

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизація сортувального відділення молокозаводу»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-23м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

AKI 226

П'єр АКЛ'Ь

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. КЕМСК

Сергій БАБІЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 14 » листа 2025 р.

Опонент:

к.т.н., доц. КЕМ Евген Восток Ю.П.

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 17 » 02 2025 р.

Допущено до захисту

кафедрою КЕМСК №11

Зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

« 14 » 01 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

« 27 » 08 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

П'єру Аклю

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизація сортувального відділення молокозаводу

керівник роботи Бабій Сергій Миколайович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 17 » 09 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 18.02.2025р.

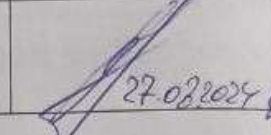
3. Вихідні дані до роботи: кількість транспортерів сортувального відділення – 6; вага коробок з продукцією сортування яких потрібно виконувати – 8 кг, 10 кг, 15 кг; характеристики транспортера Т2: продуктивність – до 36 т/год; діаметр приводного барабана – 200 мм; діаметр натяжного барабана – 200 мм; довжина транспортера – 2 м; кількість опорних роликів – 10 шт.; діаметр опорних роликів – 30 мм; ширина стрічки – 600 мм; кут нахилу транспортера – 0 град.; передавальне число механічної передачі – 1/30; швидкість стрічки – 29 м/хв.

4. Зміст текстової частини: 1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок електропривода стрічкового транспортера з функцією зважування. 3 Розробка системи автоматизованого керування сортувального відділення. 4 Економічна частина. 5 Охорона праці. Висновки.

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

1 Мета та завдання дослідження. 2 Опис елементів та процесу роботи сортувального відділення. 3 Технічні характеристики стрічкового транспортера. 4 Схема кінематична стрічкового транспортера. 5 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода стрічкового транспортера. 6 Вибір елементної бази електропривода стрічкового транспортера. 7 Схема структурна електропривода стрічкового транспортера. 8 Моделювання електропривода стрічкового транспортера. 9 Схема функціональна системи автоматизованого керування сортувального відділення. 10 Вибір елементної бази системи автоматизованого керування. 11 Схема електрична принципова системи автоматизованого керування сортувального відділення. 12 Програма керування механізмами сортувального відділення. 13 Моделювання роботи в середовищі Factory I/O. 14 Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

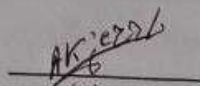
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконаний прий
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ	 27.08.2024	 14.01.2025
Економічна частина	Шулле Ю. А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 27.08.2024	 14.01.2025

7. Дата видачі завдання 27.08.2024р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прий
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	27.08.2024	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	24.12.2024	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	31.12.2024	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	07.01.2025	
5	Виконання розділу «Охорона праці»	07.01.2025	
6	Попередній захист МКР	14.01.2025	
7	Нормоконтроль МКР	14.01.2025	
8	Рецензування МКР	14.01-18.02.2025	
9	Захист МКР	18.02.2025	

Студент


(підпис)

Пьер Акль
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Бабій С. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 681.5

Пьер Акль. Автоматизація сортувального відділення молокозаводу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця : ВНТУ, 2025. – 105 с.

На укр. мові. Бібліогр. : 30 назв; рис. : 34; табл. : 17.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо автоматизації роботи транспортерів сортувального відділення молокозаводу компанії «Zain Foods». В основній частині роботи розраховано електропривод одного із транспортерів лінії сортування. Розроблено функціональну схему системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення, вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal. Коректність роботи розробленої системи автоматизованого керування перевірено шляхом моделювання в середовищі Factory I/O.

Ілюстративний матеріал представлений 14 плакатами на яких представлено основні результати роботи.

Ключові слова: автоматизація, система керування, сортування, електропривод.

ABSTRACT

Pierre Acl. Automation of the sorting department of a dairy plant. Master's thesis in specialty 141 – Electricity, electrical engineering and electromechanics, educational program – Electromechanical systems of automation and electric drive. Vinnitsa : VNTU, 2025. – 105 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 30 titles; fig. : 34; tabl. : 17.

In the master's qualification work, solutions were proposed for the automation of the operation of conveyors of the sorting department of the dairy plant of the company "Zain Foods". In the main part of the work, the electric drive of one of the conveyors of the sorting line was calculated. A functional diagram of the automated control system of the sorting department mechanisms was developed, an element base was selected and a corresponding schematic electrical diagram was developed. A control program was developed in the TIA Portal environment. The correctness of the operation of the developed automated control system was checked by modeling in the Factory I/O environment.

Illustrative material is presented by 14 posters presenting the main results of the work.

Key words: automation, control system, sorting, electric drive.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика компанії «Zain Foods»	8
1.2 Характеристика об’єкта проектування	10
1.3 Постановка завдання дослідження.....	11
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА З ФУНКЦІЄЮ ЗВАЖУВАННЯ.....	13
2.1 Технічні характеристики стрічкового транспортера.....	13
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	16
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	17
2.4 Вибір приводного двигуна	23
2.5 Вибір силового перетворювача	30
2.6 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода стрічкового транспортера.....	34
2.7 Моделювання перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера.....	38
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ.....	42
3.1 Розробка функціональної схеми системи керування	42
3.2 Вибір елементної бази	44
3.2.1 Вибір керуючого пристрою.....	44
3.2.2 Вибір сенсорів положення	46
3.3 Розробка принципової схеми	49
3.4 Розробка програми керування	53
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	60
4.1 Розрахунок капітальних вкладень	60

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	61
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	61
4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	62
4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію	63
4.1.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	64
4.3 Інші витрати.....	66
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	67
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	67
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах	67
5.1.2 Електробезпека.....	69
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	72
5.2.1 Мікроклімат	72
5.2.2 Склад повітря робочої зони	73
5.2.3 Виробниче освітлення	73
5.2.4 Виробничий шум.....	74
5.2.5 Виробничі вібрації	75
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання	83
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	87

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасне виробництво характеризується зменшенням частки ручної праці людини за рахунок використання спеціалізованих машин та автоматизованих систем керування ними та цілими технологічними лініями.

Станом на сьогодні для автоматизації виробничих процесів переважно використовують спеціалізовані мікропроцесорні пристрої, наприклад, такі як програмовані логічні контролери (ПЛК).

Таким чином, робота присвячена питанню розробки автоматизованої системи керування механізмами сортувального відділення в умовах компанії «Zain Foods». Одним із напрямків її діяльності є виробництво такого виду молочної продукції як йогурти. Після фасування йогуртів в тару та пакування їх в коробки для транспортування постає необхідність їх автоматичного сортування за вагою коробки. Вирішенню такої задачі і присвячені дана кваліфікаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ.

Об'єкт дослідження – процес транспортування продукції в умовах сортувального відділення молокозаводу.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування транспортерами сортувального відділення молокозаводу.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є автоматизація сортувального відділення молокозаводу в умовах компанії «Zain Foods» за рахунок використання системи стрічкових транспортерів з автоматичним вибором напрямку транспортування відповідно до ваги продукції.

В процесі реалізації мети роботи необхідно виконати такі **завдання**:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Провести перевірочний розрахунок електропривода стрічкового транспортера Т2 сортувального відділення.
3. Розробити систему електропривода транспортера Т2.
4. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода транспортера Т2 шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Розробити систему автоматизованого керування сортувального відділення.
6. Перевірити коректність роботи системи автоматизованого керування сортувального відділення шляхом комп'ютерного моделювання.
7. Провести економічні розрахунки.
8. Розробити ряд заходів з охорони праці.
9. Зробити загальні висновки.

Методи дослідження. У процесі роботи застосовувалися такі методи дослідження: теорії електричного привода – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування та систем керування – для синтезу системи керування; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для перевірки прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено систему автоматизованого керування механізмами сортувального відділення молокозаводу, яка за рахунок використання сучасного обладнання, забезпечує автоматичний вибір напрямку транспортування відповідно до ваги продукції.

2. Показано можливість моделювання технологічний процесів на етапі проектування в середовищі Factory I/O.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

– результати отриманих досліджень можуть бути використані в задачах проектування ліній з автоматичним сортуванням продукції;

– результати досліджень можуть бути використанні під час вивчення фахових дисциплін такої освітньої програми як «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на міжнародній науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2025).

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

– Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, ВНТУ.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика компанії «Zain Foods»

Компанія «Zain Foods (Zain Middle East Food Industries)» заснована в 2008 році в Багдаді та вважається одним з найкращих заводів з виробництва напоїв в Іраку. Компанія спеціалізується виробництві безалкогольних напоїв (води, соки, енергетичні напої) та йогуртів. Також «Zain Foods» спеціалізується на наданні послуг для інших виробників напоїв з розливу у скляну тару [1].



а)



б)

Рисунок 1.1 – Виробничі потужності Zain Middle East Food Industries:

- а) лінія розливання напоїв;
- б) транспортний відділ

Штат підприємства налічує близько 200 співробітників, які оснащені найновішими міжнародними технологіями в галузі, які відповідають європейським виробничим системам [1].

На підприємстві суворо дотримується найвищих стандартів якості, безпеки та гігієни, щоб вироблена продукція кожного разу відповідала високим стандартам якості [1].

На підприємстві постійно працюють в напрямку покращення та автоматизації виробничих процесів [1].

Компанія має широку дистриб'юторську мережу та постачає широкий асортимент натуральних продуктів у домівки мільйонів людей у всьому регіоні (рисунк 1.2) [1].



Рисунок 1.2 – Дистриб'юторська мережа «Zain Foods»

1.2 Характеристика об'єкта проектування

Виробничі потужності підприємства дозволяють переробляти до 20 тон молока на добу. Єдиний вид молочної продукції – питний йогурт.

Йогурт – це кисломолочний продукт рідкої або напіврідкої консистенції, отриманий сквашуванням (ферментацією) молочної суміші спеціальними мікроорганізмами, які входять до складу заквасок або заквашувальних препаратів [2].

Фінальний етапом технологічного процесу виробництва йогурту є його розливання та пакування.

В умовах компанії «Zain Foods» йогурт розливають в тари: 1 літр; 0,5 літра; 0,33 літра. В подальшому його пакують в картонні коробки та відправляють на склад готової продукції, а звідти розвозять по дистриб'юторській мережі.

Сортування коробок із продукцією повинно виконуватись автоматично за вагою коробки. Для реалізації даної операції використовується система транспортерів згідно рисунка 1.3.

Процес сортування повинен відбуватись так:

1) запакована коробка з продукцією подається на транспортер T1, який її транспортує до транспортера з функцією зважування T2;

2) після зважування транспортер T2 транспортує коробку до транспортера T3 ролики якого завчасно встановлюються у напрямку, який відповідає вазі коробки:

– якщо вага коробки становить 8 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T4 (вліво);

– якщо вага коробки становить 10 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T5 (прямо);

– якщо вага коробки є більшою 15 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T6 (вправо);

3) в подальшому вибраний транспортер (відповідно до ваги коробки) транспортує коробку на склад готової продукції.



Рисунок 1.3 – Модель сортувальної ділянки на підприємстві:

- 1 – подаючий транспортер (T1);
- 2 – транспортер з функцією зважування (T2);
- 3 – транспортер вибору напрямку транспорт. (T3);
- 4 – транспортер для коробок вагою 8 кг (T4);
- 5 – транспортер для коробок вагою 10 кг (T5);
- 6 – транспортер для коробок вагою >15 кг (T6).

1.3 Постановка завдання дослідження

Для досягнення поставленої в роботі мети, яка полягає в автоматизації сортувального відділення молокозаводу в умовах компанії «Zain Foods» за рахунок використання системи стрічкових транспортерів з автоматичним вибором напрямку транспортування відповідно до ваги продукції, в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести перевірочний розрахунок електропривода стрічкового транспортера з функцією зважування (T2).
2. Розробити систему електропривода транспортера T2.
3. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода транспортера T2 шляхом комп'ютерного моделювання.
4. Розробити систему автоматизованого керування сортувального відділення.
5. Перевірити коректність роботи системи автоматизованого керування сортувального відділення шляхом комп'ютерного моделювання.
6. Провести економічні розрахунки.
7. Розробити ряд заходів з охорони праці.
8. Зробити загальні висновки.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА З ФУНКЦІЄЮ ЗВАЖУВАННЯ

Відповідно до поставленого завдання розрахуємо електропривод стрічкового транспортера Т2 (див. рисунок 1.3).

2.1 Технічні характеристики стрічкового транспортера

Стрічковий транспортер – пристрій безперервного транспорту, який призначений для транспортування насипних та поштучних вантажів [4].

За призначенням стрічкові транспортери розділяють на:

1) загального призначення (забезпечують транспортування вантажів в горизонтальній або похилій площині, макс. кут нахилу становить 40°) [4];

2) спеціального призначення (для переробної, харчової та інших галузей промисловості) [4].

В умовах сортувального відділення компанії «Zain Foods» використовується спеціалізований стрічковий транспортер, який додатково містить в своїй конструкції ваги. Останні забезпечують зважування одиничних вантажів за умови їх короткотривалої зупинки в зоні дії вагів. Зовнішній вигляд транспортера наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд стрічкового транспортера Т2

Основними конструктивними вузлами транспортера є: рама; приводний та натяжний барабани, стрічка та ролики.

Стрічка приводиться приводним електричним двигуном згідно кінематичної схеми, яка зображена на рисунку 2.2).

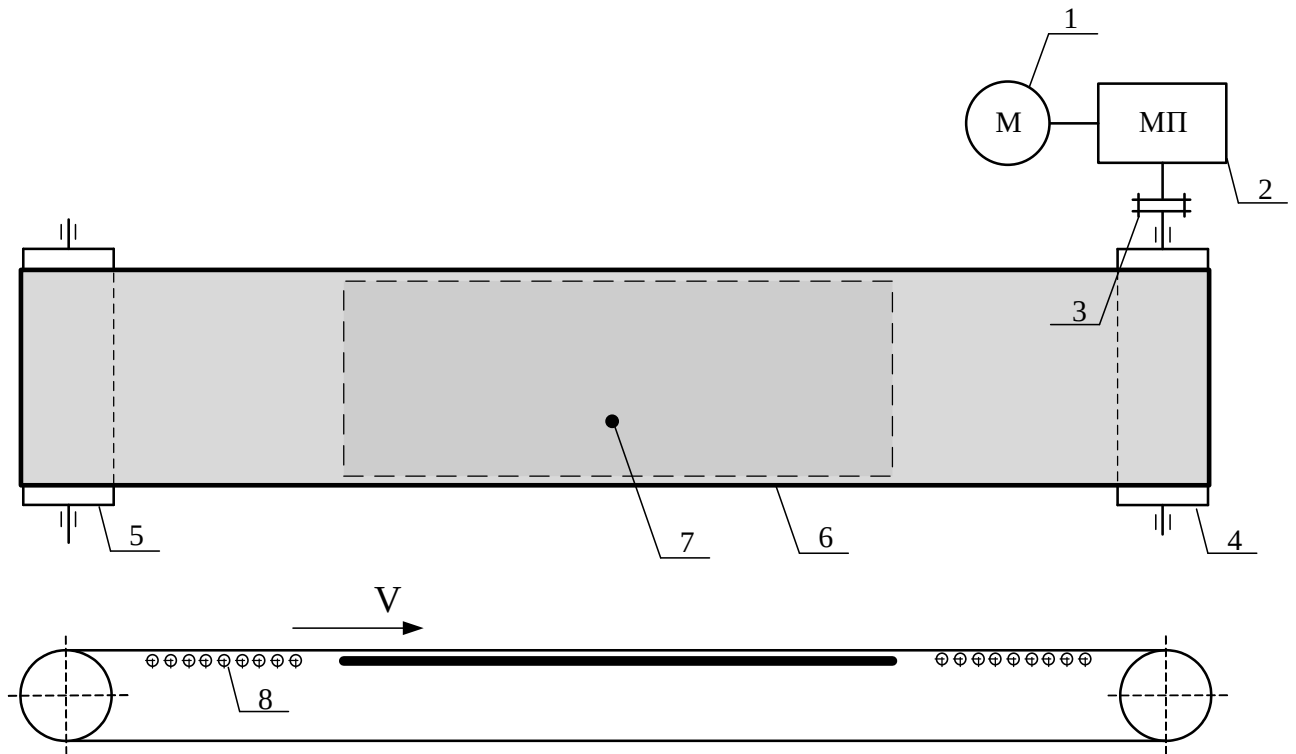


Рисунок 2.2 – Кінематична схема стрічкового транспортера

- 1 – приводний двигун;
- 2 – механічна передача;
- 3 – муфта ;
- 4 – приводний барабан;
- 5 – натяжний барабан;
- 6 – стрічка;
- 7 – ваги;
- 8 – опорні ролики

Технічні характеристики стрічкового транспортера Т2 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики стрічкового транспортера Т2

Параметри	Значення
Продуктивність	до 36 т/год
Діаметр приводного барабана	200 мм
Діаметр натяжного барабана	200 мм
Довжина транспортера	2 м
Опорні ролики:	
– кількість	10 шт.
– діаметр	30 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	0 град.
Механічна передача	CMRV 110 1/30
Швидкість стрічки	29 м/хв

Електропривод стрічкового транспортера сортувального відділення повинен забезпечувати:

- плавний пуск та гальмування;
- пуск під навантаженням;
- однозонне регулювання швидкості;
- захист від перевантаження стрічки.

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Швидкість обертання приводного барабана стрічкового транспортера при номінальній швидкості транспортування [5]:

$$n_{\text{бп. ном}} = \frac{60 \cdot V_{\text{ном}}}{\pi \cdot D_{\text{бп}}}, \quad (2.1)$$

де $V_{\text{ном}}$ – максимальна швидкість тягового ланцюга ($V_{\text{ном}} = 29$ м/хв);

$D_{\text{з}}$ – діаметр приводного барабана ($D_{\text{бп}} = 0,2$ м),

$$n_{\text{бп. ном}} = \frac{60 \cdot \frac{29}{60}}{\pi \cdot 0,2} = 46,15 \text{ (об/хв)}.$$

Розрахункова швидкість обертання приводного двигуна стрічкового транспортера при номінальній швидкості транспортування вантажу:

$$n_{\text{дв. роз}} = n_{\text{бп. ном}} \cdot i_{\text{п}}, \quad (2.2)$$

де $i_{\text{п}}$ – передаточне число механічної передачі ($i_{\text{п}} = 30$),

$$n_{\text{дв. роз}} = 46,15 \cdot 30 = 1385 \text{ (об/хв)}.$$

Розрахункова кутова швидкість приводного двигуна стрічкового транспортера при номінальній швидкості транспортування вантажу [5]:

$$\omega_{\text{дв. роз}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{дв. роз}}}{60}, \quad (2.3)$$

$$\omega_{\text{дв. роз}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1385}{60} = 145 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Розрахункова потужність приводного двигуна стрічкового транспортера [6, 7]:

$$P_{\text{роз}} = \frac{Q}{367 \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot (c \cdot L + H) \cdot k_3, \quad (2.4)$$

де Q – продуктивність транспортера ($Q = 25$ т/год);

L – відстань між барабанами транспортера ($L = 2$ м);

H – висота підйому вантажу ($H = 0$ м);

k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,15 \dots 1,3$);

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передаточного механізму ($\eta_{\text{п}} = 0,7$);

c – розрахунковий коефіцієнт, який залежить від продуктивності транспортера і його довжини ($c = 0,92$),

$$P_{\text{роз}} = \frac{25}{367 \cdot 0,7} \cdot (0,92 \cdot 2 + 0) \cdot (1,15 \dots 1,3) = 0,21 \dots 0,23 \text{ (кВт)}.$$

Прирівнявши отриманий діапазон потужностей із стандартним рядом потужностей очевидно, що для привода скребкового транспортера необхідно попередньо вибрати двигун з номінальною потужністю не менше 0,25 кВт.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Згідно з технічним завданням замовника електропривод стрічкового транспортера повинен бути обладнаний електроприводом змінного струму. Тому для цих цілей можна використати електропривод з перетворювачем напруги та частотно-регульований електроприводом. При проведенні аналізу розглянемо декілька популярних моделей перетворювачів частоти (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Варіанти перетворювачі частоти

Тип	Вартість, грн	Виробник
ATV310H037N4E	9592 [8]	Schneider Electric Франція
ACS150-03E-01A2-4	10811 [9]	ABB Швеція-Швейцарія
ESMD371L4TXA	15674 [10]	LENZE Німеччина (USA)

Для остаточного прийняття рішення щодо вибору системи електричного привода здійснимо порівняння розглянутих варіантів згідно критерію приведених витрат [11].

При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, який передбачає мінімум приведених витрат [11]:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (2.5)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K – капітальні вкладення, грн;

C – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

В якості прикладу виконаємо розрахунки для частотно-регульованого електроприводу на базі перетворювача частоти ATV310H037N4E.

Капітальні вкладення [11]:

$$K = D + CK, \quad (2.6)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 7810$ грн [12]);

CK – вартість системи керування ($CK = 9592$ грн [8]),

$$K = 7810 + 9592 = 17402 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати [11]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.7)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 17402 = 2958,34 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування [11]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.8)$$

де C_A – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_P – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_d – додаткові відрахування, грн/рік;

C_o – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень [11]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.9)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 17402 = 1740,2 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень [11]:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (2.10)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 17402 = 348,04 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [11]:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2}, \quad (2.11)$$

де C_{d1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

C_{d2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік [11]:

$$C_{d1} = \Delta W_{\Sigma_{дв}} \cdot c, \quad (2.12)$$

де $\Delta W_{\Sigma_{дв}}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) ($c = 9,31$ грн/(кВт·год) [13]).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [11]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.13)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи [11]:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (2.14)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 0,25$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,735$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 0,25 \cdot \frac{1 - 0,735}{0,735} = 0,09 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних [11]:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (2.15)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,09 = 0,009 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік [11]:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.16)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення (приймемо $\varepsilon = 0,9$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 250$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 2$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 12$ год),

$$\Phi = 0,9 \cdot 250 \cdot 2 \cdot 12 = 5400 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.13):

$$\Delta W_{\Sigma_{\text{ДВ}}} = (0,09 + 0,009) \cdot 0,8 \cdot 5400 = 428,3 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.12):

$$C_{\text{Д1}} = 428,3 \cdot 9,31 = 3987,72 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік [11]:

$$C_{\text{Д2}} = \Delta W_{\Sigma_{\text{СК}}} \cdot c, \quad (2.17)$$

де $\Delta W_{\text{СК}}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік [11]:

$$\Delta W_{\Sigma_{\text{СК}}} = \Delta P_{\text{СК}} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.18)$$

де $\Delta P_{\text{СК}}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування [11]:

$$\Delta P_{\text{СК}} = P_{\text{СП}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ПП}}}{\eta_{\text{ПП}}}, \quad (2.19)$$

де $P_{\text{ПП}}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{\text{ПП}} = 0,37$ кВт);

$\eta_{\text{ПП}}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{\text{ПП}} = 0,98$),

$$\Delta P_{\text{СК}} = 0,37 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,01 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.18):

$$\Delta W_{\Sigma_{\text{СК}}} = 0,01 \cdot 0,8 \cdot 5400 = 32,6 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.17):

$$C_{\text{Д2}} = 32,6 \cdot 9,31 = 303,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.11):

$$C_{\text{Д}} = 3987,72 + 303,7 = 4291,42 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат [11]:

$$C_O = 0,05 \cdot (C_A + C_P + C_D), \quad (2.20)$$

$$C_O = 0,05 \cdot (1740,2 + 348,04 + 4291,42) = 318,98 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.8):

$$C = 1740,2 + 348,04 + 4291,42 + 318,98 = 6698,64 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.5):

$$З = 0,17 \cdot 17402 + 6698,64 = 9656,98 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода			
	ТПН-АД	ПЧ1-АД (Schneider Electric)	ПЧ2-АД (ABB)	ПЧ3-АД (LENZE)
Вартість двигуна Д, грн	7810	7810	7810	7810
Вартість системи керування СК, грн	8153	9592	10811	15674
Капітальні вкладення К, грн	15963	17402	18621	23484
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	2713,71	2958,34	3165,57	3992,28
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	1596,30	1740,20	1862,10	2348,40
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	319,26	348,04	372,42	469,68

Продовження таблиці 2.3

Показники	Системи електричного привода			
	ТПН-АД	ПЧ1-АД (Schneider Electric)	ПЧ2-АД (ABB)	ПЧ3-АД (LENZE)
Додаткові відрахування C_d , грн/рік	4937,58	4291,42	4291,42	4291,42
Відрахування на обслуговування C_o , грн/рік	342,66	318,98	326,30	355,47
Загальні відрахування C , грн/рік	7195,79	6698,64	6852,23	7464,97
Приведені витрати Z , грн/рік	9909,50	9656,98	10017,80	11457,25

Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволяє зробити такий висновок: найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД на базі перетворювача частоти ATV310H037N4E, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 9656,98 грн/рік.

2.4 Вибір приводного двигуна

Для привода стрічкового транспортера виберемо приводний двигун відповідно до умови [5, 11]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.21)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$ – розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ;

$\omega_{\text{роз}}$ – розрахункова кутова швидкість, с^{-1} .

Отже, для привода стрічкового транспортера виберемо АД з КЗ ротором типу WEG22 71:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq 0,21 \dots 0,23 \text{ (кВт)}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq 1385 \text{ (об/хв)}. \end{cases}$$

Технічні характеристики вибраного двигуна наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні дані вибраного приводного двигуна [13]

Параметри двигуна	Значення
Бренд	WEG
Корпус	W22 (чавун)
Тип	71
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$, кВт	0,25
Номінальна напруга $U_{\text{дв.н}}$, В	230/400
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{дв.н}}$, об/хв	1410
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,72
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$, %	73,5
Клас енергоефективності	IE3
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{пуск}}$	2,4
Кратність критичного моменту $\lambda_{\text{к}}$	2,4
Номінальний струм статора $I_{\text{дв.н}}$, А	1,19/0,682
Пусковий струм $I_{\text{дв.пуск}}$, А	5,69/3,27
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{I.пуск}}$	4,8
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,00093
Клас ізоляції	F
Сервіс фактор	1
Режим роботи	S1
Температура навколишнього середовища	-20...+40°C
Висота над рівнем моря, м	1000
Ступінь захисту	IP55
Монтажне виконання	B35
Рівень шуму, дБ	43
Вага, кг	8

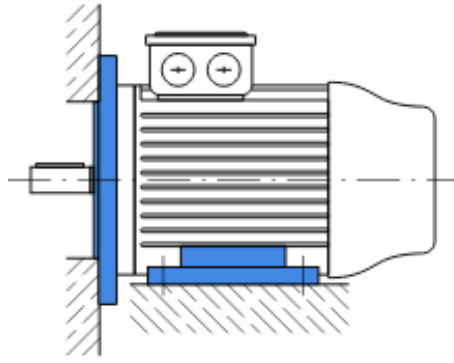


Рисунок 2.3 – Монтажне виконання двигуна типу В35

Синхронна кутова швидкість приводного двигуна [5]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.22)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання [5]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.23)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot 1410}{60} = 147,65 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [5]:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.24)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{250}{147,65} = 1,69 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Китичний момент приводного двигуна [5]:

$$M_{\text{дв.к}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{к}}, \quad (2.25)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 1,69 \cdot 2,4 = 4,06 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [5]:

$$M_{\text{дв.п}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.26)$$

$$M_{\text{дв.п}} = 1,69 \cdot 2,4 = 4,06 \text{ (Н·м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [5]:

$$I_{\text{дв.п}} = I_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.27)$$

$$I_{\text{дв.п}} = 30,2 \cdot 7,1 = 214,42 \text{ (А)}.$$

Номінальне ковзання [5]:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (2.28)$$

$$s_{\text{н}} = \frac{157,08 - 147,65}{157,08} = 0,06.$$

Критичне ковзання [5]:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda_{\text{к}} + \sqrt{\lambda_{\text{к}}^2 - 1}), \quad (2.29)$$

$$s_{\text{к}} = 0,06 \cdot (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,275.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.30)$$

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230,9 \text{ (В)}.$$

Для побудови природної механічної характеристики приводного двигуна скористатись формулами Клоса та Чекунова.

Механічна характеристика згідно формули Клоса [5]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.31)$$

де a – розрахунковий коефіцієнт [5]:

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.32)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R'_2 – приведений активний опір обмотки ротора, Ом.

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності [5]:

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{дв.н}}, \quad (2.33)$$

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot 250 = 12,5 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора [5]:

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{дв.мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{н}}}{s_{\text{н}}}}, \quad (2.34)$$

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{250 + 12,5}{0,682^2 \cdot \frac{1 - 0,06}{0,06}} = 12,008 \text{ (Ом)}.$$

Розрахунковий активний опір статора [5]:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ф.н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C^2 \cdot R'_2 - \frac{P_{\text{дв.мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (2.35)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт ($C = 1,018$),

$$R_1 = \frac{230,9 \cdot 0,72 \cdot (1 - 0,735)}{0,682} - 1,036^2 \cdot 12,008 - \frac{12,5}{3 \cdot 0,682^2} = 42,763 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно до формули (2.32):

$$a = \frac{42,673}{12,008} = 3,56.$$

Вираз механічної характеристика згідно формули Клоса (2.31):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 4,06 \cdot (1 + 3,56 \cdot 0,275)}{\frac{s}{0,275} + 2 \cdot 3,56 \cdot 0,275 + \frac{0,275}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [5]:

$$M(s) = M_K \cdot \frac{2 + (s^2 - s_K^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (2.36)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт [5],

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{\text{пуск}}}{\lambda_K} \cdot \left(\frac{1}{s_K} + s_K \right) - 2}{1 - s_K^2}, \quad (2.37)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,4}{2,4} \cdot \left(\frac{1}{0,275} + 0,275 \right) - 2}{1 - 0,275^2} = 2,069.$$

Згідно формули (2.36):

$$M(s) = 4,06 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,275^2) \cdot 2,069}{\frac{s}{0,275} + \frac{0,275}{s}}.$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [5]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.38)$$

На рисунку 2.4 зображено природні механічні характеристики приводного двигуна побудовані за формулами Клоса (1) та Чекунова (2).

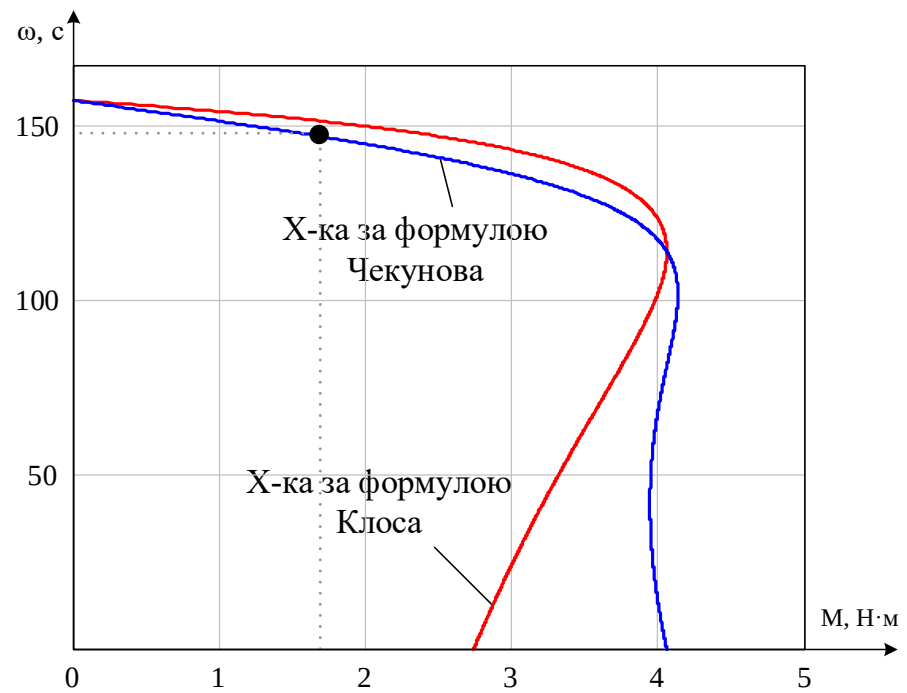


Рисунок 2.4 – Розрахункова природна механічна характеристика приводного двигуна згідно формули Чекунова

На рисунку 2.5 наведено природні електромеханічну та механічну характеристики приводного двигуна (у відносних одиницях) згідно даних заводу виробника [14].

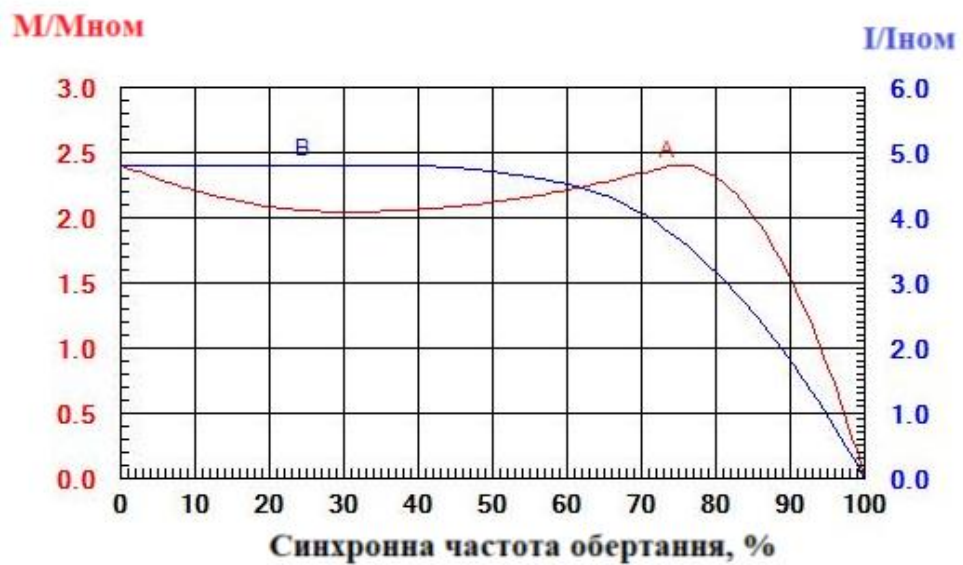


Рисунок 2.5 – Характеристики двигуна WEG22 71

Оскільки характеристики заводу виробника наведено у відносних одиницях, то представимо розрахункові характеристики також у відносних одиницях. Обмежимося лише характеристикою згідно формули Чекунова, оскільки вона більш точно відображає характеристики приводного двигуна. Суміщені відповідні графіки наведені на рисунку 2.6.

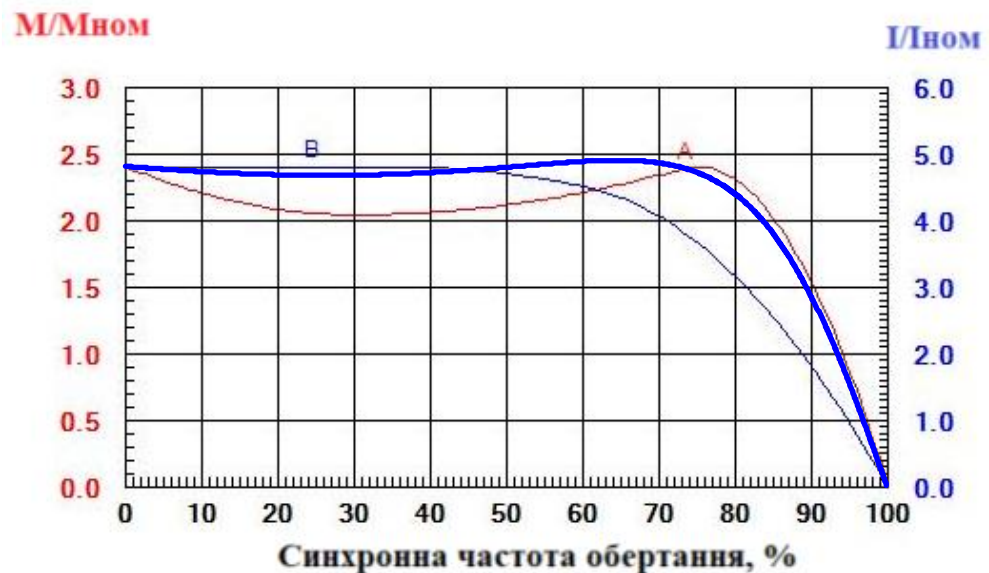


Рисунок 2.6 – Суміщені характеристики приводного двигуна WEG22 71 (у відносних одиницях)

2.5 Вибір силового перетворювача

Вибір перетворювача частоти виконують згідно з умовами [11]:

$$\begin{cases} P_{ПЧ} \geq P_{дв.сп}, \\ I_{ПЧ} \geq I_{дв.н}, \end{cases} \quad (2.39)$$

де $P_{дв.сп}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі, кВт;

$I_{дв.ном}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність при його роботі в усталеному номінальному режимі [11]:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.40)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$),

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1,05 \cdot 0,25}{0,735} = 0,36 \text{ (кВт)}.$$

Необхідна робоча потужність перетворювача частоти при пуску [11]:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (2.41)$$

де $P_{\text{дв.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{ПЧ}}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{ПЧ}} = 1,2 \dots 1,7$).

Пускова потужність приводного двигуна [11]:

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n_{\text{дв.роз}}}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}}} \cdot 1,5 \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (2.42)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{1 \cdot 1385}{9550 \cdot 0,735} \cdot 1,5 \cdot 1,69 = 0,38 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до виразу (2.41):

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{0,38}{1,5} = 0,26 \text{ (кВт)}.$$

Отже, умови вибору перетворювача частоти, згідно (2.39), матимуть вигляд:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq 0,36 \text{ (кВт)}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq 0,682 \text{ (А)}. \end{cases}$$

Таким чином для живлення приводного двигуна стрічкового транспортера виберемо промисловий перетворювач частоти ATV310H037N4E фірми Schneider Electric (рисунок 2.7).



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд о перетворювача частоти
ATV310H037N4E фірми Schneider Electric

Технічні характеристики вибраного перетворювача частоти наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5– Технічні характеристики перетворювача частоти [8, 15]

Характеристики	Значення
Бренд	Schneider Electric
Серія	Easy Altivar 310
sku	ATV310H037N4E
Номінальна напруга живлення	380...460 В (-15...10)%
Частота мережі	50...60 Гц
Потужність двигуна	0,37 кВт
Лінійний струм	2.1 А при 380 В

Продовження таблиці 2.5

Характеристики	Значення
Максимальний струм в усталеному режимі	1,5 А
Максимальний струм в перехідному режимі	2,3 А впродовж 60 с
Вихідна частота приводу	0...400 Гц
Короткочасне перевищення моменту	170-200% від номінального моменту двигуна
Гальмівний момент	до 70% номінального моменту двигуна без гальмівного резистора
Електромагнітний фільтр	без фільтра
Скалярний режим керування	є
Векторний режим керування без енкодера	є
Лінійний закон керування U / f	є
Кількість дискретних входів	4
Кількість дискретних виходів	2
Кількість аналогових входів	1
Тип аналогових входів	AI1 напруга: 0...10 В DC; AI1 напруга: 0...5 В DC; AI1 струм: 0-20 мА
Кількість аналогових виходів	1
Тип аналогових виходів	програмно-конфігурований струм AQ1: 0...20 мА; програмно-конфігурована напруга AQ1: 0...10 В DC
Число релейних виходів	2
Протокол обміну даними	Modbus
Ступінь захисту	IP 20

Рекомендована схема підключення згідно технічної документації ПЧ ATV310H037N4E [15] зображена на рисунку 2.6.

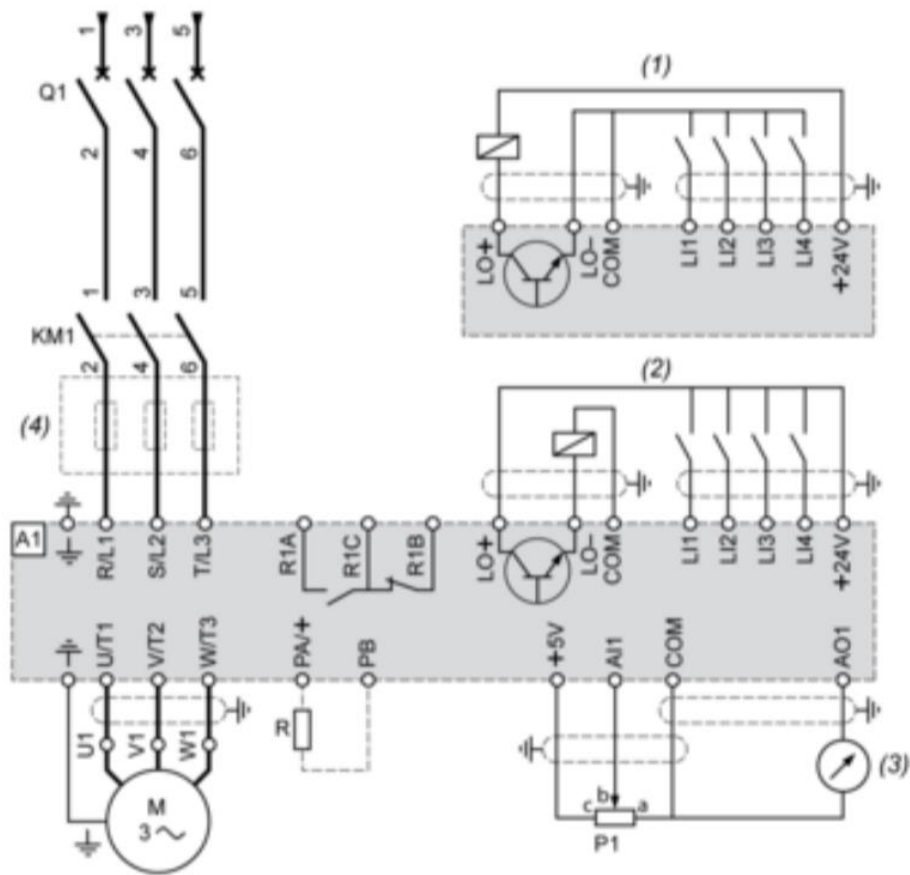


Рисунок 2.6 – Схема підключення ATV310H037N4E:

- 1) позитивна логіка;
- 2) негативна логіка;
- 3) 0..10 В або 0...20 мА;
- 4) лінійний дросель (опція)

2.6 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода стрічкового транспортера

Оскільки точність підтримання швидкості транспортування є не критичним показником, то достатнім є використання лише одного контуру зворотного зв'язку – за струмом (моментом). Структурна схема такого електропривода зображена на рисунку 2.7.

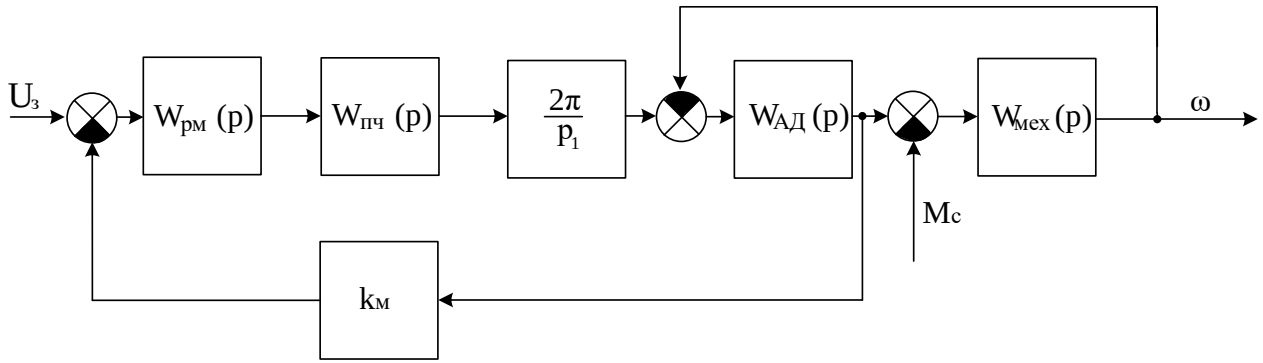


Рисунок 2.7 – Структурна схема ЕП типу ПЧ-АД з одним контуром ЗЗ

Модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}}}{\omega_0 \cdot s_k}, \quad (2.43)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 4,06}{157,08 \cdot 0,275} = 0,19.$$

Електромагнітна стала часу АД:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k}, \quad (2.44)$$

$$T_e = \frac{1}{157,08 \cdot 0,275} = 0,0232 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція лінеаризованої моделі АД:

$$W_{\text{ад}}(p) = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1}, \quad (2.45)$$

$$W_{\text{ад}}(p) = \frac{0,19}{0,0232 \cdot p + 1}.$$

Передаточна функція механічної частини АД:

$$W_{\text{мех}}(p) = \frac{1}{J_{\text{пр}} \cdot p}, \quad (2.46)$$

де $J_{\text{пр}}$ – приведенне значення моменту інерції привода ($J_{\text{пр}} \approx 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$),

$$W_{\text{мех}}(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p}.$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$K_{\text{пч}} = \frac{f_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}, \quad (2.47)$$

де f_{max} – максимальна частота ($f_{\text{max}} = 50 \text{ Гц}$);

U_{max} – максимальна напруга за датчика інтенсивності ($U_{\text{max}} = 10 \text{ В}$),

$$K_{\text{пч}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (2.48)$$

де $T_{\text{пч}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{пч}} = 0,005 \text{ с}$),

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{5}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом:

$$k_{\text{зз м}} = \frac{U_{\text{max}}}{M_{\text{max}}}, \quad (2.49)$$

де M_{max} – максимальний момент двигуна,

$$k_{\text{зз м}} = \frac{10}{4,06} = 2,4655.$$

Зведемо контур моменту до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 2.8).

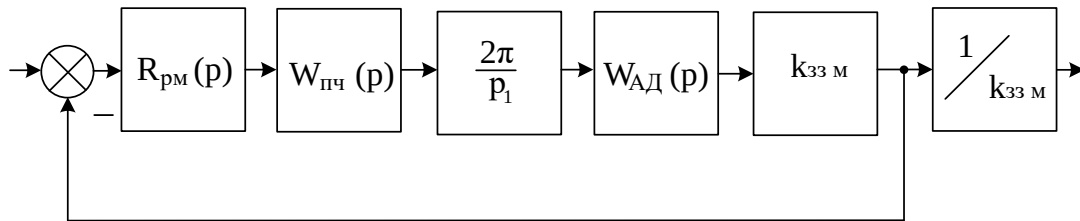


Рисунок 2.8 – Структурна схема контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція об'єкта регулювання контура моменту:

$$W_M(p) = W_{пч}(p) \cdot \frac{2\pi}{p_1} \cdot W_{АД}(p) \cdot k_{зз м}, \quad (2.50)$$

$$W_M(p) = \frac{7,275}{(0,0232 \cdot p + 1) \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Загальна передаточна функція контура моменту:

$$G_M(p) = R_{pm}(p) \cdot W_M(p), \quad (2.51)$$

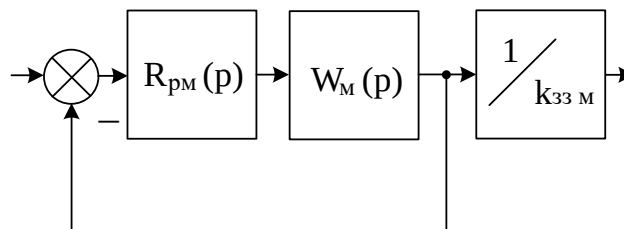


Рисунок 2.9 – Структурна схема контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Згідно модульного критерію оптимізації:

$$G_M(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0M} \cdot p \cdot (T_{0M} \cdot p + 1)}, \quad (2.52)$$

де T_{0M} – мала некомпенсована стала часу контуру моменту (приймаємо сталу часу перетворювача частоти $T_{0M} = T_{пч} = 0,005$ с, оскільки вона є найменшою),

$$G_M(p) = \frac{1}{0,1 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора моменту:

$$R_{pM}(p) = \frac{G_M(p)}{W_M(p)}, \quad (2.53)$$

$$R_{pM}(p) = \frac{13,74}{p} + 0,3189.$$

Як впливає з отриманої передаточної функції, в якості регулятора моменту буде ПІ-регулятор.

2.7 Моделювання перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера

Моделювання роботи електропривода стрічкового транспортера виконаємо в Simulink MATLAB. На рисунку 2.10 зображена відповідна модель такого ЕП відповідно до структурної схеми, яка наведена на рисунку 2.7.

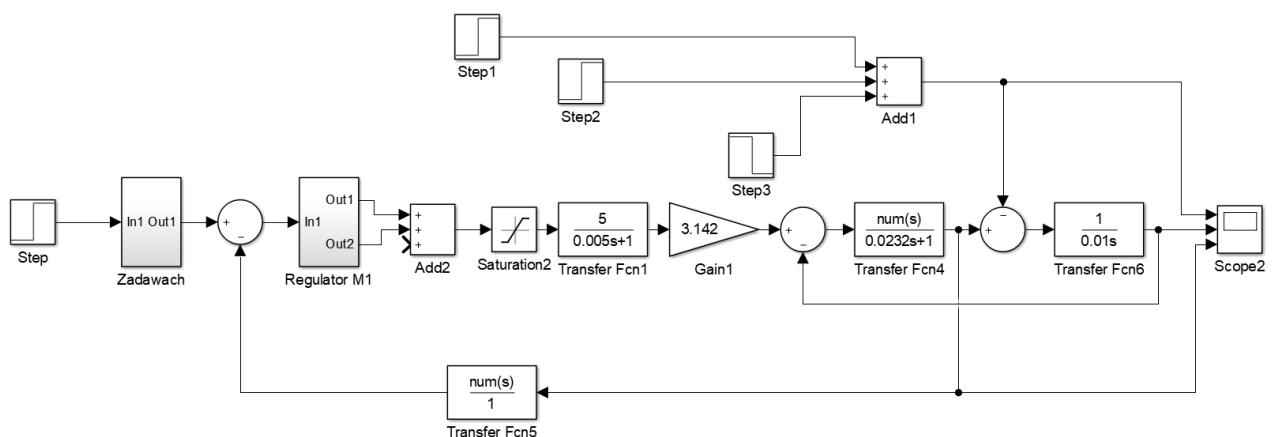


Рисунок 2.11 – Модель ПЧ-АД в Simulink

На рисунку 2.12 представлено графіки перехідних процесів при пуску транспортера без вантажу, коли коробка лише рухається в напрямку до транспортера і в подальшому потрапляє на транспортер (рисунки 2.13).

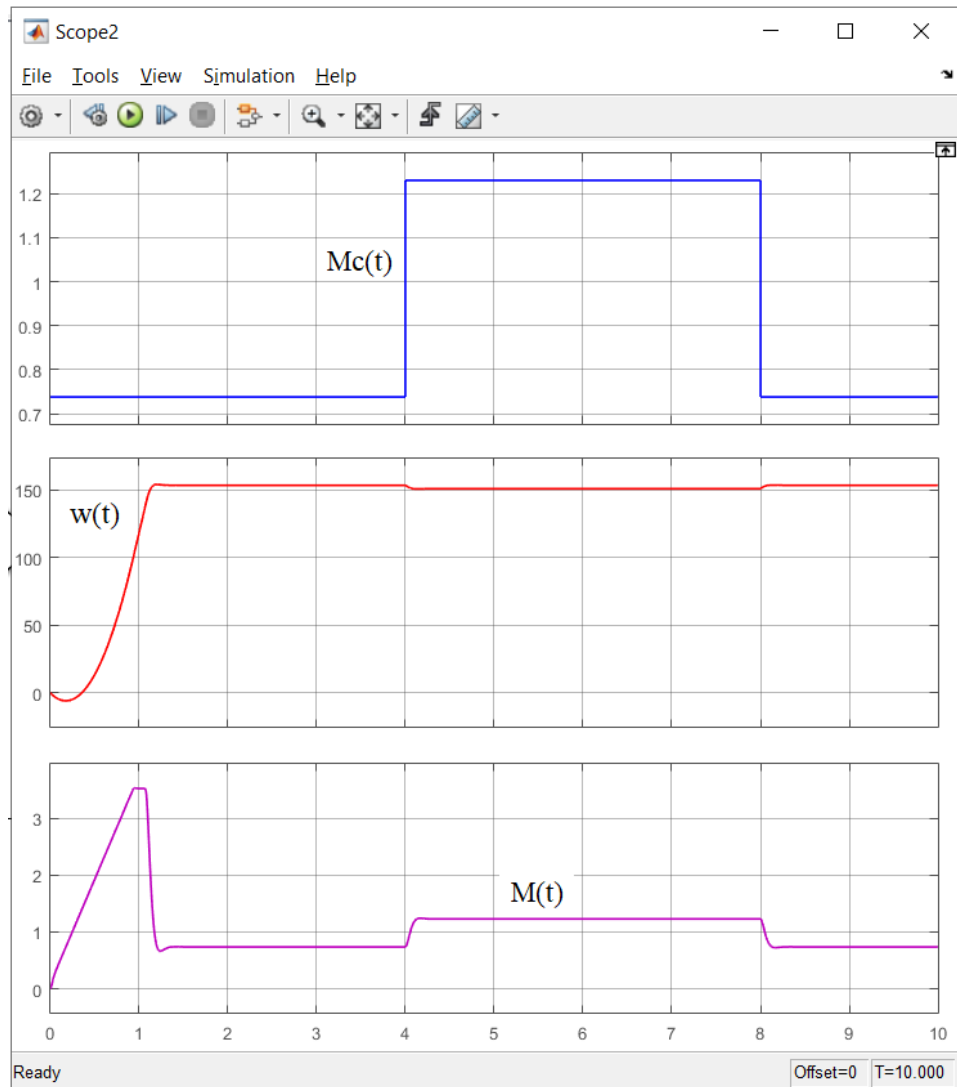


Рисунок 2.12 – Результати моделювання (при пуску на холостому ході)



Рисунок 2.13 – Рух коробки в напрямку до транспортера T2

На рисунку 2.14 представлено графіки перехідних процесів при пуску транспортера під навантаженням (після зважування).

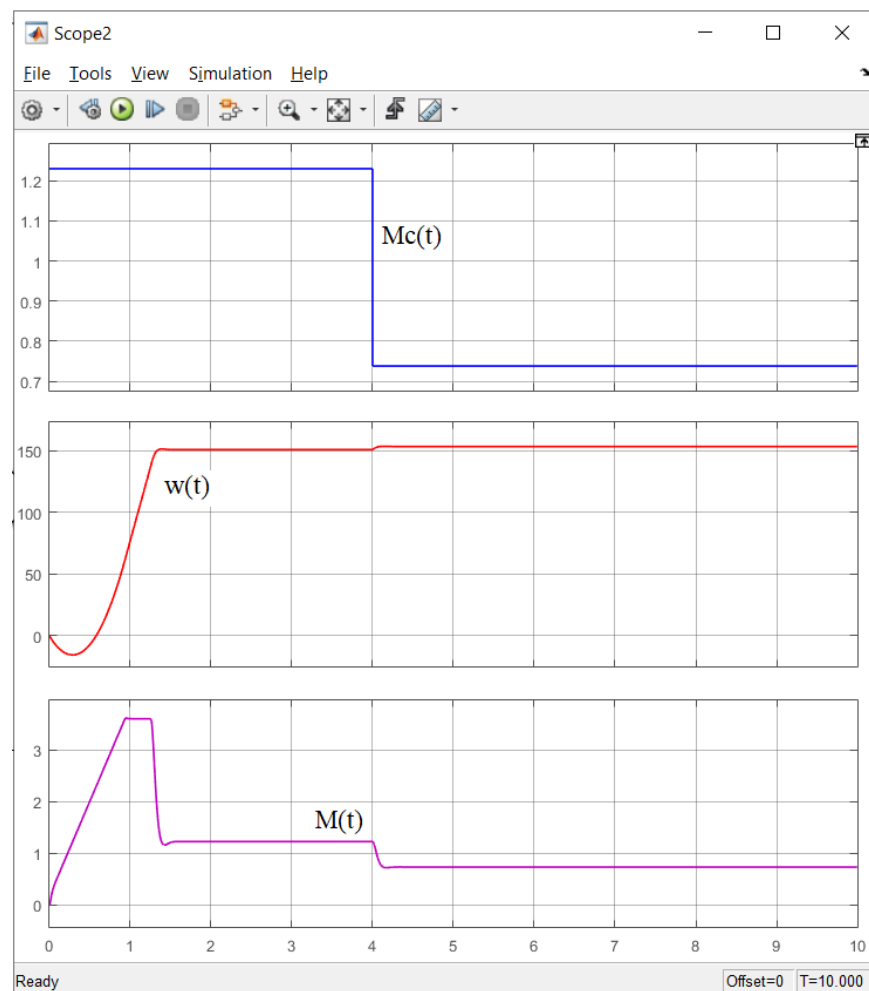


Рисунок 2.14 – Результати моделювання (при пуску під навантаженням)

Висновок: Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування для привода стрічкового транспортера Т2 сортувального відділення молокозаводу найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД на базі перетворювача частоти ATV310, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 9656,98 грн/рік.

На основі результатів проведених розрахунків для привода стрічкового транспортера вибрати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу WEG22 71 потужністю 0,25 кВт.

Для живлення приводного двигуна вибрано перетворювач частоти ATV310H037N4E фірми Schneider Electric потужністю 0,37 кВт.

Розраховано параметри регулятора моменту частотно-регульованого електропривода, проведено моделювання даного електропривода в Matlab та отримано відповідні графіки перехідних процесів швидкості та моменту при пуску на холостому ході та під навантаженням. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ

3.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Функціональна схема системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення в умовах молокозаводу зображена на рисунку 3.1.

Логіка керування повинна бути організована так:

1) запакована коробка з продукцією подається на транспортер T1, який її транспортує до транспортера з функцією зважування T2;

2) як тільки коробка потрапляє в зону дії сенсора положення GS1 відбувається пуск транспортера T2;

3) коробка потрапляє на транспортер T2 і як тільки вона опиняється в зоні дії сенсора положення GS2 транспортер T2 зупиняється (на декілька секунд), коробка при цьому буде знаходитися на столі зважування, відбувається зважування коробки;

4) після зважування транспортер T2 транспортує коробку до транспортера T3 ролики якого завчасно встановлюються у напрямку, який відповідає вазі коробки:

– якщо вага коробки становить 8 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T4 (вліво);

– якщо вага коробки становить 10 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T5 (прямо);

– якщо вага коробки є більшою 15 кг, то його ролики встановлюються в напрямку транспортування до транспортера T6 (вправо);

5) в подальшому вибраний транспортер (відповідно до ваги коробки) транспортує коробку на склад готової продукції;

6) під час транспортування коробки (у вибраному напрямку) вона потрапляє в зону дії відповідного сенсора положення (GS4, GS5 або GS6) відповідно до сигналу якого відбувається підрахунок коробок відповідної ваги та повернення у вихідне положення роликів транспортера T3.

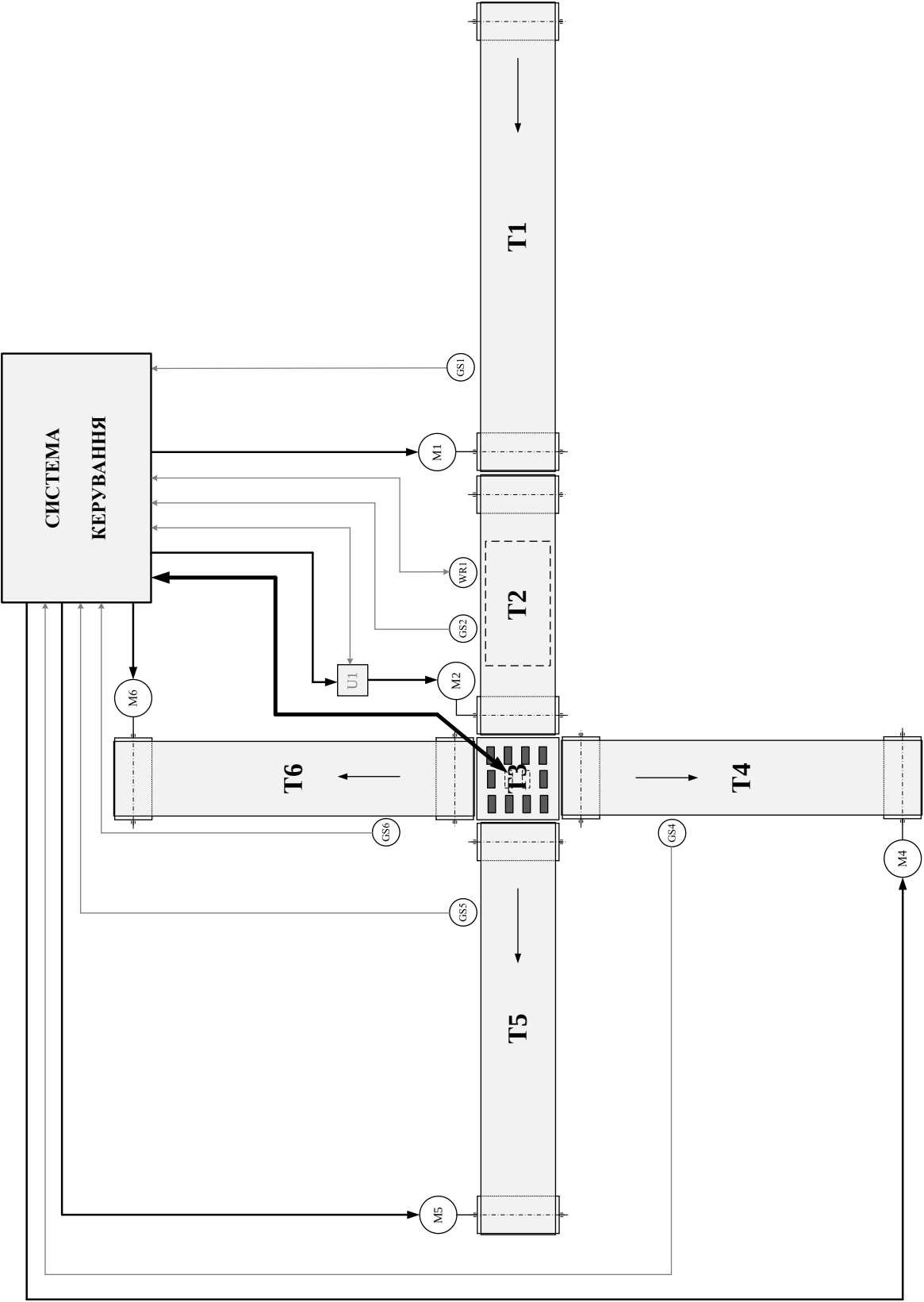


Рисунок 3.1 – Схема функціональна системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення в умовах молокозаводу

3.2 Вибір елементної бази

3.2.1 Вибір керуючого пристрою

Для вирішення задач керування такого рівня складності рекомендується використовувати мікропроцесорні пристрої. Слід зауважити, що в промисловості перевагу надають спеціалізованим мікропроцесорним пристроям – програмованим логічним контролерам (ПЛК або PLC), які характеризуються більш високою надійністю (у порівнянні з універсальними мікропроцесорними пристроями) та більш придатні для вирішення питань автоматизації та привода.

Таким чином в якості керуючого пристрою використаємо типовий ПЛК Siemens серії SIMATIC S7-1200 модель CPU 1214C AC/DC/Rly (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд CPU 1214C AC/DC/Rly

Технічні характеристики вибраного ПЛК наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ПЛК [16]

Характеристика	Дані
Номер для замовлення	6ES7 214-1BG40-0XB0
Модель	CPU 1214C AC/DC/Rly
Вбудована оперативна пам'ять	100 kbyte
Вбудована пам'ять для завантаження	4 Mbyte
Можливість розширення пам'яті для завантаження	SIMATIC Memory Card
Конфігурація апаратного забезпечення (макс. кількість модулів на систему)	3 комунікаційних модуля 1 сигнальний шар 8 сигнальних модулів
Інтерфейс	PROFINET
Фізичні параметри інтерфейсу	1 порт RJ 45 (Ethernet)
Вбудовані входи і виходи	DI14 x 24VDC DQ10 x RELAY (max 2A) 2 AI 0-10V DC
Напруга живлення (допустимий діапазон)	120VAC 230VAC
Допустиме відхилення напруги живлення: - нижня межа: - верхня межа:	85V 264V
Допустимий діапазон частот	47...63Hz
Температура навколишнього середовища при експлуатації	-20...60°C

Схема підключення CPU 1214C AC/DC/Rly наведена на рисунку 3.3.

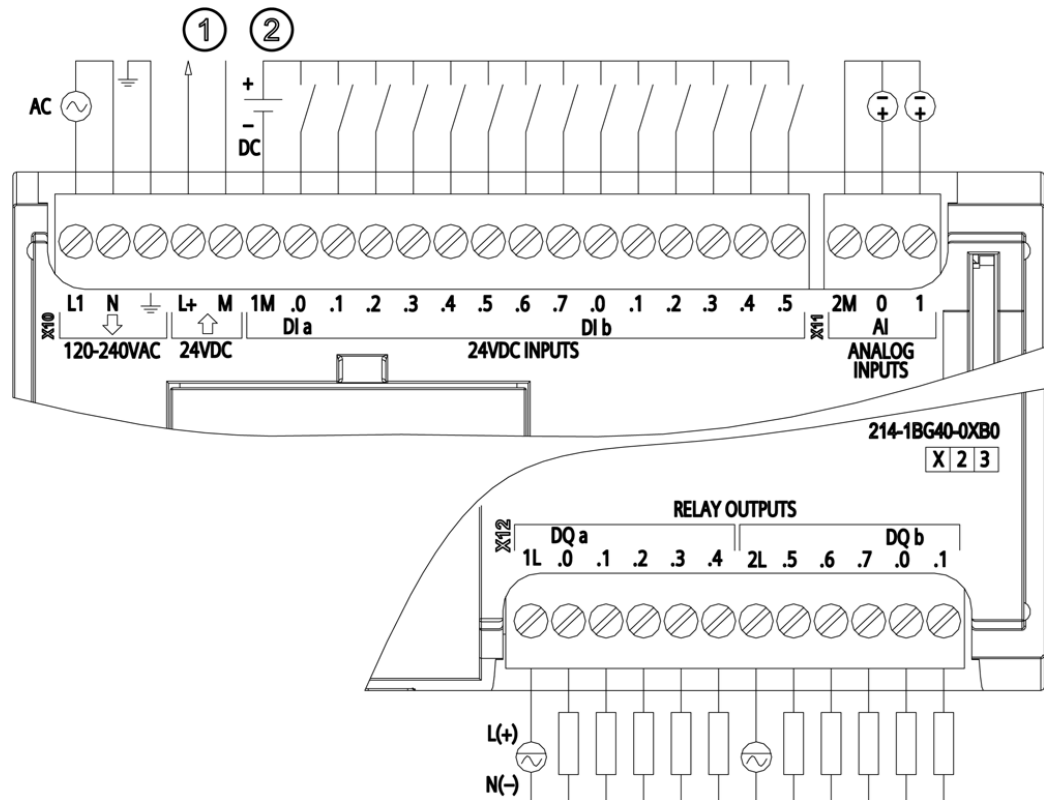


Рисунок 3.3 – Підключення зовнішніх кіл ПЛК S7-1214C DC/DC/DC

3.2.2 Вибір сенсорів положення

Для контролю положення коробок на площині стрічкових транспортерів T1 та T2 використовуватимемо оптичні сенсори. Враховуючи те, що ширина стрічки транспортерів становить 600 мм, а ширина коробки – не менше 300 мм, то достатньо вибрати дифузійні оптичні сенсори, які дозволяють виявляти предмети на відстані до 300 мм.

Принцип роботи дифузійного сенсора полягає наступному: сенсор випромінює світло, яке відбивається від об'єкта і повертається назад до сенсора, який його виявляє і, відповідно, сенсор спрацьовує (рисунок 3.4) [17].

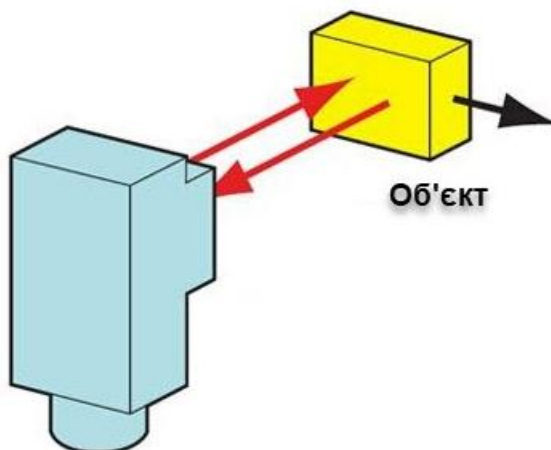


Рисунок 3.4 – Принцип роботи дифузійного сенсора

Так для вказаних задач виберемо фотоелектричні сенсори фірми Delta Electronics типу PS-R (рисунок 3.5).

Технічні характеристики вибраного сенсора наведені в таблиці 3.2.



Рисунок 3.5 – Фотоелектричний сенсор Delta Electronics типу PS-R

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики фотоелектричного сенсора [18]

Характеристика	Дані
Тип	Rectangular Type PS-R
Модель	PS-RR3-PS12
Вихід	PNP
Відстань спрацювання	5 ~ 300 мм
Напруга живлення	12 ~ 24 VDC $\pm$ 10%
Споживана потужність	20mA max
Схема захисту	від зворотного підключення живлення, вихідного перевантаження по струму, стрибків живлення, стрибків на виході
Час відгуку	ON $\rightarrow$ OFF: 0.5ms OFF $\rightarrow$ ON: 0.5ms
Індикатор	Індикатор виходу (помаранчевий). Індикатор стабільної роботи (зелений)
Робоча температура	-25 °C ~ 55°C
Температура зберігання	-25 °C ~ 75°C
Вологість навколишнього середовища	30 ~ 85%
Кліматичне виконання	IP67
Стійкість до вібрації	10~55 Гц, 1,5 мм, 3 осі протягом 2 годин
Під'єднання	Кабель 2м (трипровідний)
Габаритні розміри	1.2 x 21 x 33 мм

Схема підключення фотоелектричного сенсора Delta Electronics типу PS-R з PNP виходом наведена на рисунку 3.6 [18].

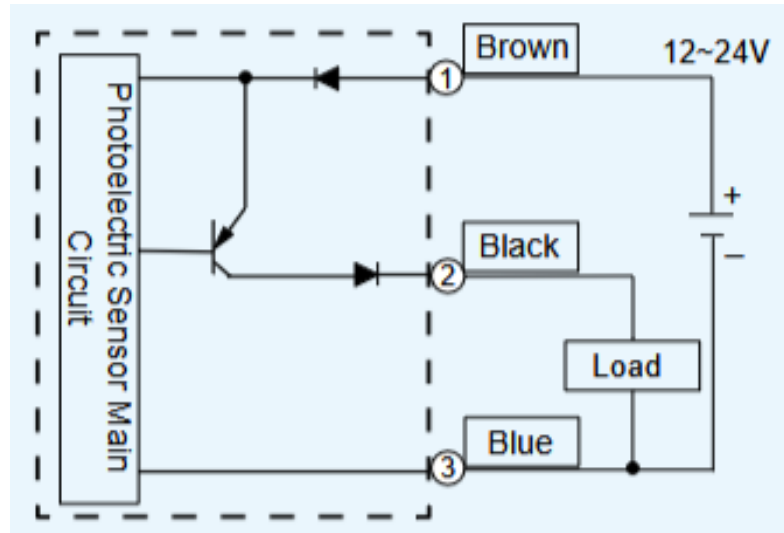


Рисунок 3.6 – Схема підключення фотоелектричного сенсора типу PS-R з PNP виходом

3.3 Розробка принципової схеми

Використовуючи вибрану елементу базу розроблено схему електричну принципову системи автоматизованого керування сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії «Zain Foods».

Окремі фрагменти принципової електричної схеми зображено:

- 1) на рисунку 3.7 – силові електричні кола електроприводів транспортерів лінії T1-T6;
- 2) на рисунку 3.8 – живлення кіл керування;
- 3) на рисунку 3.9 – фрагмент кіл керування.

В повному обсязі схема електрична принципова наведена наведені в додатку Б.

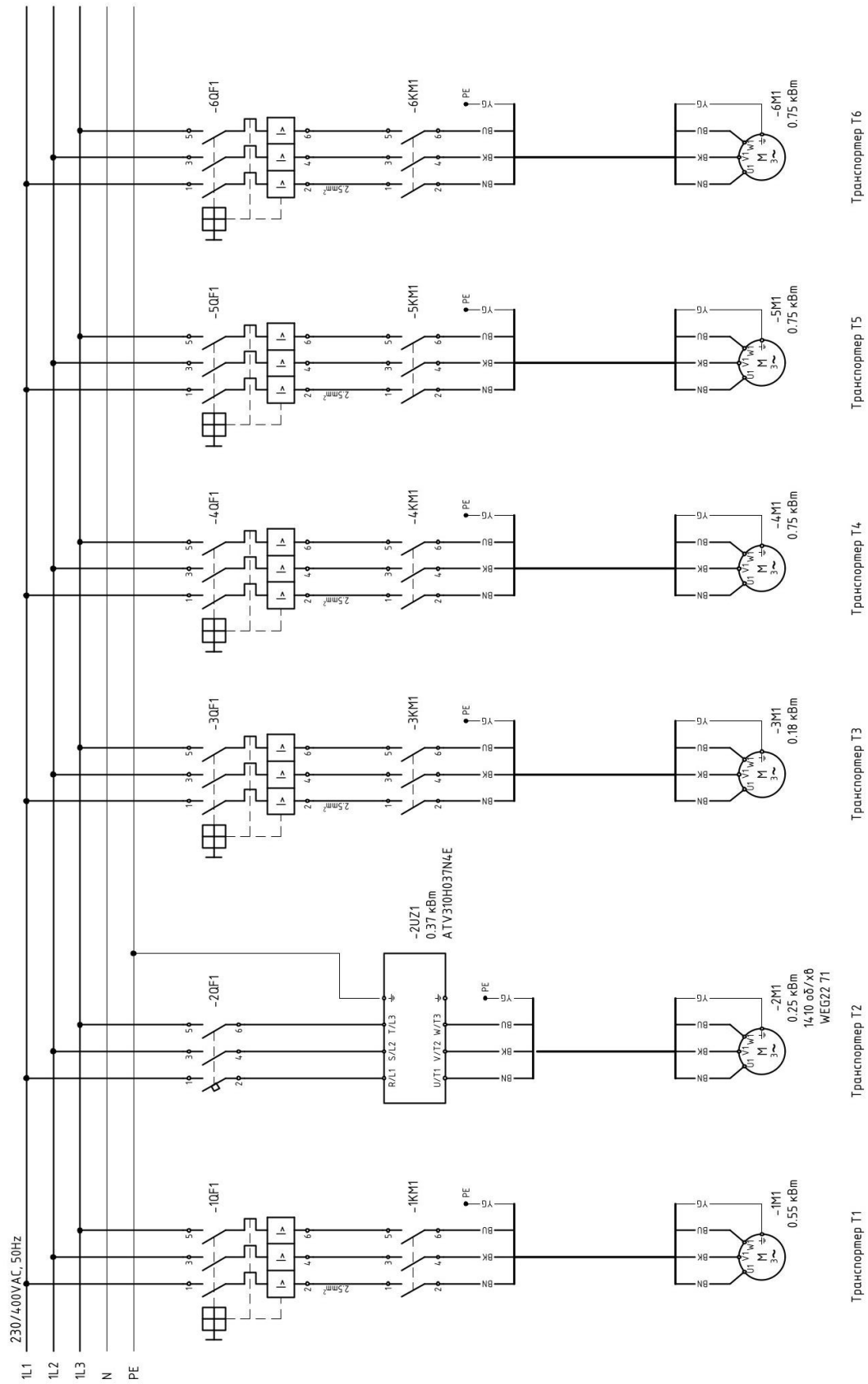


Рисунок 3.7 – Фрагмент силових кіл ЕП транспортерів лінії

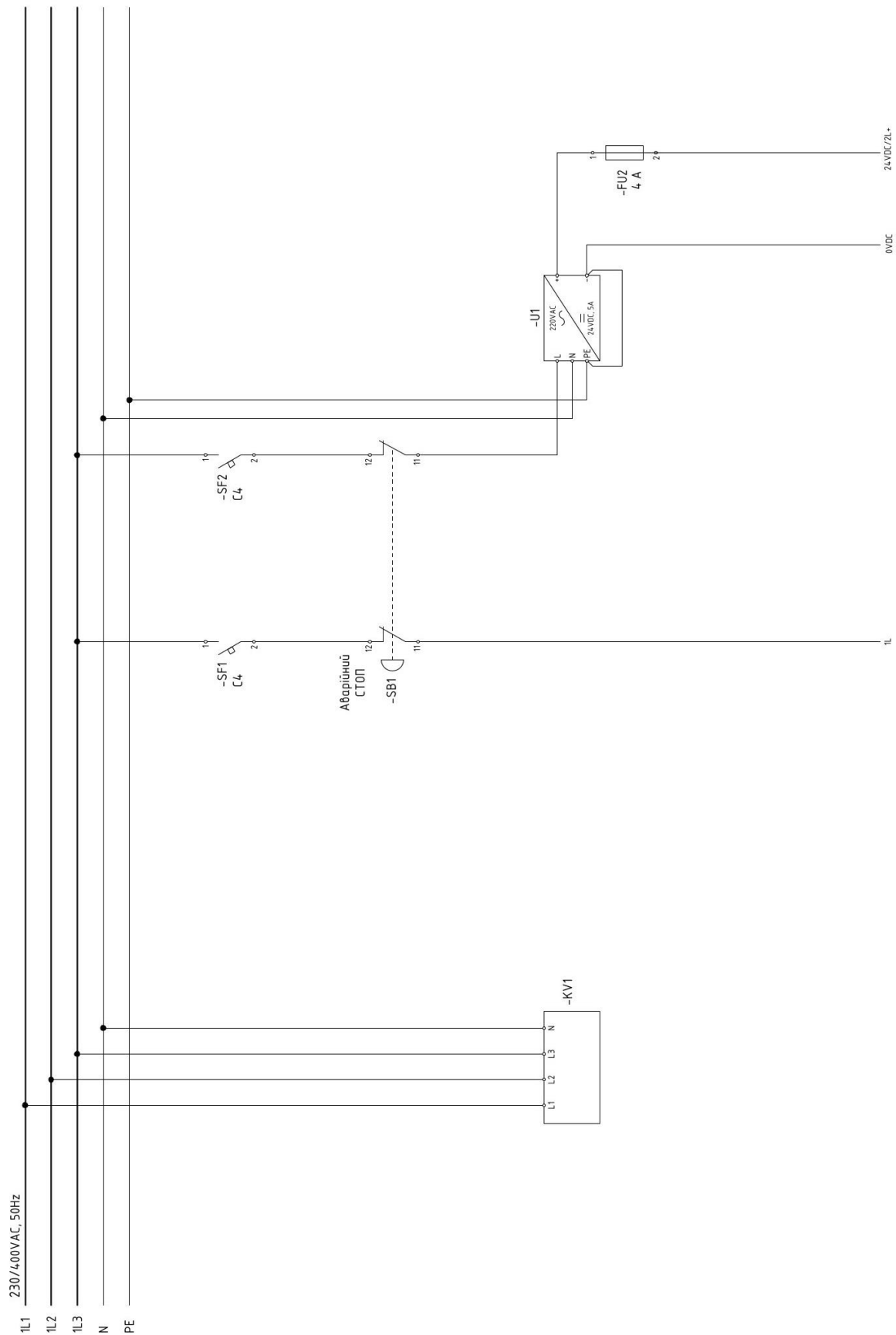


Рисунок 3.8 – :Живлення кіл керування

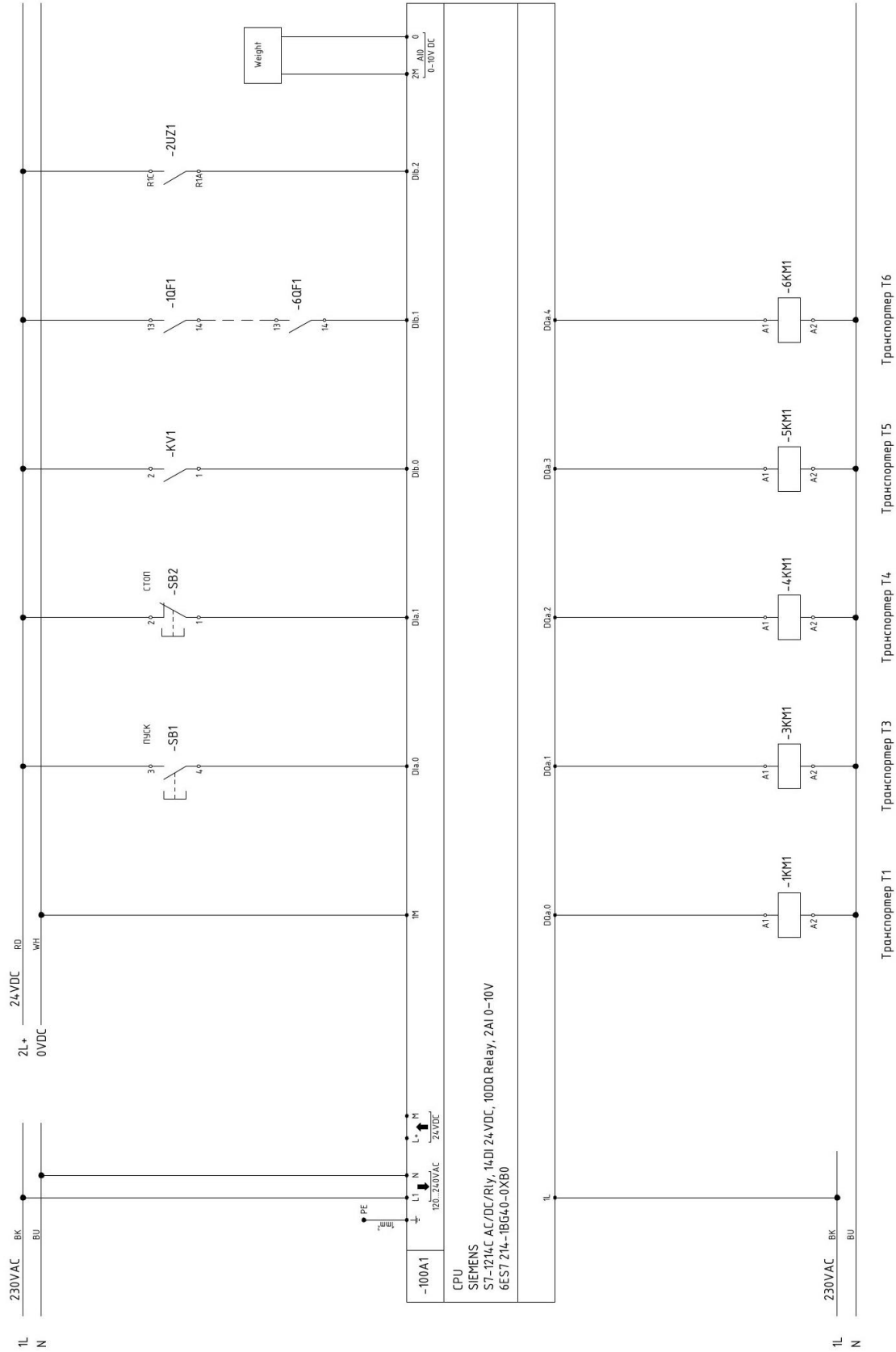


Рисунок 3.9 – Фрагмент кіл керування, підключення ПЛК

3.4 Розробка програми керування

Програмування ПЛК S7-1214C AC/DC/Rly та загальне налаштування проекту здійснимо в середовищі TIA Portal.

На рисунку 3.10 наведено вікно конфігурації пристроїв проекту.

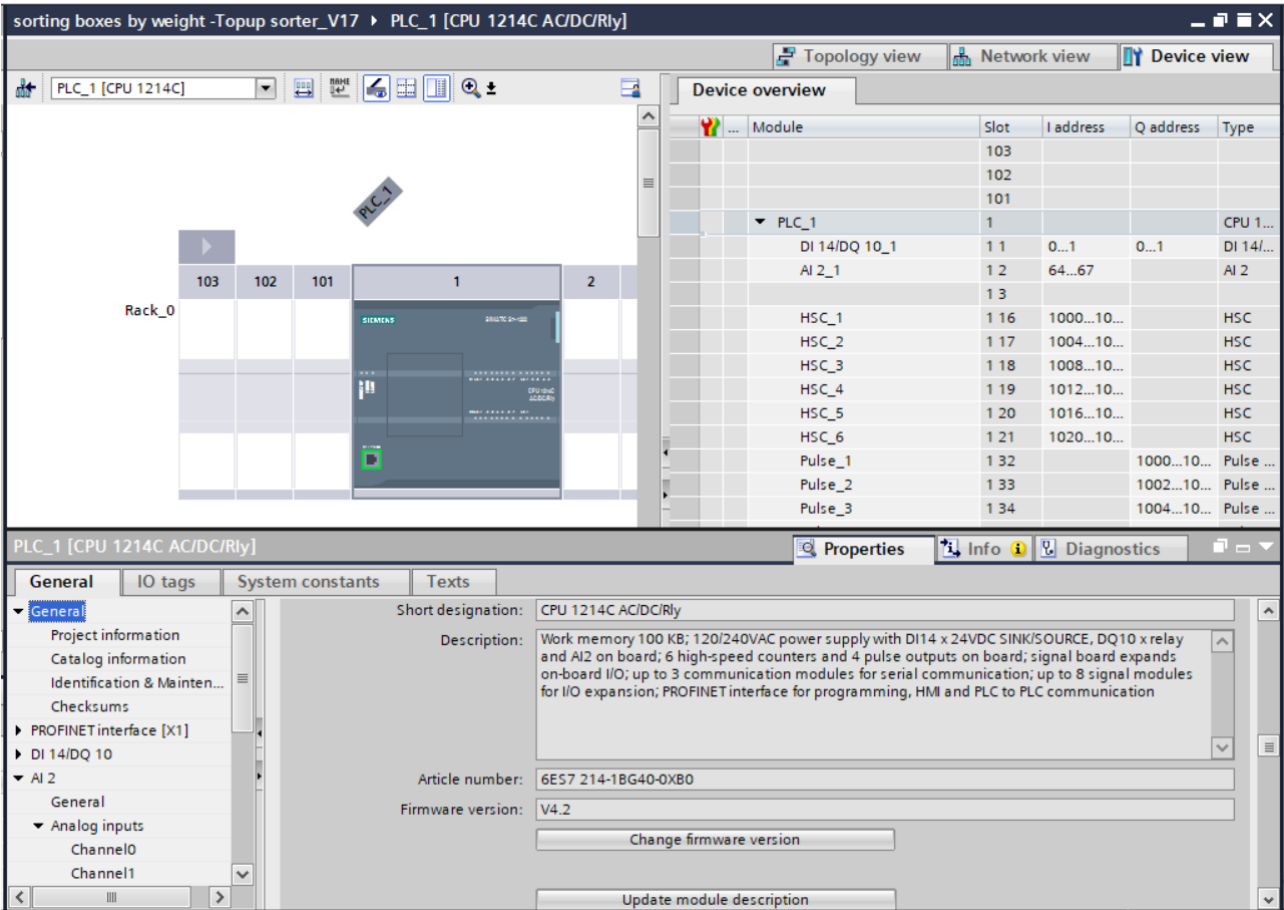


Рисунок 3.10 – Вікно «Device configuration»

На рисунку 3.11 наведено таблицю тегів.

Tags									
User constants									
System constants									
PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	...
1	start pb	Default tag table	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒	
2	stop pb	Default tag table	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒	
3	reset sensor left	Default tag table	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒	
4	reset sensor straight	Default tag table	Bool	%I0.4	☐	☒	☒	☒	
5	reset sensor right	Default tag table	Bool	%I0.5	☐	☒	☒	☒	
6	coveyor scale weight	Default tag table	Real	%ID30	☐	☒	☒	☒	
7	entry belt	Default tag table	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒	
8	conveyor scale out	Default tag table	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒	
9	sort straight	Default tag table	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒	
10	sort left	Default tag table	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒	
11	sort right	Default tag table	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒	
12	left belt	Default tag table	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒	
13	straight belt	Default tag table	Bool	%Q0.6	☐	☒	☒	☒	
14	right belt	Default tag table	Bool	%Q0.7	☐	☒	☒	☒	
15	stop sensor	Default tag table	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒	
16	Tag_1	Default tag table	Bool	%Q2.0	☐	☒	☒	☒	
17	Tag_2	Default tag table	Bool	%Q3.0	☐	☒	☒	☒	
18	Tag_3	Default tag table	Real	%MD0	☐	☒	☒	☒	
19	Tag_4	Default tag table	DWord	%MD2	☐	☒	☒	☒	
20	Tag_5	Default tag table	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒	
21	Tag_6	Default tag table	DWord	%QD30	☐	☒	☒	☒	
22	Tag_7	Default tag table	DWord	%QD34	☐	☒	☒	☒	
23	Tag_8	Default tag table	DWord	%QD38	☐	☒	☒	☒	
24	Tag_9	Default tag table	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒	
25	Counter reset	Default tag table	Bool	%I0.6	☐	☒	☒	☒	
26	<Add new>	v	i		☐	☒	☒	☒	

Рисунок 3.11 – Таблиця тегів проєкту

На рисунку 3.12 наведено фрагмент програми керування, який відповідає за масштабування конвеєра ТЗ залежно від ваги коробки.

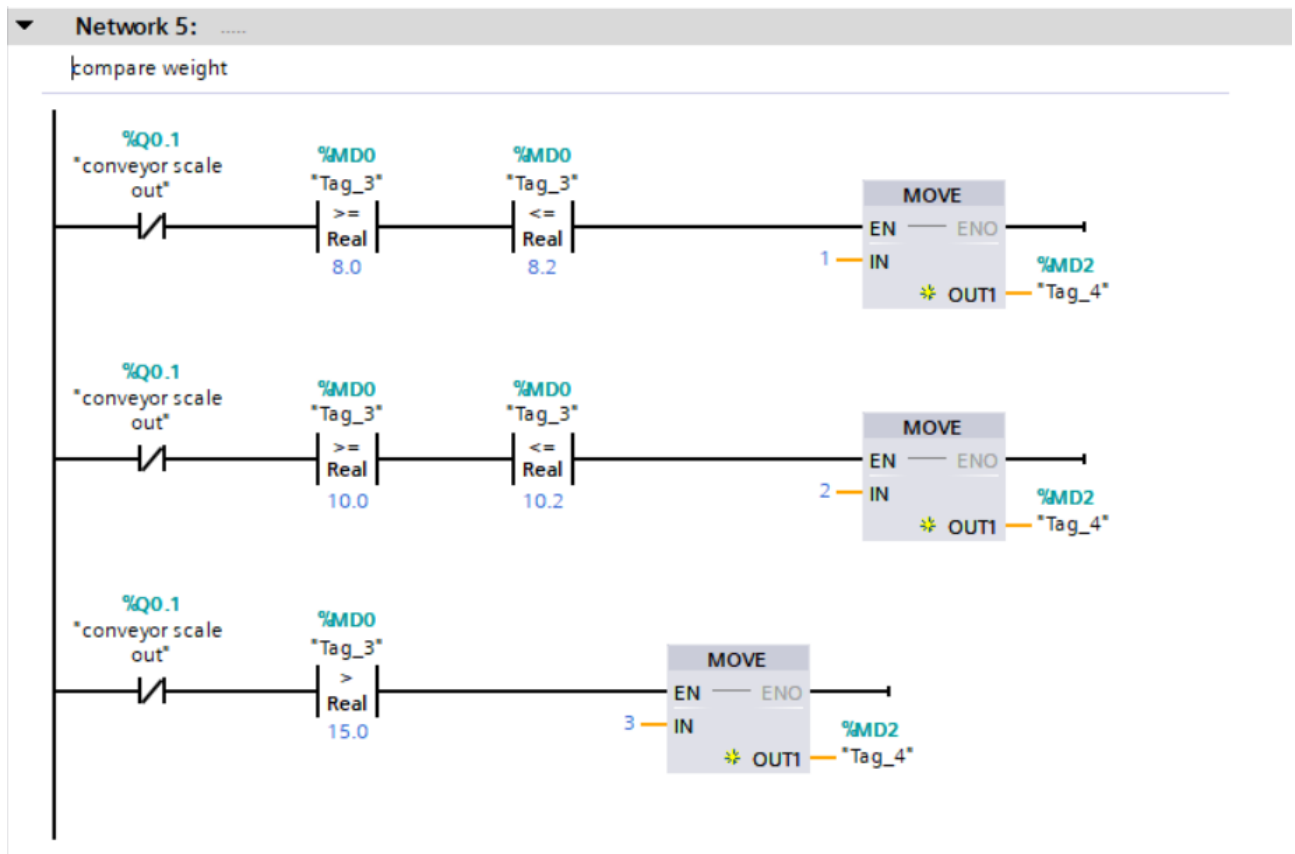


Рисунок 3.12 – Фрагмент програми керування. Масштабування конвеєра ТЗ залежно від ваги коробки

На рисунку 3.13 наведено фрагмент програми керування, який відповідає за транспортування коробок вагою 8 кг.

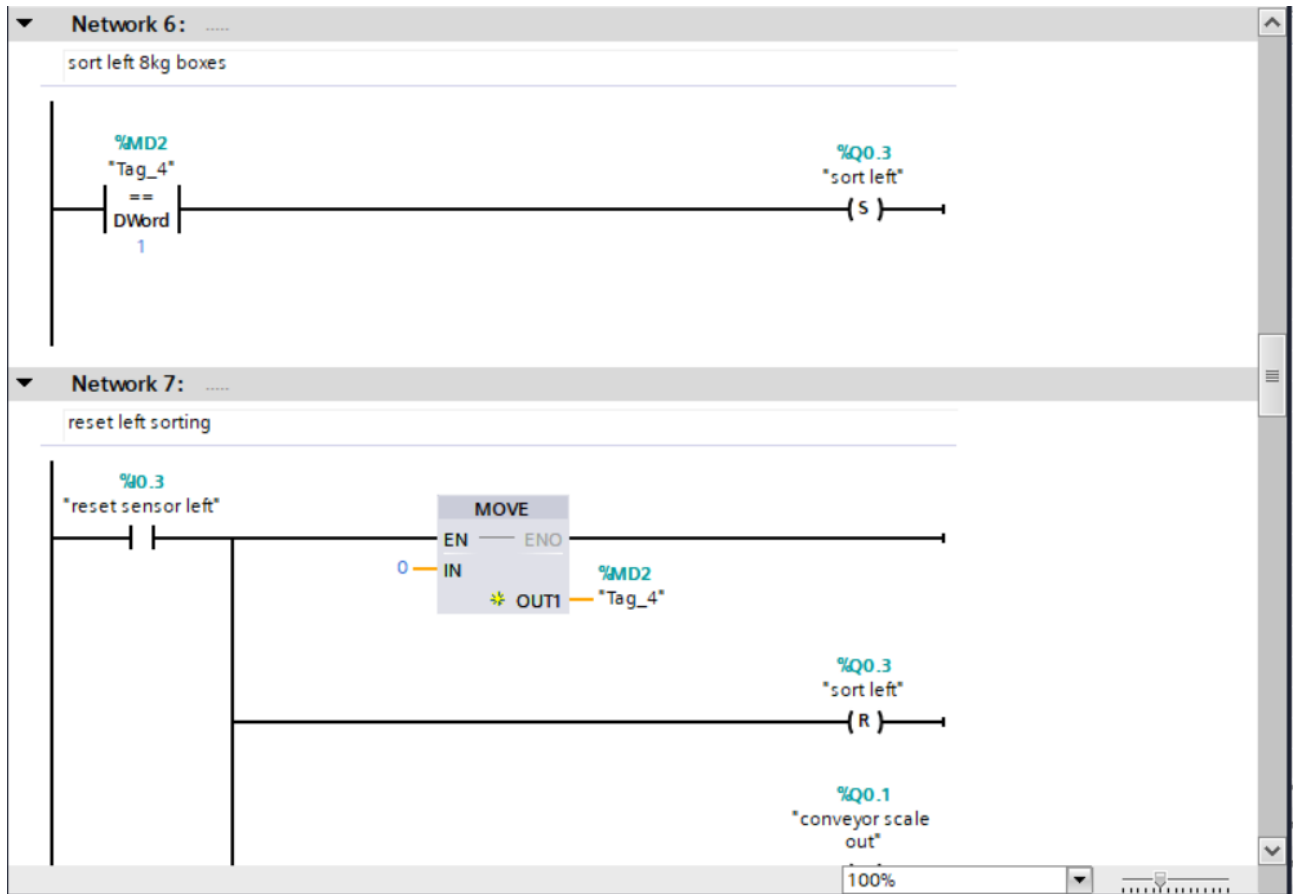


Рисунок 3.13 – Фрагмент програми керування. Транспортування коробок вагою 8 кг

Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання в середовищі Factory I/O, яке являє собою інтерактивну 3D-платформу для створення та моделювання виробничих об'єктів промислової автоматизації.

Для емуляції Factory I/O використовує спеціалізований драйвер, який забезпечує підключення до Siemens S7-PLCSIM [19]. Даний драйвер необхідно який потрібно вставити в основний блок програми в TIA Portal (блок OB1) в Network 1 (рисунок 3.14).

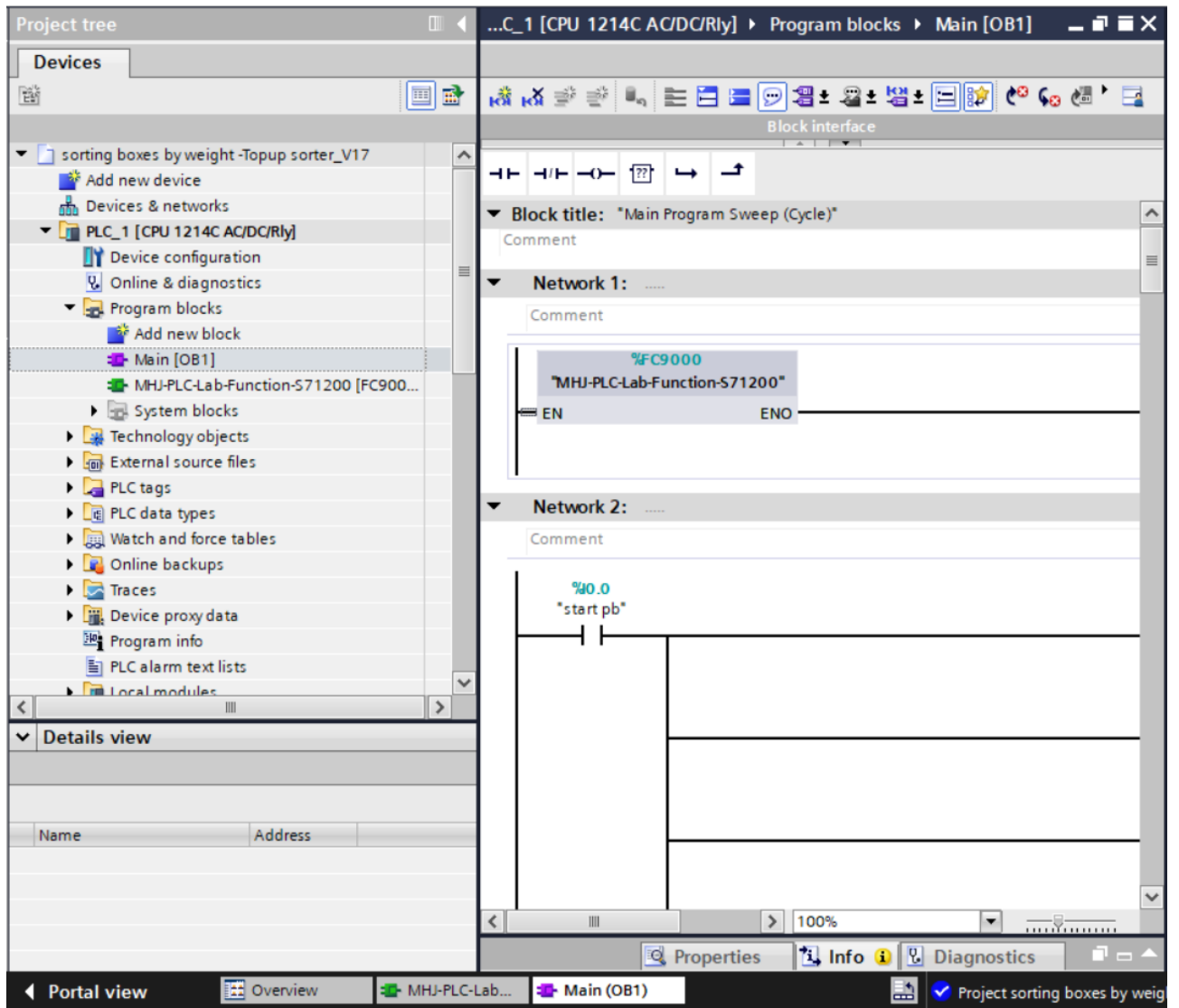


Рисунок 3.14 – Драйвер Factory I/O для підключення до S7-PLCSIM

В подальшому з бібліотеки Factory I/O витягуються необхідні 3D-моделі механізмів та органів керування (рисунок 3.15) та виконується налаштування портів контролера (рисунок 3.16).



Рисунок 3.15 – Модель лінії сортування в середовищі Factory I/O

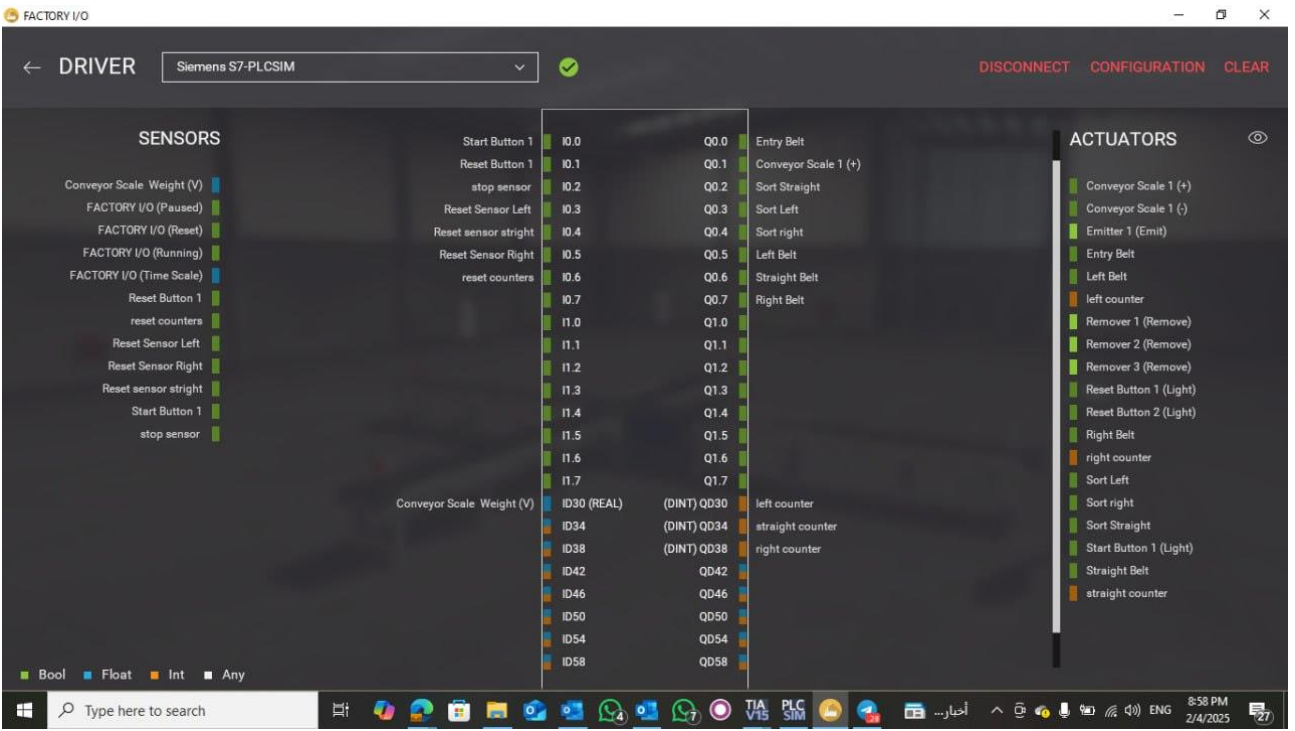


Рисунок 3.16 – Налаштування портів контролера в середовищі Factory I/O

Висновок. Розроблено функціональну схему системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії «Zain Foods». Вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання в середовищі Factory I/O.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В рамках даної магістерської кваліфікаційної роботи розроблено автоматизовану систему керування сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії «Zain Foods».

Оскільки замовник залучає власні кошти для реалізації технічного рішення зі створення автоматизованої системи керування, то розрахуємо сумарні витрати на реалізацію та обслуговування даної системи.

4.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання тощо.

Складемо калькуляцію собівартості готового виробу в промислових умовах.

В таблиці 4.1 приведено розрахунок відповідних капітальних вкладень на реалізацію проєкту.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Приводний двигун WEG22 71 [12]	7810
Перетворювач частоти ATV310H037N4E [8]	9592
Силовa комутаційна та релейна апаратура	15500
Контролер CPU 1214C AC/DC/Rly [16]	22585
Фотоелектричний сенсор PS-RR3-PS12 [20]	$5 \times 1345 = 6725$
Блок живлення NDR-120-24 [21]	1308
Кабельно-провідникова продукція та монтажна оснастка	5200

Продовження таблиці 4.1

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Всього	68720
Витрати на транспортування (10%)	6872
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	6872
Всього капітальні вкладення К, грн	82464

Отже, капітальні вкладення становлять $K = 82464$ грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік [22].

Експлуатаційні витрати C включають [22]:

- 1) амортизаційні відрахування C_a ;
- 2) заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію C_e ;
- 4) витрати на поточний ремонт $C_{пр}$;
- 5) інші витрати $C_{ін}$:

$$C = C_a + C_z + C_e + C_{пр} + C_{ін}, \quad (4.1)$$

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік) [22]:

$$C_a = 0,1 \cdot K. \quad (4.2)$$

$$C_a = 0,1 \cdot 82464 = 8246,4 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці [22].

Таблиця 4.2 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою [22]:

$$C_z = C_{zo} + C_{zd} + C_{zn}, \quad (4.3)$$

де C_{zo} – основна заробітна плата по тарифу, грн/рік;

C_{zd} – додаткова заробітна плата, грн/рік.

C_{zn} – нарахування на заробітну плату, грн/рік.

Основна заробітна плата по тарифу:

$$C_{zo} = N \cdot T_1 \cdot k \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (4.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чел);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 40$ грн/год);

k – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ($k = 2,33$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування пальника зерносушарки (згідно

техніко-економічного обґрунтування $\Phi_{\text{еф}} = 250$ днів·

0,5 год = 125 год/рік);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$),

$$C_{zo} = 1 \cdot 40 \cdot 2,33 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 1 = 11650 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата C_{zd} становить 10% від основної заробітної плати.

$$C_{zd} = 0,1 \cdot C_{zo}, \quad (4.5)$$

$$C_{zd} = 0,1 \cdot 11650 = 1165 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата C_{zo} , грн/рік	11650
Додаткова заробітна плата C_{zd} , грн/рік	1165
Разом основна і додаткова заробітна плата $(C_{zo}+C_{zd})$, грн/рік	12815
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%) C_{zn} , грн/рік	2819,3
Всього нарахування, грн/рік	15634,3

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу згідно (4.3):

$$C_z = 11650 + 1165 + 2819,3 = 15634,3 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на споживану електроенергію [22]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_z \cdot B, \quad (4.6)$$

де P – загальна установлена потужність ($P = 0,5 + 0,25 + 0,18 + 3 \cdot 0,75 = 3,23$ кВт);

η – ККД приводів ($\eta \approx 0,75$);

Φ – дійсний фонд часу роботи електропривода вентилятора пальника за рік (згідно техніко-економічного обґрунтування $\Phi = 5400$ год/рік);

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер п'ятого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 4.4), основну заробітну плату розрахуємо за формулою [22]:

$$C_{з\ по} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{рем}, \quad (4.7)$$

де k – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ($k = 2,33$)

$\Phi_{рем}$ – трудомісткість ремонтних робіт ($\Phi_{рем} = 48$ год/рік,

$$C_{з\ по} = 40 \cdot 2,33 \cdot 48 = 4473,6 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot C_{з\ по}, \quad (4.8)$$

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot 4473,6 = 984,19 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [22]:

$$C_{з\ пр} = C_{з\ по} + C_{з\ пн}, \quad (4.9)$$

$$C_{з\ пр} = 4473,6 + 984,19 = 5457,79 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [22]:

$$C_{м\ пр} = 0,15 \cdot C_{з\ по}, \quad (4.10)$$

$$C_{м\ пр} = 0,15 \cdot 4473,6 = 671,04 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [22]:

$$C_{пр} = C_{з\ пр} + C_{м\ пр}. \quad (4.11)$$

$$C_{пр} = 5457,79 + 671,04 = 6128,83 \text{ (грн/рік)}.$$

4.3 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [22]:

$$C_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (C_a + C_z + C_e + C_{\text{пр}}), \quad (4.12)$$

$$C_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (8246,4 + 15634,3 + 151559,35 + 6128,83) = 9078,44 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати, грн/рік

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування C_a	8246,4
Заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу	15634,3
Витрати на електроенергію C_e	151559,35
Витрати на поточний ремонт $C_{\text{пр}}$	6128,83
Інші витрати $C_{\text{ін}}$	9078,44
Всього експлуатаційні витрати C	190647,33

Висновок. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизовану систему керування сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії «Zain Foods». Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток даної системи не розраховувався, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах, які становлять 190647,33 грн/рік.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розробляються заходи з охорони праці під час експлуатації системи автоматизованого керування сортувального відділення молокозаводу. На електротехнічний технологічний персонал, який здійснює обслуговування електрообладнання даного об'єкта, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [23, 24]:

1) 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).

2) хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

3) 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.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Живлення системи електропостачання та системи освітлення здійснюється від підстанції 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 230/400 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [25, 26], залежить від наявності

факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні

частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

5.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані 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 споживачів струму від трипровідної мережі з глухо-заземленою нейтраллю, при напрузі до 1000 В, використовується захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих нормально не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до таких частин.

Принцип дії захисного заземлення полягає в перетворенні замикання фази на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і нульовим провідниками, з метою одержання великого струму, здатного забезпечити спрацювання максимального струмового захисту. Внаслідок цього електроустановка автоматично вимикається апаратом захисту від струмів короткого замикання. Сила цього струму обумовлюється фазною напругою та повним опором кола короткого замикання (петля фаза – нуль).

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. Електрозахисні засоби поділяються на основні та допоміжні.

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.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;

- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [27]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [26]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [28] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

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

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 освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом [29], який регламентує

рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними 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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. 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 мало шумові вентилятори.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного

апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [30].

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.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, гартувальний барабан, шнеки, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

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.

ВИСНОВКИ

1. Здійснено аналіз процесу транспортування продукції в умовах сортувального відділення молокозаводу компанії «Zain Foods» та розроблено вимоги до системи автоматизованого керування стрічковими транспортерами сортувального відділення.

2. Для стрічкового транспортера T2 виконано розрахунок його електропривода. Згідно результатів проведених розрахунків для привода транспортера достатньо взяти двигун потужністю 0,25 кВт.

Базуючись на результатах техніко-економічного обґрунтування визначено, що для привода стрічкового транспортера T2 найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД на базі перетворювача частоти ATV310, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 9656,98 грн/рік.

В якості приводного вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу WEG22 71 потужністю 0,25 кВт, а для його живлення – перетворювач частоти ATV310H037N4E потужністю 0,37 кВт.

3. Розраховано параметри регулятора моменту частотно-регульованого електропривода, проведено моделювання даного електропривода в Matlab та отримано відповідні графіки перехідних процесів швидкості та моменту при пуску на холостому ході та під навантаженням. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.

4. Розроблено функціональну схему системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення. Вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal.

5. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання в середовищі Factory I/O.

6. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизовану систему керування сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії

«Zain Foods». Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток даної системи не розраховувався, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах, які становлять 190647,33 грн/рік.

7. Розроблено ряд заходів з охорони праці при експлуатації розробленої системи керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zain Middle East Food Industries. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.zain-foods.com/company/>
2. Технологія виробництва йогурту з фруктовими наповнювачами. [Електронний ресурс] – URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/7321/1/16.pdf>
3. Синявський О. Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, Д.Г. Войтюк, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш.; За ред. О.Ю. Синявського. – К. : ФОП Ямчинський О.В. 2020. – 444с.
4. Машини безперервного транспорту /Дережа О.О. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. – 108 с.
5. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 101 с.
6. Синявський О. Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, Д.Г. Войтюк, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш.; За ред. О.Ю. Синявського. – К. : ФОП Ямчинський О.В. 2020. – 444с.
7. Василега П. О. Електропривод робочих машин: підручник / П. О. Василега. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 290 с.
8. Перетворювач частоти ATV310 0,37 кВт 380В 3ф ATV310H037N4E [Електронний ресурс]. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p758636392-preobrazovatel-chastoty-atv310.html>
9. Частотний перетворювач ABB ACS150-03E-01A2-4 [Електронний ресурс]. URL: <https://atmic.ua/uk/chastotnye-preobrazovateli/chastotnii-peretvoryuvach-abb-ac150-03e-01a2-4>

10. Частотний перетворювач LENZE ESMD371L4TXA [Електронний ресурс]. URL: <https://atmic.ua/uk/chastotnye-preobrazovateli/chastotnii-peretvoryuvach-lenze-esmd371l4txa>

11. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

12. Електродвигун WEG W22 71 0,25 кВт 1500 об/хв [Електронний ресурс]. URL: <https://ovk.ua/ua/shop/product/weg-w22-71-025-kvt-1500-ob-min>

13. Електродвигун WEG W22 71 [Електронний ресурс]. URL: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp

14. Характеристики крутного моменту та струму електродвигуна WEG W22 71 [Електронний ресурс]. URL: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_curva_cc_web.asp

15. Перетворювач частоти ATV310 0,37кВт [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV310H037N4E/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv310-037%D0%BA%D0%B2%D1%82-380460%D0%B2-ip20-%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D0%B5%D0%BC%D1%81%D1%84%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D1%83/>

16. 6ES7214-1BG40-0XB0 SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, AC/DC/Relay [Електронний ресурс]. URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p539759213-6es7214-1bg40-0xb0.html>

17. Як вибрати оптичний датчик [Електронний ресурс]. URL: <https://peko.com.ua/statti/how-to-choose-photoelectric-sensor>

18. Delta Smart Sensors [Електронний ресурс]. URL: http://deltaww.com.ua/index.php?route=extension/module/product_downloads/get&id=1395

19. Factory I/O. Siemens S7-PLCSIM [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.factoryio.com/manual/drivers/s7-plcsim/>

20. Delta Electronics. Оптичні датчики, характеристики [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rts.ua/rus/catshop/890/0/28341/delta-electronics/>

21. NDR-120-24 Блок живлення на Din-рейку Mean Well 120Вт, 24В, 5 А [Електронний ресурс]. URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p108199504-ndr-120-blok.html>

22. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / Уклад. Демов О. Д., Мельничук Л. М. – Вінниця : ВНТУ, 2002. – 58 с.

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

24. 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://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

25. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

26. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>

27. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

29. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

30. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>

Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

« 10 » 09 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

АВТОМАТИЗАЦІЯ СОРТУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ
МОЛОКОЗАВОДУ

08-24.МКР.013.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

Сергій БАБІЙ

« 10 » 09 2024 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-23м

П'єр АКЛЬ

« 10 » 09 2024 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Автоматизація сортувального відділення молокозаводу».

Скорочене найменування розробки – «Автоматизація сортувального відділення».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Система автоматизованого керування сортувального відділення молокозаводу забезпечує узгоджене керування стрічковими транспортерами відділення та сортування продукції за її вагою.

4 Вимоги до розробки

Система автоматизованого керування сортувального відділення молокозаводу повинна забезпечувати автоматичний вибір напрямку транспортування продукції відповідно до її ваги.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електроприводів механізмів лінії, сенсорів положення, ваг та системи керування.

6 Джерела розробки

1. Zain Middle East Food Industries. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.zain-foods.com/company/>

7 Технічні характеристики

Характеристики	Значення
Продуктивність	до 36 т/год
Діаметр приводного барабана	200 мм
Діаметр натяжного барабана	200 мм
Довжина транспортера	2 м
Опорні ролики: – кількість – діаметр	10 шт. 30 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	0 град.
Механічна передача	CMRV 110 1/30
Швидкість стрічки	29 м/хв

8 Умови експлуатації

Система автоматизованого керування сортувального відділення молокозаводу повинна забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі роботи в умовах впливу факторів навколишнього середовища, підвищеної вологості та зниженої температури.

9 Елементна база

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

10 Конструктивне виконання

Система керування лінії гартування ільменіту виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Система автоматизованого керування сортувального відділення молокозаводу виконується на сучасній елементній базі, а її монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування 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 повинно бути виконано напругою 400 В від силової мережі підприємства.

14 Порядок контролю та прийняття

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

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРИВНА ЧАСТИНА

АВТОМАТИЗАЦІЯ СОРТУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ
МОЛОКОЗАВОДУ

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є автоматизація сортувального відділення молокозаводу в умовах компанії «Zain Foods» за рахунок використання системи стрічкових транспортерів з автоматичним вибором напрямку транспортування відповідно до ваги продукції.

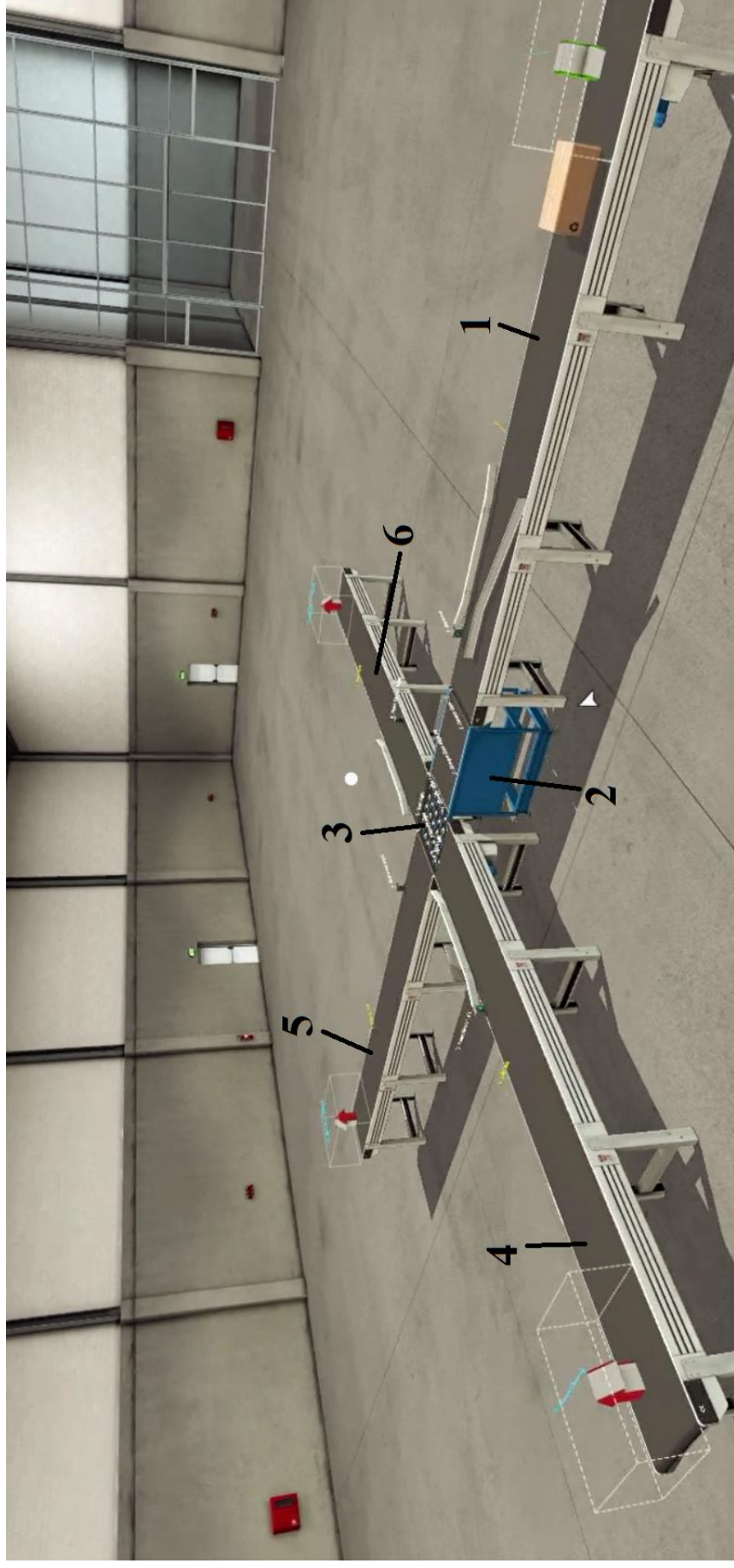
Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Провести перевірочний розрахунок електропривода стрічкового транспортера T2 сортувального відділення.
3. Розробити систему електропривода транспортера T2.
4. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода транспортера T2 шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Розробити систему автоматизованого керування сортувального відділення.
6. Перевірити коректність роботи системи автоматизованого керування сортувального відділення шляхом комп'ютерного моделювання.
7. Провести економічні розрахунки.
8. Розробити ряд заходів з охорони праці.

Об'єкт дослідження – процес транспортування продукції в умовах сортувального відділення молокозаводу.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування транспортерами сортувального відділення молокозаводу.

Опис елементів та процесу роботи сортувального відділення



Модель сортувальної ділянки на підприємстві

- | | |
|---|--|
| 1 – подаючий транспортер (Т1); | 4 – транспортер для коробок вагою 8 кг (Т4); |
| 2 – транспортер з функцією зважування (Т2); | 5 – транспортер для коробок вагою 10 кг (Т5); |
| 3 – транспортер вибору напрямку транспорту. (Т3); | 6 – транспортер для коробок вагою >15 кг (Т6). |

Технічні характеристики стрічкового транспортера



Зовнішній вигляд стрічкового транспортера T2

Електропривод стрічкового транспортера
сортувального відділення повинен забезпечувати:

- плавний пуск та гальмування;
- пуск під навантаженням;
- однозонне регулювання швидкості;
- захист від перевантаження стрічки.

Технічні характеристики стрічкового транспортера T2

Параметри	Значення
Продуктивність	до 36 т/год
Діаметр приводного барабана	200 мм
Діаметр натяжного барабана	200 мм
Довжина транспортера	2 м
Опорні ролики: – кількість – діаметр	10 шт. 30 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	0 град.
Механічна передача	CMRV 110 1/30
Швидкість стрічки	29 м/хв

08-24.МКР.013.00.000 К1

М

МП

1

2

3

4

5

6

7

8

8

В

1 – приводний двигун;
2 – механічна передача;
3 – муфта;
4 – приводний барабан;
5 – натяжний барабан;
6 – стрічка;
7 – ваги;
8 – опорні ролики

08-24.МКР.013.00.000 К1

Автоматизація сортувального відділення
молокозаводу.
Схема кінематична стрічкового транспортера

Літ.МасаМасштаб

Аркуш 1Аркупів 1

гр. ЕПА-23м

Зм. Арк. № докумен. Підпис Дата

Розробив: П'єр Акль

Перевірив: Бабій С.М.

Т. контр.

Норм.кон. Паянок О.А.

Затверд. Мошпорізі М.М.

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода стрічкового транспортера

Показники	Системи електричного привода			
	ТПН-АД	ПЧ1-АД (Schneider Electric)	ПЧ2-АД (ABB)	ПЧ3-АД (LENZE)
Вартість двигуна D , грн	7810	7810	7810	7810
Вартість системи керування СК, грн	8153	9592	10811	15674
Капітальні вкладення K , грн	15963	17402	18621	23484
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	2713,71	2958,34	3165,57	3992,28
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	1596,30	1740,20	1862,10	2348,40
Відрахування на ремонт C_R , грн/рік	319,26	348,04	372,42	469,68
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	4937,58	4291,42	4291,42	4291,42
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	342,66	318,98	326,30	355,47
Загальні відрахування C , грн/рік	7195,79	6698,64	6852,23	7464,97
Приведені витрати Z , грн/рік	9909,50	9656,98	10017,80	11457,25

Вибір елементної бази електропривода стрічкового транспортера

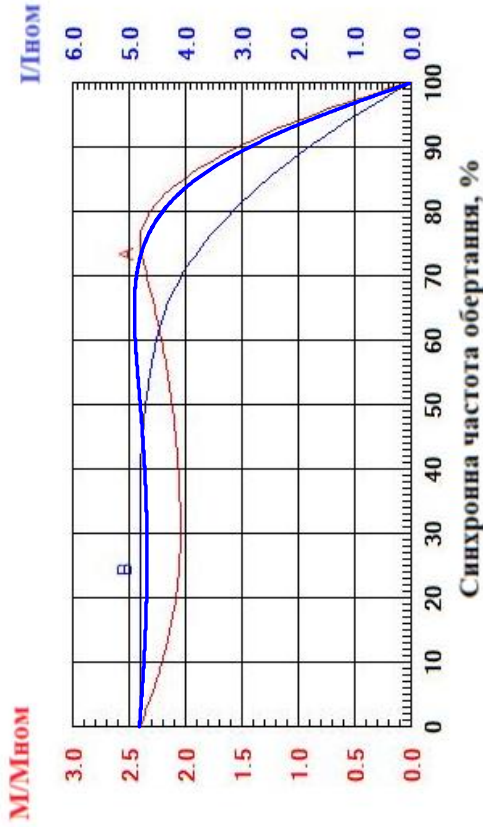
Умови вибору приводного двигуна:

$$\begin{cases} P_{двн} \geq 0.21...0.23 \text{ (кВт)}, \\ \omega_{двн} \geq 1385 \text{ (об/хв)}. \end{cases}$$

Технічні дані вибраного приводного двигуна

Параметри двигуна		Значення
Бренд		WEG
Корпус		W22 (чавун)
Тип		71
Номінальна потужність $P_{дв.н}$, кВт		0,25
Номінальна напруга $U_{дв.н}$, В		230/400
Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н}$, об/хв		1410
Коефіцієнт потужності $\cos\phi_{ном}$		0,72
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$, %		73,5
Клас енергоефективності		IE3
Кратність пускового моменту $\lambda_{пуск}$		2,4
Кратність критичного моменту λ_k		2,4
Номінальний струм статора $I_{дв.н}$, А		1,19/0,682
Пусковий струм $I_{дв.пуск}$, А		5,69/3,27
Кратність пускового струму $\lambda_{I,пуск}$		4,8
Момент інерції ротора $J_{рот}$, кг·м ²		0,00093
Клас ізоляції		F
Сервіс фактор		1
Режим роботи		S1
Температура навколишнього середовища		-20...+40°C
Висота над рівнем моря, м		1000
Ступінь захисту		IP55
Монтажне виконання		B35
Рівень шуму, дБ		43
Вага, кг		8

Синхронна частота обертання, %
Суміщені характеристики приводного двигуна WEG22 71 (у в.о.)

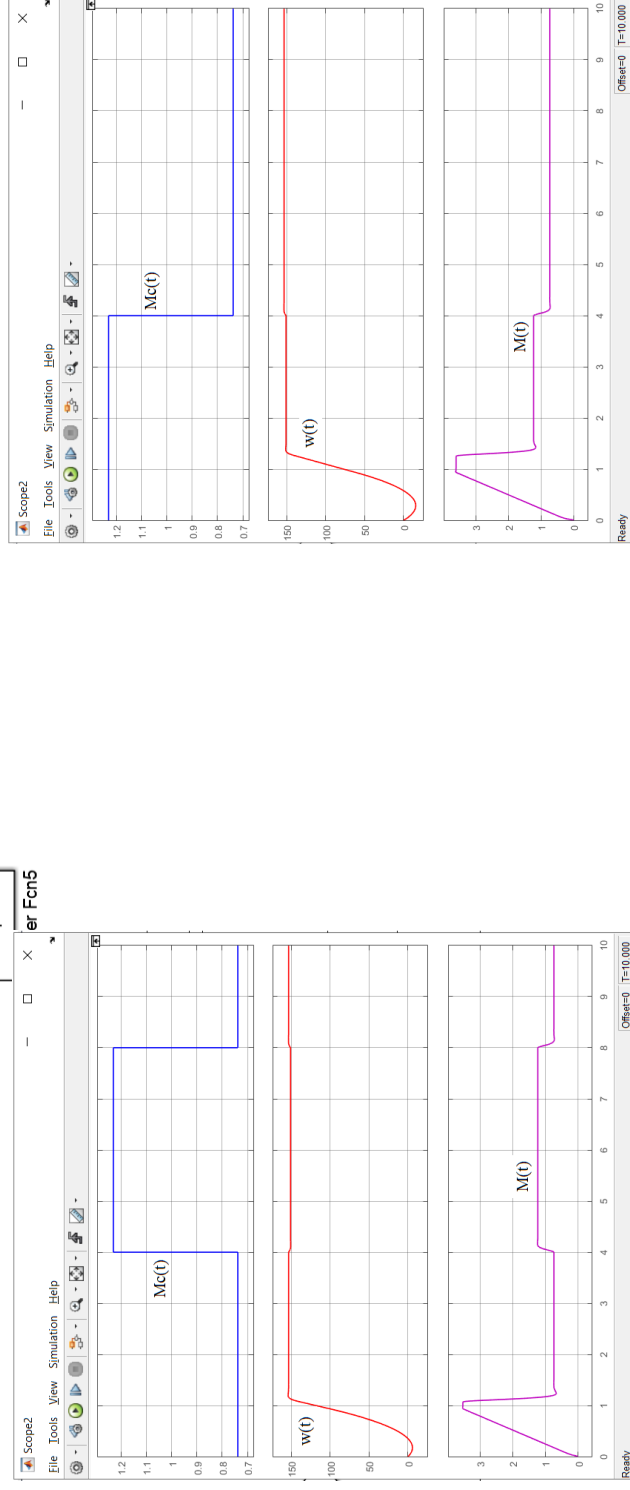
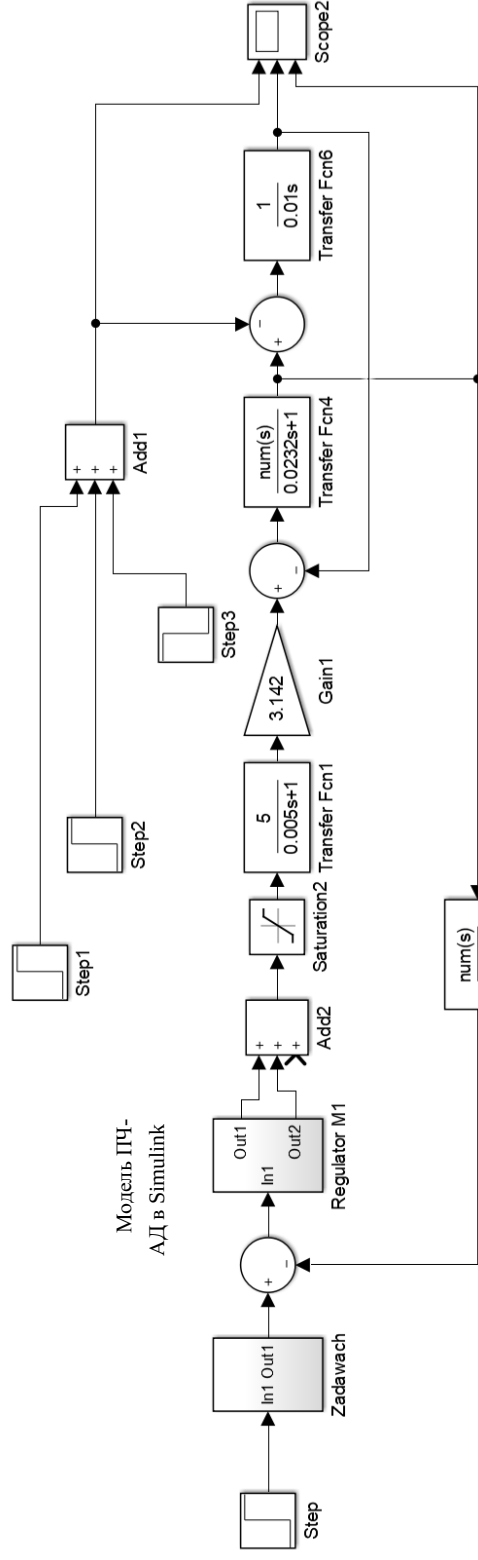


Зовнішній вигляд ПЧ
ATV310H037N4E

Технічні дані вибраного ПЧ

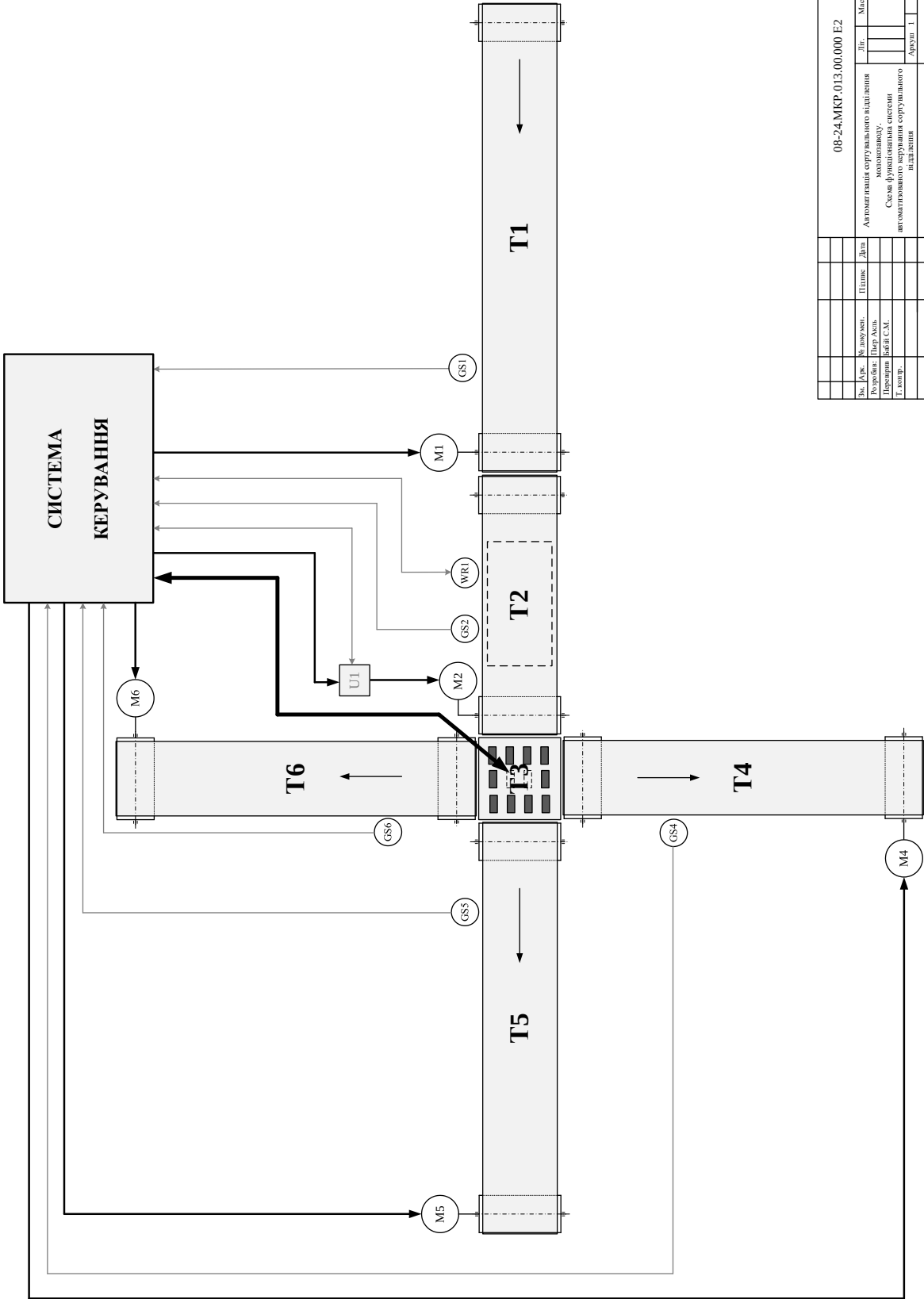
Характеристики	Значення
Номінальна напруга живлення	380...460 В (-15...10)%
Частота мережі	50...60 Гц
Потужність двигуна	0,37 кВт
Лінійний струм	2,1 А при 380 В
Максимальний струм в установлених режимі	1,5 А
Максимальний струм в перехідному режимі	2,3 А впродовж 60 с
Вихідна частота приводу	0...400 Гц
Короткочасне перевищення моменту	170-200%

Модельовання електропривода стрічкового транспортера



Результати моделювання (при пуску на холостому ході)

Результати моделювання (при пуску під навантаженням)



08-24.МКР.013.00.000.Е2									
Зм. Акт.	№ доп.зв.	Підп.	Дат.	Масштаб					
Розроб.	Пер. Акт.								
Перевір.	Відв. С.М.								
Т. конст.								Архив	1
Схема функціональної системи автоматизованого керування сортувального відділення									
гр. ЕПА-23м									

Ім'я, № опр.	Ім'я, № опр.	Ім'я, № опр.	Ім'я, № опр.	Ім'я, № опр.

Вибір елементної бази системи автоматизованого керування



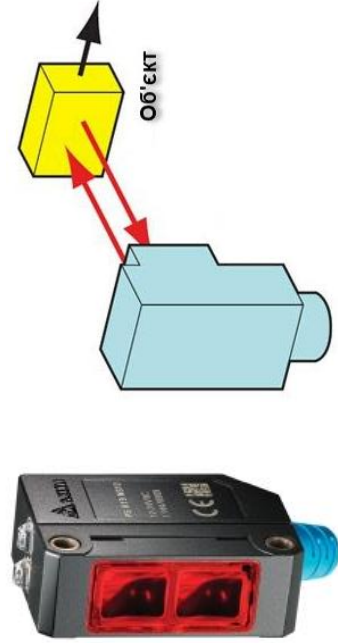
Зовнішній вигляд
S7-1214C AC/DC/Rly

Технічні характеристики ПЛК

Характеристика	Дані
Номер для замовлення	6ES7 214-1BG40-0XB0
Модель	CPU 1214C AC/DC/Rly
Вбудована оперативна пам'ять	100 kbyte
Вбудована пам'ять для завантаження	4 Mbyte
Можливість розширення пам'яті для завантаження	SIMATIC Memory Card
Конфігурація апаратного забезпечення (макс. кількість модулів на систему)	3 комунікаційних модуля 1 сигнальний шар 8 сигнальних модулів
Інтерфейс	PROFINET
Фізичні параметри інтерфейсу	1 порт RJ 45 (Ethernet)
Вбудовані входи і виходи	DI14 x 24VDC DQ10 x RELAY (max 2A) 2 AI 0-10V DC
Напруга живлення (допустимий діапазон)	120VAC 230VAC
Допустиме відхилення напруги живлення: - нижня межа: - верхня межа:	85V 264V
Допустимий діапазон частот	47...63Hz
Температура навколишнього середовища при експлуатації	-20...60°C

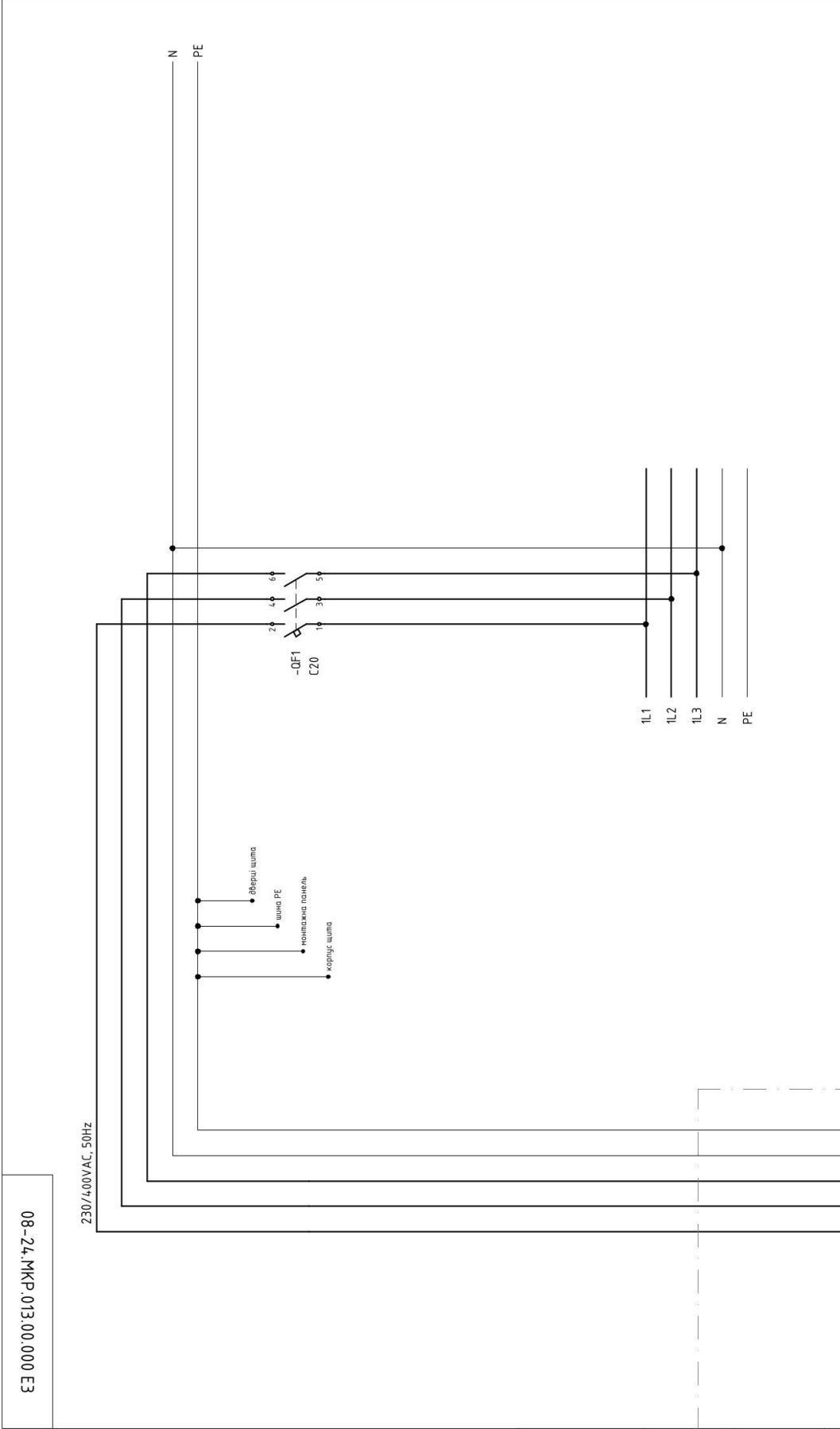
Технічні характеристики фотоелектричного сенсора

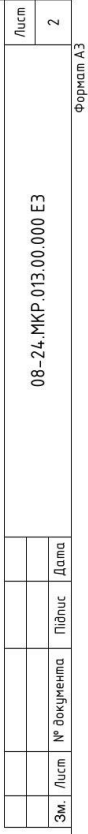
Характеристика	Дані
Тип	Rectangular Type PS-R
Модель	PS-RR3-PS12
Вихід	PNP
Відстань спрацювання	5 ~ 300 мм
Напруга живлення	12 ~ 24 VDC $\pm$ 10%
Споживана потужність	20mA max
Час відгуку	ON > OFF: 0.5ms OFF > ON: 0.5ms



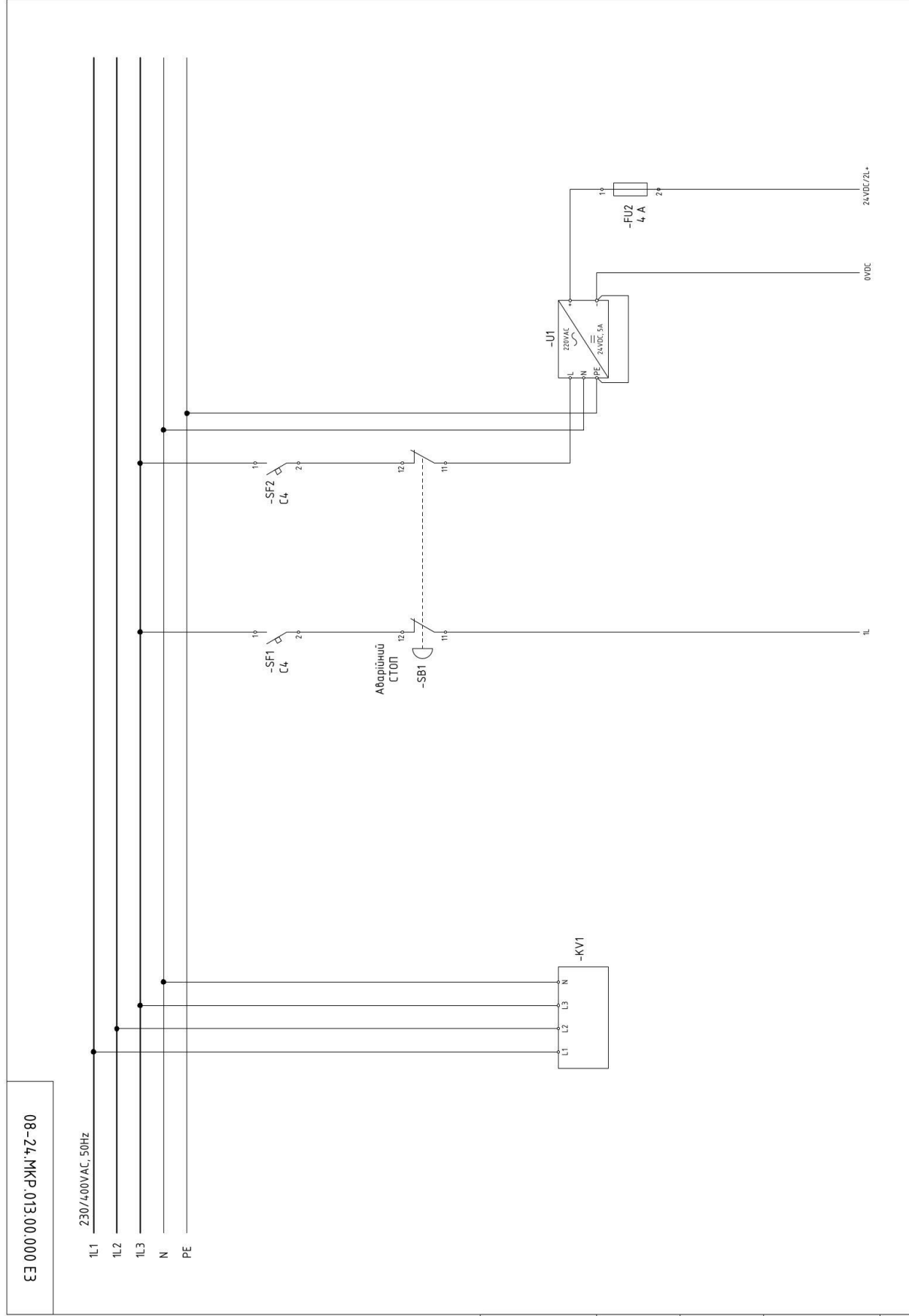
Фотоелектричний дифузійний сенсор
Delta Electronics типу PS-R

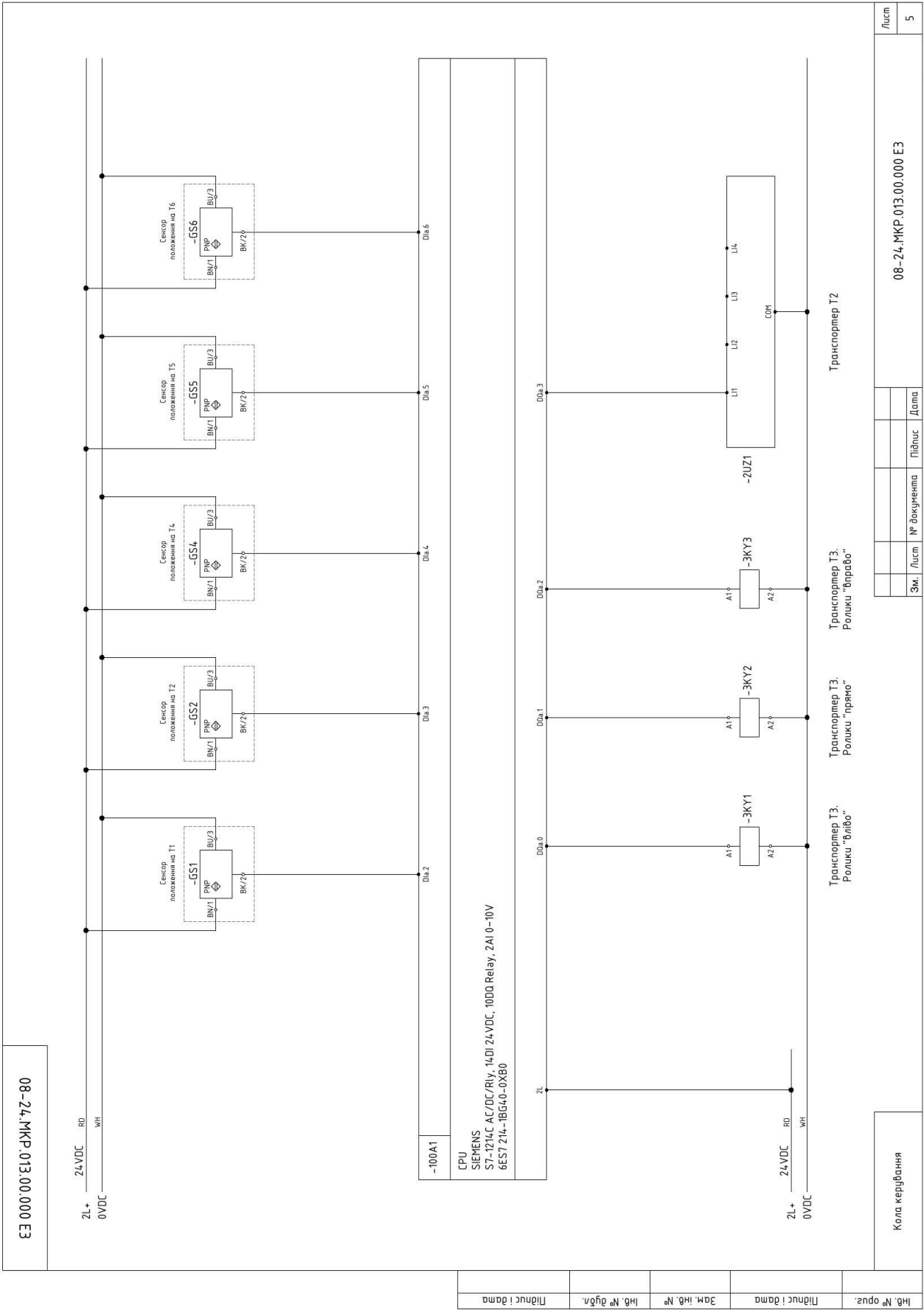
Інв. № опоз.	Підпис і дама	Зам. Інв. №	Інв. № згідн.	Підпис і дама
--------------	---------------	-------------	---------------	---------------

[illegible]

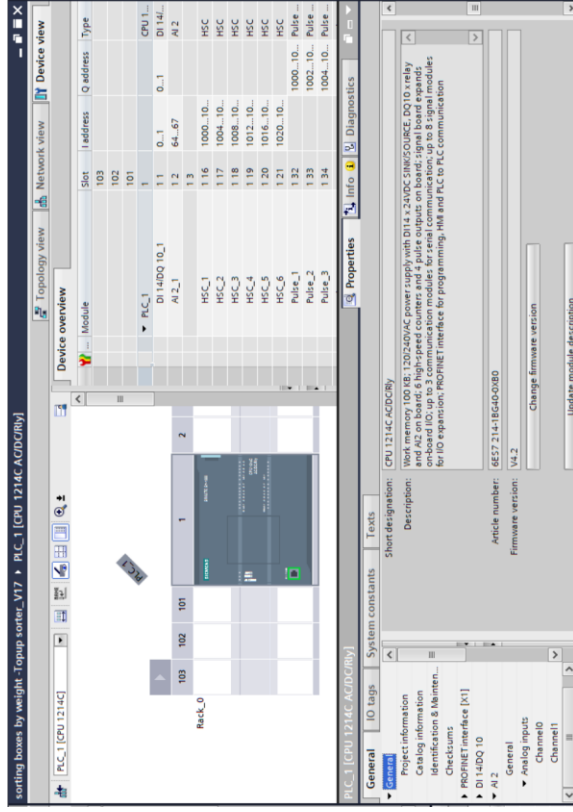


Інв. № опуз.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дьог.	Підпис і дата
--------------	---------------	-------------	--------------	---------------

[illegible]

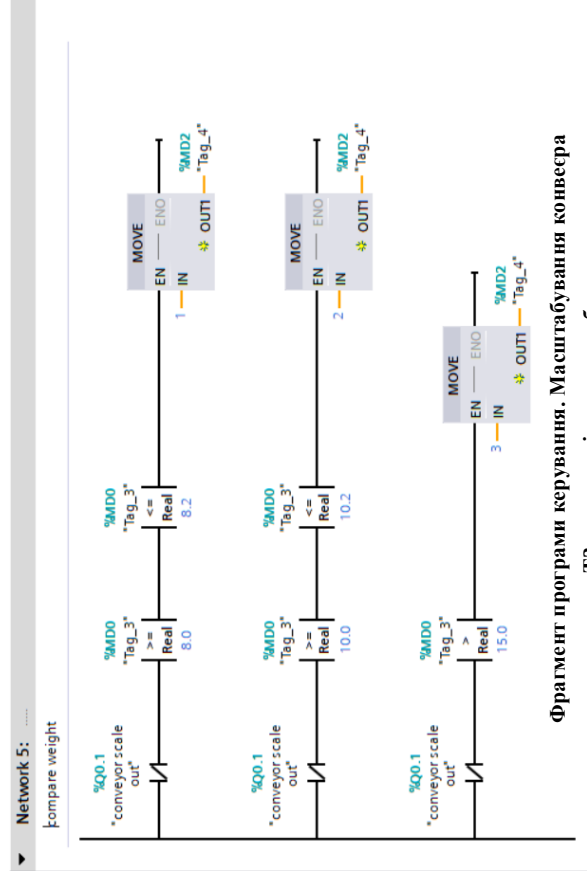


Програма керування механізмами сортувального відділення



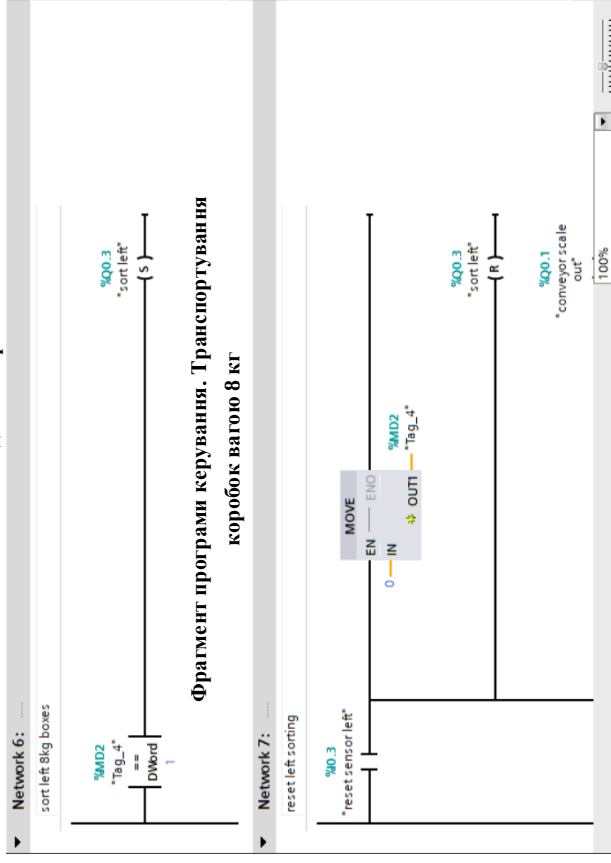
Викно «Device configuration»

Таблиця тегів проєкту



Фрагмент програми керування. Масштабування конверса

ТЗ залежно від ваги коробки



[illegible]

Моделювання ліній сортування в середовищі Factory I/O

ВИСНОВКИ

1. Здійснено аналіз процесу транспортування продукції в умовах сортувального відділення молокозаводу компанії «Zain Foods» та розроблено вимоги до системи автоматизованого керування стрічковими транспортерами сортувального відділення.
2. Для стрічкового транспортера T2 виконано розрахунок його електропривода. Згідно результатів проведених розрахунків для привода транспортера достатньо взяти двигун потужністю 0,25 кВт.
Базуючись на результатах техніко-економічного обґрунтування визначено, що для привода стрічкового транспортера T2 найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД на базі перетворювача частоти ATV310, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 9656,98 грн/рік.
В якості приводного вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу WEG22 71 потужністю 0,25 кВт, а для його живлення – перетворювач частоти ATV310H037N4E потужністю 0,37 кВт.
3. Розраховано параметри регулятора моменту частотно-регульованого електропривода, проведено моделювання даного електропривода в Matlab та отримано відповідні графіки перехідних процесів швидкості та моменту при пуску на холостому ході та під навантаженням. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.
4. Розроблено функціональну схему системи автоматизованого керування механізмами сортувального відділення. Вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal.
5. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання в середовищі Fastog I/O.
6. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизовану систему керування сортувального відділення в умовах молокозаводу компанії «Zain Foods». Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток даної системи не розраховувався, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах, які становлять 190647,33 грн/рік.
7. Розроблено ряд заходів з охорони праці при експлуатації розробленої системи керування.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Автоматизація сортувального відділення молокозаводу»
Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-23м
Науковий керівник: к.т.н., доц. Бабій С.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність	89 %
Загальна схожість	11 %

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.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор

Н.С. Ковал
(підпис)

П'єр Акль

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паньков О.А.
(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

					08-24.МКР.013.00.000 К1					
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизація сортувального відділення молокозаводу. Схема кінематична стрічкового транспортера	Літ.			Маса	Масштаб
Розробив:	Пьер Акль	AK.15226	14.01							
Перевірив	Бабій С.М.		14.01							
Т. контр.										
Опоребл.	Возд. 10.01		17.02.25							
Норм.кон.	Паянок О.А.		14.01			Аркуш 1			Аркуш 1	
Затверд.	Мошноріз М.М.		14.01			гр. ЕПА-23м				