагнітний розчеплювач.

#### 1. Нульовий струмовий захист.

Цей захист реалізований за допомогою трансформаторів струму Тр3, Тр4, Тр5 і реле струму РОФ1, РОФ2, РОФ3. Він моніторить цілісність фаз і активує відключення ескалатора, якщо струм у головному силовому колі зменшується на більш як 30% від номінального значення, а також у випадку обриву однієї з фаз.

#### 2. Максимальний струмовий захист.

Цей захист реалізований через лінійні автоматичні вимикачі QF1, QF2 (типу А3794) з використанням електромагнітного розчеплювача. Він миттєво відключає автоматичний вимикач у випадку, якщо струм у головному силовому колі перевищує номінальне значення в 7 разів. (Номінальний струм для ЕТ-3М – 250 А).

#### 3. Захист від перенавантажень.

Цей захист здійснюється в лінійному автоматичному вимикачі QF1, QF2 за допомогою теплового розчеплювача, який відмикає вимикач у випадку, якщо струм у головному силовому колі перевищує номінальне значення в 3 рази. Діє зі затримкою від 20 до 60 секунд. [5].

### 5.2.2 Вибір перетворювача частоти для системи електропривода

Для електропривода перевантажувальної лінії доцільно використовувати перетворювач серії Micromaster-440 (корпорація Siemens, Німеччина). Ці перетворювачі повністю відповідають умовам завдання.

До переваг частотного перетворювача слід віднести наступні:

Дані необхідні для розрахунку необхідної потужності статичного перетворювача частоти:

Розрахункова потужність двигуна -  $P_{дв} = 28 \text{ (кВт)}$ .

Коефіцієнт корисної дії двигуна – 0,91.

Розрахункова потужність статичного перетворювача частоти:

$$P_{спч} = \frac{P_{дв}}{0,91} = \frac{28000}{0,91} \approx 30,7 \text{ (кВт)}. \quad (5.1)$$

Як видно з проведених розрахунків, отримане значення потужності статичного перетворювача частоти має бути близько 30 кВт, з ряду статичних перетворювачів, що знаходяться у виробництві, нам необхідно вибрати з найближчою більшою величиною потужності згідно розрахованого значення.

Відповідно до технічних вимог до електроприводу та рекомендацій, вибираємо перетворювач частоти ATV610 30кВт 380-460В IP20 з ЕМС-фільтром кат. С3 фірми Schneider Electric [18].

Практична експлуатація таких перетворювачів підтвердила їх добрі технічні, експлуатаційні та енергетичні характеристики. Технічні характеристики перетворювача наведено в таблиці 5.1.





Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд ПЧ ATV610 30кВт 380-460В

### **Технічні характеристики перетворювача частоти.**

#### **Основні характеристики:**

- легка установка;
- швидке введення в експлуатацію;
- короткий час відгуку на сигнали керування;
- цей ПЧ виконує вимоги міжнародних норм електромагнітної сумісності;
- має можливість роботи в мережах з ізольованою нейтраллю;
- широкий діапазон параметрів, що надають можливість різного конфігурування для широких областей застосування;
- зменшення ударних навантажень та механічних напруг, що тривалий час впливає на роботу установок та продовжує їх термін служби.
- зниження витрат на експлуатацію завдяки оптимізації процесів та ресурсів.
- простота процесу підключення, що спрощує та прискорює налаштування.

- забезпечення захисту підключеного електрообладнання, що збільшує його надійність та тривалість роботи.
- заощадження простору завдяки компактному дизайну пристрою.
- збереження моменту, що розвивається двигуном під час прискорення та уповільнення, що відчутно зменшує ударні навантаження.
- простота налаштування прискорення та пускового моменту для зручності користувача.
- широкий діапазон зміни частоти при живленні від електроагрегатів, що забезпечує більшу гнучкість в управлінні.
- можливість підключення пристрою до двигуна з використанням різних з'єднань обмоток для оптимального використання ресурсів.

#### **Функціональні особливості:**

- $U/f$  закон управління;
- $U/f$  з регулюванням потоку (FCC) для покращення динамічних характеристик і підвищення якості регулювання електродвигуна;
- багатоточкова  $V/f$  характеристика, що задається користувачем;
- миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без відключення двигуна;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- комбіноване гальмування для покращення можливостей гальмування;
- програмований час розгону і гальмування з програмованою функцією згладжування;
- вбудований PID контролер;
- пуск на двигун, який обертається;
- можливість налаштування на три різні приводи;
- вільні функціональні блоки.

Паспортні схеми підключення ПЧ ATV610 30кВт 380-460В приведені на рисунках 5.3, 5.4.

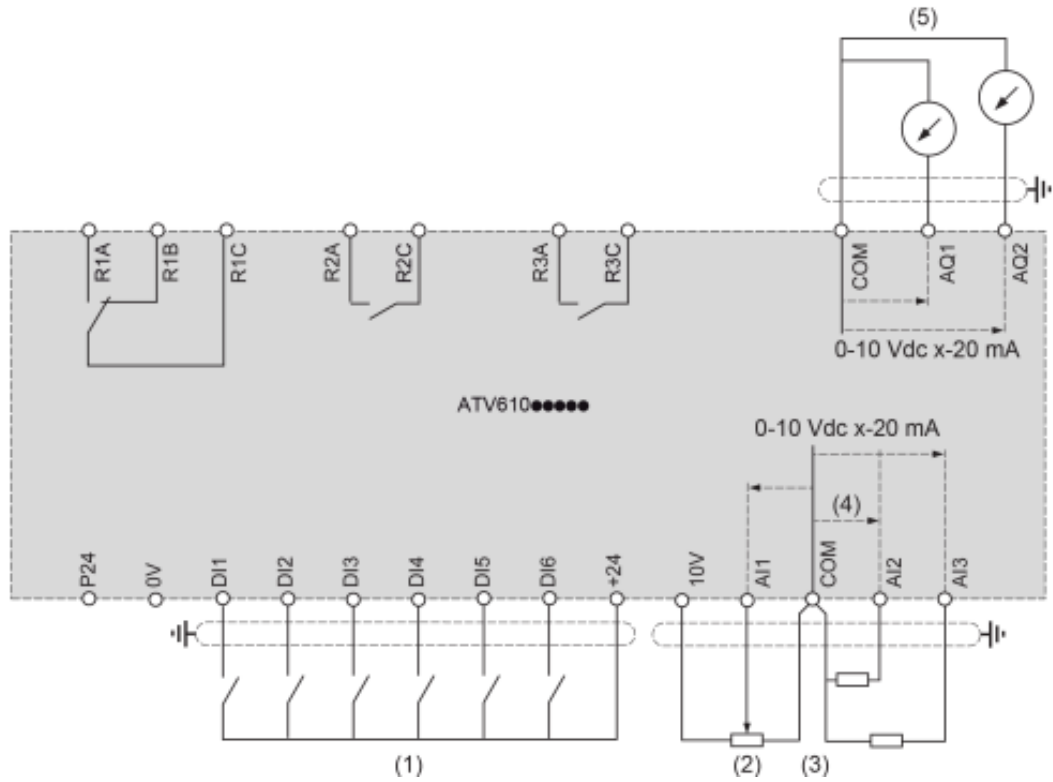


Рисунок 5.3 – Схеми підключення ПЧ ATV610 30кВт 380-460В

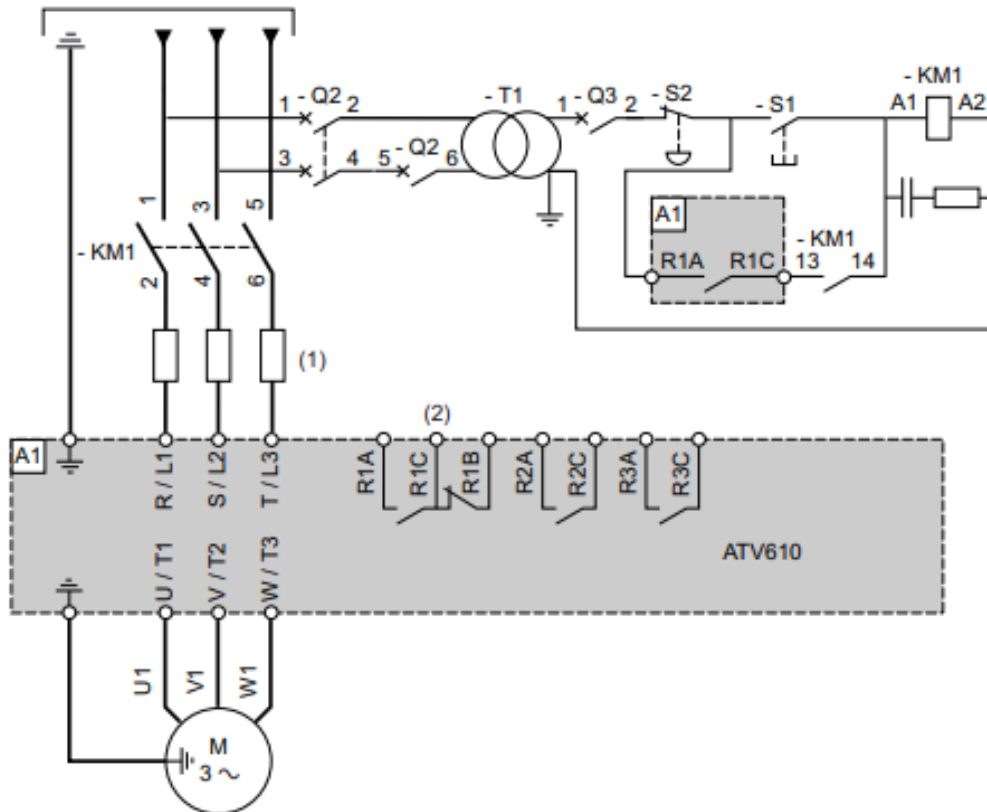


Рисунок 5.4 – Схема керування ПЧ ATV610 30кВт 380-460В

### 5.2.3 Вибір сенсорів системи керування електропривода ескалатора

Узагальнено, сенсор - це пристрій, що перетворює будь-який фізичний вплив у сигнал, придатний для подальшого використання. Для ефективної роботи автоматизованої системи управління електроприводом необхідно використовувати різні типи сенсорів.

У першу чергу, сенсор, який реєструє вхідні та вихідні сигнали, відповідальний за облік кількості пасажирів, що перетнули ескалатор, і що знаходяться на його рухливій частині. Ці дані передаються на інтелектуальне реле Zelio Logic. У випадку, якщо різниця між цими сигналами на виході дорівнює нулю, швидкість руху сходів автоматично знижується до мінімуму.

Другий сенсор, що слідкує за блокуванням ескалатора, виявлятиме випадки відсутності руху. У таких ситуаціях, коли сенсор передає відповідний сигнал на інтелектуальне реле, ескалатор буде повністю зупинений.

Для виявлення присутності людей на стрічці ескалатора використовуватимуться фотоелектричні сенсори типу OsiSense XU, які можуть безконтактно виявляти об'єкти будь-якої форми і типу на потрібній відстані.

Сенсори серії XUB/XUK/XUX є оптимальними та універсальними, оскільки вони мають такі характеристики: дальність реагування від 0,1 до 60 метрів, корпуси зроблені з пластику або металу в циліндричному, мініатюрному або компактному дизайні, мають контакти типу Нормально Відкриті (НО), Нормально Закриті (НЗ) або комбінований НО+НЗ для реле, можуть бути PNP або NPN типу, працюють при напрузі від 10 до 36 В постійного струму та від 20 до 264 В змінного струму.

Фотоелектричні сенсори працюють на принципі виявлення об'єктів будь-якої форми і матеріалу, чи то прозорих, непрозорих або віддзеркалюючих. Ці сенсори широко застосовуються для виявлення присутності людей, наприклад, на ескалаторах або в системах безпеки.



Рисунок 5.5 – Фотоелектричні сенсори OsiSense XU

Так, обравши сенсор, ми керувалися принципами простоти та ефективності. Ми вибрали одномодовий фотоелектричний сенсор з серії XUK2LAKSMM12T, оскільки він має пластиковий корпус та компактні розміри. Основні технічні характеристики цього сенсора наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики фотоелектричного сенсора OsiSense XU

| № | Параметри                             | XUK2LAKSM<br>M12T |
|---|---------------------------------------|-------------------|
| 1 | Система виявлення                     | промінь           |
| 2 | Тип вхідного сигналу                  | дискретний        |
| 3 | Номінальна напруга живлення, В        | 12...24           |
| 4 | Температура оточуючого середовища, °C | -20...60          |

Отже, цей сенсор буде встановлено у двох місцях: на початку підходу до ескалаторної стрічки та у кінці. Система електропривода, що базується на інтелектуальному реле Zelio Logic, буде отримувати дискретні сигнали з цих датчиків і, відповідно до заданої програми, визначати наявність людей на рухомій частині.

Такий сенсор працює за простим принципом: світлодіод випромінює світлові імпульси, зазвичай в інфрачервоному діапазоні (850-950 нм). Якщо є об'єкт, то світловий імпульс засвічує фотодіод або фототранзистор; якщо немає об'єкта, світловий імпульс не приймається. Отриманий

фотоелектричний струм посилюється і потрапляє на компаратор, який порівнює його з граничним значенням. На основі цього порівняння сенсор видає той або інший дискретний сигнал.

Сенсор швидкості буде моніторити обертання вала двигуна, виявляючи як наявність, так і відсутність руху. Його завдання полягатиме в виявленні можливих несправностей або аварій, спостерігаючи за роботою механізму.

Для цієї ситуації найбільш практичними будуть інкрементальні енкодери. Вони є простими у використанні та економічно вигідними, оскільки мають доступну ціну.



Рисунок 5.6 – Інкрементальний енкодер серії ХСС

Інкрементальний енкодер - це пристрій, який перетворює кут повороту обертового об'єкта, такого як вал, на цифрові або аналогові сигнали, що дозволяють виміряти або визначити цей кут.

Після аналізу доступних сенсорів було вирішено використати інкрементальний енкодер з номером каталогу ХСС1406PR03К. Основні характеристики цього енкодера представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики інкрементального енкодера серії ХСС

| № | Параметри                            | XCC1406<br>PR03K |
|---|--------------------------------------|------------------|
| 1 | Число кроків                         | 360              |
| 2 | Максимальна швидкість обертів, об/хв | 9000             |
| 3 | Значення обертового моменту, Нм      | 0,002            |
| 4 | Вихідна частота, кГц                 | 100              |

#### 5.2.4 Вибір засобів автоматизації системи електропривода

Бакалаврська дипломна робота в цілому присвячена розгляду питання модернізації системи електропривода ескалатора. Зупиняючись на питанні модернізації даного технологічного процесу, було прийнято рішення модернізувати електричну принципову схему процесу в цілому з використанням можливостей сучасного програмованого контролера.

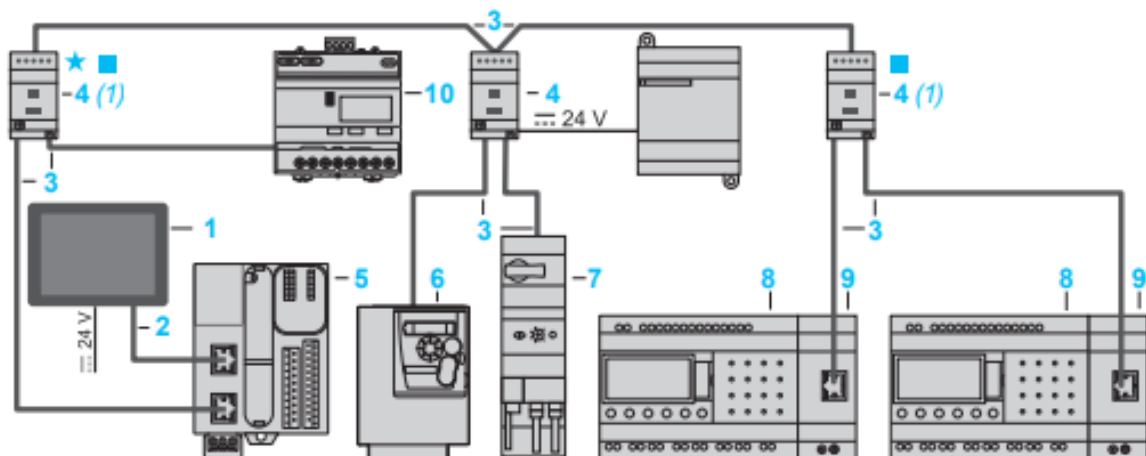
З метою модернізації схеми електричної принципової було прийнято рішення обрати підхід, який передбачає використання сучасних мікропроцесорних засобів. Для поєднання всіх функціональних можливостей в двох засобах автоматизації вибираємо програмоване логічне реле Zelio Logo (рисунок 5.7) фірми Schneider Electric.

Приклад компанування пристроїв Schneider Electric включно з перетворювачем частоти та інтелектуальним програмованим реле Zelio Logo приведений на рисунку 5.8.

Завдання програми для інтелектуальних реле здійснюється за допомогою кнопок на лицьовій панелі і невеликого, як правило, в один-два рядки LCD (liquid crystal display) індикатора. Хоча існують і більш складні конструкції, і в цих випадках програми доводиться писати на персональному комп'ютері, з використанням спеціалізованих мов програмування релейного логіки LD, функціональних блокових діаграм FBD і деяких інших.



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд інтелектуального реле Zelio Logo



- Total length of cables between isolation boxes 4:  $\leq 1,000 \text{ m}$  (3,281 ft)

- Length of drop cables 3:  $\leq 10 \text{ m}$  (33 ft)

★ Line polarization active ■ Line terminator

1 Client display unit **HMISCU**

2 Controller to Harmony HMI cordsets

3 Modbus RS485 cordsets (**VW3A8306R** extension cables)

4 Serial link tap isolation box **TWDXCAISO** (1x RJ45 for trunk cable, 2x RJ45 for drop)

5 Client Modicon logic controller **TM221M** (Network server connected to serial link port **SERIAL1**)

6 Altivar 312 drive

7 TeSys U motor starter controller

8 Modular smart relay **SR3B**

9 Modbus communication extension module **SR3MBU01BD**

10 Power meter **IEM31**

Рисунок 5.8 – Компанування пристроїв Schneider Electric в систему ЕП



Для завантаження готових програм в пам'ять мікроконтролера використовуються різні інтерфейси, такі як RS-232, RS-485 або Industrial Ethernet. Ці інтерфейси також дозволяють встановлювати зв'язок з автоматизованою системою керування верхнього рівня (АСК). Деякі моделі програмованих інтелектуальних реле мають можливість розширити функціонал комунікації за допомогою спеціальних модулів розширення.

Особливістю таких пристроїв є їх локальне застосування для невеликих систем, а так само програма для них в основному створюється на мові функціональних блокових діаграм (FBD) або на мові релейної логіки (LD).

Ці програмовані інтелектуальні реле призначені для локального застосування в невеликих системах. Вони зазвичай програмуються за допомогою мов функціональних блокових діаграм (FBD) або релейної логіки (LD), що відповідають міжнародному стандарту МЕК 61131-3. Програмне забезпечення для цих реле має зручний і дружній інтерфейс, що дозволяє швидко створювати, перевіряти та налагоджувати програми в реальному часі.

Конструкція програмованих інтелектуальних реле зазвичай моноблочна, в одному корпусі об'єднані всі необхідні вузли, такі як блок живлення, мікроконтролер, входи та виходи і клеми для підключення зовнішніх пристроїв. Корпуси цих пристроїв компактні і дозволяють їх встановлювати в електричних шафах на DIN-рейку згідно із сучасними стандартами. Також можливе використання окремого блока живлення.

### **Комунікація інших пристроїв системи із Zelio Logic.**

Для забезпечення зв'язку з іншим високотехнологічним обладнанням інтелектуальні реле Zelio Logic оснащені інтерфейсами зв'язку декількох типів.

Компактні і модульні інтелектуальні реле мають:

- 1 послідовний порт RS 232 для підключення до комп'ютера, у гнізді картриджа пам'яті або комунікаційний модемний інтерфейс.

Модульні реле Zelio Logic разом з одним з комунікаційних модулів

розширення мають:

- 1 послідовний порт RS 485 Modbus на комунікаційному модулі SR3 MBU01BD;
- 1 порт Ethernet 10/100, base T з підтримкою протоколу Modbus TCP на комунікаційному модулі SR3 NET01BD.

Наявність трьох вищевказаних портів дозволяє компактним і модульним інтелектуальним реле Zelio Logic використовувати три протоколи зв'язку:

- протокол програмування;
- Modbus;
- Ethernet.

Протокол зв'язку мережі Modbus являє собою протокол типу master / slave (провідний / ведений). Існує два механізми обміну даними:

Запит/відповідь:

- з провідного пристрою (master) направляється запит відомому пристрою (slave);
- після цього ведучий пристрій очікує відповіді від веденого пристрою.

Розсилка:

- з провідного пристрою направляється запит на всі ведені пристрої, що знаходяться в мережі. Ці ведені пристрої виконують команду без надсилання відповіді.

Модульні інтелектуальні реле Zelio Logic підключаються до мережі Modbus за допомогою комунікаційного модуля Modbus slave. Справжній модуль являє собою електрично неізований ведений пристрій.

Комунікаційний модуль Modbus slave слід підключати до модульного інтелектуального реле SR3 B\*\*\*BD з напругою живлення 24 В.

Конфігурація. Налаштування конфігурації комунікаційного модуля Modbus slave може здійснюватися:

- за допомогою клавіш на лицьовій панелі інтелектуального реле;

- або за допомогою комп'ютера з встановленою інструментальною системою програмування Zelio Soft.

Налаштування конфігурації комунікаційного модуля Ethernet server здійснюється за допомогою комп'ютера з встановленою інструментальною системою програмування Zelio Soft. Програмування з комп'ютера виконується на мові функціональних блок-схем FDB [3].

### **Середовище програмування Zelio Logic**

Програмування здійснюється на базі універсальних мов програмування, що значно спрощує роботу як фахівців з налагодження систем автоматизації, так і інженерів електриків. Програмування може здійснюватися:

- автономно за допомогою клавіш інтелектуального реле Zelio Logic (мова сходових діаграм LADDER);
- на комп'ютері за допомогою інструментальної системи програмування Zelio Soft 2.

Програмування з комп'ютера можна здійснювати як на мові сходових діаграм LADDER, так і на мові функціональних блок-схем FBD.

Засоби програмування забезпечують зв'язок між інтелектуальним реле Zelio Logic і комп'ютером зі встановленою інструментальною системою програмування Zelio Soft 2.

Проводове з'єднання:

- кабель SR2 CBL01 для підключення до 9-контактному послідовному COM - порту;
- кабель SR2 USB01 для підключення до USB-порту. Бездротове: Інтерфейс Bluetooth SR2 BTC01.

**Основні функціональні можливості середовища програмування Zelio Soft:**

- програмування на мові сходовій логіки (LADDER) або мовою функціональних блок-схем (FBD);

- моделювання, моніторингу та контролю;
- завантаження і скачування програм;
- видачі персоналізованих файлів;
- автоматичної компіляції програм;
- надання контекстної довідкової інформації.

Інструментальна система Zelio Soft забезпечує правильність введення даних за допомогою функції перевірки узгодженості. При виявленні найменшої помилки введення даних індикатор встановлюється червоним. Помилку можна локалізувати простим натисканням мишки.

Передбачено два режими перевірки написаних програм:

- задіяти дискретні входи;
- вивести на монітор стан виходів;
- змінювати напругу аналогових входів;
- задіяти клавіші на лицьовій панелі;
- змодельовати роботу прикладної програми в реальному або прискореному масштабі часу;
- динамічно виділяти червоним кольором різні активні елементи програми.

У режимі моніторингу, передбаченому в середовищі Zelio Soft можна перевіряти виконання програми інтелектуальним реле на практиці, тобто:

- відображати роботу програми в режимі реального часу;
- примусово керувати входами, виходами, поточними значеннями функціональних блоків.

### **Загальні характеристики Zelio Logic SR2B201BD**

Компактні інтелектуальні реле можна віднести до простих систем автоматизації. Основні характеристики Zelio Logic SR2B201BD приведені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Основні характеристики інтелектуального реле Zelio

## Logic SR2B201BD

| № | Параметри                      | SR2B201BD |
|---|--------------------------------|-----------|
| 1 | Кількість дискретних входів    | 12        |
| 2 | Кількість дискретних виходів   | 8         |
| 3 | Струм дискретного входу, мА    | 4         |
| 4 | Номінальна напруга живлення, В | 24        |
| 5 | Момент затяжки, Н м            | 0,5       |
| 6 | Час циклу, мс                  | 6-90      |

В модульних інтелектуальних реле кількість входів/виходів може бути:

- 26 входів/виходів, живлення с 12 В;
- 10 або 26 входів/виходів, живлення а 24 В, а 100 ... 240 В або с 24 В.

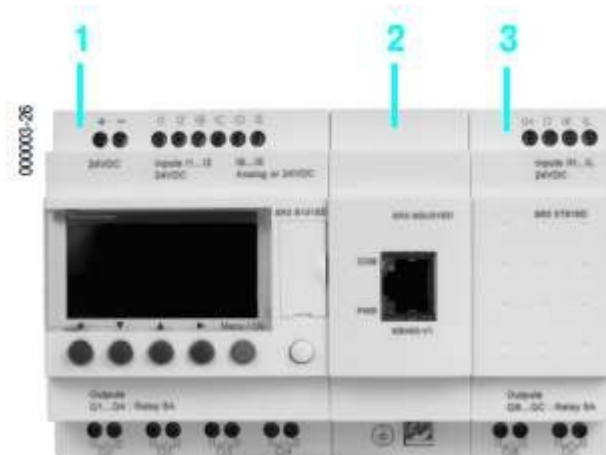


Рисунок 5.9 – Модулі розширення компактного інтелектуального реле

На рисунку 5.9 приведені такі позначення: 1 – Модульне інтелектуальне реле Zelio Logic (10 або 26 входів / виходів);

2 – Комунікаційні модулі Modbus або Ethernet;

3 – Модуль розширення входів / виходів: дискретний (6, 10 або 14 входів / виходів) або аналоговий (4 входу / виходу).

У випадку потреби у більшій гнучкості експлуатації або розширених робочих можливостей, модульні інтелектуальні реле Zelio Logic можуть бути

оснащені комунікаційними та розширювальними модулями.

- Модуль розширення Zelio Logic має додаткові аналогові входи та виходи. Максимальна кількість входів/виходів може досягати 40, включаючи:

- Комунікаційні модулі Modbus або Ethernet, з живленням 24 В через інтелектуальне реле Zelio Logic з аналогічною напругою;

- Аналогові модулі розширення з 4 входами/виходами, живленням 24 В через інтелектуальне реле Zelio Logic;

- Реле Zelio Logic з аналогічною напругою;

- Дискретні модулі розширення з 6, 10 або 14 входами/виходами, живленням через інтелектуальне реле Zelio Logic з аналогічною напругою [3].

## **6 РОЗРОБКА СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕСКАЛАТОРА**

### **6.1 Розробка схеми електричної та структурної**

Управління перетворювачем проводиться за традиційною схемою: завдання швидкості – аналоговий сигнал, завдання режимів і контроль стану перетворювача – дискретні сигнали. За такої організації схеми управління, введення додаткових пристроїв у керуючі кола не потрібно [10-11].

З технологічної точки зору переваги застосування частотно-регульованого електроприводу на відміну від електропривода постійного струму є очевидними. Різке скорочення площ, що займаються під систему управління, оскільки відсутня необхідність встановлення магнітної станції або будівництва приміщення під тиристорний привід. Перехід до управління від змінної напруги 380 50 Гц з відключенням кіл 220 В постійного струму. Це дозволяє відмовитися від громіздких релейних схем управління колами постійного струму. Сучасні перетворювачі частоти легко інтегруються в будь-які системи управління, як інтелектуальний елемент автоматики, не вимагають складних узгоджувальних схем і мають відмінний набір вбудованих сервісних можливостей (контроль над струмом і швидкістю приводного двигуна, розвинена система захисту тощо).

Варто відзначити, що керування процесами роботи технологічного механізму відбувається за допомогою програмованого інтелектуального реле типу Zelio Logo.

Чергування процесів запуску даного технологічного процесу відбувається в чітко визначеній послідовності.

Для розуміння проектувальної моделі автоматизації систем управління ескалатором, що має в своїй базі такі ключові елементи як плавний пуск і інтелектуальне програмоване реле Zelio Logic, наведемо структурне блок-схему модернізованої системи керування (рисунк 6.1).

Схема електрична принципова системи керування із врахуванням вище описаних та вибраних засобів автоматизації приведена на рисунку 7.2.

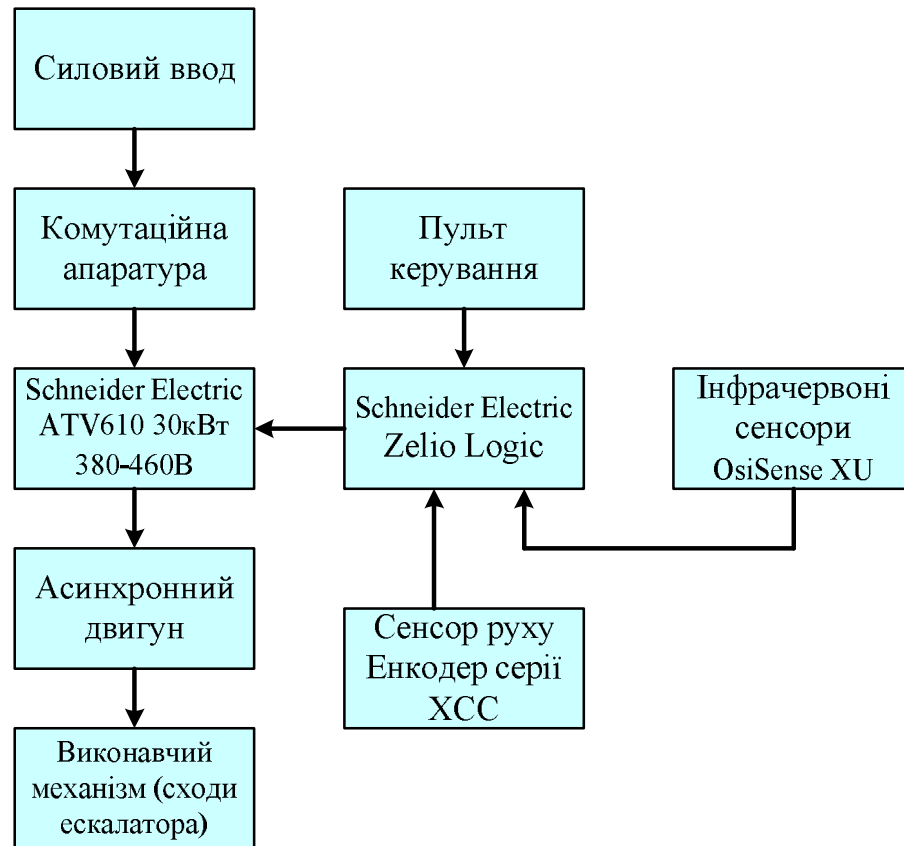


Рисунок 6.1 – Схема електрична структурна системи ЕП типу ПЧ

Комутаційна апаратура призначена для замикання і розмикання (а також захисту) одного або декількох електричних кіл за допомогою розмикаючих контактів. Інтелектуальне реле Zelio Logic вмикається через операторський пульт, що має дві кнопки «ПУСК» і «СТОП», після чого пристрій починає отримувати дискретні сигнали з датчиків, оброблює зібрані дані та згідно розробленого алгоритму керування здійснює передачу сигналів керування на частотний перетворювач.

Використання частотного перетворювача має наступні переваги:

- Зниження витрат на ремонт. Пускові струми можуть призводити до перегріву обмотки, що значно скорочує ресурс машин.
- Відсутність ривків. Різкий старт двигуна може призвести до збільшення зносу шестерен та гідродударів в системі подачі рідини, що





керування, що містить кнопки S2 та S1 для запуску та зупинки системи відповідно. Також вхідну напругу та струм отримує інтелектуальне реле Zelio Logic через блок живлення на 24 В. При замиканні контактів контактора KM1, пристрій плавного пуску Altistart 22 починає роботу. Цей пристрій отримує команду на запуск двигуна з виходів інтелектуального реле Q1 та Q2, яке в свою чергу опитує та обробляє інформацію від датчиків IR1-2 та BR. Система має світлову індикацію у ввімкненому та вимкненому станах двигуна.

## **6.2 Алгоритм функціонування Zelio Logic та розробка програми в середовищі Zelio Soft**

Алгоритм функціонування інтелектуального реле в середовищі Zelio Soft в системі керування електроприводом ескалатора приведено на рисунку 6.3.

Початковим кроком алгоритму є дії оператора, які, в сутності, не впливають на логіку всієї програми Zelio Logic, але встановлюють режим готовності та активації системи в цілому. Оператор з'єднує контакти, позначені як Q1 на принциповій схемі, а потім натискає кнопку "Пуск", що переводить систему керування в режим готовності.

Після включення програма розпочинається з опитування всіх датчиків, зокрема інфрачервоних датчиків руху (IR), які розташовані на підході до рухомої частини ескалатора.

Після опитування кількості вхідних сигналів C1 та C2, червона індикація Q3 вмикається одразу. Проте, сигнал на включення двигуна буде поданий пізніше, коли буде завершено перевірку компаратором.

Кожен інфрачервоний датчик надсилає вхідний дискретний сигнал на реле Zelio Logic. Встановлений програмний лічильник реєструє ці сигнали, обробляє та об'єднує отриману інформацію в єдину систему.

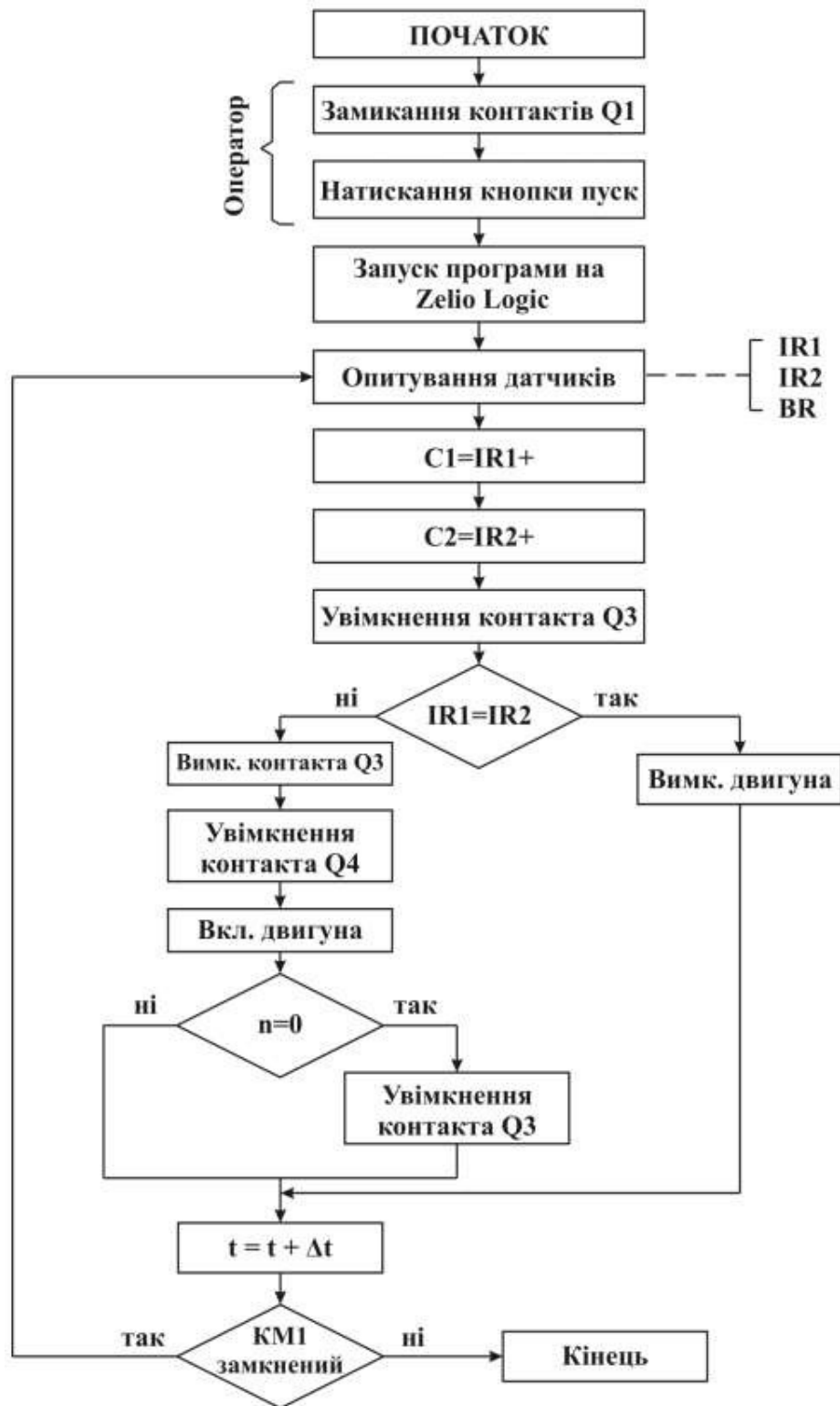


Рисунок 6.3 – Алгоритм функціонування Zelio Logic

Компонування запрограмоване на основі різниці між значеннями цих сигналів відносно нуля. Якщо після усіх опитувань різниця становить нуль, тоді відбувається зупинка двигуна. Інший сценарій передбачає вимкнення

червоної індикації Q3 та активацію зеленої Q4, а також запуск двигуна, якщо співвідношення двох значень перевищує нуль.

Далі виконується опитування сенсора BR (інкрементальний енкодер), який також перевіряється компаратором на умову прирівняння до нуля.

У випадку сенсора BR лічильник нам не потрібний, оскільки нам необхідно лише виявити наявність або відсутність руху на валу асинхронної машини. Якщо рух на валу не фіксується, то подається сигнал на активацію червоної індикації Q3. У іншому випадку, якщо датчик BR надає сигнал про оберти, це означає, що все в порядку, і нічого змінювати не потрібно.

Далі всі гілки алгоритму об'єднуються в опитуванні за часом, щоб система завжди мала актуальну інформацію від датчиків. Таймер буде працювати з точністю до однієї сотієї секунди, що буде достатньо для потреб системи.

Всі гілки алгоритму об'єднуються в опитуванні за часом, щоб система завжди отримувала актуальну інформацію від датчиків. Таймер буде працювати з точністю до однієї сотієї секунди, що буде достатньо для потреб системи.

### **6.3 Розробка програми функціонування контролера**

Програма відповідає вище приведеному алгоритму функціонування та містить декілька послідовних рядків-команд виконання (рисунок 6.4):

1. Початок. Замкнення контактів Q1 (підводить напругу до цілої системи).

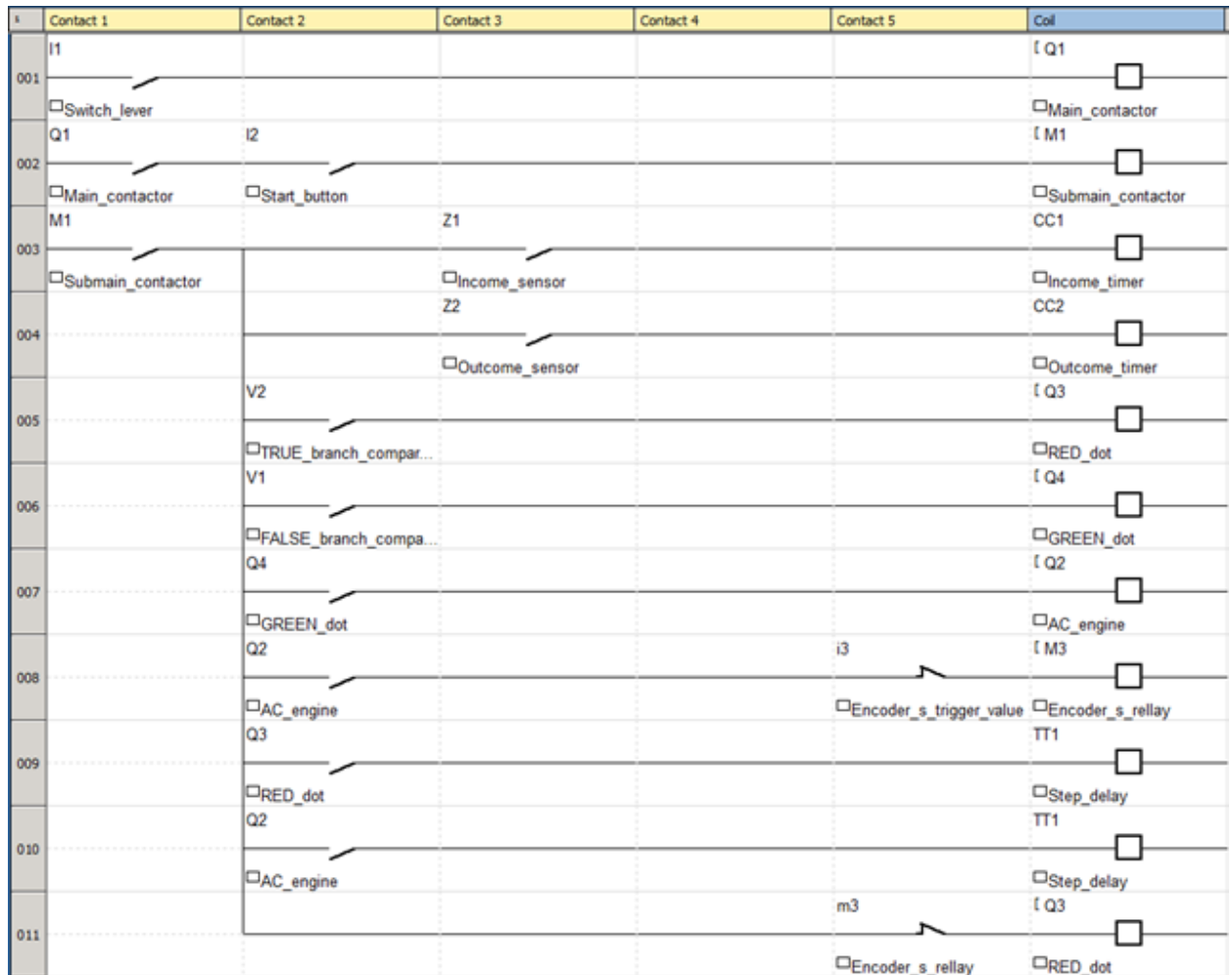


Рисунок 6.4 – Програма керування системою електропривода  
ескалатора в середовищі Zelio Soft

2. Натискання кнопки «ПУСК» (підводить напругу мережі до периферійного обладнання).

3. Лінія інфрачервоного зчитувача заходу на ескалатор (повертає значення кількості спрацювань лічильника C1).

4. Лінія інфрачервоного зчитувача входу з ескалатора (повертає значення кількості спрацювань лічильника C2).

5. Випадок коли значення лічильників C1 та C2 еквівалентні (логічна вітка «ТАК» – відсутність команди на вимикання двигуна).

6. Випадок коли значення лічильників C1 та C2 не еквівалентні (логічна вітка «НІ» – наявність команди на вмикання двигуна).

7. Ввімкнення двигуна (ввімкнення попереджувального зеленого діоду спричиняє вмикання контактора двигуна).
8. Лінія двигуна з енкодером I3 та його котушкою M3 (оскільки дана програма будується для теоретичного відпрацювання працездатності алгоритму, наявність або відсутність обертів задається мануально).
9. Двигун неактивний, робимо наступний крок.
10. Двигун активний, робимо наступний крок.
11. Сигнал стану енкодера, що надходить до ПЛК Zelio Logic.

**Висновок:** Проаналізовано різні підходи до побудови системи електропривода та запропоновано алгоритмів роботи автоматизованої системи управління електропривода ескалатора, а також вигляд програми, що реалізує алгоритм керування шляхом використання мови сходових діаграм в середовищі Zelio Soft. Імітація роботи програми дала змогу переконатися в правильності виконання завдання та успішності всієї роботи в цілому.

## 7 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП

Для моделювання перехідних процесів використовується ППП Matlab.

Модель двигуна з живленням та навантаженням при холостому пуску, зібрана в ППП Matlab Simulink бібліотеки елементів SimPowerSystem, зображена на рисунку 7.1.

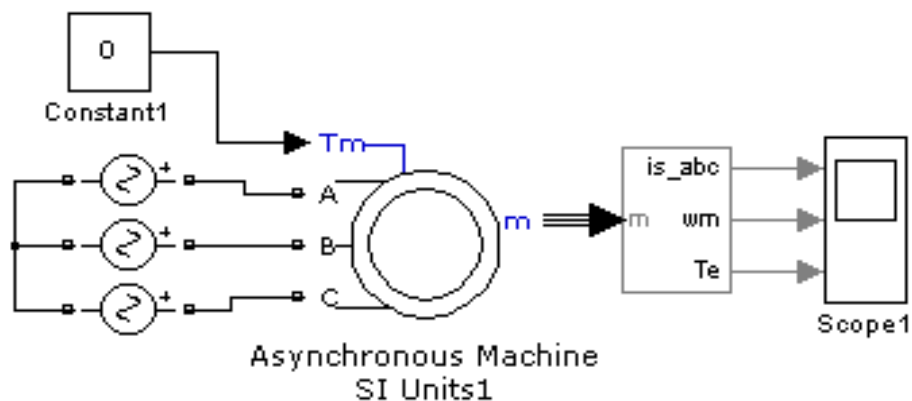


Рисунок 7.1 – Модель асинхронного двигуна, зібрана в ППП Matlab Simulink

Графіки перехідних процесів струмів статора, швидкості обертання та моменту двигуна при холостому пуску зображено на рисунку 9.4.

Відповідно до умов роботи конвеєра виконаємо запуск двигуна на холостий хід до 1 с., та накид номінального навантаження в 1 с. Модель двигуна для забезпечення такого переміщення, зібрана в ППП Matlab Simulink, зображена на рисунку 7.2.

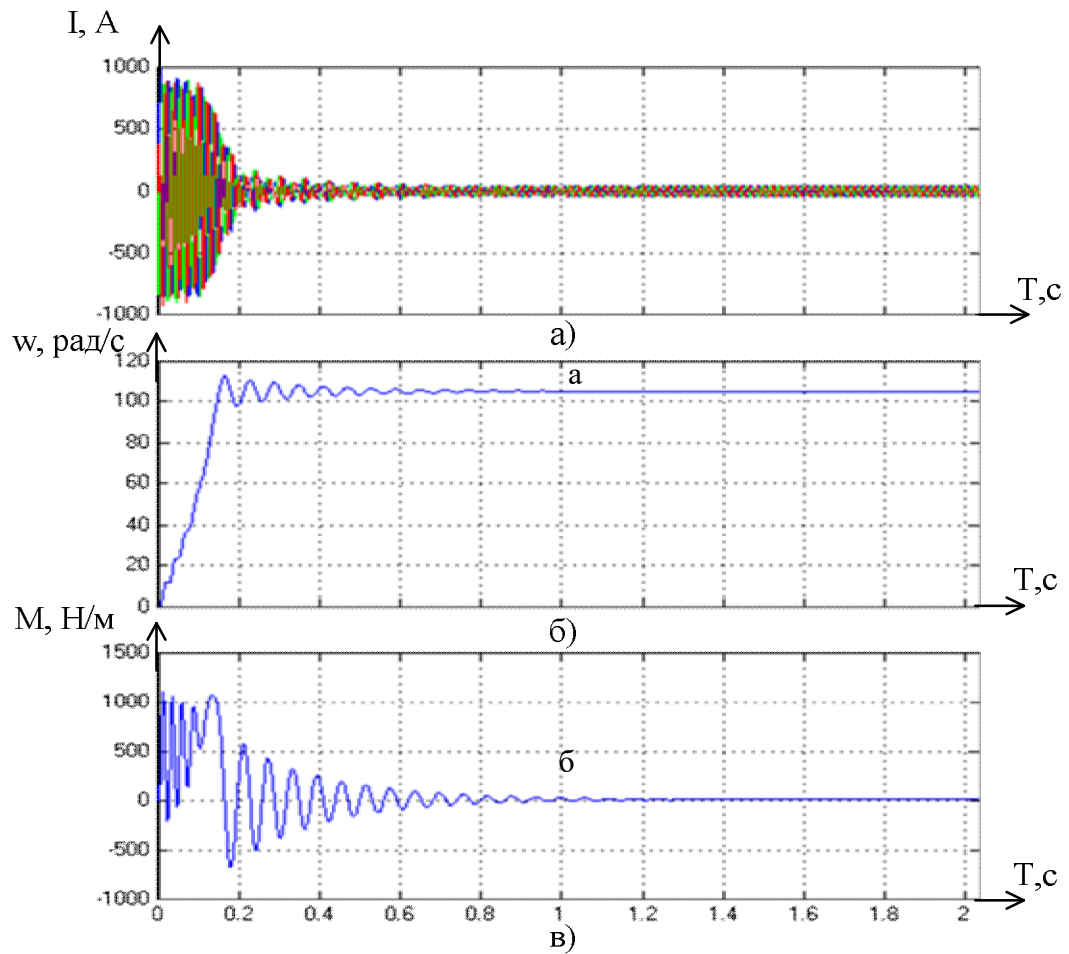


Рисунок 7.2 – Графіки струму: а) статора; б) швидкості; в) моменту двигуна при холостому пуску

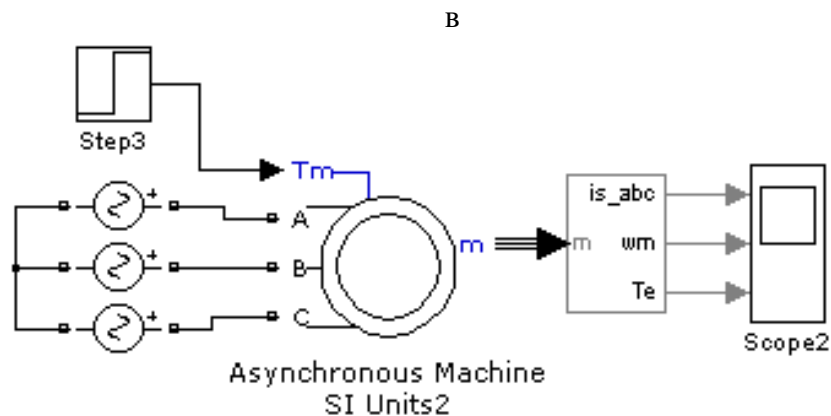


Рисунок 7.3 – Модель двигуна при накиді навантаження

Графіки перехідних процесів при цьому зображено на рисунку 8.4.



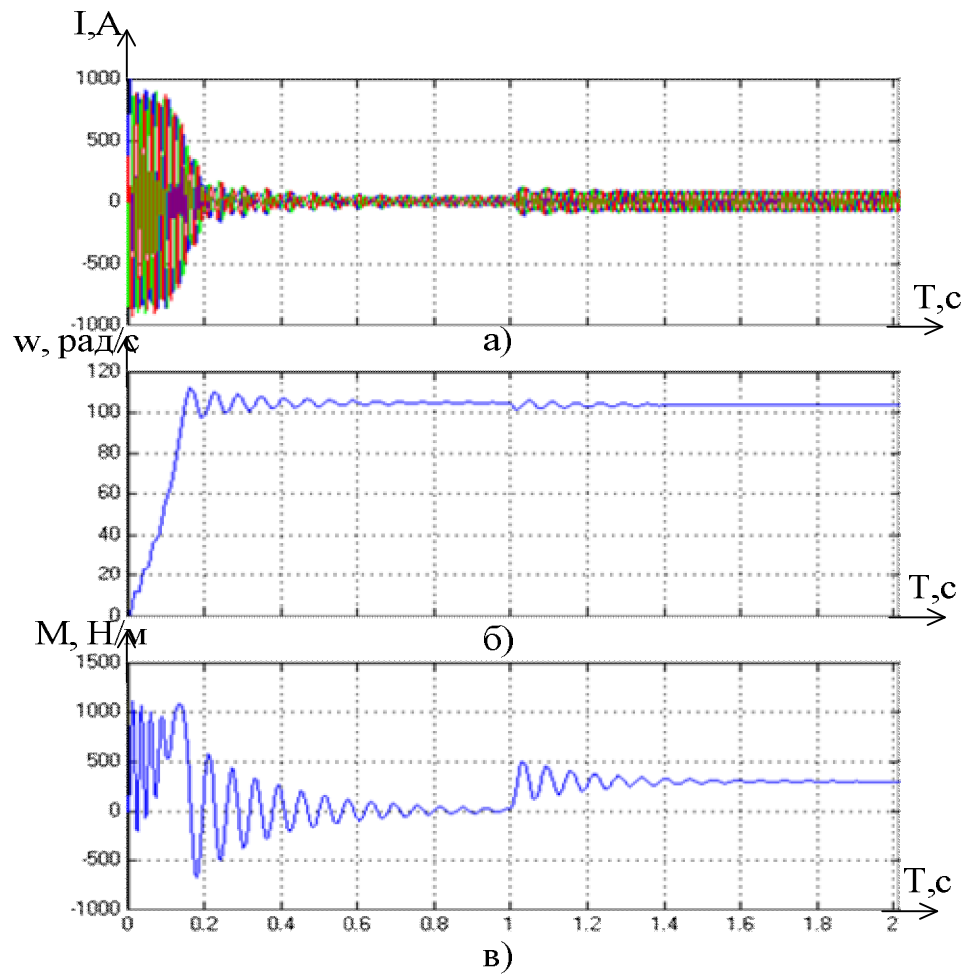


Рисунок 7.4 – Графіки перехідних процесів струмів: статора а), швидкості обертання б) та моменту двигуна при накиді навантаження в)

Розглянемо випадок, коли в 1 с. на двигун подається номінальне навантаження, а сипучий матеріал продовжує сипатися на стрічку конвеєра. Графіки перехідних процесів при цьому зображено на рисунку 7.5.

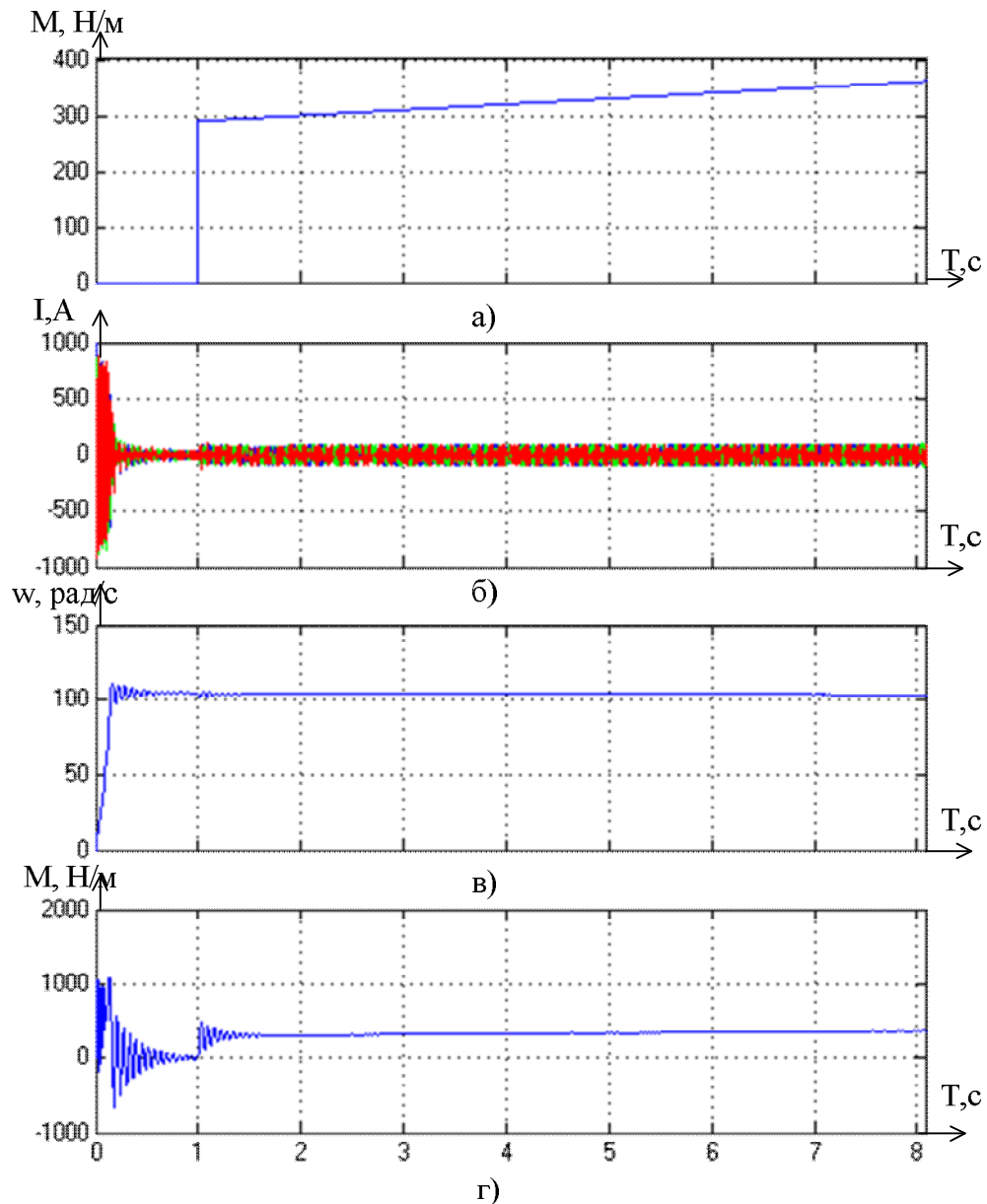


Рисунок 7.5 – Графіки моменту навантаження а), струмів статора б) швидкості обертання в) та моменту двигуна при накиді навантаження більше за номінальне г)

Охопимо внутрішній контур струму зворотнім зв'язком по швидкості. Параметри регулятора швидкості розраховані в розділі 4. Комп'ютерна модель системи з двома зворотніми зв'язками зображена на рис. 7.6.

Графіки перехідних процесів швидкості обертання та моменту, при накиді в 1 с. номінального навантаження, зображено на рисунку 7.7.

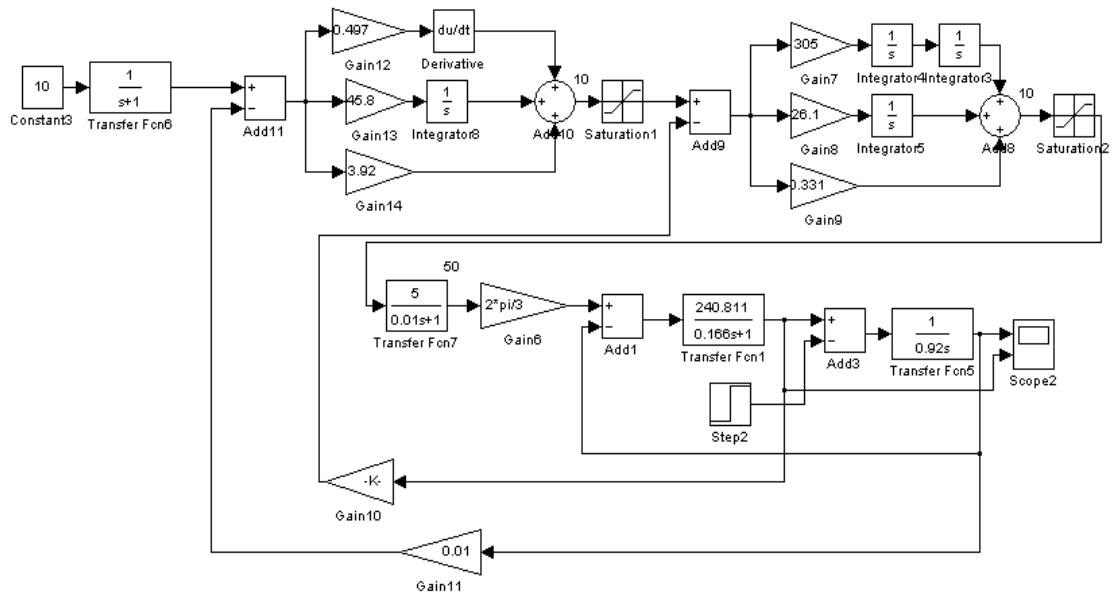
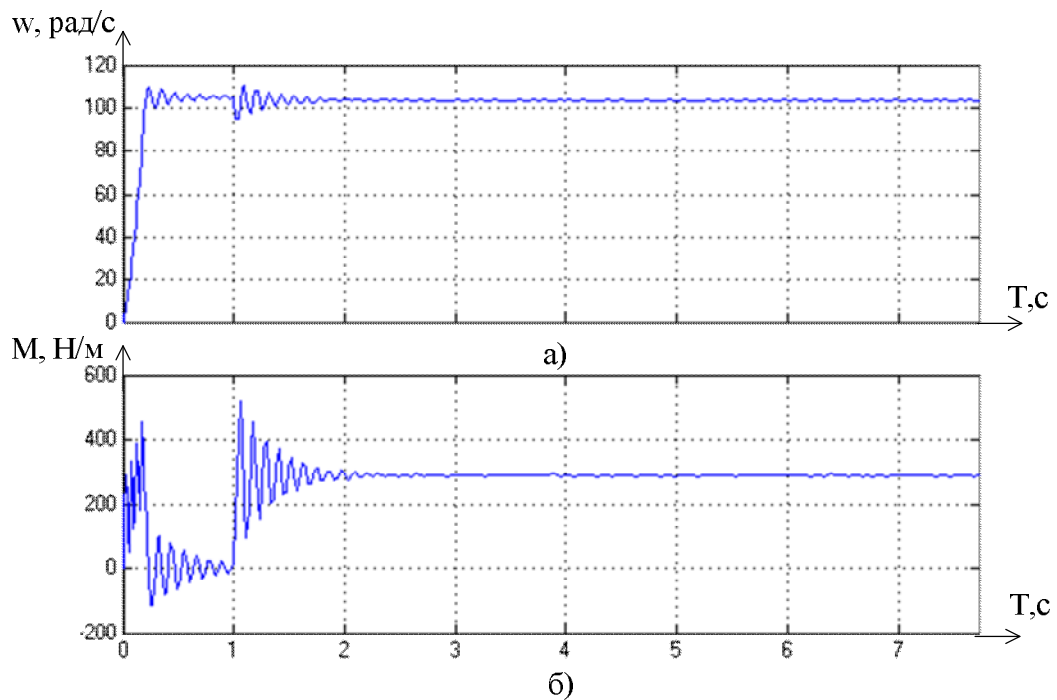


Рисунок 7.6 – Комп’ютерна модель двохконтурної системи керування асинхронним двигуном



Ри

сунок 7.7 – Графіки перехідних процесів відповідно швидкості обертання а) та моменту двигуна б) в системі з двома зворотніми зв’язками по моменту (струму) та швидкості обертання, при накиді в 1с. номінального навантаження

З графіків можна стверджувати про покращення графіків перехідних процесів швидкості двигуна (зменшилося пере регулювання). Це вказує на вірність розрахунку. Двигун добре відпрацьовує задаючу дію і не гальмується при номінальному завантаженні. Тривалості перехідних процесів при регулюваннях та накиді навантаження не великі.

**Висновок:** В результаті наповнення данного розділу було здійснено моделювання поведінки системи електроприводата побудова перехідних процесів. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод ескалатора забезпечує необхідні якісні показники.

## **8 ОХОРОНА ПРАЦІ**

В цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час модернізації системи керування електропривода ескалатора. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [20]:

- фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

### **8.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту**

#### **8.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць**

Під час монтажу та ремонту системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу потрібно вживати заходів із запобігання впливу на працівників визначених вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За наявності цих факторів, безпека праці під час монтажу та ремонту обладнання системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу повинна відповідати вимогам та заходам безпеки, що зазначені в нормативно-правовій документації з охорони

праці, зокрема під час виконання робіт: в діючих електроустановках; на висоті; з застосуванням електроінструменту; зварюванні тощо.

Особливу увагу потрібно приділяти убезпеченню працівників під час виконання робіт в діючих електроустановках, якою є система керування електропривода транспортної лінії припортового заводу. Найбільш ефективним засобом захисту працівників є встановлення заземлень. Встановлювати заземлення на струмопровідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Переносні заземлення спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити на струмопровідні частини. Знімати переносне заземлення необхідно в зворотній послідовності: спочатку зняти його зі струмопровідних частин, а потім від заземлювального пристрою.

Встановлення та зняття переносних заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках із застосуванням в електроустановках понад 1000 В ізолювальної штанги. Закріплювати затискачі переносних заземлень слід цією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках. Забороняється користуватися для заземлення провідниками, не призначеними для цього, а також приєднувати заземлення за допомогою скручування.

В електроустановках понад 1000 В (підстанції 10/0,4 кВ) заземлювати слід струмопровідні частини всіх фаз (полісів) відключеної для робіт ділянки з усіх боків, з яких може бути подана напруга, за винятком відключених для робіт збірних шин, на які достатньо встановити одне заземлення. Під час робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи спусків з боку ПЛ, незалежно від наявності заземлювальних ножів, має бути встановлене таке додаткове заземлення, яке не порушується під час виконання операцій з роз'єднувачем [19-20].

Заземлені струмопровідні частини мають бути відокремлені від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом (вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела.

В електроустановках, конструкція яких така, що встановлення заземлень небезпечне (наприклад, в деяких розподільчих шафах, КРУ окремих типів, збірках з вертикальним розташуванням фаз), під час підготовки робочого місця слід вжити додаткових заходів безпеки, що перешкоджають помилковому поданню напруги до місця роботи: приводи і вимкнені апарати замикаються на замок; на ножі або верхні контакти роз'єднувачів рубильників, автоматів тощо встановлюються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, ввімкнені послідовно з комутаційними апаратами, знімаються. Ці технічні заходи мають бути вказані в місцевій інструкції з експлуатації. В разі неможливості вжиття зазначених додаткових заходів мають бути від'єднані кінці лінії живлення – ВРУ, на щиті, збірці або безпосередньо на місці роботи. Список таких електроустановок визначається і затверджується особою, відповідальною за електрогосподарство.

Встановлення заземлення не потрібне під час роботи на електроустаткуванні, якщо від нього з усіх боків від'єднані шини, проводи та кабелі, якими може бути подана напруга; якщо на нього не може бути подана напруга зворотною трансформацією або від стороннього джерела і за умови, що на цьому устаткуванні не наводиться напруга. Кінці від'єднаних кабелів в цьому разі мають бути замкнені накоротко і заземлені.

Під час робіт в РУ встановлювати заземлення на протилежних кінцях ліній, що живлять це РУ, не потрібно, крім випадків, коли під час проведення робіт необхідно знімати заземлення з виводів ліній.

В електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин має бути знята і шини (за винятком шин, що виконані ізолюваним проводом) мають бути заземленими. Необхідність і можливість встановлення заземлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок і підключеного до них устаткування визначає особа, яка видає наряд (розпорядження). В електроустановках напругою до 1000 В всі операції зі встановлення і зняття заземлень дозволяється виконувати одній особі з групою III з числа оперативних чи оперативно-ремонтних працівників. Встановлення переносних заземлень у цьому випадку проводиться з землі за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою можна не тільки встановлювати, але і закріплювати ці заземлення.

Допускається тимчасове зняття заземлень, встановлених під час підготовки робочого місця, якщо це вимагається характером робіт, що виконуються. Тимчасове зняття і повторне встановлення заземлень виконується оперативним працівником чи (під його наглядом) членом бригади з групою III. Дозвіл на тимчасове зняття заземлень, а також на виконання цих операцій керівником робіт, слід обумовлювати в рядку наряду «Окремі вказівки» з записом про те, де і з якою метою мають бути зняті заземлення.

### **8.1.2 Електробезпека**

Живлення силового обладнання, яке використовується для виконання робіт з модернізації, та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці



електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [20]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізолювані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

### 3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі;

покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

## 8.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 8.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

| Період року | Категорія робіт       | Допустимі |             |               |
|-------------|-----------------------|-----------|-------------|---------------|
|             |                       | t, °C     | W, %        | V, м/с        |
| Теплий      | Середньої важкості Па | 18-27     | 65 при 26°C | 0,2-0,4       |
| Холодний    |                       | 17-23     | До 75%      | не більше 0,3 |

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [21]:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

3. Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в  $\text{мг/м}^3$  [6]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 8.2.

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Нагромадження пилу глибиною в  $1/8''$  у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 8.2– Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

| Найменування речовини | ГДК, $\text{мг/куб.м}$ |                | Клас небезпечності |
|-----------------------|------------------------|----------------|--------------------|
|                       | Максимальна разова     | Середньодобова |                    |
| Оксид вуглецю         |                        | 20             | 4                  |
| Пил токсичний         | 4                      | 4              | 4                  |

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

### 8.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків: 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у

20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 8.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 8.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Харак-ка зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Під-розряд зорової роботи | Контраст об'єкта з фоном | Характеристика фону     | Штучне при системі комбінованого освітлення |                        | Природне Енпр | Сумісне Е сум |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------|---------------|---------------|
|                         |                                                            |                       |                           |                          |                         | всього                                      | у т. ч. від загального |               |               |
| Середньої точності      | Від 0,5 до 1,0 включно                                     | IV                    | в                         | малий середній великий   | світлий середній темний | 400                                         | 200                    | 4             | 2,4           |

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

#### 8.2.4 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 8.4.

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 8.4—Рівень звукового тиску

| Характер робіт                                  | Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зсередньогеометричними частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                                 | 32                                                                                                           | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Постійні робочі місця в промислових приміщеннях | 107                                                                                                          | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

### 8.2.5 Виробнича вібрація

У нашому цеху присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 8.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 8.5–Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

| Вид вібрації                                                                        | Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                     | 2                                                  | 4                 | 8                 | 16                | 31,5              | 63                | 125               | 250               | 500               | 1000              |
| Загальна вібрація:<br>на постійних<br>робочих місцях в<br>виробничих<br>приміщеннях | $\frac{1,3^*}{108}$                                | $\frac{0,45}{99}$ | $\frac{0,22}{93}$ | $\frac{0,2}{92}$  | $\frac{0,2}{92}$  | $\frac{0,2}{92}$  | -                 | -                 | -                 | -                 |
| Локальна вібрація                                                                   | -                                                  | -                 | $\frac{2,8}{115}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ |

\* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації,  $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ , в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

### 8.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення припортового заводу, де здійснюється модернізація електропривода електропотяга, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини

і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля припортового заводу характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 8.6.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

| Ступінь вогнестійкості будинків | Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см) |             |                    |                                   |          |                                                                |                                                            |                              |                          |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                                 | стіни                                                                                                              |             |                    |                                   | коло-ни  | сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток | пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами) | елементи суміщених покриттів |                          |
|                                 | несучі та сходових кліток                                                                                          | само-несучі | зовнішні не-несучі | внутрішні не-несучі (перегородки) |          |                                                                |                                                            | плити, насти-ли, прого-ни    | балки, ферми, арки, рами |
| III                             | REI 120 M0                                                                                                         | REI 60 M0   | E 15 M0            | EI 15 M1                          | R 120 M0 | R 60 M0                                                        | REI 45 M1                                                  | Не нормуються                |                          |

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

| Протипожежні перешкоди | Типи протипожежних перешкод або їх елементів | Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах) | Тип заповнення прорізів, не нижче | Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче |
|------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| Стіни                  | 3                                            | REI 45                                                              | 2                                 | 2                                         |
| Перегородки            | 2                                            | EI 15                                                               | 3                                 | 2                                         |
| Перекриття             | 3                                            | REI 45                                                              | 2                                 | 1                                         |

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 8.8 (знаменник).



Таблиця 8.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

| Ступінь<br>вогнестійкості<br>будинку | Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м |      |       |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------|-------|
|                                      | I, II                                           | III  | IV, V |
| III                                  | 8/9                                             | 8/12 | 10/15 |

На території припортового заводу встановлено 19 вогнегасників ВП-5(8).

**Висновки:** Проведено огляд та планування заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта дослідження із врахуванням режимів його функціонування.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи на тему «Модернізація системи керування електропривода ескалатора» було модернізовано електропривод ескалатора на основі системи електропривода ПЧ-АД:

1. В результаті виконання дипломної роботи було досліджено декілька електроприводів для даного типу виробничого механізму. Як наслідок техніко-економічного порівняння та попереднього розрахунку потужності двигуна вибрано найбільш оптимальну систему електропривода типу ПЧ-АД.

2. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу ескалатора.

3. Розроблено схеми електричну структурну та принципову системи електропривода та її опис, виконано вибір засобів автоматизації технологічного процесу із використанням перетворювача частоти ATV610 30кВт 380-460В, фотоелектричних сенсорів OsiSense XU, інкрементального енкодера серії ХСС, інтелектуального реле Zelio Logo.

4. Розроблено алгоритм функціонування системи керування електропривода з використанням можливостей середовища програмування Zelio Soft.

5. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП MatlabSimulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод конвеєра забезпечує необхідні якісні показники.

6. Здійснено опис основних заходів щодо техніки безпеки та безпечної експлуатації електропривода ескалатора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Beshta O.S. Electric drives adjustment for improvement of energy efficiency of technological processes, Scientific Bulletin NSU, 2012, Vol. 4, pp. 98-107. The original source of material:

<http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/34-04/530-2012-4-beshta/0>.

2. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Белов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2

3. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина ІУ. Трансформатори. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2008. - 219 с.

4. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. - 137с.

5. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.

6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.

7. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.

8. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч.

закладів / М.П. Бєлов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2

9. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

10. Програмувальні інтелектуальні реле [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://muromremont.ru/639-post>

11. Программируемые интеллектуальные реле [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehuistr/840-programmiruemye-intellektualnye-rele.html>

12. Интеллектуальное реле Zelio Logic. Аналоговые преобразователи Zelio Analog [Електрон. ресурс] – Schneider Electric, 2011. Режим доступу: [https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/zelio/ZelioLogic\\_cat\\_2011\\_ru.pdf](https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/zelio/ZelioLogic_cat_2011_ru.pdf)

13. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ :Національний гірничий університет,2003.-226 с.

14. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

15. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

16. Воронов Р.В – Дисертація: «Тягові електромеханічні системи з живленням двох двигунів від одного інвертора», Харків 2020 1-97с.

17. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003 – 226 с.

18. Перетворювач частоти Schneider Electric, 2024. Режим доступу: URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV610D30N4>

19. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

20. Модернізація системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу / О.А. Паянок, М.М. Матевосян – Матеріали конференції «LII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2023/paper/view/17445/14518> – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.

21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

22. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profdom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>.

## Додаток А

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

« 02 » 04 2024 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕСКАЛАТОРА

08-24.БДР.031.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

Олена НАНАКА

« 02 » 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. ЕМ-22мс

Артем СУЛИМА

« 02 » 04 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024

## **1 Загальні відомості**

Повне найменування розробки «Модернізація системи керування електропривода ескалатора».

Скорочене найменування розробки – «Модернізація системи керування електропривода ескалатора».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

## **2 Підстави для розробки**

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

## **3 Призначення розробки і галузь використання**

Об'єктом дослідження в даній роботі є ескалатор – підйомно-транспортна машина у вигляді нахиленої на  $30-35^\circ$  до горизонту сходів з рухомими сходами для переміщення людей з одного рівня на інший. Ескалатор має сходинки, які зазвичай прикріплені до замкнутого кола, яка приводиться в рух від електродвигуна через редуктор. Ескалатор незамінний на станціях метрополітенів, вокзалах, у великих торгових закладах, у підземних переходах.

## **4 Вимоги до розробки**

Вибір системи електропривода і режиму його роботи в значній мірі визначаються статичним та динамічним навантаженням, яке створюється механізмом на валу привідного двигуна. Значення і характер статичного навантаження двигуна механізмів довготривалої дії суттєво залежать від кінематичної схем і природи сил, що визначають опір руху і величин різкозмінних навантажень.

## **5 Комплектація розробки**

Робоча машина являє собою тяговий орган ескалатора, привідний і натяжний барабани, натяжний вантаж, стрічку, 2 – вхідний майданчик; 2 – гребінка; 3 – нижня опора поручневого пристрою; 4 – поручень; 5 – сходинка; 6 – бігунок ланцюга і сходинки; 7 – ланцюг сходинок; 9 – гальмівний механізм; 10 – приводний механізм поручня; 12 – вхідний майданчик; 13 – двигун; 14,15 – силовий перетворювач; 16 – тяговий ланцюг; 17 – головний вал; 18 – сходинки, що рухаються в зворотньому напрямку; 19 – металоконструкція; 20 – натяжна зірка. Все устаткування системи розташовується на несучій рамі.

## **6 Джерела розробки**

1. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. -137с.
2. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.
4. Печеник М.В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В.Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ“ХПІ”, Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. – Харків : – 2013. – № 36. – с. 65-72

## **7.Умови експлуатації**

Електропривод ескалатора повинен забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі при невеликій частоті включень.

## **8. Технічні характеристики**



Таблиця 5.2 – Основні характеристики інтелектуального реле Zelio Logic SR2B201BD

| № | Параметри                      | SR2B2<br>01BD |
|---|--------------------------------|---------------|
| 1 | Кількість дискретних входів    | 12            |
| 2 | Кількість дискретних виходів   | 8             |
| 3 | Струм дискретного входу, мА    | 4             |
| 4 | Номінальна напруга живлення, В | 24            |
| 5 | Момент затяжки, Н м            | 0,5           |
| 6 | Час циклу, мс                  | 6-90          |

## **9 Елементна база**

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

## **10 Конструктивне виконання**

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

## **11 Показники технологічності**

Електропривод ескалатора – двигун, апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам улашту електроустановок.

## **12 Технічне обслуговування і ремонт**

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та слюсарями КВП і А відповідної кваліфікації. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється

інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

### **13 Живлення електропривода**

Живлення електропривода повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

### **14 Порядок контролю та прийняття**

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

**Додаток Б**  
**(обов'язковий)**

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА**  
**ЕСКАЛАТОРА**

## **Мета, задачі та об'єкт дослідження**

**Об'єктом** дослідження в роботі є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода ескалатора.

**Предметом** дослідження є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну та функціональну ефективність електропривода ескалатора.

**Метою** бакалаврської дипломної роботи є модернізація системи електропривода транспортної лінії для забезпечення ресурсозберігаючої та економічної його роботи відповідно до інтенсивності завантаження механізму шляхом впровадження сучасних програмованих логічних контролерів із мінімальним втручанням людини в процеси функціонування.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна механізму;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода виробничого механізму;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та функціональної схем системи електроприводу із застосуванням сучасних засобів автоматизації технологічного процесу;
- для вибраної системи електроприводу виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик.

## Загальна характеристика, будова, особливості механізму



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд ескалатора

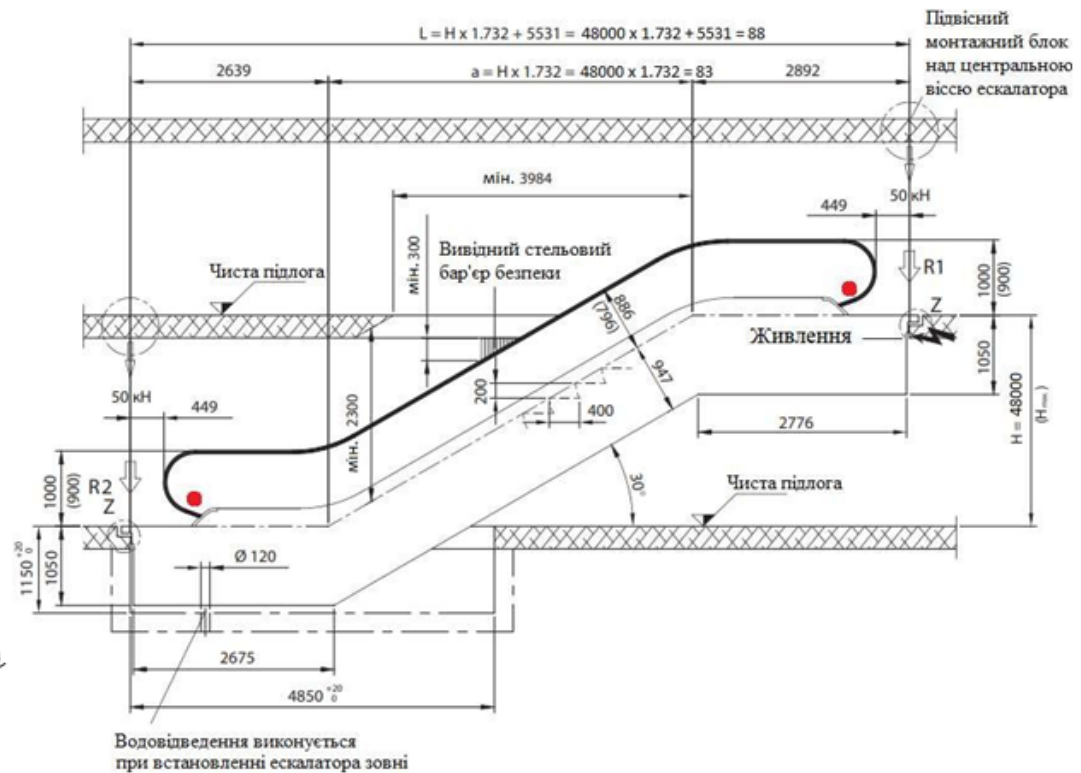
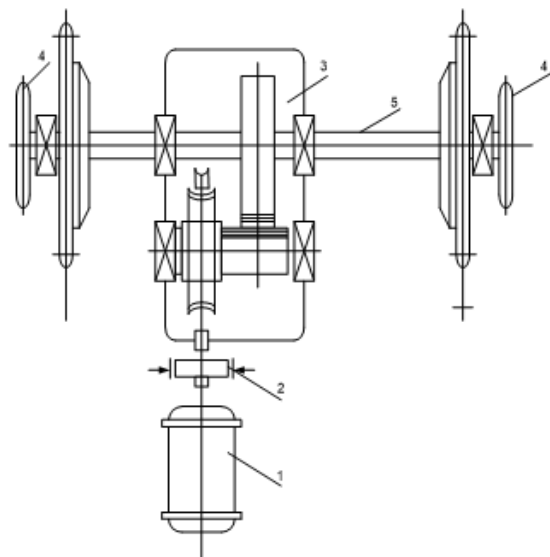


Рисунок 1.2 – Геометричні параметри ескалатора ЭТ-3М

Рисунок 1.4 – Кінематична схема  
приводу ескалатора

## Розрахунок потужності приводного двигуна ескалатора

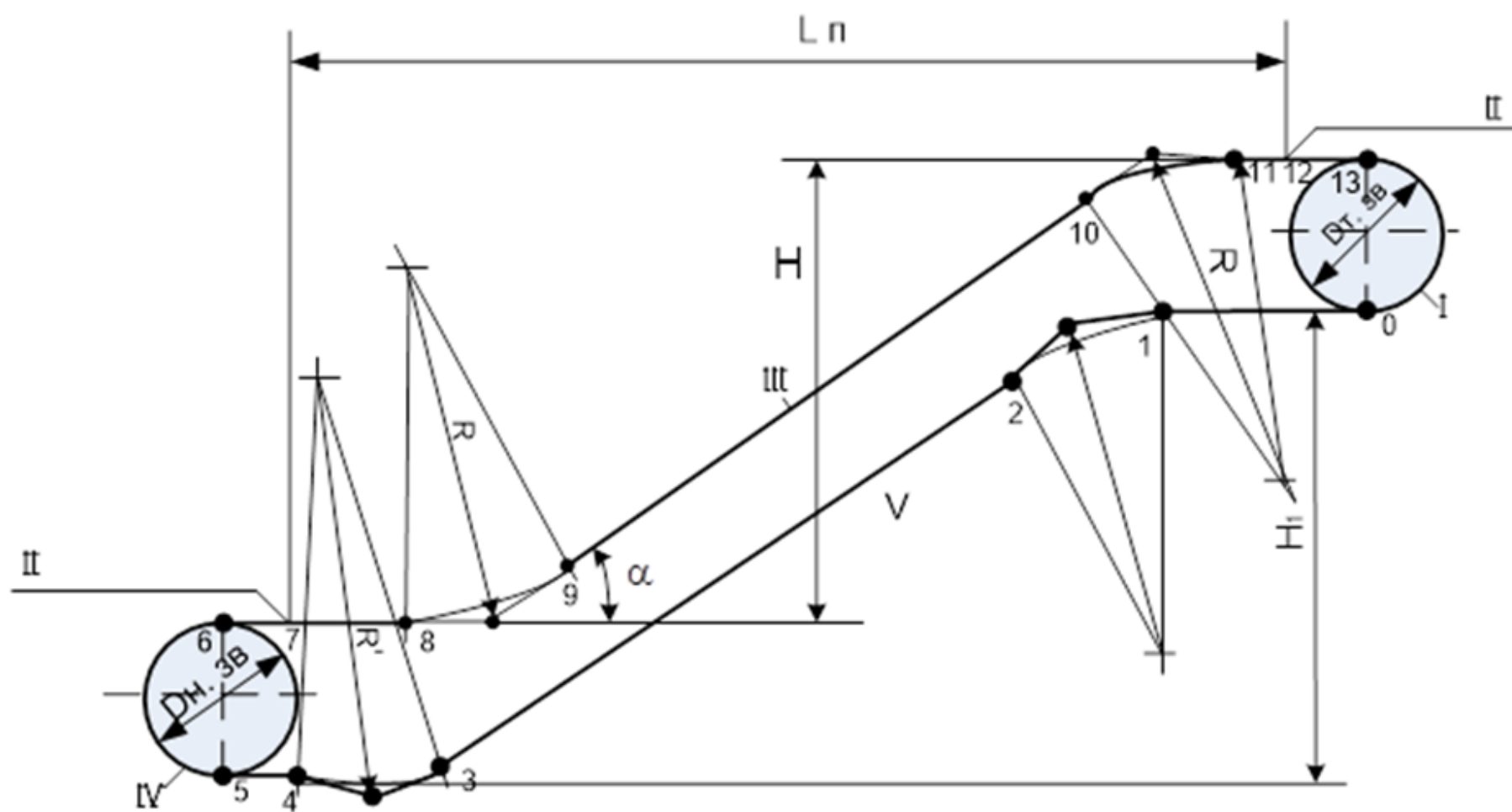


Рисунок 2.1 – Схема траси сходиноквого полотна

## Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

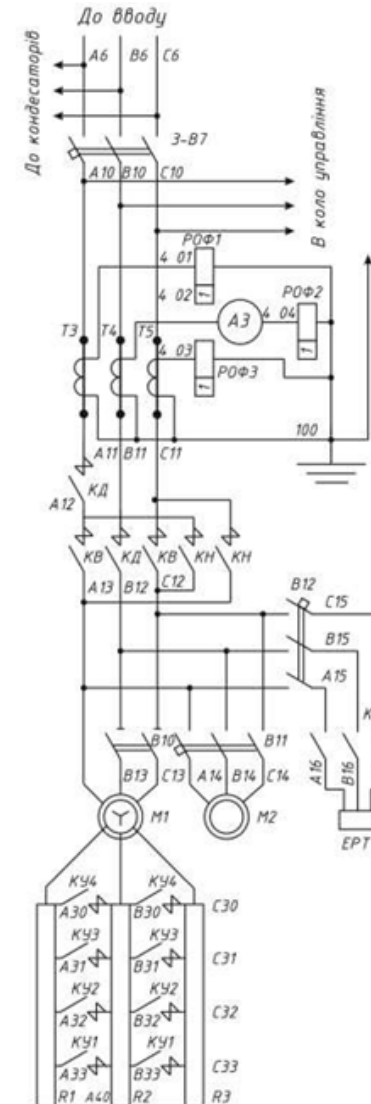
| Система електроприводу                                           | ШП-ДПС   | ППП-АД з КЗ | АВК (АД з ФР) | ПЧ-АД   |
|------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------------|---------|
| Потужність двигуна, кВт                                          | 30,0     |             |               |         |
| ККД двигуна та системи                                           | 0,91     | 0,9         | 0,89          | 0,91    |
| Вартість двигуна Д, грн                                          | 91250,0  | 36500,0     | 54750,0       | 36500,0 |
| Вартість системи керування С, грн                                | 72830,0  | 93450,0     | 76420,0       | 80074,0 |
| Капітальні вкладення К, грн.                                     | 164080,0 | 129950,0    | 131170,0      | 116574  |
| Тариф електроенергії, грн/кВт год                                | 4,93     | 4,93        | 4,93          | 4,93    |
| Додаткові відрахування (електроенергія) С <sub>д</sub> , грн/рік | 58509,9  | 65733,3     | 73119,1       | 58509,9 |
| Амортизаційні відрахування С <sub>а</sub> , грн/рік              | 24612,0  | 19492,5     | 19675,5       | 17486,1 |
| Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)                    | 900,5    | 851,2       | 3016,9        | 2681,2  |
| Вартість експлуатації електроприводу, грн                        | 84022,4  | 86077,0     | 95811,5       | 78677,2 |
| Зведені витрати $Z = E_v * K + C$ , грн.                         | 108634,4 | 105569,5    | 115487,0      | 96163,3 |

## Вибір двигуна та його перевірка. Базова схема керування ЕП

Таблиця 4.1 – Паспортні дані

| Паспортні дані                                              | Значення |
|-------------------------------------------------------------|----------|
| Номінальна потужність $P_{ном}$ кВт                         | 30       |
| Номінальна частота обертання $n_{ном}$ об/хв                | 988      |
| Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$                         | 0,87     |
| Коефіцієнт корисної дії $\eta$ , %                          | 91       |
| Момент інерції $J_p$ , кг·м <sup>2</sup>                    | 0,92     |
| Номінальний струм, А                                        | 91       |
| Номінальний момент, Нм                                      | 289,9    |
| $\frac{M_n}{M_{ном}}$ – кратність пускового моменту         | 2,2      |
| $\frac{M_{min}}{M_{ном}}$ – кратність мінімального моменту  | 1,5      |
| $\frac{M_{max}}{M_{ном}}$ – кратність максимального моменту | 2,5      |
| $\frac{I_n}{I_{ном}}$ – кратність пускового струму          | 6,5      |

Рисунок 5.1 – Існуюча принципова схема силових кіл ескалятора





## Розрахунок та вибір засобів керування ЕП ескалатора



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд ПЧ ATV610 30кВт 380-460В



Рисунок 5.5 – Фотоелектричні сенсори OsiSense XU

Рисунок 5.3 – Схеми підключення ПЧ ATV610 30кВт 380-460В

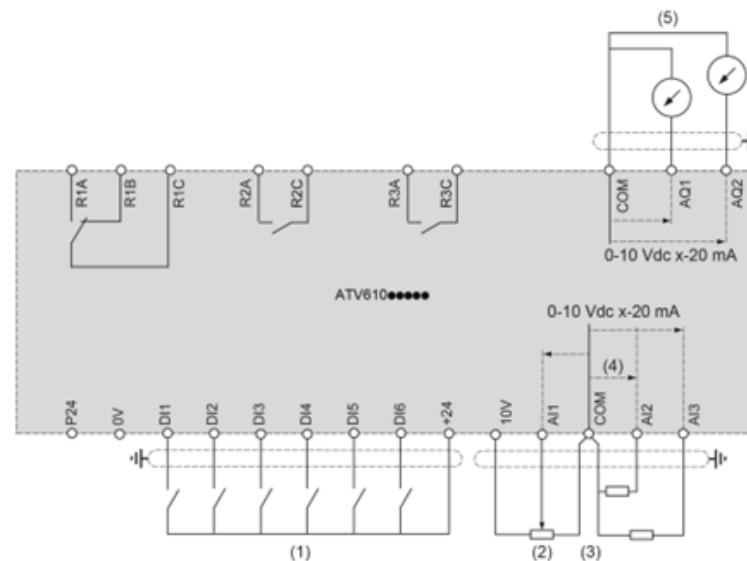
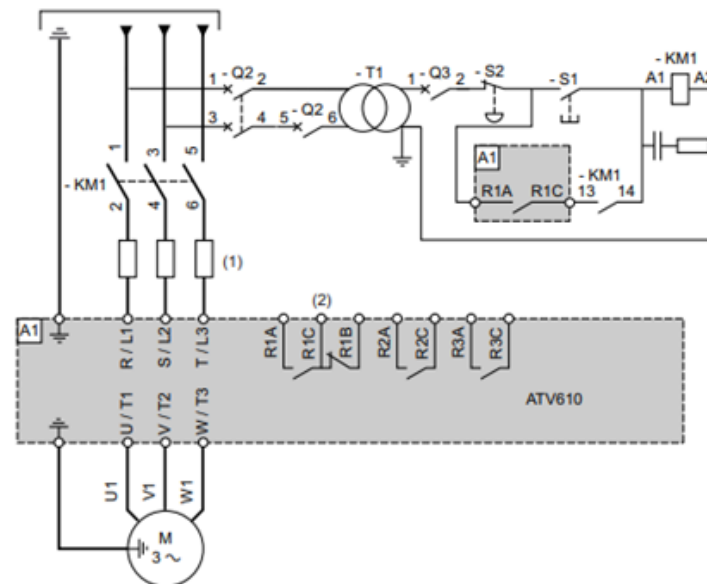


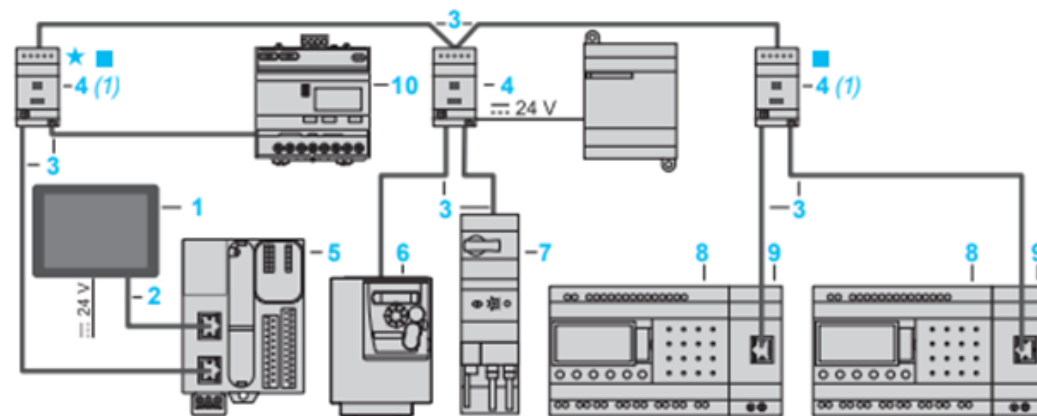
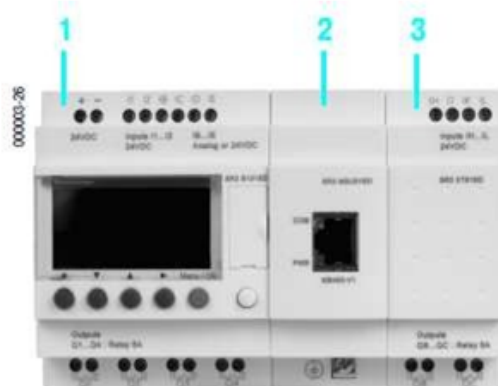
Рисунок 5.4 – Схема керування ПЧ ATV610 30кВт 380-460В



## Розрахунок та вибір засобів автоматизації ЕП ескалатора



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд інтелектуального реле Zelio Logo



- Total length of cables between isolation boxes 4:  $\leq 1,000 \text{ m}$  (3,281 ft)

- Length of drop cables 3:  $\leq 10 \text{ m}$  (33 ft)

★ Line polarization active ■ Line terminator

- 1 Client display unit **HMISCU**
- 2 Controller to Harmony HMI cordsets
- 3 Modbus RS485 cordsets (**VW3A8306R** extension cables)
- 4 Serial link tap isolation box **TWDXCAISO** (1x RJ45 for trunk cable, 2x RJ45 for drop)
- 5 Client Modicon logic controller **TM221M** (Network server connected to serial link port SERIAL1)
- 6 Altivar 312 drive
- 7 TeSys U motor starter controller
- 8 Modular smart relay **SR3B**
- 9 Modbus communication extension module **SR3MBU01BD**
- 10 Power meter **IEM31**

Рисунок 5.8 – Компанування пристроїв Schneider Electric в систему ЕП

Рисунок 5.9 – Модулі розширення компактного інтелектуального реле

### Схема електрична структурна керування ЕП ескалатора

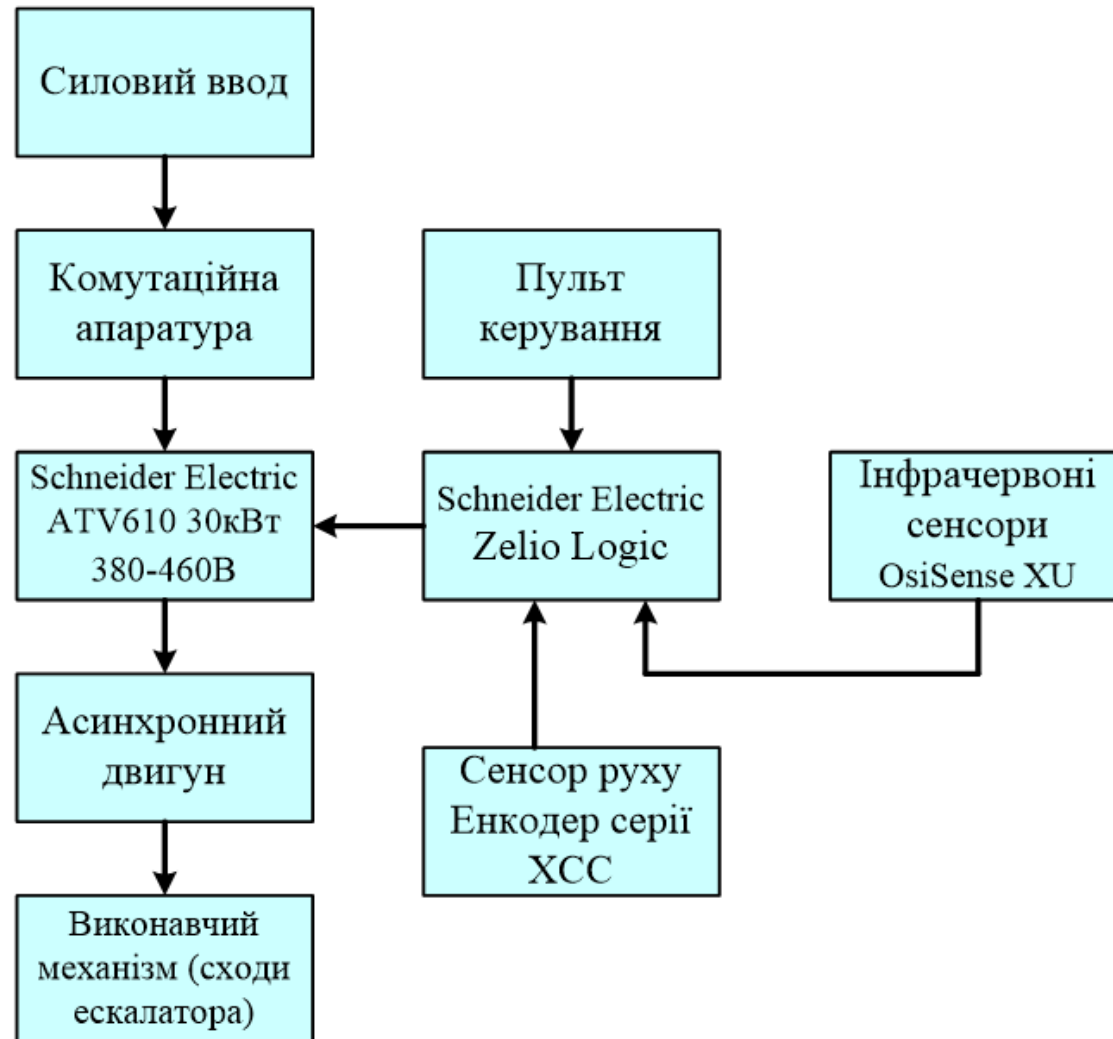


Рисунок 7.1 – Схема електрична структурна системи ЕП типу ПЧ

## Схема електрична принципова керування ЕП ескалатора

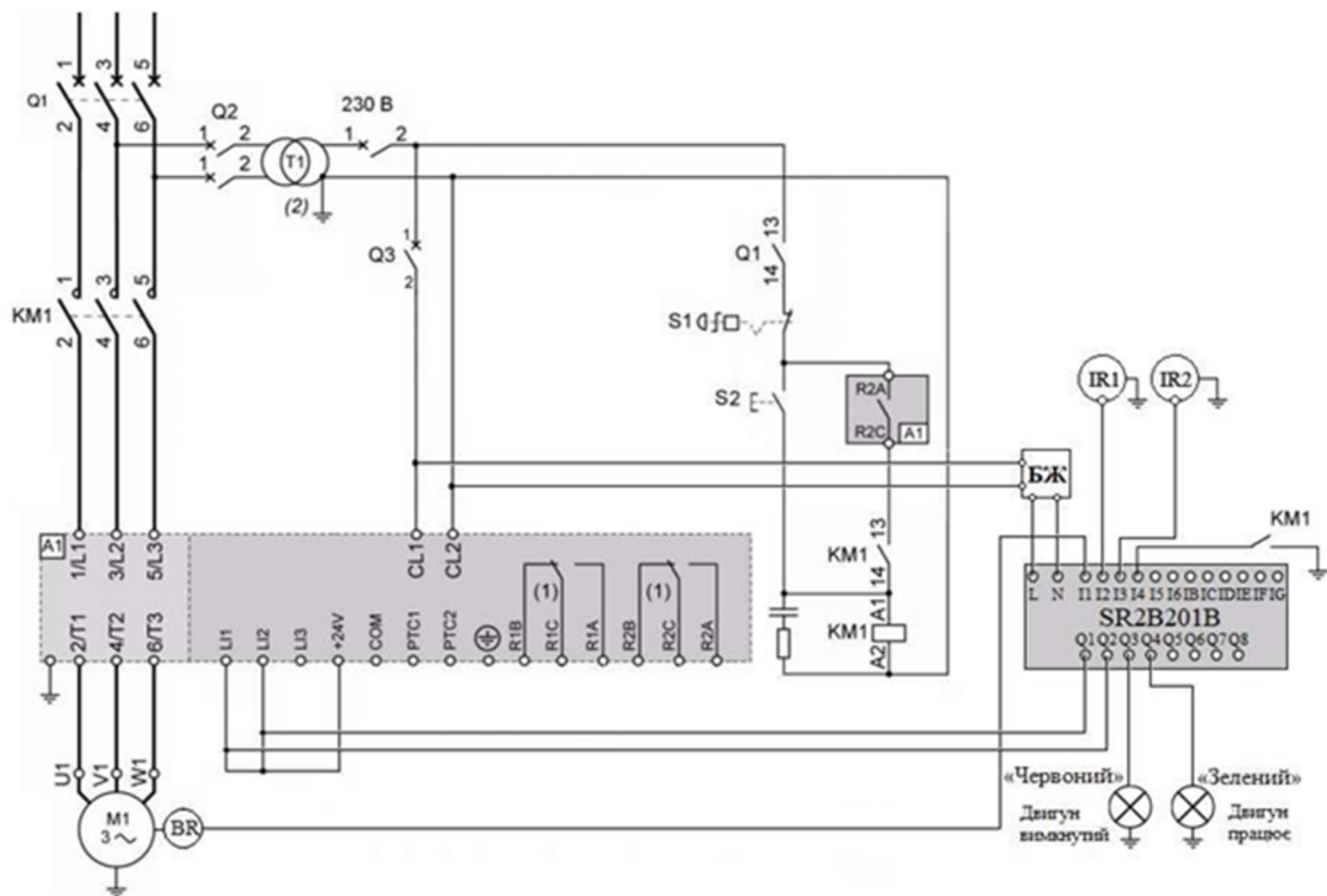


Рисунок 7.2 – Схема електрична принципова системи ЕП типу ПЧ

## Алгоритм та програма керування ПЛК

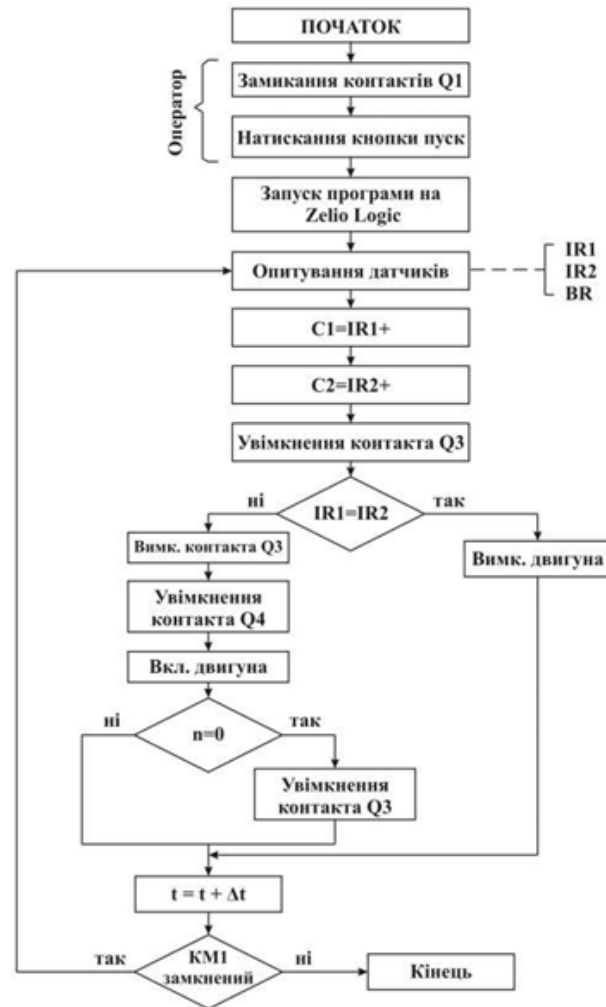


Рисунок 7.3 – Алгоритм функціонування Zelio Logic

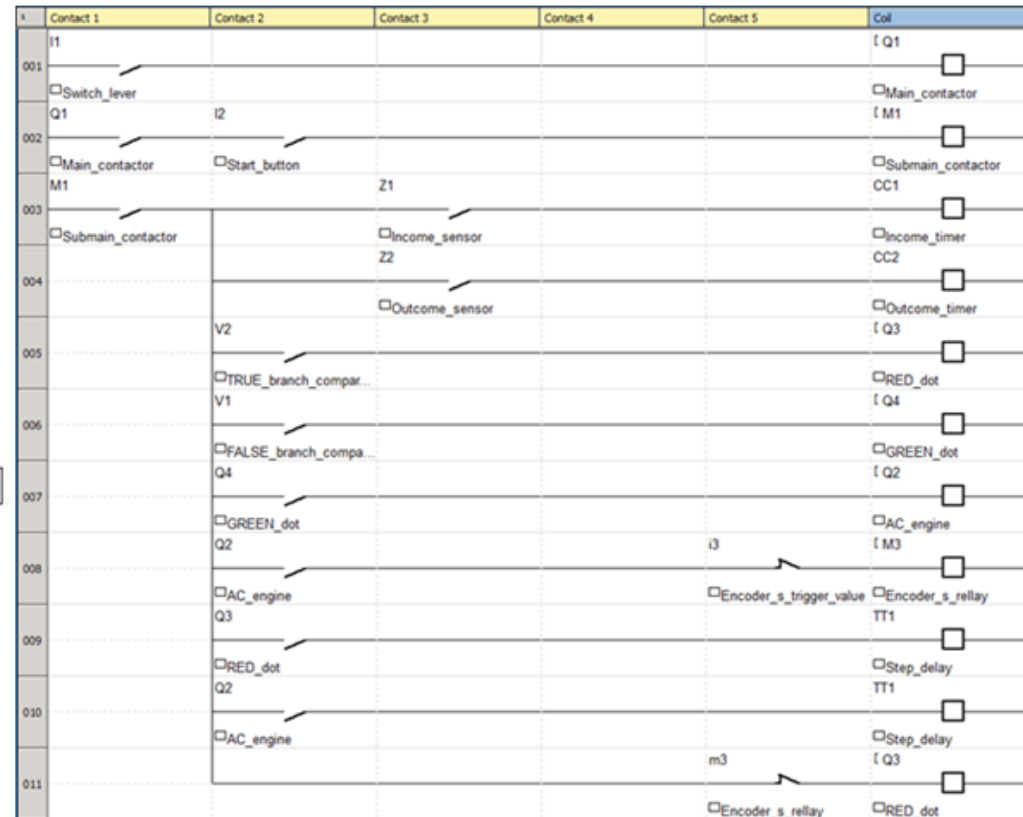


Рисунок 7.4 – Програма керування системою електропривода ескалатора в середовищі Zelio

Soft

## Дослідження динамічних характеристик СЕП ескалатора

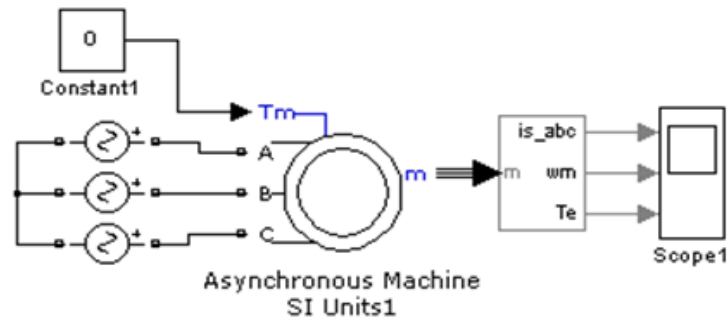


Рисунок 8.1 – Модель асинхронного двигуна, зібрана в ППП Matlab Simulink

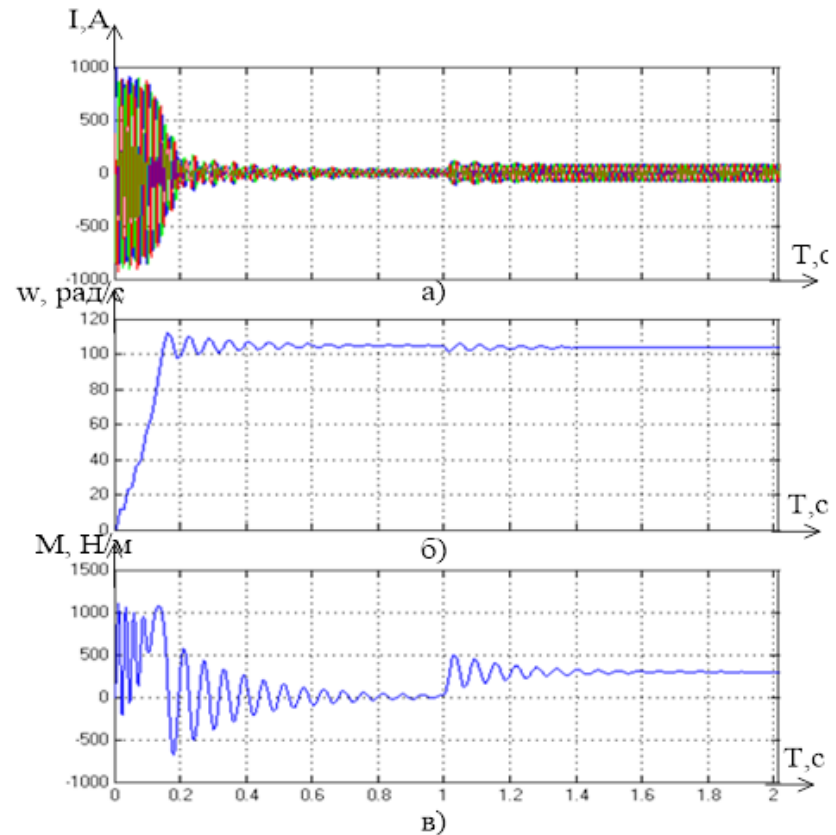
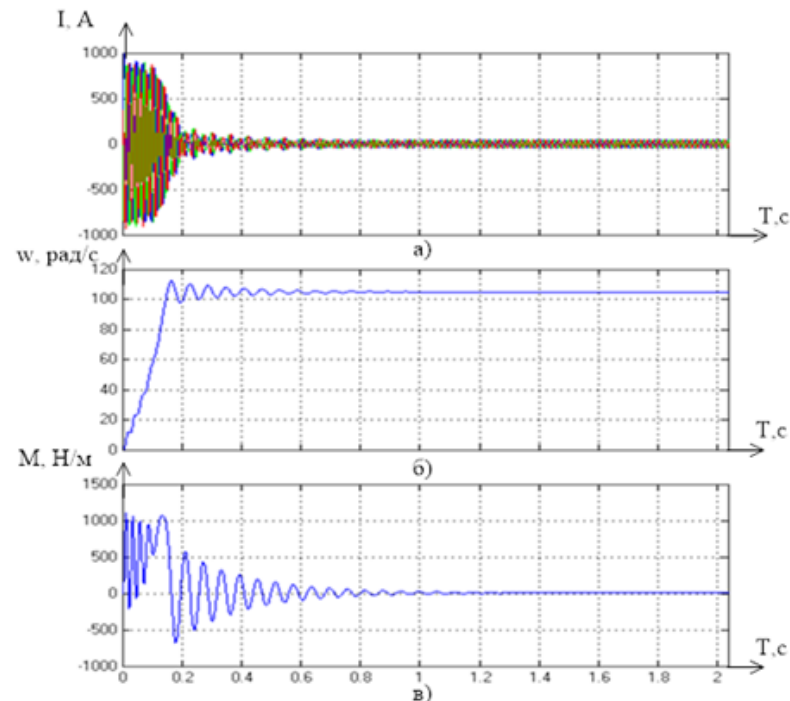


Рисунок 8.4 – Графіки перехідних процесів струмів: статора а), швидкості обертання б) та моменту двигуна при накиді навантаження в)

Рисунок 8.2 – Графіки струму: а) статора; б) швидкості; в) моменту двигуна при холостому пуску



## **ВИСНОВКИ**

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

1. В результаті виконання дипломної роботи було досліджено декілька електроприводів для даного типу виробничого механізму. Як наслідок техніко-економічного порівняння та попереднього розрахунку потужності двигуна вибрано найбільш оптимальну систему електропривода типу ПЧ-АД.

2. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу ескалятора.

3. Розроблено схеми електричну структурну та принципову системи електропривода та її опис, виконано вибір засобів автоматизації технологічного процесу із використанням перетворювача частоти ATV610 30кВт 380-460В, фотоелектричних сенсорів OsiSense XU, інкрементального енкодера серії ХСС, інтелектуального реле Zelio Logo.

4. Розроблено алгоритм функціонування системи керування електропривода з використанням можливостей середовища програмування Zelio Soft.

5. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП Matlab Simulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод конвеєра забезпечує необхідні якісні показники.

6. Здійснено опис основних заходів щодо техніки безпеки та безпечної експлуатації електропривода ескалятора.





**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

**Назва роботи:** Модернізація системи керування електропривода ескалатора

**Тип роботи:** бакалаврська дипломна робота

**Підрозділ:** кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМ-22мс

**Науковий керівник:** к.т.н., доц. Нанака О.М.  
(прізвище, ініціали, посада)

**Показники звіту подібності Unicheck**

|                |        |
|----------------|--------|
| Оригінальність | 84,7 % |
| Схожість       | 15,3 % |

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

(підпис)

Сулима А.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Нанака О.М.

(прізвище, ініціали)

|            |      |                |                 |       |                                                          |       |      |         |
|------------|------|----------------|-----------------|-------|----------------------------------------------------------|-------|------|---------|
|            |      |                |                 |       | 08-24.БДР.031.00.000                                     |       |      |         |
| Зм.        | Арк. | № докумен.     | Підпис          | Дата  | Модернізація системи керування електропривода ескалатора | Літ.  | Маса | Масштаб |
| Розробив:  |      | Судима А.В.    | <i>Судима</i>   | 28.05 |                                                          |       |      |         |
| Перевірив: |      | Нанака О.М.    | <i>Нанака</i>   | 28.05 |                                                          |       |      |         |
| Т. контр.  |      |                | <i>Судима</i>   |       |                                                          |       |      |         |
| Реценз.    |      | Бабенко О.В.   | <i>Бабенко</i>  | 10.06 | ВНТУ, гр. ЕМ-22мс                                        | Аркуш |      | Аркушів |
| Норм. кон. |      | <i>Бабенко</i> |                 | 28.05 |                                                          |       |      |         |
| Затверд.   |      | Мошноріз М.М.  | <i>Мошноріз</i> | 28.05 |                                                          |       |      |         |