

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

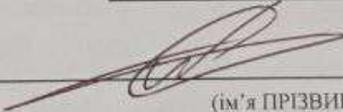
«Автоматизована система керування маршрутами
транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-24м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка



Ярослав ЯЩУК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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



Сергій БАБІЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

«25» 11 2025 р.

Опонент: к.т.н. кафедри ЕСЕМ



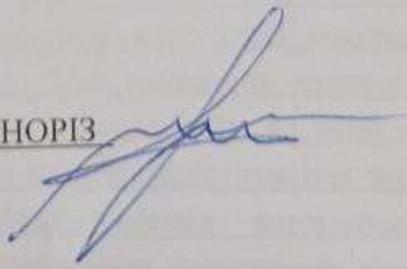
Юрій ВОЙТИЧ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

«18» 12 2025 р.

Допущено до захисту
кафедрою КЕМСК

Зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

«25» 11 20__ 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

«14» 10

2025 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ящуку Ярославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу

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 «24» вересня 2025 року № 313

2. Строк подання студентом роботи 25.11.2025р

3. Вихідні дані до роботи: технологічна схема елеваторного комплексу; потужності приводних двигунів механізмів комплексу: електрифікована засувка №1 – 0,37 кВт, норії №1, №2, №3 – 5,5 кВт, транспортер скребковий №1 – 7,5 кВт, транспортер скребковий №2 – 4 кВт, клапани електрифіковані №1-№7 – 0,25 кВт.

4. Зміст текстової частини: 1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок електропривода норії завальної ями. 3 Розробка автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна. 4 Економічна частина. 5 Охорона праці. Висновки.

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

1 Мета та завдання дослідження. 2 Технологічна схема елеваторного комплексу. 3 Технічні характеристики норії завальної ями. 4 Схема кінематична норії. 5 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода норії завальної ями. 6 Вибір елементної бази електропривода норії завальної ями. 7 Моделювання приводного двигуна норії завальної ями. 8 Моделювання електропривода норії завальної ями. 8 Схема електрична функціональна системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна. 9 Маршрути транспортування. 10 Вибір основної елементної бази системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна. 11 Схема електрична принципова системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна. 12 Контроль роботи електрифікованих засувок та клапанів. 13 Розробка НМІ-інтерфейсу. 14 Програма керування. 15 Практична реалізація. 16 Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	14.10.2025р 	21.11.2025р
Економічна частина	Шулле Ю. А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	14.10.2025р 	21.11.2025р

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	24.09.2025р	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	28.10.2025р	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2025р	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2025р	
5	Виконання розділу «Охорона праці»	21.11.2025р	
6	Попередній захист МКР	25.11.2025р	
7	Нормоконтроль МКР	24.11.2025р	
8	Рецензування МКР	18.12.2025р	
9	Захист МКР	24.12.2025р	

Студент

(підпис)

Ящук Я. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабій С. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 681.5

Ящук Я. В. Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця : ВНТУ, 2025. – 178 с.

На укр. мові. Бібліогр. : 31 назв; рис. : 76; табл. : 32.

В магістерській кваліфікаційній роботі запропоновані рішення щодо розробки автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. В основній частині роботи розраховано електропривод одного із механізмів (норії завальної ями). Розроблено функціональну схему системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна, вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Розроблено програму керування та НМІ-інтерфейс. Коректність роботи розробленої системи автоматизованого керування перевірено шляхом моделювання та в реальних умовах експлуатації.

Ілюстративний матеріал представлений 16 плакатами на яких представлено основні результати роботи.

Ключові слова: автоматизація, система керування, маршрут транспортування, електропривод.

ABSTRACT

Yashchuk Ya. V. Automated system for controlling grain transportation routes in the conditions of an elevator complex. Master's thesis in specialty 141 – Electricity, electrical engineering and electromechanics, ducational program – Electromechanical systems of automation and electric drive. Vinnitsa : VNTU, 2025. – 178 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 31 titles; fig. : 76; tabl. : 32.

The master's qualification work proposes solutions for the development of an automated system for controlling grain transportation routes in the conditions of an elevator complex. In the main part of the work, the electric drive of one of the mechanisms (the elevator of the bulk pit) is calculated. A functional diagram of the automated system for controlling grain transportation routes is developed, an element base is selected and a corresponding schematic electrical diagram is developed. A control program and an NMI interface are developed. The correctness of the developed automated control system was verified by modeling and in real operating conditions.

Illustrative material is presented by 16 posters presenting the main results of the work.

Keywords: automation, control system, sorting, electric drive.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика елеваторного комплексу	8
1.2 Постановка завдання дослідження.....	19
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ ЗАВАЛЬНОЇ ЯМИ	20
2.1 Технічні характеристики норії.....	20
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	22
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	24
2.4 Вибір приводного двигуна	30
2.5 Вибір силового перетворювача	36
2.6 Моделювання перехідних процесів електропривода норії.....	38
2.6.1 Моделювання роботи приводного двигуна.....	38
2.6.2 Моделювання роботи електропривода норії з системою плавного пуску	41
3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАРШРУТАМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА	44
3.1 Розробка функціональної схеми системи керування	44
3.2 Маршрути транспортування	50
3.3 Вибір основної елементної бази	63
3.3.1 Вибір керуючого пристрою.....	63
3.3.2 Вибір засобів НМІ-інтерфейсу	69
3.3.3 Вибір сенсорів рівня в накопичувальному бункері сушарки.....	71
3.3.4 Вибір сенсорів підпору та рівня	73
3.3.5 Вибір сенсорів положення перемикачів потоків	74
3.3.6 Вибір автоматів захисту приводних двигунів.....	76
3.3.7 Вибір силових контакторів	78

3.4 Призначення портів контролера та модулів його розширення	79
3.5 Розробка принципової схеми	83
3.6 Розробка програми керування	89
3.7 Розробка НМІ-інтерфейсу	91
3.8 Контроль роботи електрифікованих засувки та клапанів	95
3.9 Практична реалізація	97
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	102
4.1 Розрахунок капітальних вкладень	102
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	103
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	104
4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	104
4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію	106
4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	106
4.3 Інші витрати	108
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	110
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	110
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	110
5.1.2 Електробезпека	111
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	112
5.2.1 Мікроклімат	112
5.2.2 Склад повітря робочої зони	113
5.2.3 Виробниче освітлення	114
5.2.4 Виробничий шум	115
5.3 Пожежна безпека	116
ВИСНОВКИ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання	126
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	130

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сьогоднішні виробничі процеси відзначаються скороченням обсягу ручної праці завдяки впровадженню спеціалізованого обладнання та автоматизованих систем, що здійснюють керування окремими машинами й цілими технологічними комплексами. Наразі для автоматизації виробництва найчастіше застосовують спеціальні мікропроцесорні засоби, зокрема програмовані логічні контролери (ПЛК).

Таким чином, робота присвячена питанню розробки автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. При виборі оператором того чи іншого маршруту транспортування зерна система керування автоматично повинна перебудовувати логістичні ланцюжки транспортування зерна. Система керування повинна передбачати дію різноманітних захистів та системи захисних блокувань.

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 зерна в умовах елеваторного комплексу.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є автоматизація процесів транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу за рахунок використання системи логістичних маршрутів транспортування.

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

1. Дати загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Провести перевірочний розрахунок електропривода норії завальної ями.
3. Обґрунтувати вибір електропривода норії завальної ями.
4. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода норії завальної ями шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Розробити автоматизовану систему керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.
6. Перевірити коректність роботи системи керування маршрутами транспортування зерна в реальних умовах експлуатації.
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 автоматизовану систему керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу, яка, за рахунок використання сучасного обладнання, забезпечує автоматичну перебудову логістичних маршрутів відповідно до вибраних напрямків транспортування.

2. Запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

– результати отриманих досліджень можуть бути використані в задачах проектування ліній з маршрутизацією напрямків транспортування сировини;

– 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-2026).

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

– Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)», Вінниця, ВНТУ.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика елеваторного комплексу

В роботі розглядається елеваторний комплекс, який географічно знаходиться в межах Вінницької області (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд елеваторного комплексу

Одними із видів діяльності підприємства (згідно класифікатора видів економічної діяльності) є:

1) 01.11 – вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур [1];

2) 01.19 – вирощування інших однорічних і дворічних культур [2].

Основними культурами, якими займається підприємство є: кукурудза, соя, соняшник, пшениця, ячмінь. Для їх сушіння в умовах елеваторного комплексу використовується мобільна модульна зерносушарка виробництва ТОВ «Фенікс Технолоджи», модель ЗСМ1412 (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд модульної зерносушарки ЗСМ1412

Основні технічні характеристики зерносушарки наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики зерносушарки [3]

Характеристики	Значення
Модель	Phoenix 3CM1412
Тип	модульна
Режим роботи	потік/порція
Кількість модулів	1
Кількість вентиляторів, шт	2
Кількість пальників	2
Спосіб сушки	конвективна нагрітим повітрям
Місткість	15 м ³
Продуктивність, кукурудза (25%-15%), нагрів + охолодження	100 т/добу
Продуктивність, кукурудза (20%-15%), нагрів + охолодження	140 т/добу
Продуктивність, кукурудза (25%-15%), повний нагрів	180 т/добу
Продуктивність, кукурудза (20%-15%), повний нагрів	250 т/добу
Загальна висота	4800 мм
Загальна довжина	6440 мм
Загальна ширина	2430 мм
Загальна електрична потужність зерносушарки, кВт	30,87 кВт

Технологічна схема елеваторного комплексу зображена на рисунку 1.3.

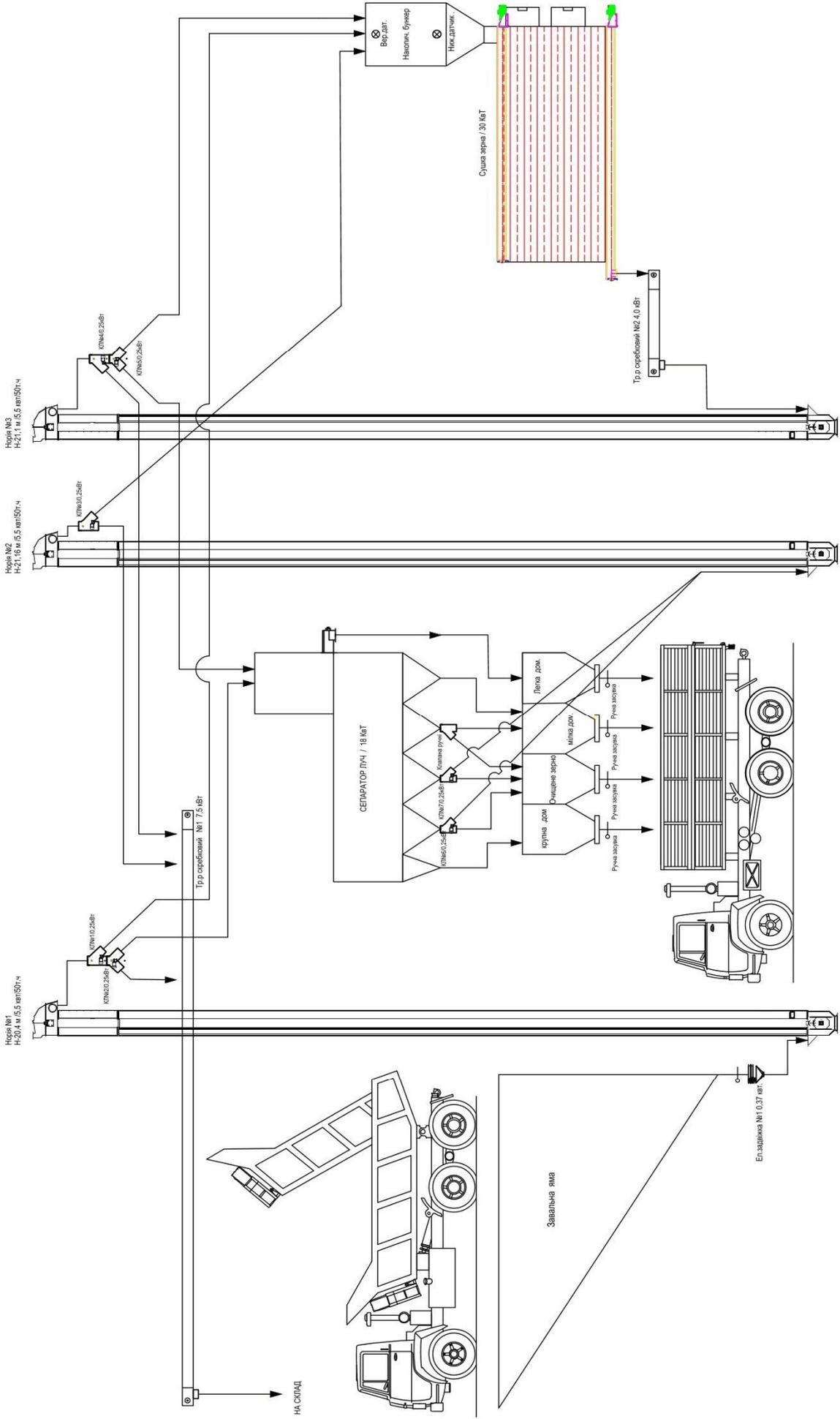


Рисунок 1.3 – Технологічна схема елеваторного комплексу

До складу структури елеваторного комплексу входять такі машини та механізми:

- 1) електрифікована засувка №1 ($P = 0,37$ кВт);
- 2) норія №1 ($Q = 50$ т/год, $P = 5,5$ кВт);
- 3) норія №2 ($Q = 50$ т/год, $P = 5,5$ кВт);
- 4) норія №3 ($Q = 50$ т/год, $P = 5,5$ кВт);
- 5) транспортер скребковий №1 ($Q = 50$ т/год, $P = 7,5$ кВт);
- 6) транспортер скребковий №2 ($Q = 50$ т/год, $P = 4,0$ кВт);
- 7) клапан електрифікований №1 ($P = 0,25$ кВт);
- 8) клапан електрифікований №2 ($P = 0,25$ кВт);
- 9) клапан електрифікований №3 ($P = 0,25$ кВт);
- 10) клапан електрифікований №4 ($P = 0,25$ кВт);
- 11) клапан електрифікований №5 ($P = 0,25$ кВт);
- 12) клапан електрифікований №6 ($P = 0,25$ кВт);
- 13) клапан електрифікований №7 ($P = 0,25$ кВт);
- 14) ручний клапан;
- 15) ручні засувки;
- 16) сепаратор ЛУЧ;
- 17) накопичувальний бункер сушарки;
- 18) зерносушарка ЗСМ1412.

Електрифікована засувка №1 забезпечує подачу зерна із завальної ями на норію №1 (рисунок 1.4).

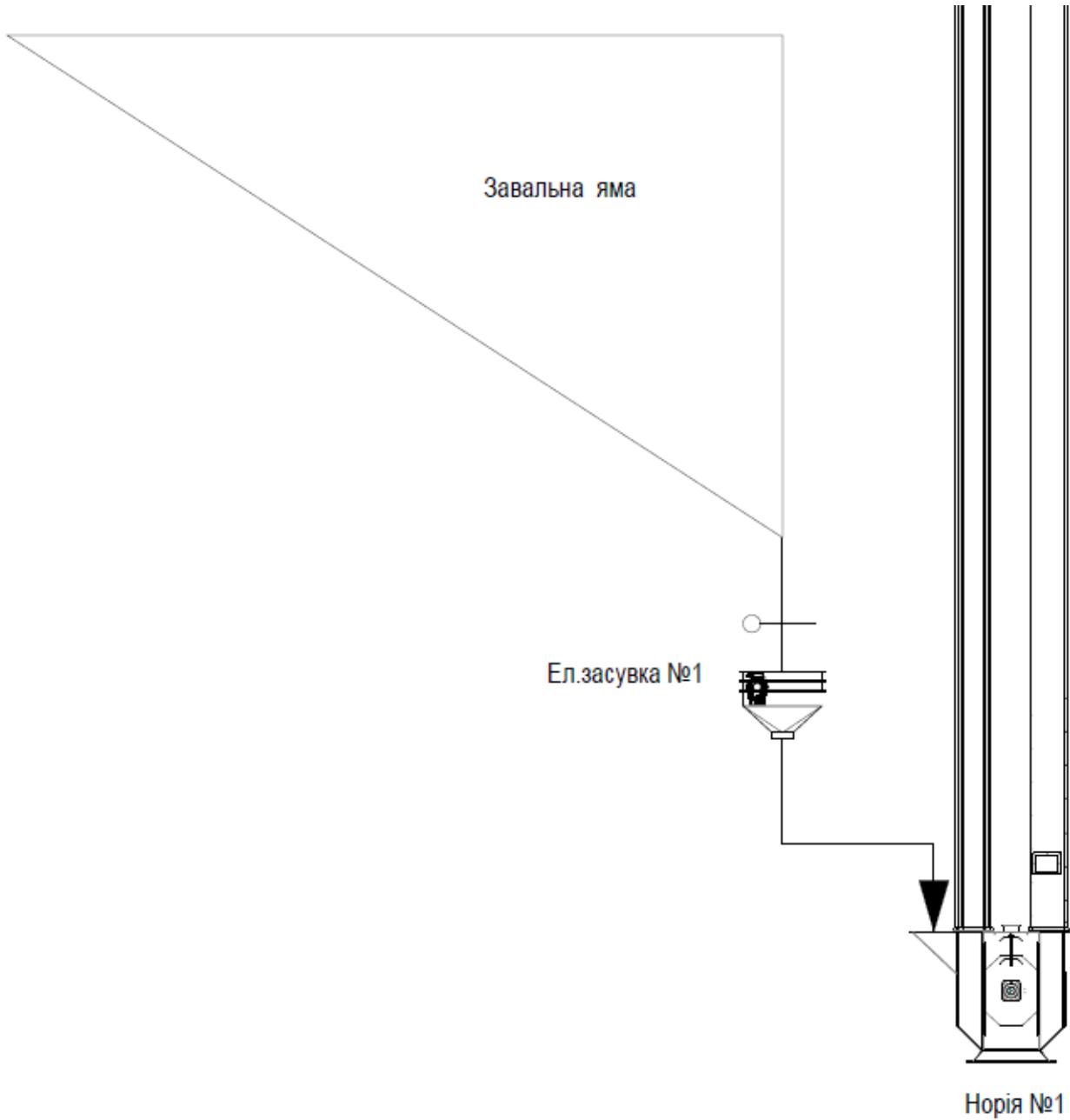


Рисунок 1.4 – Подача зерна із завальної ями

Норія №1, залежно від положення електрифікованих клапанів №1 та №2, забезпечує подачу зерна на транспортер скребковий №1, сепаратор ЛУЧ або накопичувальний бункер сушарки (рисунок 1.5).

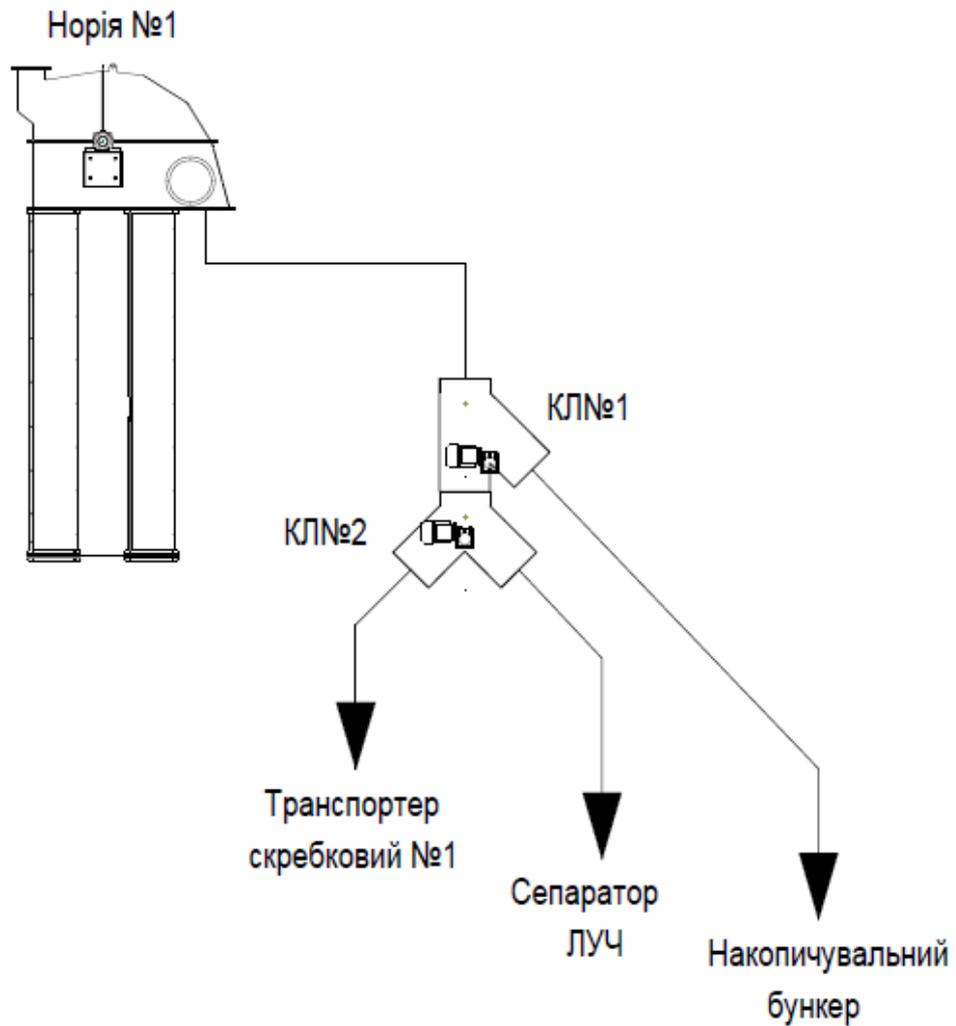


Рисунок 1.5 – Норія №1. Напрямки транспортування

Норія №2, залежно від положення електрифікованого клапана №3, забезпечує подачу зерна на транспортер скребковий №1 або накопичувальний бункер сушарки (рисунок 1.6).

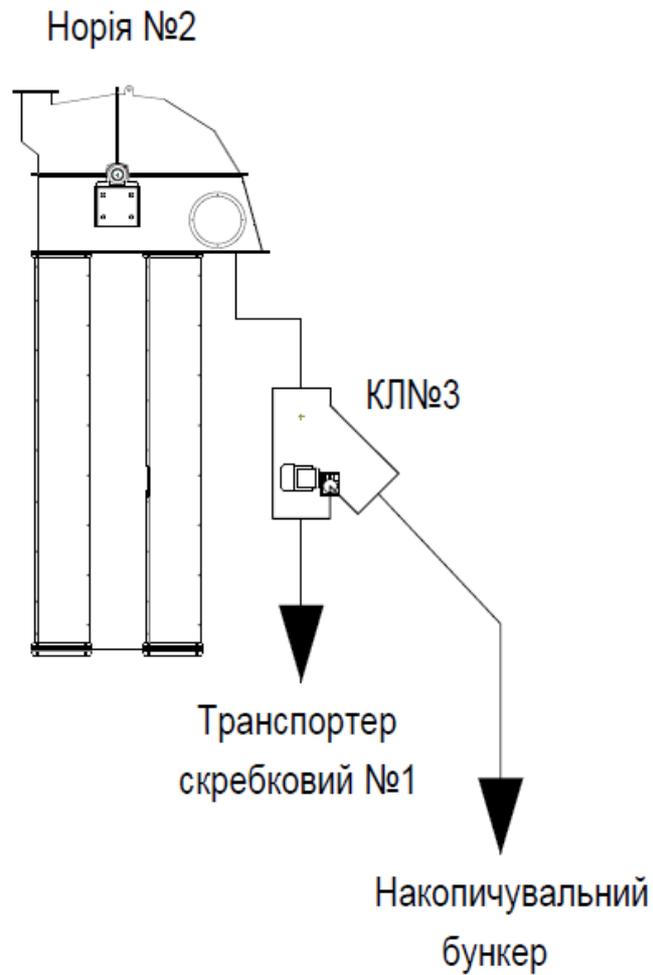


Рисунок 1.6 – Норія №2. Напрямки транспортування

Норія №3, залежно від положення електрифікованих клапанів №4 та №5, забезпечує подачу зерна на транспортер скребковий №1, сепаратор ЛУЧ або накопичувальний бункер сушарки (рисунки 1.7).

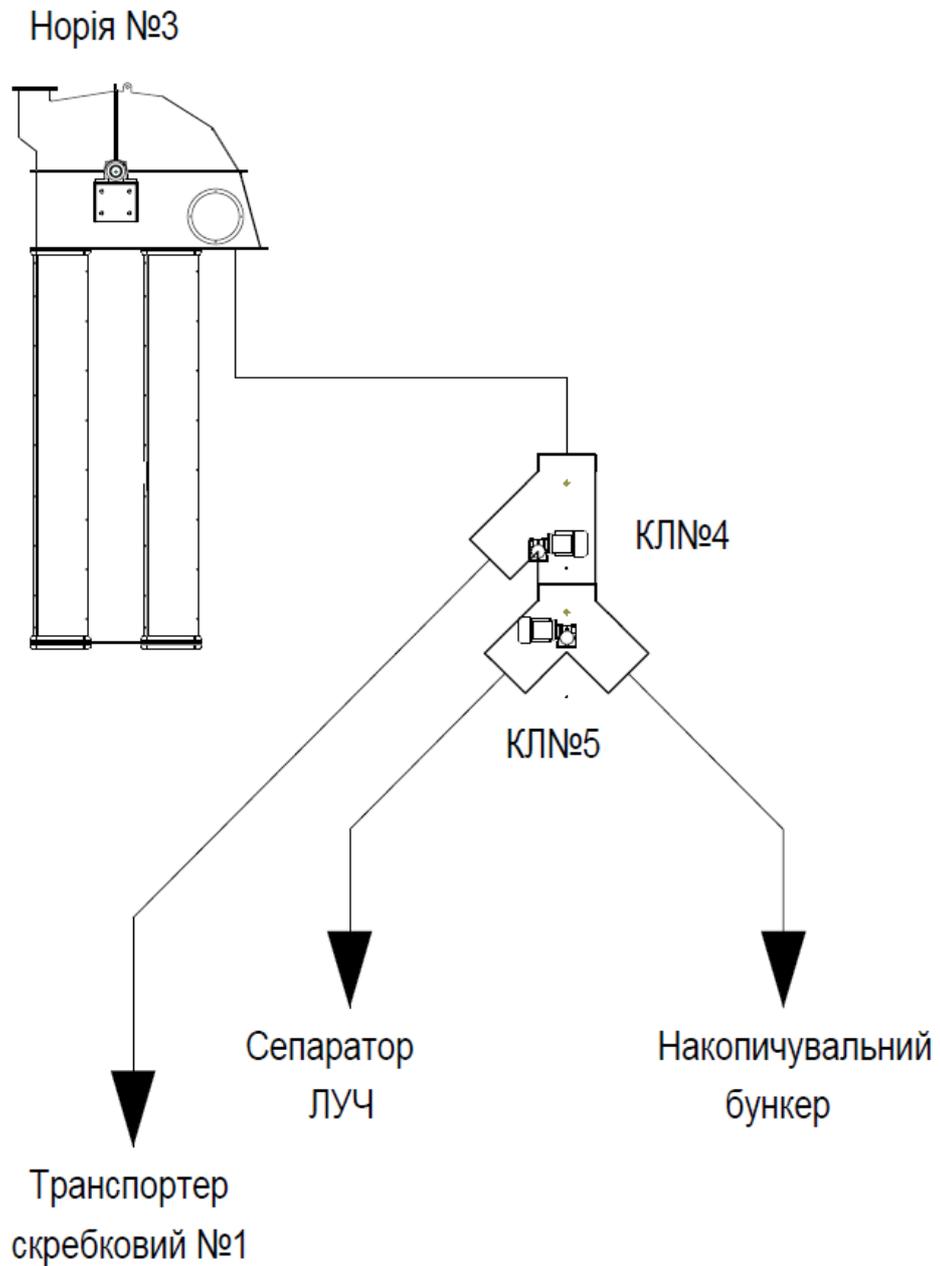


Рисунок 1.7 – Норія №3. Напрямки транспортування

Сушарка вивантажує зерно на скребковий транспортер №2, який, в свою чергу, подає його на норію №3 (рисунок 1.8).

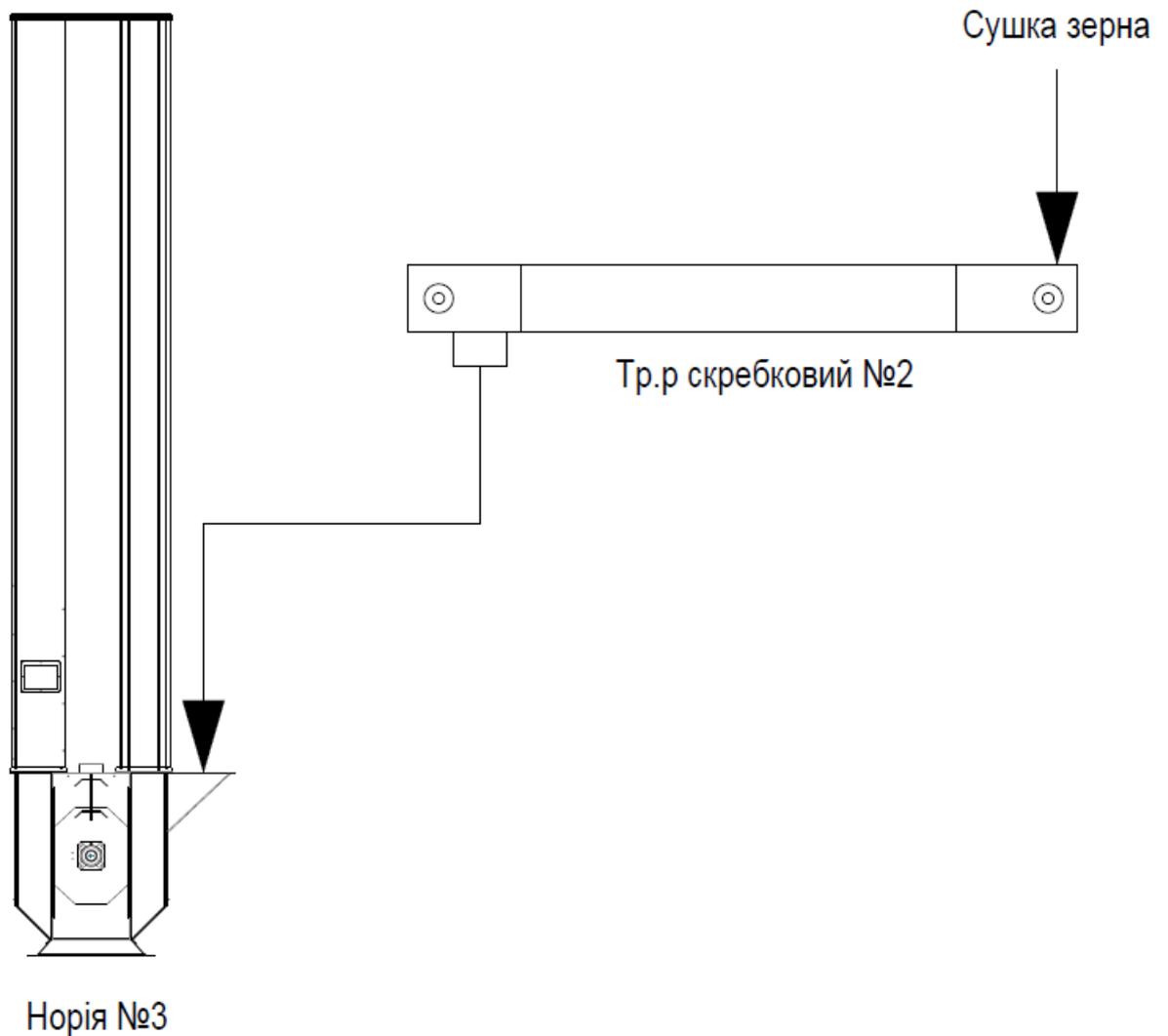


Рисунок 1.8 – Вивантаження зерна з сушарки

Очищене, за допомогою сепаратора ЛУЧ, зерно подається в бункер очищеного зерна або на норію №2 за рахунок вибору відповідних напрямків транспортування за допомогою електрифікованих клапанів №6 та №7 (рисунок 1.9).

З очисної машини (сепаратор ЛУЧ), залежно від положення електрифікованих клапанів №6 та №7, а також ручного клапана, очищене зерно та його мілкі домішки можуть транспортуватися на норію №2, або на відповідні бункери для подальшого завантаження на автомобіль (рисунок 1.9).

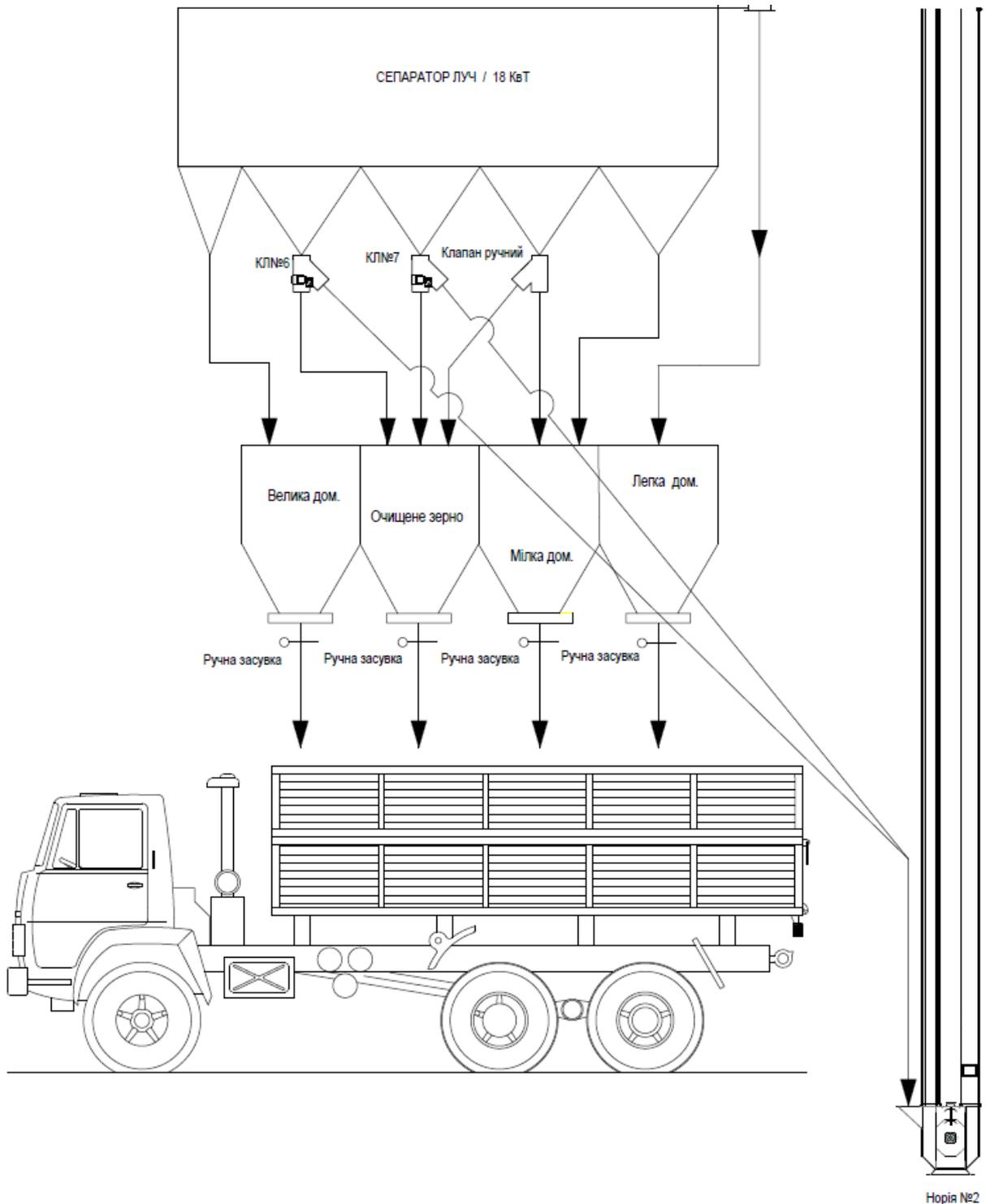


Рисунок 1.9 – Транспортування зерна з очисної машини

Транспортер скребковий №1 забезпечує транспортування зерна на склад готової продукції для його подальшого зберігання (рисунок 1.10).

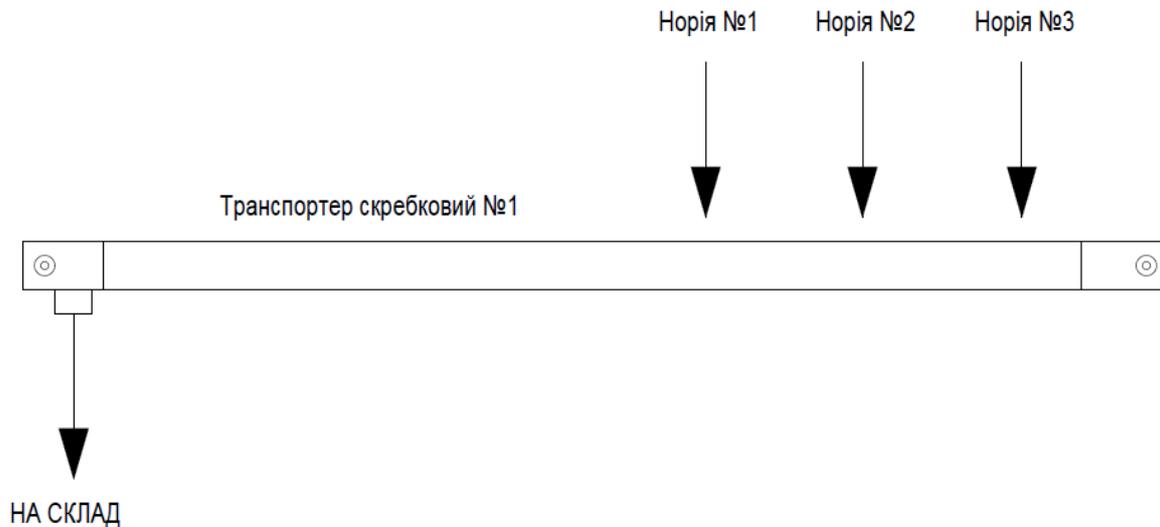


Рисунок 1.10 – Транспортування зерна на склад

1.2 Постановка завдання дослідження

Для досягнення поставленої в роботі мети, яка полягає в автоматизації процесів транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу за рахунок використання системи логістичних маршрутів транспортування, в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести перевірочний розрахунок електропривода норії №1 (завальної ями).
2. Обґрунтувати вибір електропривода норії №1 (завальної ями).
3. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода норії №1 (завальної ями) шляхом комп'ютерного моделювання.
4. Розробити автоматизовану систему керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.
5. Перевірити коректність роботи системи керування маршрутами транспортування зерна в реальних умовах експлуатації.
6. Провести економічні розрахунки.
7. Розробити ряд заходів з охорони праці.
8. Зробити загальні висновки.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ ЗАВАЛЬНОЇ ЯМИ

Відповідно до поставленого завдання проведемо перевірочний розрахунок електропривода норії №1.

2.1 Технічні характеристики норії

Норія №1 (див. рисунок 1.3), залежно від положення електрифікованих клапанів №1 та №2, забезпечує подачу зерна на транспортер скребковий №1, сепаратор ЛУЧ або накопичувальний бункер сушарки (див. рисунок 1.3).

Слід зауважити, що норія (елеватор ковшовий) являє собою вертикальний стрічковий або ланцюговий конвеєр з ковшами, який здійснює підйом матеріалу. Матеріал в нижній частині підхоплюється ковшами, переміщається вертикально і вивантажується через патрубок в горизонтальному напрямку в верхній частині норії (рисунок 2.1) [4].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд та принцип роботи норії

Кінематична схема привода норії зображена на рисунку 2.2.

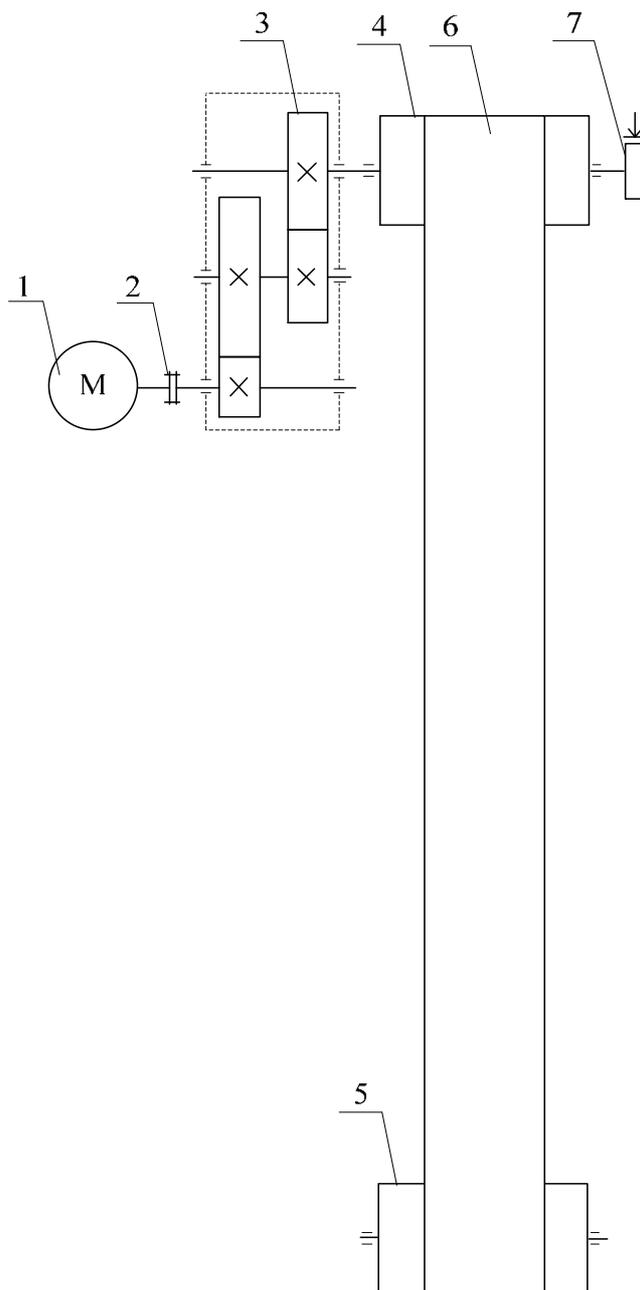


Рисунок 2.2 – Кінематична схема привода норії

На рисунку 2.2: 1 – приводний двигун; 2 – муфта; 3 – механічна передача; 4 – приводний барабан; 5 – натяжний барабан; 6 – тягова стрічка з ковшами; 7 – гальмо (запобігає руху стрічки у зворотному напрямку).

Технічні характеристики норії №1 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики норії №1

Характеристики	Значення
Продуктивність, т/год	50
Висота норії, м	21
Швидкість стрічки, м/с	2,0
Ширина стрічки, мм	250
Ширина ковша, мм	200
Діаметр барабана (приводного, веденого), мм	500
ККД норії	0,7

Логістика транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу побудована таким чином, що зупинка потоку зерна із завальної ями забезпечується шляхом закриття електрифікованої засувки №1, при цьому норія №1 залишається працювати в режимі холостого ходу. Отже, електропривод норії №1 передбачає тривалий режим роботи S1, плавний пуск механізму, регулювання швидкості обертання приводного двигуна є не обов'язковим.

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Номінальна швидкість обертання приводного барабана норії [5]:

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

де $V_{ном}$ – номінальна швидкість стрічки ($V_{ном} = 2,0$ м/с);

$D_{б}$ – діаметр барабана голови норії ($D_{бв} = 0,5$ м),

$$n_{б. ном} = \frac{60 \cdot 2,5}{\pi \cdot 0,5} = 76,39 \text{ (об/хв).}$$

Швидкість обертання приводного двигуна норії при номінальній швидкості транспортування [5]:

$$n_{\text{НОМ}} = n_{\text{б.НОМ}} \cdot i_{\text{п}}, \quad (2.2)$$

де $i_{\text{п}}$ – передаточне число механічної передачі ($i_{\text{п}} = 18$),

$$n_{\text{НОМ}} = 76,39 \cdot 18 = 1375 \text{ (об/хв)}.$$

Кутова швидкість приводного двигуна норії при номінальній швидкості транспортування [5]:

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

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1375}{60} = 144 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Допустиме кутове прискорення приводного двигуна [5]:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_{\text{п}}}{D_{\text{б}}}, \quad (2.4)$$

де $a_{\text{доп}}$ – допустиме прискорення стрічки ($a_{\text{доп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$)

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 18}{0,5} = 50,4 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Час роботи механізму при пуску з допустимим прискоренням [5]:

$$t_{\text{п}} = \frac{V_{\text{НОМ}}}{a_{\text{доп}}}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{2,0}{0,7} = 2,86 \text{ (с)}.$$

Розрахункова потужність приводного двигуна норії [6, 7]:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{376 \cdot \eta_{\text{норії}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (2.6)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,1$);

Q – продуктивність норії ($Q = 50 \text{ т/год}$);

H – висота підйому вантажу ($H = 21 \text{ м}$);

$\eta_{\text{норії}}$ – ККД норії ($\eta_{\text{норії}} = 0,7$);

$\eta_{\text{п}}$ – ККД механічної передачі привода норії ($\eta_{\text{мп}} = 0,9$),

$$P_{\text{роз}} = 1,1 \cdot \frac{50 \cdot 21}{376 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 5,0 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункове значення моменту статичного опору при номінальному завантаженні норії [5]:

$$M_c = \frac{P_{\text{роз}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (2.7)$$

$$M_c = \frac{5000}{144} = 34,7 \text{ (Н·м)}.$$

Порівнюючи результати розрахунків зі стандартним рядом потужностей приводних двигунів для привода норії необхідно попередньо вибрати двигун з номінальною потужністю 5,5 кВт.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Аналіз наведених вище вимог до електропривода норії дозволяє зробити припущення, що для привода норії (змінного струму з приводним асинхронним двигуном з КЗ ротором) теоретично можна використовувати такі системи електричного привода: Softstart-АД; ПЧ-АД.

Згідно з технічним завданням замовника електропривод норії повинен бути обладнаний перетворювальним пристроєм виробника Schneider Electric, тому проаналізуємо популярні моделі даного виробника (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Перетворювальні пристрої

Тип	Вартість, грн
ATS01N222QN	14124 [8]
ATS22D17Q	27282 [9]
ATV320U55N4C	33783 [10]

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]:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (2.8)$$

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 ATV320U55N4C.

Капітальні вкладення [11]:

$$K = D + CK, \quad (2.9)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 14175$ грн [12]);

CK – вартість системи керування ($CK = 33783$ грн [10]),

$$K = 14175 + 33783 = 47958 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати [11]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.10)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 47958 = 8152,86 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування [11]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.11)$$

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]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.12)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 47958 = 4795,8 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (2.13)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 47958 = 959,16 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.14)$$

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]:

$$C_{D1} = \Delta W_{\Sigma \text{дв}} \cdot c, \quad (2.15)$$

де $\Delta W_{\text{дв}}$ – 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) ($c = 12,13$ грн/(кВт·год) [13]).

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

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.16)$$

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]:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (2.17)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 5,5$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,855$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,855}{0,855} = 0,933 \text{ (кВт)}.$$

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

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (2.18)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,933 = 0,0933 \text{ (кВт)}.$$

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

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.19)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення (прийmemo $\varepsilon = 1$);

$Z_{p.d.}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{p.d.} = 90$ 1/рік);

$Z_{p.z.}$ – кількість робочих змін ($Z_{p.z.} = 2$);

$t_{p.z.}$ – тривалість робочої зміни ($t_{p.z.} = 12$ год),

$$\Phi = 1 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 12 = 2160 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.16):

$$\Delta W_{\Sigma_{дв}} = (0,933 + 0,0933) \cdot 0,8 \cdot 2160 = 1773 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.15):

$$C_{д1} = 1773 \cdot 12,13 = 21506,11 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$C_{д2} = \Delta W_{\Sigma_{ск}} \cdot c, \quad (2.20)$$

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

Втрати енергії в системі керування за рік [11]:

$$\Delta W_{\Sigma_{ск}} = \Delta P_{ск} \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (2.21)$$

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

Втрати потужності в системі керування [11]:

$$\Delta P_{ск} = P_{сп} \cdot \frac{1 - \eta_{сп}}{\eta_{сп}}, \quad (2.22)$$

де $P_{сп}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{сп} = 5,5$ кВт);

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

$$\Delta P_{ск} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,11 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.21):

$$\Delta W_{\Sigma_{СК}} = 0,1 \cdot 0,8 \cdot 2160 = 194 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.20):

$$C_{Д2} = 194 \cdot 12,13 = 2352,72 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.14):

$$C_{Д} = 21506,11 + 2352,72 = 23858,83 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$C_{O} = 0,05 \cdot (C_{A} + C_{P} + C_{Д}), \quad (2.23)$$

$$C_{O} = 0,05 \cdot (4795,8 + 959,16 + 23858,83) = 1480,69 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.11):

$$C = 4795,8 + 959,16 + 23858,83 + 1480,69 = 31094,48 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.8):

$$З = 0,17 \cdot 47985 + 31094,48 = 39247,34 \text{ (грн/рік)}.$$

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		
	Softstart1-АД	Softstart2-АД	ПЧ-АД
Тип перетвор. пристрою	ATS01N222QN	ATS22D17Q	ATV320U55N4C
Вартість двигуна Д, грн	14175	14175	14175
Вартість системи керування СК, грн	14124	27282	33783
Капітальні вкладення К, грн	28299	41457	47958

Продовження таблиці 2.3

Показники	Системи електричного привода		
	Softstart1-АД	Softstart2-АД	ПЧ-АД
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	4810,83	7047,69	8152,86
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	2829,90	4145,70	4795,80
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	565,98	829,14	959,16
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	23858,83	23858,83	23858,83
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	1362,74	1441,68	1480,69
Загальні відрахування C , грн/рік	28617,45	30275,36	31094,48
Приведені витрати Z , грн/рік	33428,28	37323,05	39247,34

Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволяє зробити такий висновок: найбільш економічно вигідним є використання системи електричного привода з пристроєм плавного пуску типу ATS01N222QN, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 33428,28 грн/рік.

2.4 Вибір приводного двигуна

Для привода норії №1 виберемо приводний двигун відповідно до умови [11]:

$$\begin{cases} P_{дв.н} \geq P_{роз}, \\ \omega_{дв.н} \geq \omega_{роз}, \end{cases} \quad (2.24)$$

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

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

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

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

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq 5,0 \text{ (кВт)}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq 1375 \text{ (об/хв)}. \end{cases}$$

Технічні характеристики вибраного двигуна наведені в таблиці 2.4.

Отже, для привода норії №1 виберемо АД з КЗ ротором типу MS-112L-4-5.5KW-B5.

Таблиця 2.4 – Технічні дані вибраного приводного двигуна [12]

Параметри двигуна	Значення
Тип	MS-112L-4-5.5KW-B5
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$, кВт	5,5
Номінальна напруга $U_{\text{дв.н}}$, В	230/400
Номінальна частота напруги живлення $f_{\text{дв.н}}$, Гц	500
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{дв.н}}$, об/хв	1400
Кількість пар полюсів p	2
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,83
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$, %	85,5
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{пуск}}$	2,0
Кратність критичного моменту $\lambda_{\text{к}}$	2,2
Номінальний струм статора $I_{\text{дв.н}}$, А	19,4/11,16
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{л.пуск}}$	7
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,017
Клас ізоляції	F
Режим роботи	S1
Температура навколишнього середовища	-30...+40°C

Продовження таблиці 2.4

Параметри двигуна	Значення
Висота над рівнем моря, м	1000
Ступінь захисту	IP55
Монтажне виконання	B5
Висота вісі вала, мм	112
Діаметр вала, мм	28
Рівень шуму, Дб	65

Синхронна кутова швидкість приводного двигуна [11]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{\text{дв.н}}}{p}, \quad (2.25)$$

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

Номінальна кутова швидкість обертання [11]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.26)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot 1400}{60} = 146,61 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [11]:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.27)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{5500}{146,61} = 37,5 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Китичний момент приводного двигуна [11]:

$$M_{\text{дв.к}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{к}}, \quad (2.28)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 37,5 \cdot 2,2 = 82,5 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [11]:

$$M_{\text{дв.п}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.29)$$

$$M_{\text{дв.п}} = 37,5 \cdot 2,0 = 75 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [11]:

$$I_{\text{дв.п}} = I_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.30)$$

$$I_{\text{дв.п}} = 11,16 \cdot 7,0 = 78,12 \text{ (А)}.$$

Номінальне ковзання [11]:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (2.31)$$

$$s_{\text{н}} = \frac{157,08 - 146,61}{157,08} = 0,067.$$

Критичне ковзання [11]:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda_{\text{к}} + \sqrt{\lambda_{\text{к}}^2 - 1}), \quad (2.32)$$

$$s_{\text{к}} = 0,067 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,277.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.33)$$

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

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

Механічна характеристика згідно формули Клоса [11]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.34)$$

де a – розрахунковий коефіцієнт [11]:

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.35)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

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

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності [11]:

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{дв.н}}, \quad (2.36)$$

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot 5500 = 275 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора [11]:

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{дв.мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{н}}}{s_{\text{н}}}}, \quad (2.37)$$

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{5500 + 275}{11,16^2 \cdot \frac{1 - 0,067}{0,067}} = 1,104 \text{ (Ом)}.$$

Розрахунковий активний опір статора [11]:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ф.н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C^2 \cdot R'_2 - \frac{P_{\text{дв.мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (2.38)$$

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

$$R_1 = \frac{230,9 \cdot 0,83 \cdot (1 - 0,855)}{11,16} - 1,02^2 \cdot 1,104 - \frac{275}{3 \cdot 11,16^2} = 0,6058 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно до формули (2.35):

$$a = \frac{0,6058}{1,1004} = 0,55.$$

Вираз механічної характеристика згідно формули Клоса (2.34):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 82,5 \cdot (1 + 0,55 \cdot 0,277)}{\frac{s}{0,277} + 2 \cdot 0,55 \cdot 0,277 + \frac{0,277}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [11]:

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.39)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт [11],

$$K_s = \frac{\lambda_{\text{пуск}} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (2.40)$$

$$K_s = \frac{2,0}{2,2} \cdot \left(\frac{1}{0,277} + 0,277 \right) - 2 = 1,658.$$

Згідно формули (2.39):

$$M(s) = 82,5 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,277^2) \cdot 1,658}{\frac{s}{0,277} + \frac{0,277}{s}}.$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [11]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.41)$$

На рисунку 2.3 зображено природні механічні характеристики приводного двигуна побудовані за формулами Клоса та Чекунова.

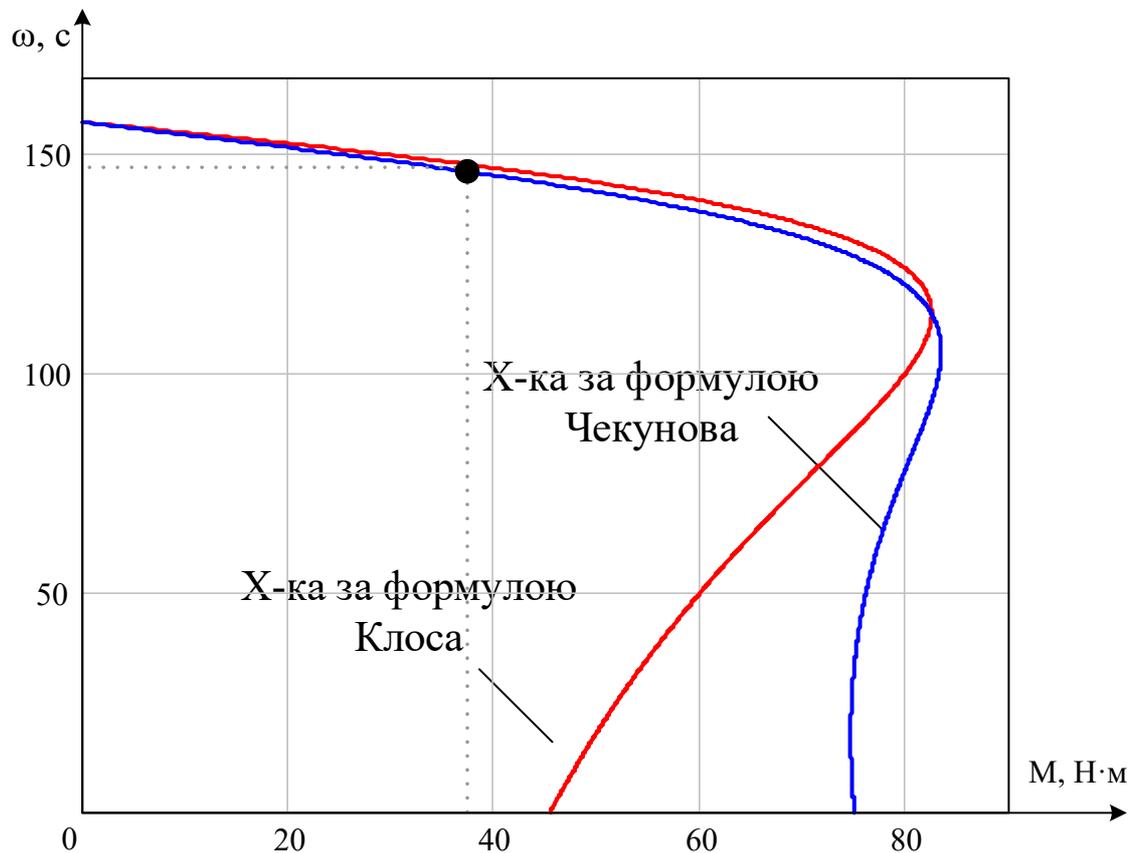


Рисунок 2.3 – Розрахункові природні механічні характеристики приводного двигуна

2.5 Вибір силового перетворювача

Згідно результатів ТЕО для привода норії економічно вигідним є використання системи електричного привода з пристроєм плавного пуску типу ATS01N222QN (рисунок 2.4). Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.5.

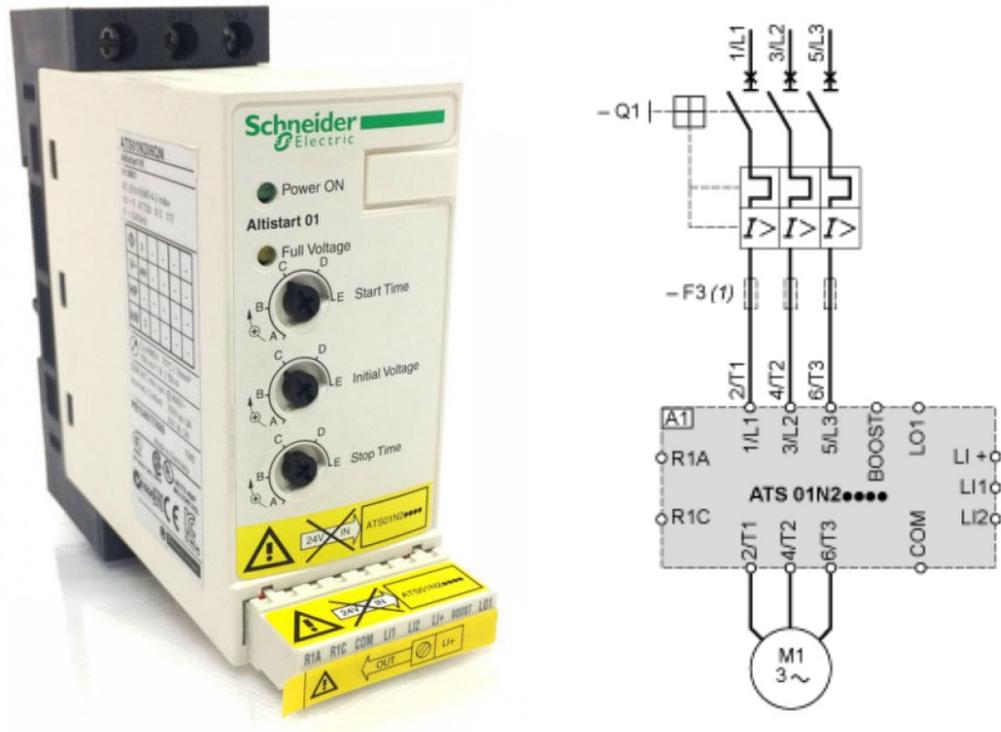


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд пристрою плавного пуску
ATS01N222QN та розміщення виводів

Таблиця 2.5– Технічні характеристики пристрою плавного пуску [14]

Характеристики	Значення
Бренд	Schneider Electric
Серія	Altistart 01
sku	ATS01N222QN
Номінальна напруга живлення	380..415 В \pm 10%
Частота мережі	50...60 Гц \pm 5%
Номінальний струм	22 А
Тип пуску	Пуск у режимі регулювання напруги
Розсіювана потужність	124,5 Вт у перехідному стані 4,5 Вт при повному навантаженні та в кінці запуску
Доступна функція	Вбудований байпас (шунтуючий контактор)
Час запуску	Регулюється від 1 до 10 с
Час уповільнення	Регулюється від 1 до 10 с

Продовження таблиці 2.5

Характеристики	Значення
Момент під час запуску	30...80 % пускового моменту двигуна
Тип дискретного входу	Логічний (LI1, LI2, BOOST) функції стоп, пуск та Boost(підвищ. напруги при пуску)
Напруга дискретного входу	24...40 В
Релейний вихід	1
Максимальний струм перемикання релейного виходу	2 А при 250 В змінний струм
Робоча температура повітря	-10...40 °С (без зниження номінальних характеристик) 40...50 °С (зі зниженням струму на 2 % на °С)
Температура повітря для зберігання	-25...70°С
Ступінь захисту	IP 20

2.6 Моделювання перехідних процесів електропривода норії

2.6.1 Моделювання роботи приводного двигуна

Виконаємо моделювання роботи приводного двигуна норії №1 в Matlab Simulink. Для цього скористаємось типовою моделлю асинхронного двигуна з бібліотеки Matlab Simulink, яка зображена на рисунку 2.5.

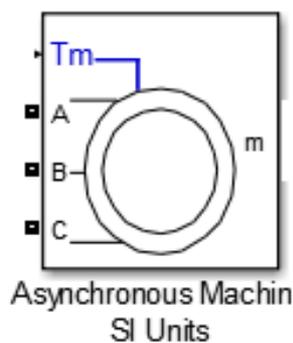


Рисунок 2.5 – Модель АД в Matlab

Для налаштування даної моделі необхідно розрахувати такі параметри АД:

– приведена індуктивність розсіювання статора і ротора [5, 11]:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi.H}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \cdot \lambda_{I.\Pi} \cdot I_{дв.H}}, \quad (2.42)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт (його значення приймають в межах від 1,01 до 1,05, прийmemo $C = 1,02$),

$$L'_c = L'_p = \frac{230,94}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,02^2) \cdot 7 \cdot 11,16} = 0,002306 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність статора [5, 11]:

$$L_c = \frac{U_{\phi.H}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{дв.H} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{дв.к} \cdot s_H}{p_1 \cdot U_{\phi.H}} \cdot \frac{s_H}{s_k}}, \quad (2.43)$$

$$L_c = \frac{230,94}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 11,16 \cdot \sqrt{1 - 0,83^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 82,5 \cdot 0,067}{2 \cdot 230,94} \cdot \frac{0,277}{0,277}} = 0,1186 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність кола намагнічування [5, 11]:

$$L_m = L_c - L'_c, \quad (2.44)$$

$$L_m = 0,1186 - 0,002306 = 0,11634 \text{ (Гн)}.$$

Вікно налаштування параметрів моделі АД зображені на рисунку 2.6.

Схема в Simulink для моделювання АД зображена на рисунку 2.7.

Результати моделювання зображені на рисунку 2.8 (динамічна механічна характеристика АД).

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]:
[5500 400 50]

Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]:
[0.6058 0.002306]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:
[1.104 0.002306]

Mutual inductance Lm (H):
0.11634

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:
[0.5 0.0005 2]

Initial conditions
[1,0 0,0,0 0,0,0]

Simulate saturation Plot

[i(Arms) ; v(VLL rms)]: 03.1917;230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.6 – Налаштування параметрів моделі АД

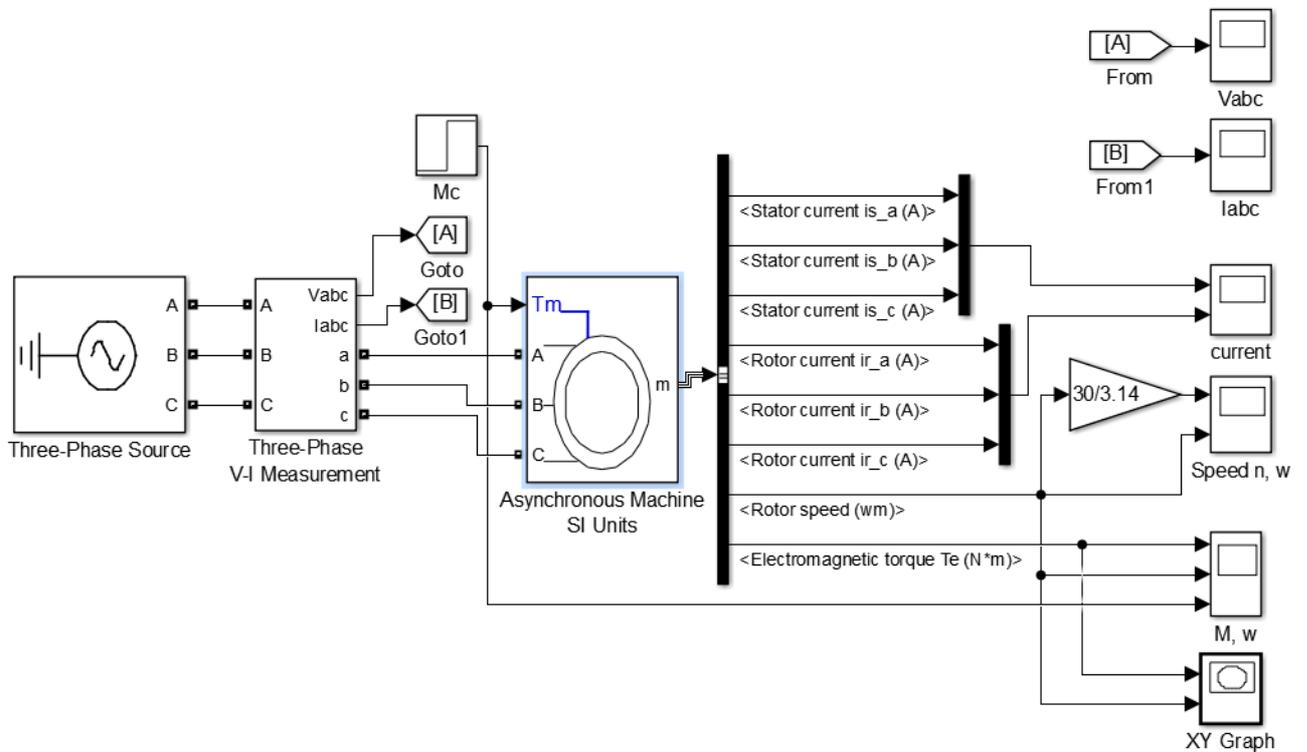


Рисунок 2.7 – Модель АД в Simulink

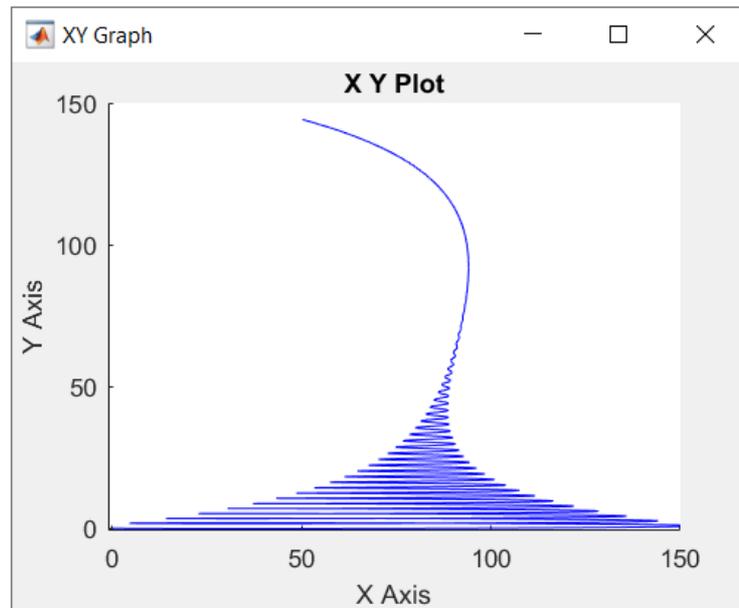


Рисунок 2.8 – Динамічна механічна характеристика АД

2.6.2 Моделювання роботи електропривода норії з системою плавного пуску

Узагальнена функціональна схема електропривода з системою плавного пуску зображена на рисунку 2.9.

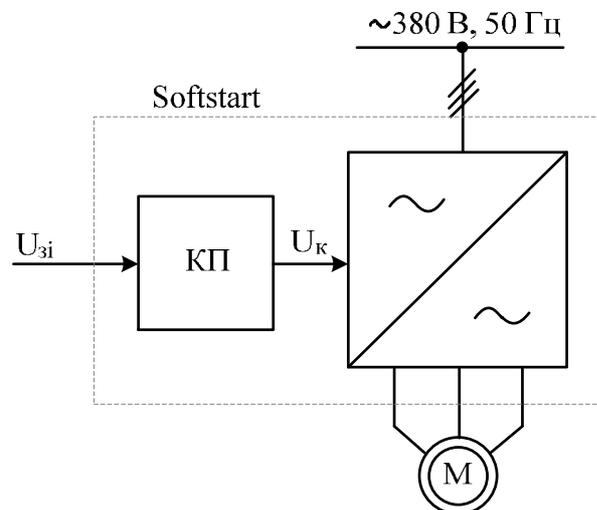


Рисунок 2.9 – Функціональна схема електропривода з системою плавного пуску

Модель в Matlab Simulink електропривода норії з системою плавного пуску зображена на рисунку 2.10.

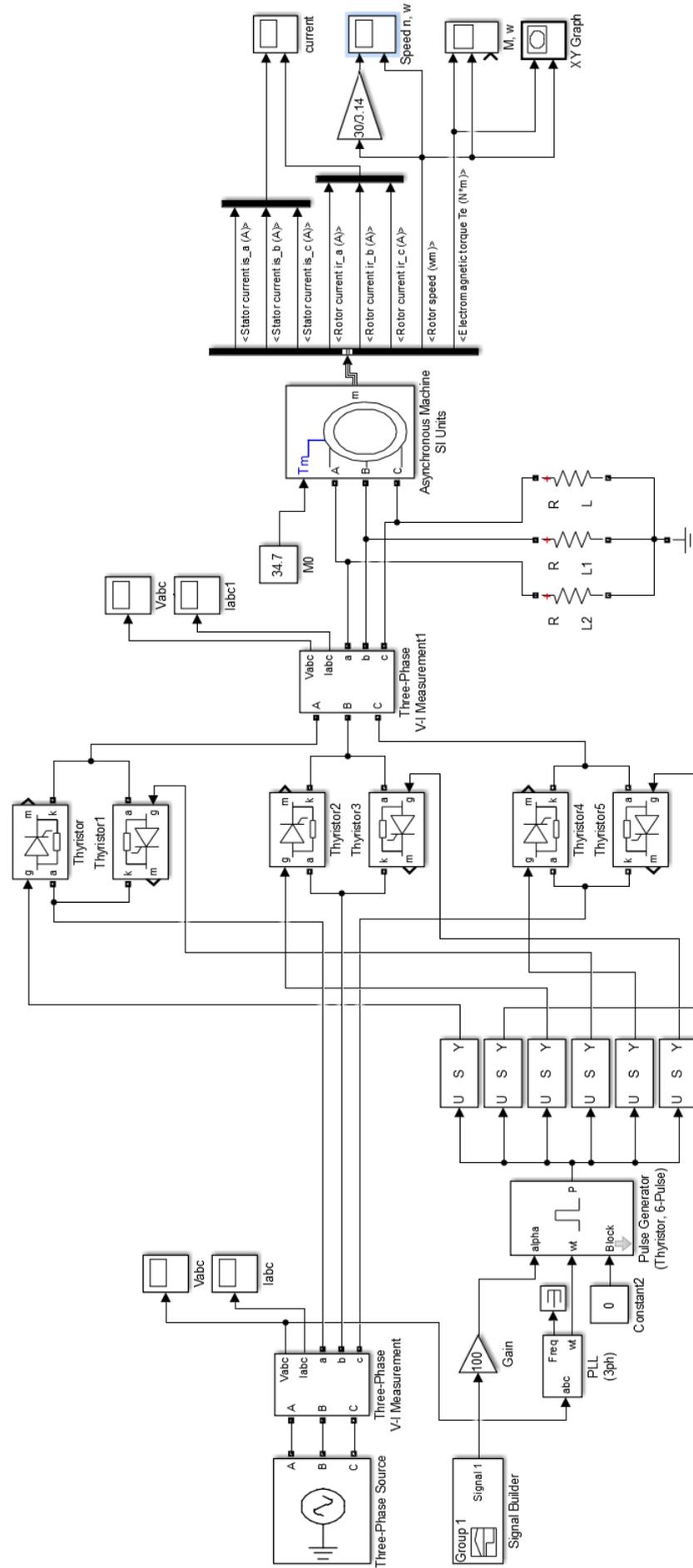


Рисунок 2.10 – Модель электропривода с системой плавного пуска в Matlab Simulink

Результати моделювання зображені на рисунку 2.11.

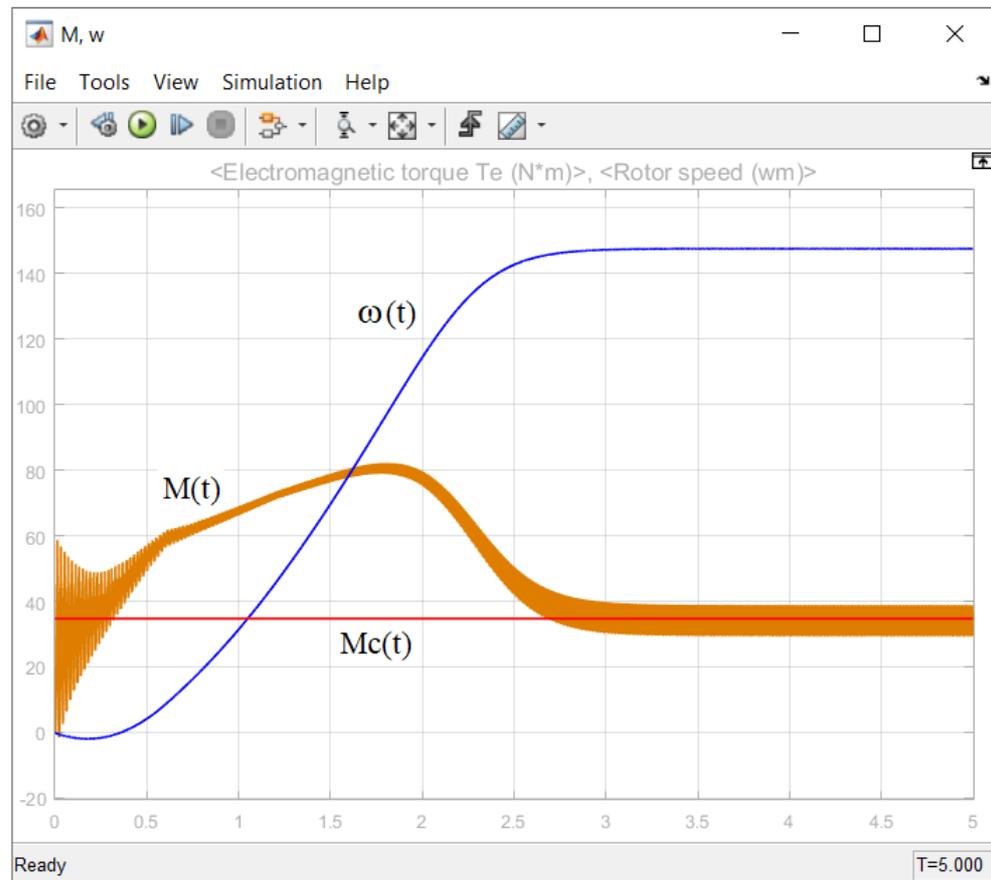


Рисунок 2.10 – Графіки перехідних процесів зміни моменту та швидкості АД при пуску

Висновок: Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування для привода норії №1 в умовах елеваторного комплексу найбільш економічно вигідним є використання системи електричного привода з пристроєм плавного пуску типу ATS01N222QN, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 33428,28 грн/рік.

Для привода норії №1 вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу MS-112L-4-5.5KW-B5 потужністю 5,5 кВт.

Виконано моделювання роботи даного електропривода норії з системою плавного пуску та отримано графіки перехідних зміни моменту та швидкості АД при пуску. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАРШРУТАМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

3.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу повинна забезпечувати узгоджене керування електроприводами кожного з механізмів (залежно від вибраного маршруту транспортування) з врахуванням стану (положення) сенсорів, які установлені на механізмах, сигналу статусу очисної машини та сигналів від сенсорів рівня в накопичувальному бункері сушарки.

Функціональна схема автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу зображена на рисунку 3.1.

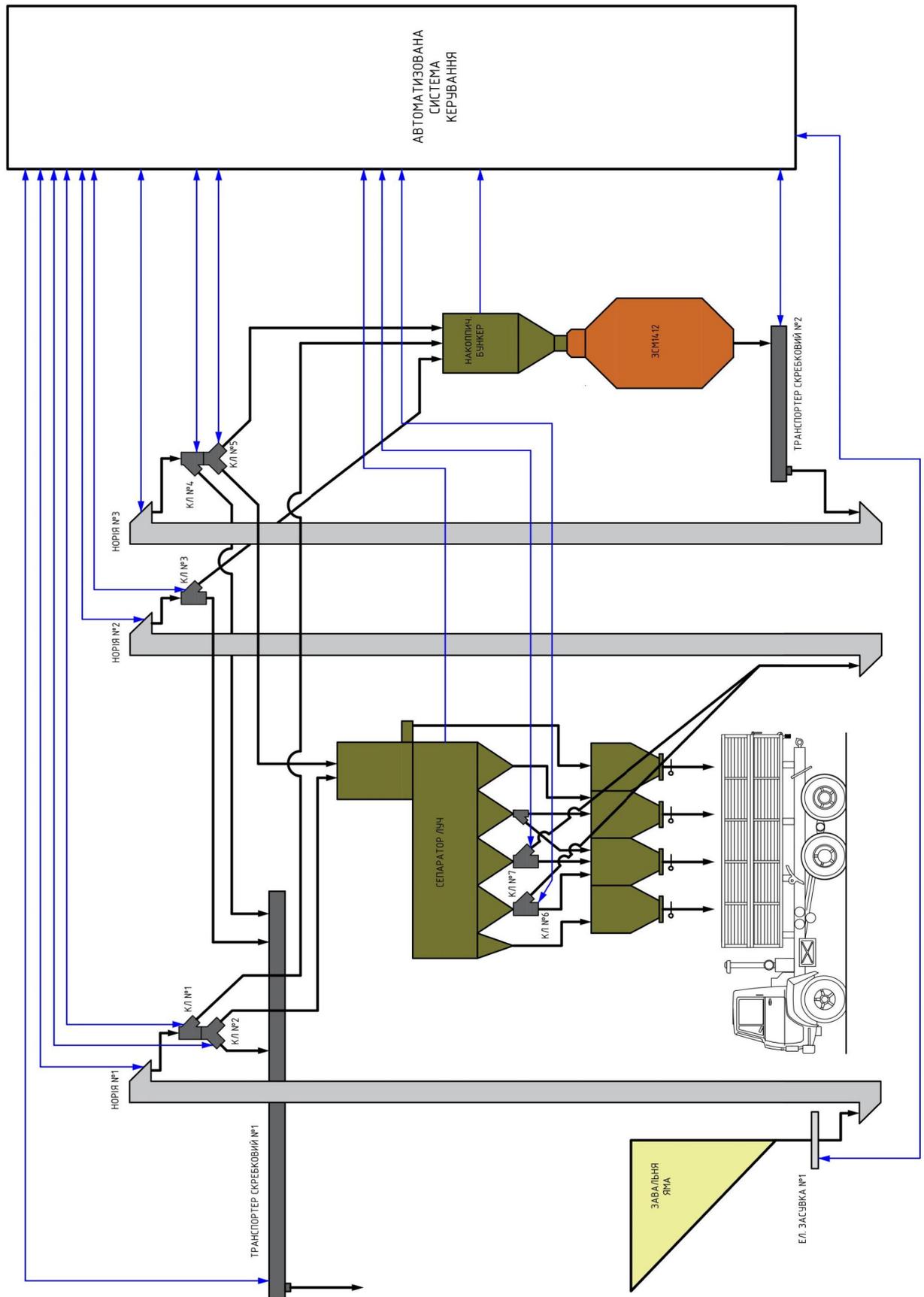


Рисунок 3.1 – Схема функціональна автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна

Розміщення сенсорів положення електрифікованої засувки №1 (шибера завальної ями) зображено на рисунку 3.2.

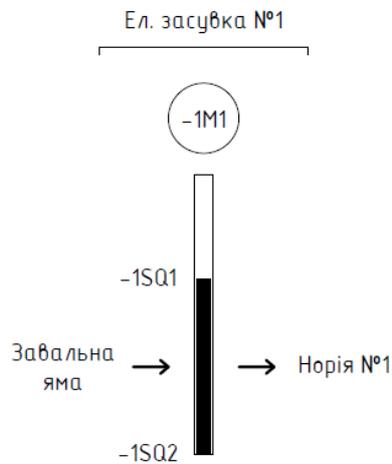


Рисунок 3.2 – Розміщення сенсорів положення електрифікованої засувки №1

Розміщення сенсорів положення електрифікованих клапанів №1 та №2 зображено на рисунку 3.3.

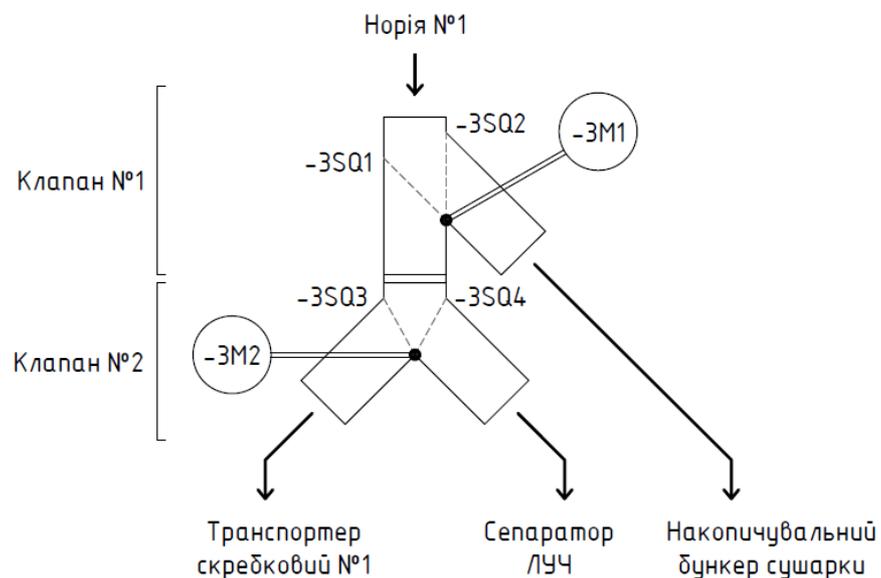


Рисунок 3.3 – Розміщення сенсорів положення електрифікованих клапанів №1 та №2

Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №3 зображено на рисунку 3.4.

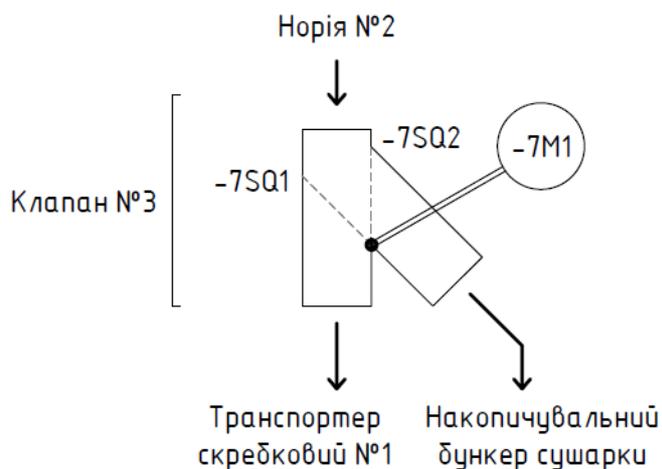


Рисунок 3.4 – Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №3

Розміщення сенсорів положення електрифікованих клапанів №4 та №5 зображено на рисунку 3.5.

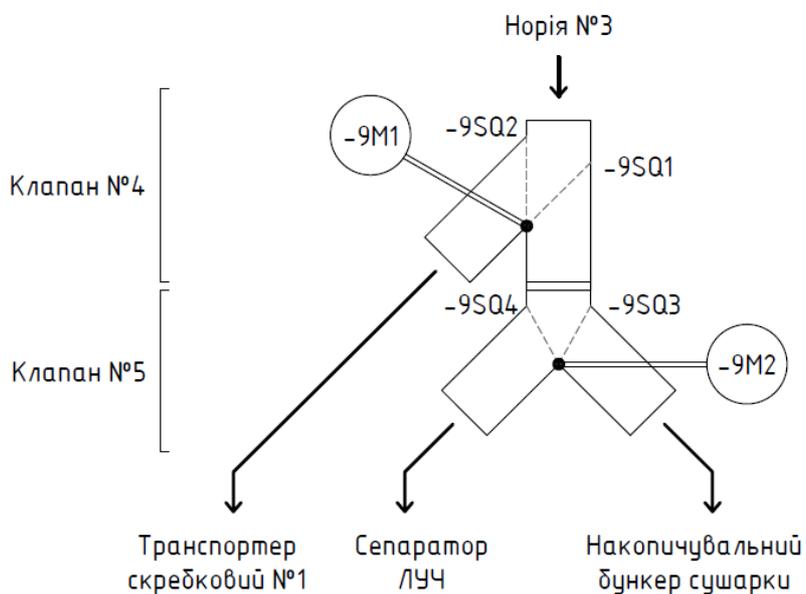


Рисунок 3.5 – Розміщення сенсорів положення електрифікованих клапанів №4 та №5

Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №6 зображено на рисунку 3.6.

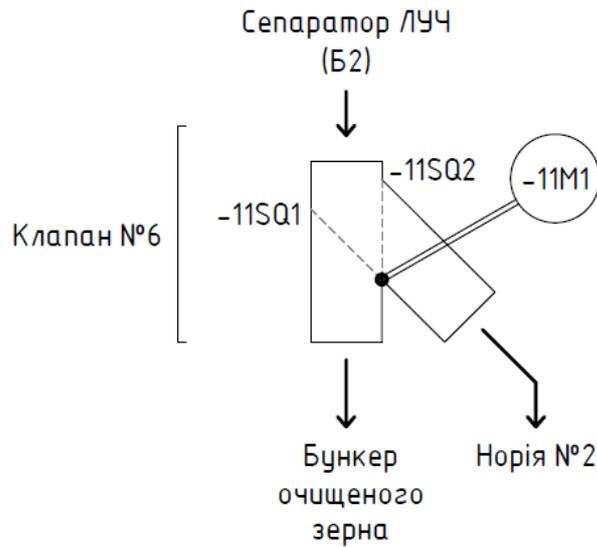


Рисунок 3.6 – Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №6

Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №7 зображено на рисунку 3.7.

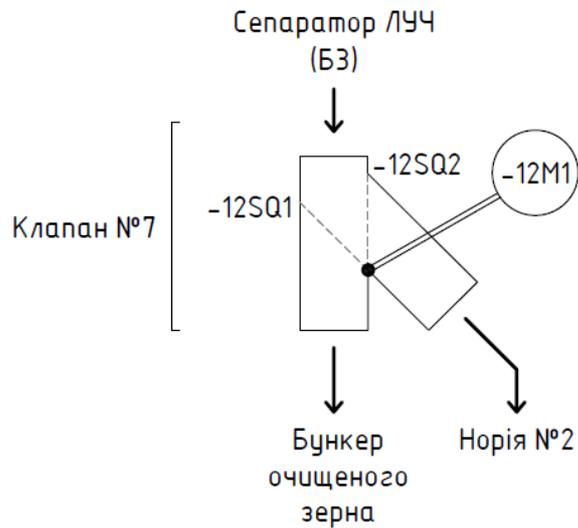


Рисунок 3.7 – Розміщення сенсорів положення електрифікованого клапана №7

Розміщення сенсорів підпору норій зображено на рисунку 3.8.

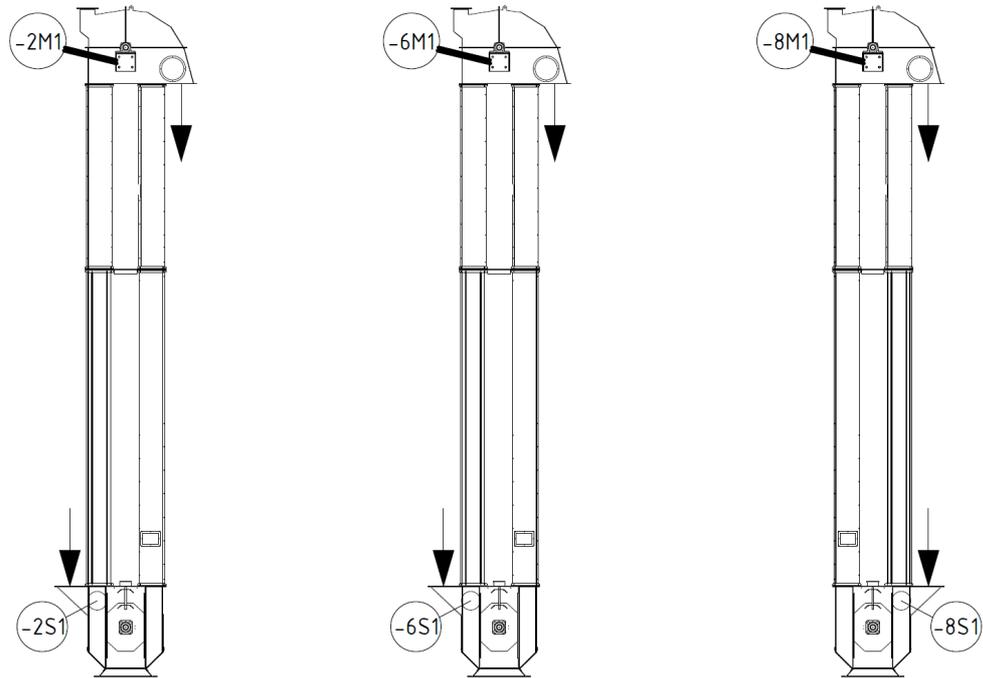


Рисунок 3.8 – Розміщення сенсорів підпору норій

Розміщення сенсорів підпору скребкових транспортерів зображено на рисунку 3.9.

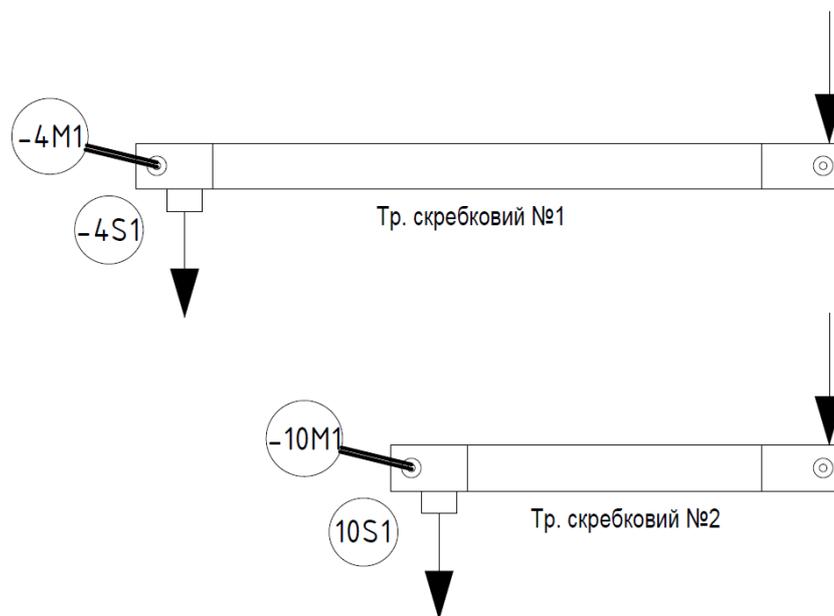


Рисунок 3.9 – Розміщення сенсорів підпору скребкових транспортерів

Розміщення сенсорів рівня накопичувального бункера сушарки зображено на рисунку 3.10.

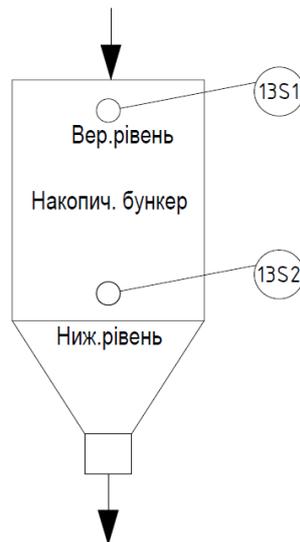


Рисунок 3.10 – Розміщення сенсорів рівня накопичувального бункера сушарки

3.2 Маршрути транспортування

Аналіз технологічної схема елеваторного комплексу (див. рисунок 1.3) дозволяє виділити ряд маршрутів транспортування в кожному з яких задіяні певні механізми та повинно бути забезпечене відповідне положення електрифікованих та ручних клапанів.

Слід відмітити, що не усі з теоретично можливих маршрутів транспортування є сумісними, оскільки передбачають одночасне використання одних і тих же механізмів в складі різних маршрутів.

Усі можливі маршрути слід розділити на дві великі групи:

I. Група маршрутів транспортування із ЗАВАЛЬНОЇ ЯМИ:

1. Завальна яма – склад (без очистки).
2. Завальна яма – накопичувальний бункер сушарки (без очистки).
3. Завальна яма – автовивантаження (з очисткою).
4. Завальня яма – склад (з очисткою).

5. Завальня яма – накопичувальний бункер сушарки (з очисткою).

II. Група маршрутів транспортування із СУШАРКИ:

6. Сушарка – склад (без очистки).

7. Сушарка – склад (з очисткою).

8. Сушарка – автовивантаження (з очисткою).

9. Сушарка – сушарка.

Загальні правила пуску та зупинки механізмів в складі вибраних маршрутів:

1. Порядок зупинки лінії є зворотним до порядку пуску (залежно від вибраного напрямку транспортування). Положення електрифікованих клапанів зберігається в останньому робочому положенні.

2. При аварійній зупинці одного з механізмів або спрацюванні сенсорів підпору миттєво відключаються механізми, які забезпечують подачу зерна і в штатному режимі зупиняються інші механізми.

3. Положення ручних клапанів вибирається і контролюється оператором.

Маршрут №1. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-СКЛАД (без очистки)

Задіяні механізми:

1) електрифікована засувка №1;

2) норія №1;

3) клапан електрифікований №1;

4) клапан електрифікований №2;

5) транспортер скребковий №1.

Порядок пуску:

1) клапани №1 та №2 забезпечують переключення згідно вибраного напрямку транспортування;

2) запускається транспортер скребковий №1;

3) через час Δt запускається норія №1;

4) через час Δt відкривається ел. засувка №1.

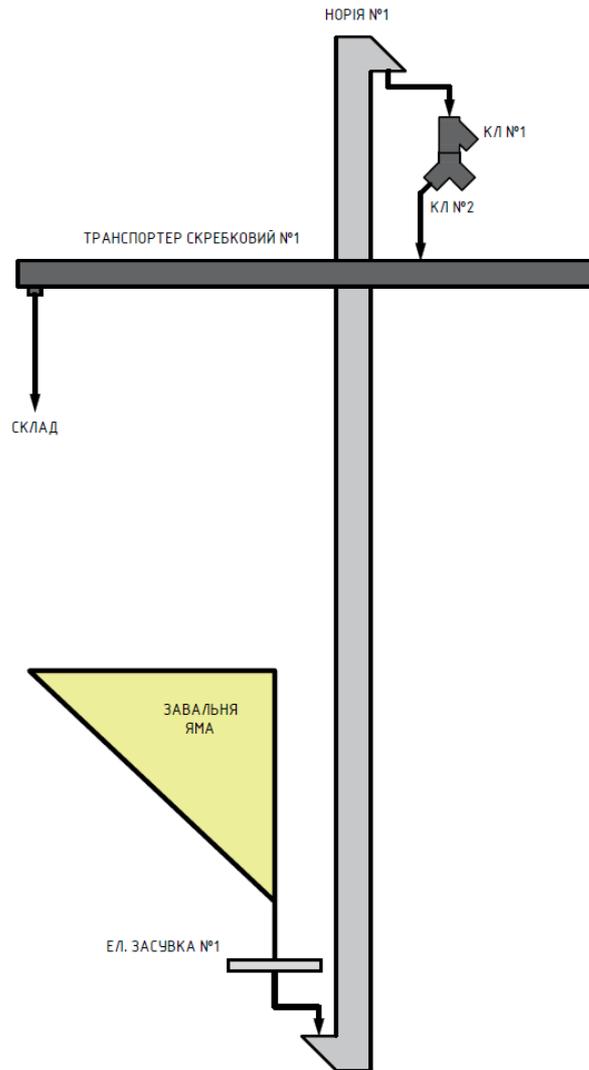


Рисунок 3.11 – Маршрут №1. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-СКЛАД (без очистки)

Маршрут №2. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-НАКОПИЧУВАЛЬНИЙ БУНКЕР СУШАРКИ (без очистки)

Задіяні механізми:

- 1) електрифікована засувка №1;
- 2) норія №1;
- 3) клапан електрифікований №1;
- 4) клапан електрифікований №2.

Порядок пуску:

1) клапани №1 та №2 забезпечують переключення згідно вибраного напрямку транспортування;

- 2) запускається норія №1;
- 3) через час Δt відкривається ел. засувка №1.

Логіка роботи: лінія забезпечує підтримання рівня зерна в накопичувальному бункері сушарки в межах сенсорів нижнього та верхнього рівнів. При досягненні верхнього рівня закривається ел. засувка №1, а норія №1 продовжує працювати. При зниженні рівня зерна в накопичувальному бункері сушарки (нижче сенсора нижнього рівня) відкривається ел. засувка №1 і зерно знову подається в накопичувальний бункер сушарки. Цикл в подальшому повторюється.

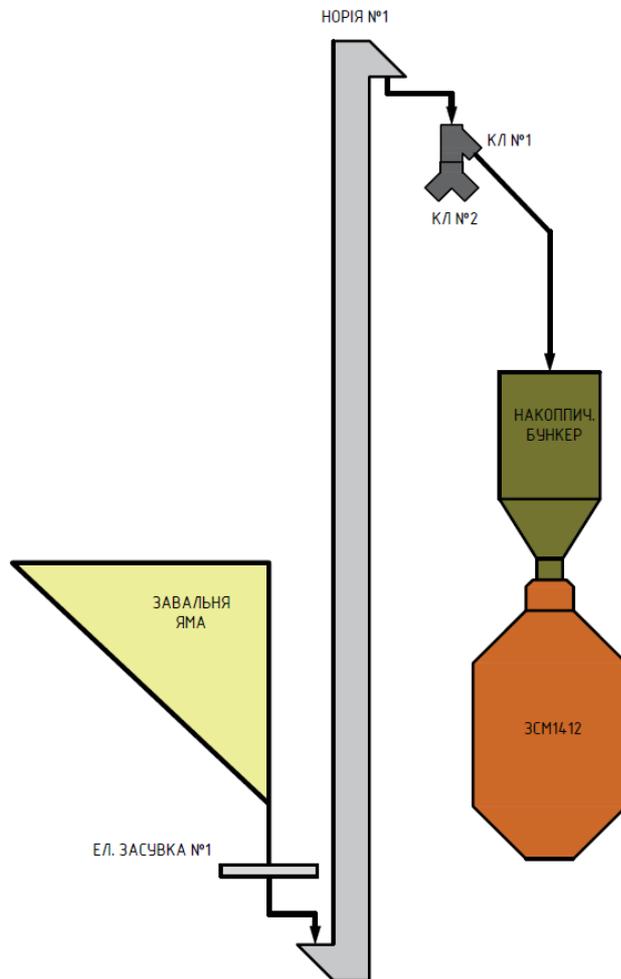


Рисунок 3.12 – Маршрут №2. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-НАКОПИЧУВАЛЬНИЙ БУНКЕР СУШАРКИ (без очистки)

Маршрут №3. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-АВТОВИВАНТАЖЕННЯ (з очисткою)

Задіяні механізми:

- 1) електрифікована засувка №1;
- 2) норія №1;
- 3) клапан електрифікований №1;
- 4) сепаратор ЛУЧ;
- 5) клапан електрифікований №6;
- 6) клапан електрифікований №7;
- 7) клапан ручний.

Порядок пуску:

- 1) клапан №1 переключається на сепаратор ЛУЧ;
- 2) клапани №6 та №7 переключаються на бункер очищеного зерна, який розміщений під сепаратором ЛУЧ;
- 3) після отримання сигналу підтвердження роботи сепаратора ЛУЧ запускається норія №1;
- 4) через час Δt відкривається ел. засувка №1.

Примітка: біля пульта керування сепаратора ЛУЧ знаходяться кнопки ПУСК/СТОП в автоматичному режимі, які є активними лише при виборі зазначеного напрямку транспортування.

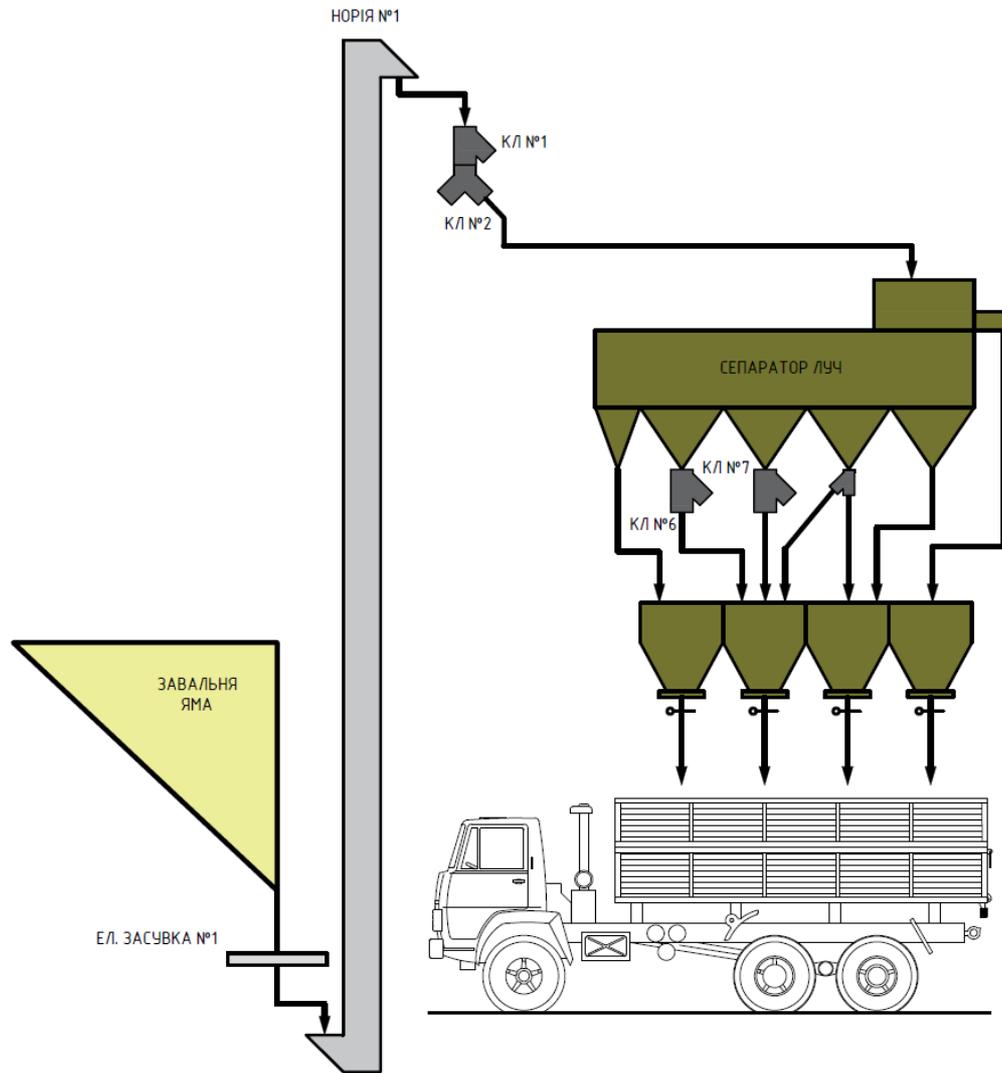


Рисунок 3.13 – Маршрут №3. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-АВТОВИВАНТАЖЕННЯ
(з очисткою)

Маршрут №4. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-СКЛАД (з очисткою)

Задіяні механізми:

- 1) електрифікована засувка №1;
- 2) норія №1;
- 3) клапан електрифікований №1;
- 4) сепаратор ЛУЧ;
- 5) клапан електрифікований №6;
- 6) клапан електрифікований №7;
- 7) норія №2;

8) клапан електрифікований №3;

9) транспортер скребковий №1.

Порядок пуску:

1) клапан №1 переключється на сепаратор ЛУЧ;

2) клапани №6 та №7 переключуються на норію №2;

3) клапан №3 переключється на транспортер скребковий №1;

4) запускається транспортер скребковий №1;

5) через час Δt запускається норія №2;

6) після отримання сигналу підтвердження роботи сепаратора ЛУЧ запускається норія №1;

7) через час Δt відкривається ел. засувка №1.

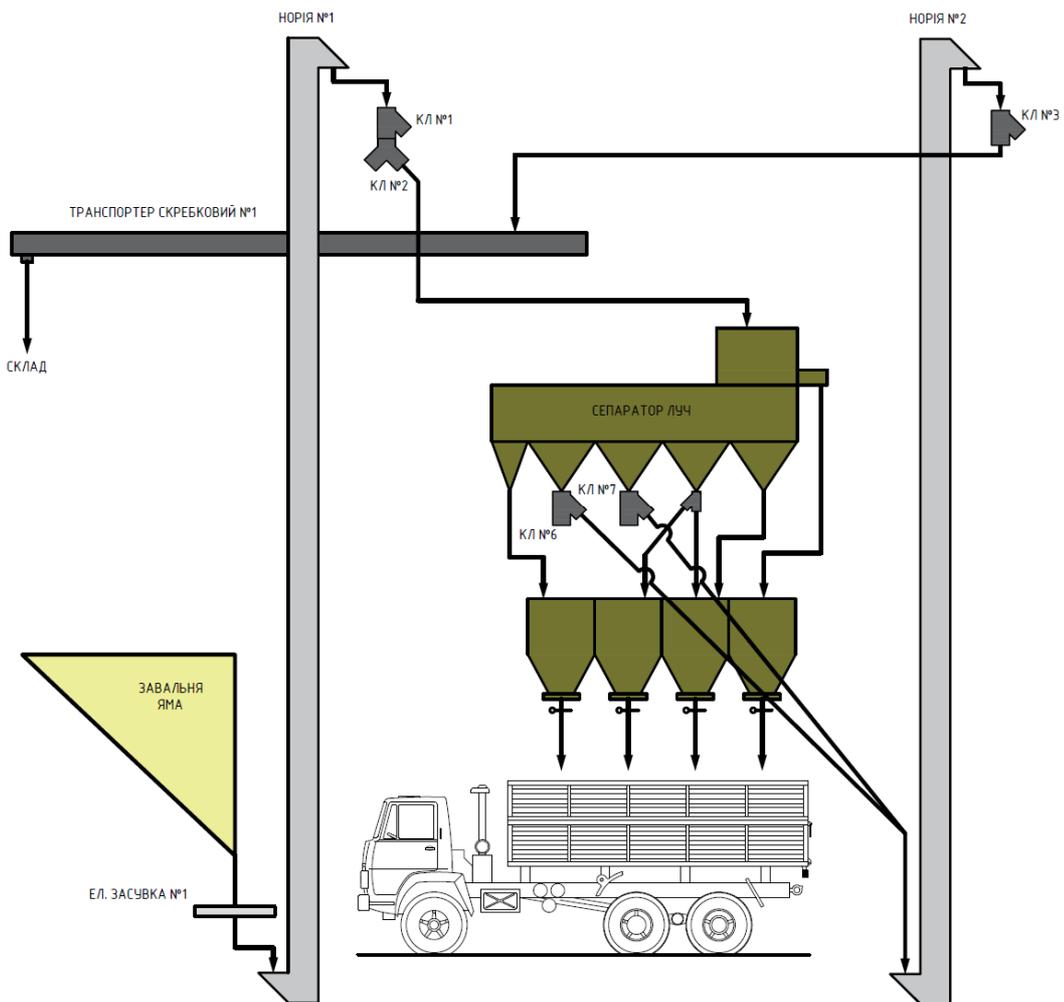


Рисунок 3.14 – Маршрут №4. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-СКЛАД (з очисткою)

*Маршрут №5. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-НАКОПИЧУВАЛЬНИЙ БУНКЕР
СУШАРКИ (з очисткою)*

Задіяні механізми:

- 1) електрифікована засувка №1;
- 2) норія №1;
- 3) клапан електрифікований №1;
- 4) сепаратор ЛУЧ;
- 5) клапан електрифікований №6;
- 6) клапан електрифікований №7;
- 7) норія №2;
- 8) клапан електрифікований №3.

Порядок пуску:

- 1) клапан №1 переключється на сепаратор ЛУЧ;
- 2) клапани №6 та №7 переключуються на норію №2;
- 3) клапан №3 переключється на накопичувальний бункер сушарки;
- 4) запускається норія №2;
- 6) після отримання сигналу підтвердження роботи сепаратора ЛУЧ запускається норія №1;
- 7) через час Δt відкривається ел. засувка №1.

Логіка роботи: лінія забезпечує підтримання рівня зерна в накопичувальному бункері сушарки в межах сенсорів нижнього та верхнього рівнів. При досягненні верхнього рівня закривається ел. засувка №1, а норія №1, сепаратор ЛУЧ та норія №2 продовжують працювати. При зниженні рівня зерна в накопичувальному бункері сушарки (нижче сенсора нижнього рівня) відкривається ел. засувка №1 і зерно знову подається в накопичувальний бункер сушарки. Цикл в подальшому повторюється.

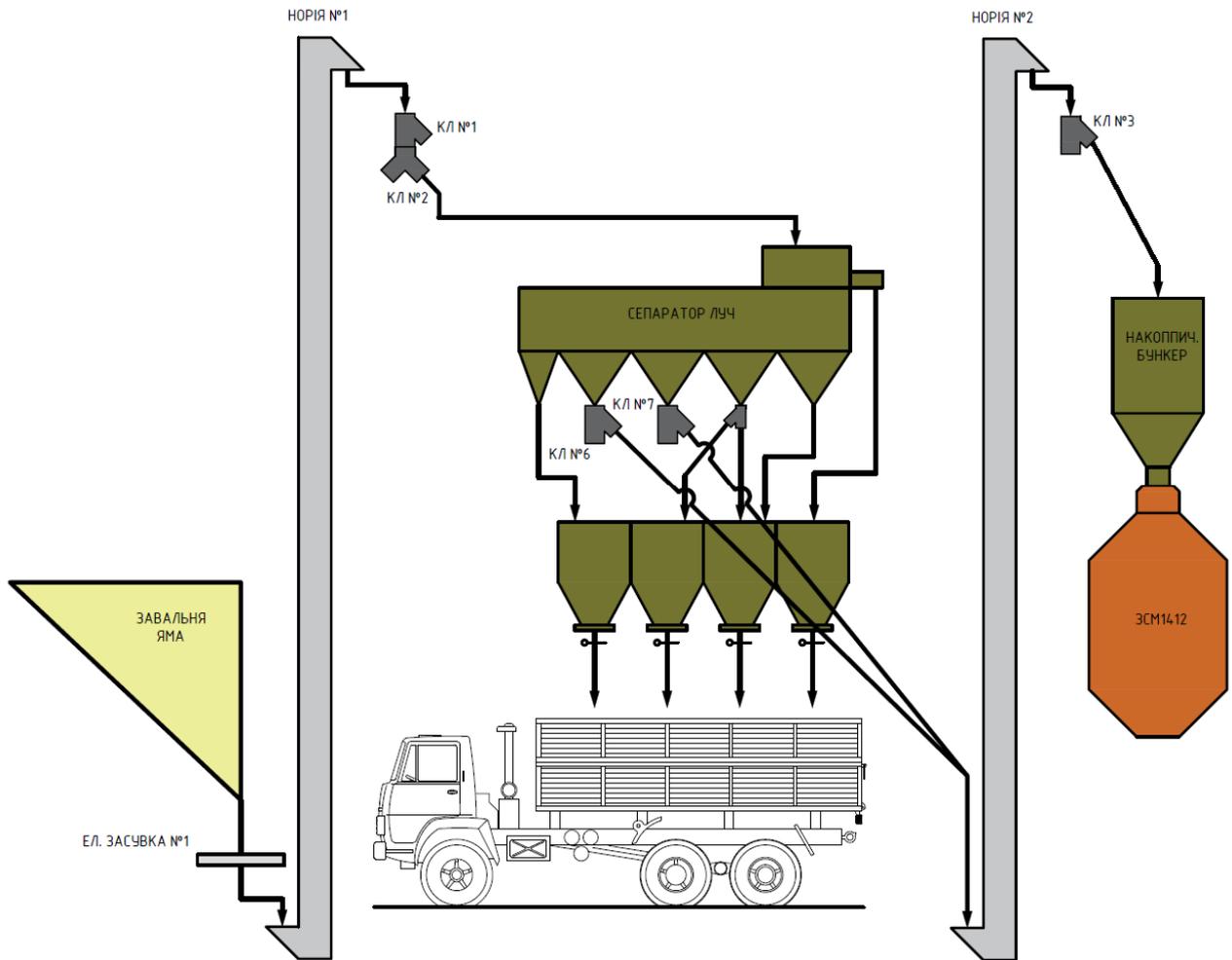


Рисунок 3.15 – Маршрут №5. ЗАВАЛЬНЯ ЯМА-НАКОПИЧУВАЛЬНИЙ БУНКЕР СУШАРКИ (з очисткою)

Маршрут №6. СУШАРКА-СКЛАД (без очистки)

Задіяні механізми:

- 1) транспортер скребковий №2;
- 2) норія №3;
- 3) клапан електрифікований №4;
- 4) клапан електрифікований №5;
- 5) транспортер скребковий №1.

Порядок пуску:

- 1) клапани №4 та №5 забезпечують переключення згідно вибраного напрямку транспортування;

- 2) запускається транспортер скребковий №1;
- 3) через час Δt запускається норія №3;
- 4) через час Δt запускається транспортер скребковий №2.

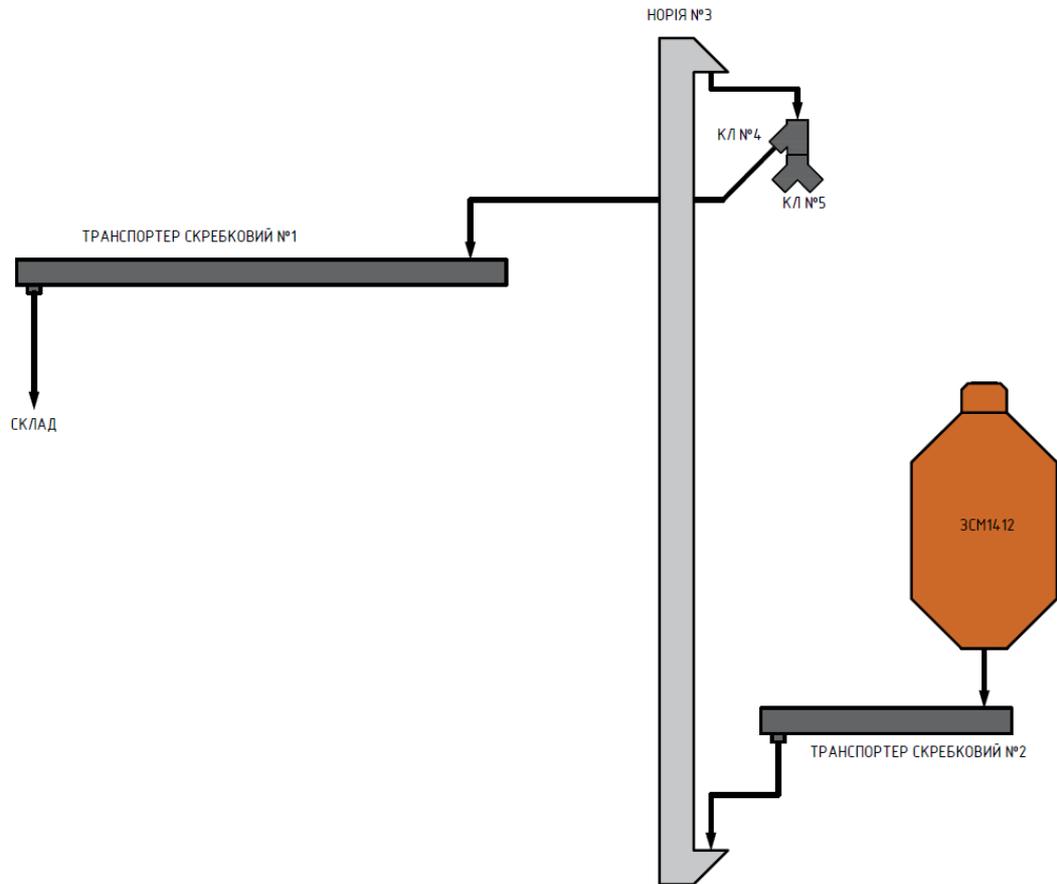


Рисунок 3.16 – Маршрут №6. СУШАРКА-СКЛАД (без очистки)

Маршрут №7. СУШАРКА-СКЛАД (з очисткою)

Задіяні механізми:

- 1) транспортер скребковий №2;
- 2) норія №3;
- 3) клапан електрифікований №4;
- 4) клапан електрифікований №5;
- 5) сепаратор ЛУЧ;
- 6) клапан електрифікований №6;
- 7) клапан електрифікований №7;
- 8) норія №2;

9) клапан електрифікований №3;

10) транспортер скребковий №1.

Порядок пуску:

1) клапани №4 та №5 забезпечують переключення згідно вибраного напрямку транспортування;

2) клапани №6 та №7 переключаються на норію №2;

3) клапан №3 переключається на транспортер скребковий №1;

4) запускається транспортер скребковий №1;

4) через час Δt запускається норія №2;

5) після отримання сигналу підтвердження роботи сепаратора ЛУЧ запускається норія №3;

4) через час Δt запускається транспортер скребковий №2.

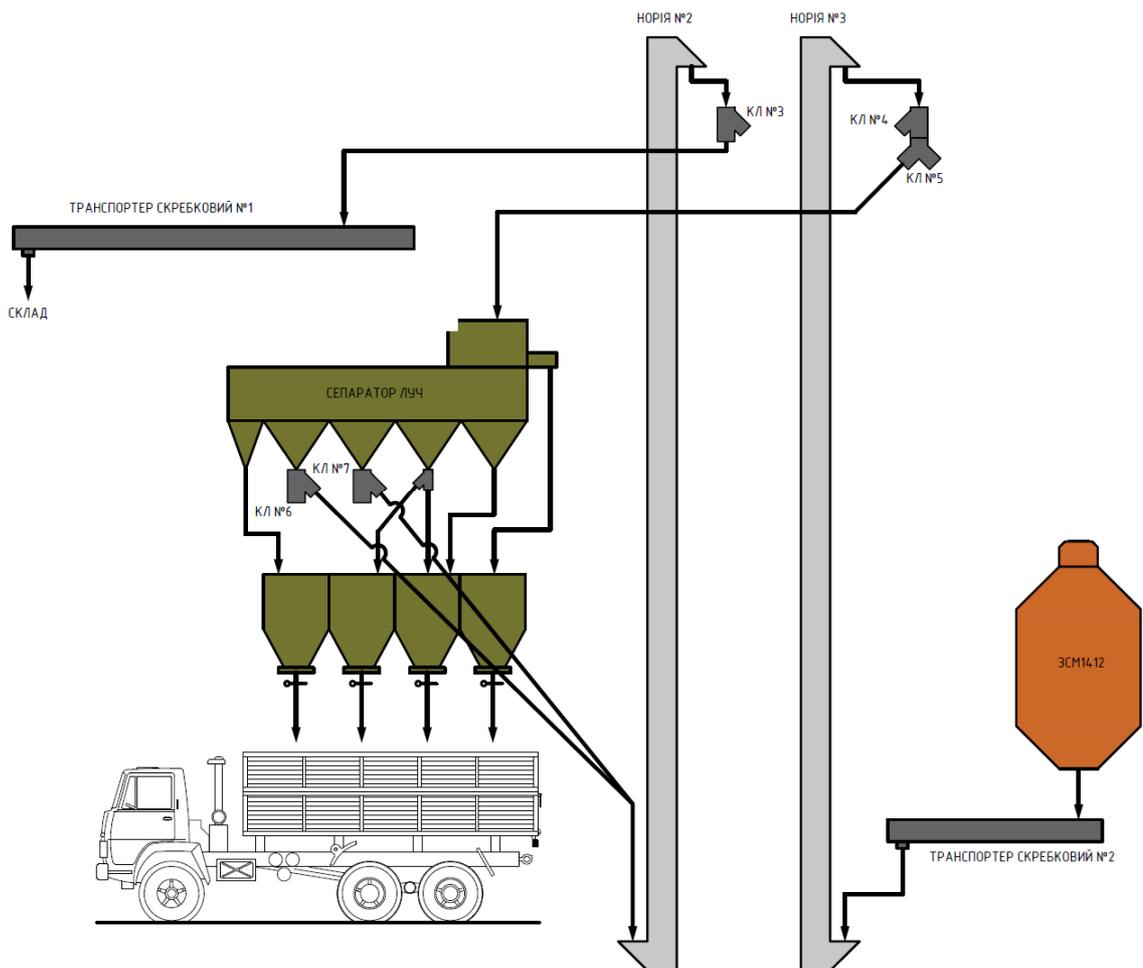


Рисунок 3.17 – Маршрут №7. СУШАРКА-СКЛАД (з очисткою)

Маршрут №8. СУШАРКА-АВТОВИВАНТАЖЕННЯ (з очисткою)

Задіяні механізми:

- 1) транспортер скребковий №2;
- 2) норія №3;
- 3) клапан електрифікований №4;
- 4) клапан електрифікований №5;
- 5) сепаратор ЛУЧ;
- 6) клапан електрифікований №6;
- 7) клапан електрифікований №7.

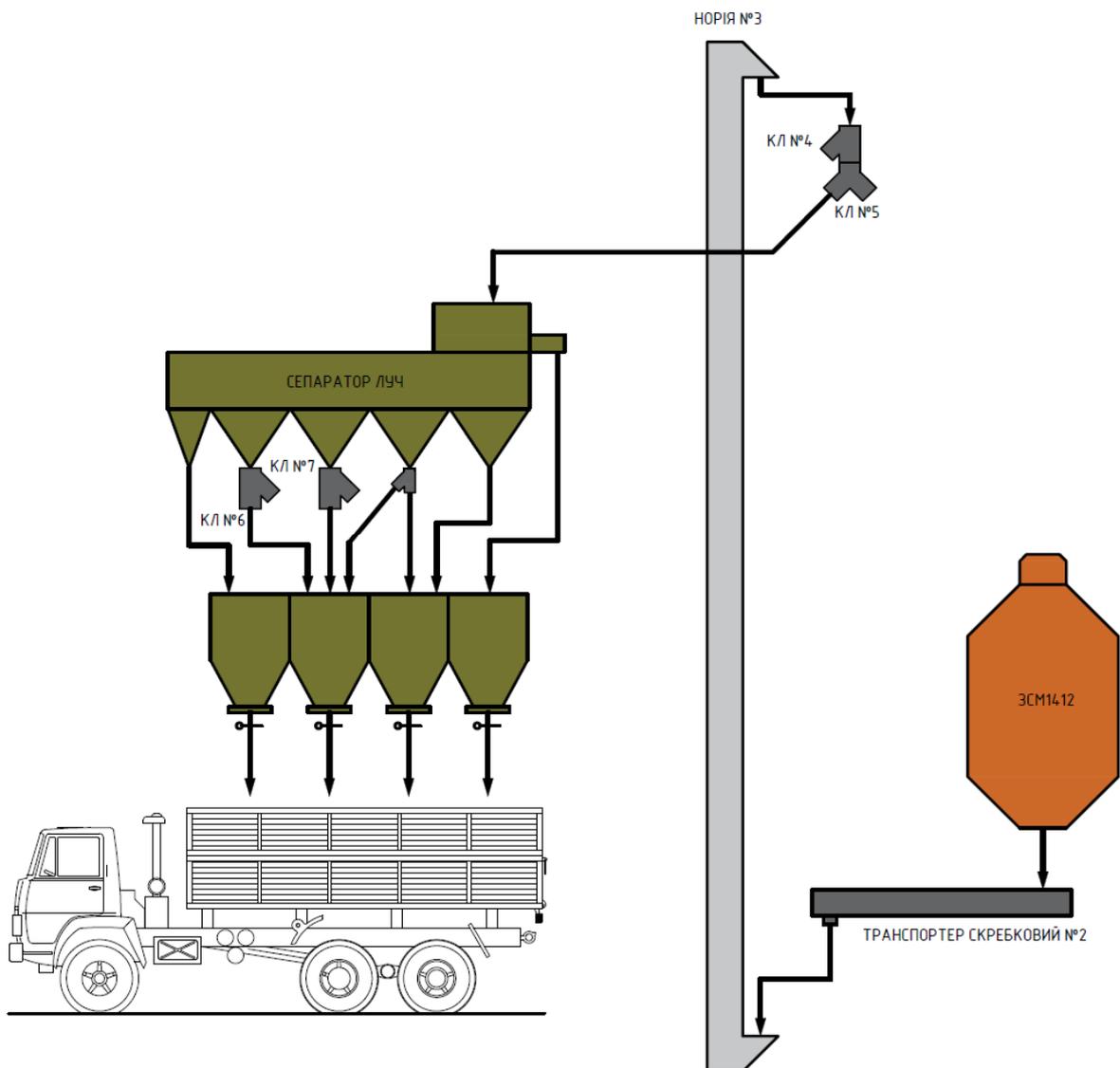


Рисунок 3.18 – Маршрут №8. СУШАРКА-АВТОВИВАНТАЖЕННЯ
(з очисткою)

Порядок пуску:

- 1) клапани №4 та №5 забезпечують переключення згідно вибраного напрямку транспортування;
- 2) клапани №6 та №7 переключаються на бункер очищеного зерна, який розміщений під сепаратором ЛУЧ;
- 3) після отримання сигналу підтвердження роботи сепаратора ЛУЧ запускається норія №3;
- 4) через час Δt запускається транспортер скребковий №2.

Маршрут №9. СУШАРКА-СУШАРКА

Задіяні механізми:

- 1) транспортер скребковий №2;
- 2) норія №3;
- 3) клапан електрифікований №4.

Порядок пуску:

- 1) клапан №4 переключається на накопичувальний бункер сушарки;
- 2) запускається норія №3;
- 3) через час Δt запускається транспортер скребковий №2.

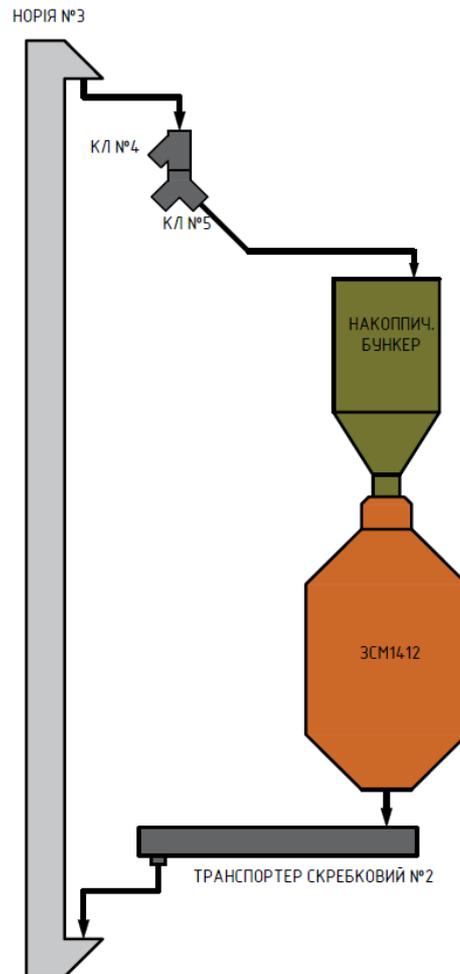


Рисунок 3.19 – Маршрут №9. СУШАРКА- СУШАРКА

3.3 Вибір основної елементної бази

3.3.1 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 використовуємо типовий ПЛК Siemens серії SIMATIC S7-1200 модель CPU 1214C DC/DC/DC (рисунок 3.20).



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд CPU 1214C DC/DC/DC

Технічні характеристики вибраного ПЛК наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики вибраного ПЛК [15]

Характеристика	Дані
Номер для замовлення	6ES7214-1AG40-0XB0
Модель	S7-1214C DC/DC/DC
Вбудована робоча пам'ять	125 kbyte
Вбудована пам'ять для завантаження	4 Mbyte
Можливість розширення пам'яті для завантаження	картою пам'яті Memory Card
Інтерфейс	PROFINET

Продовження таблиці 3.1

Характеристика	Дані
Вбудовані входи і виходи	14 DI 24V DC 10 DO 24V DC 0.5A 2 AI 0-10V DC
Живлення (допустимий діапазон)	DC 20.4 - 28.8 V DC
Температура навколишнього середовища при експлуатації	-20...60°C

Схему підключення ПЛК S7-1214C DC/DC/DC наведено на рисунку 3.21.

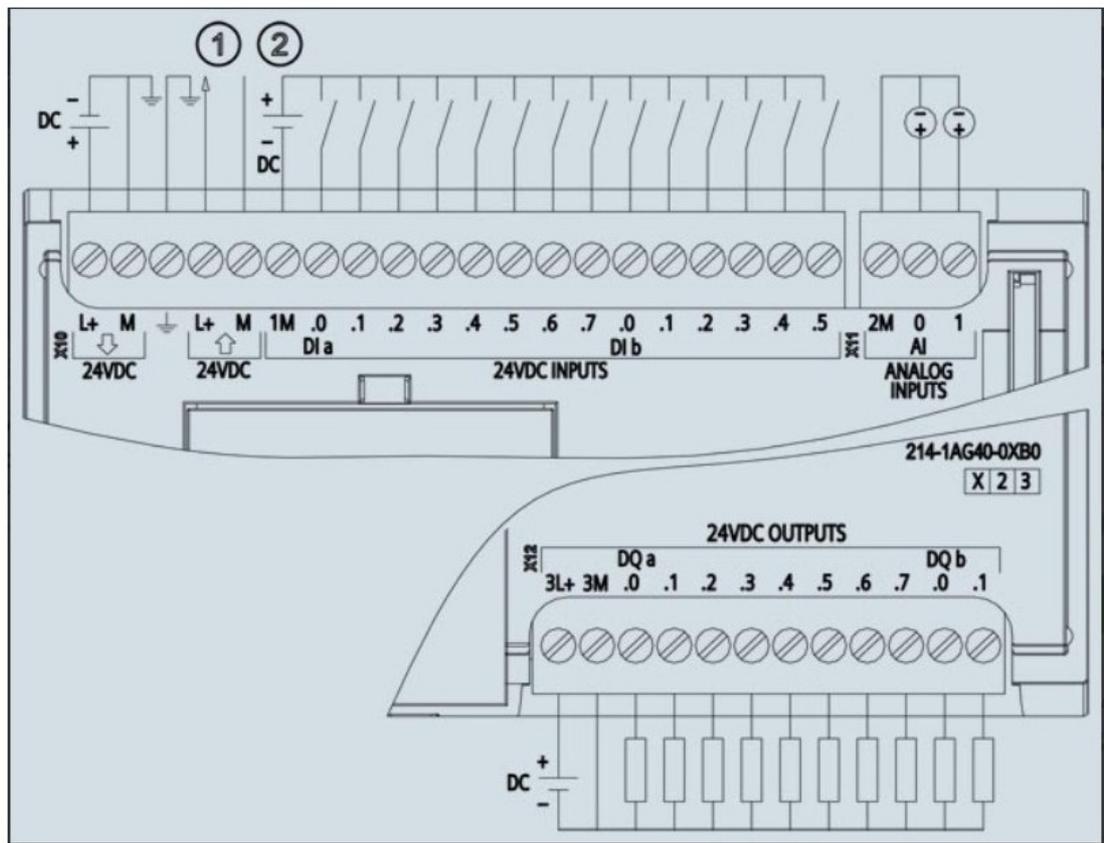


Рисунок 3.21 – Підключення зовнішніх кіл ПЛК S7-1214C DC/DC/DC

Для збільшення кількості дискретних входів та виходів виберемо відповідні модулі розширення (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Перелік модулів розширення

№	Найменування	Номер для замовлення	Кіл.
1	SM 1223, 16DI / 16DO, 24VDC [16]	6ES7223-1BL32-0XB0	1
2	SM 1221, 16DI, 24VDC [17]	6ES7221-1BH32-0XB0	1
3	SM 1221, 8DI, 24VDC [18]	6ES7221-1BF32-0XB0	1

Таблиця 3.3 – Узагальнені технічні характеристики модулів розширення [16-18]

Характеристика	Дані
Живлення (допустимий діапазон)	DC 20.4 - 28.8 V DC
Цифрові входи:	16
- вид вхідної напруги	DC
- номінальне значення	24V
- для сигналу «0»	5VDC при струмі 1mA
- для сигналу «1»	15VDC при струмі 2.5mA
Цифрові виходи:	16, транзисторні
- вихідна напруга	DC
- номінальне значення	24V
- комутаційна здатність (омічне навантаж.)	0.5A
Ступінь захисту	IP20
Температура навколишнього середовища при експлуатації	-20...60°C

Схему підключення модуля розширення SM 1223 наведено на рисунку 3.22.

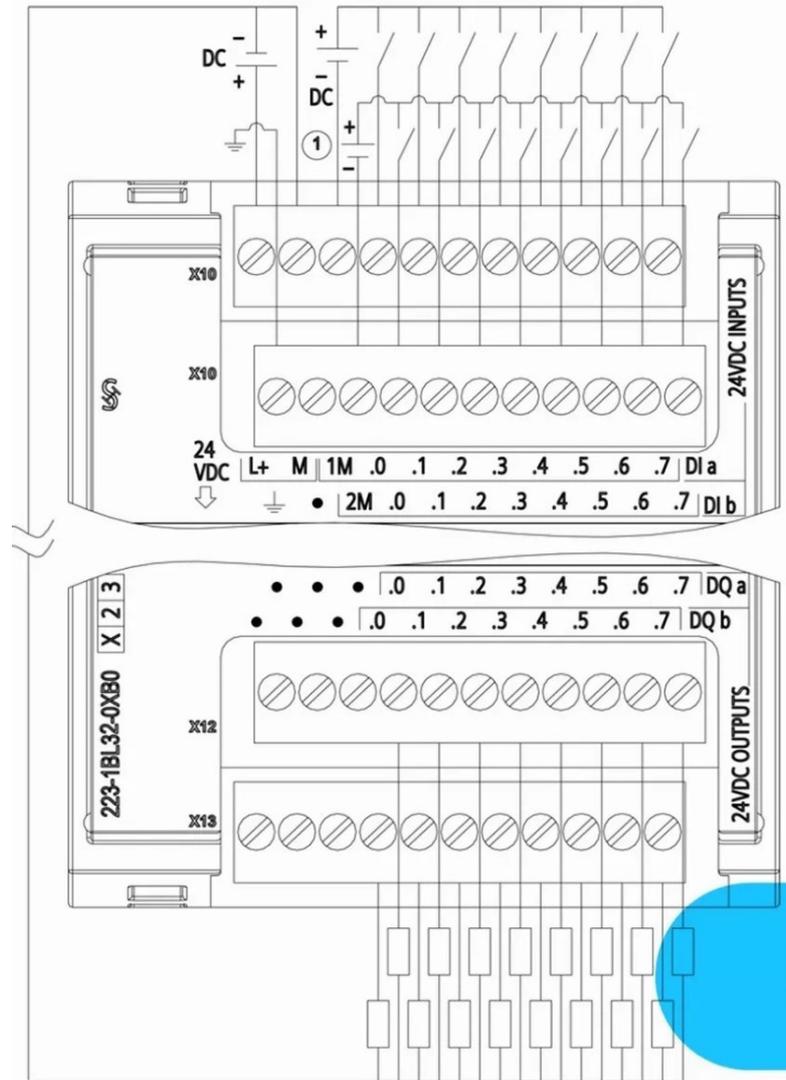


Рисунок 3.22 – Схема підключення SM 1223, 16DI / 16DO, 24VDC

Схему підключення модуля розширення SM 1221, 16DI, 24VDC наведено на рисунку 3.23.

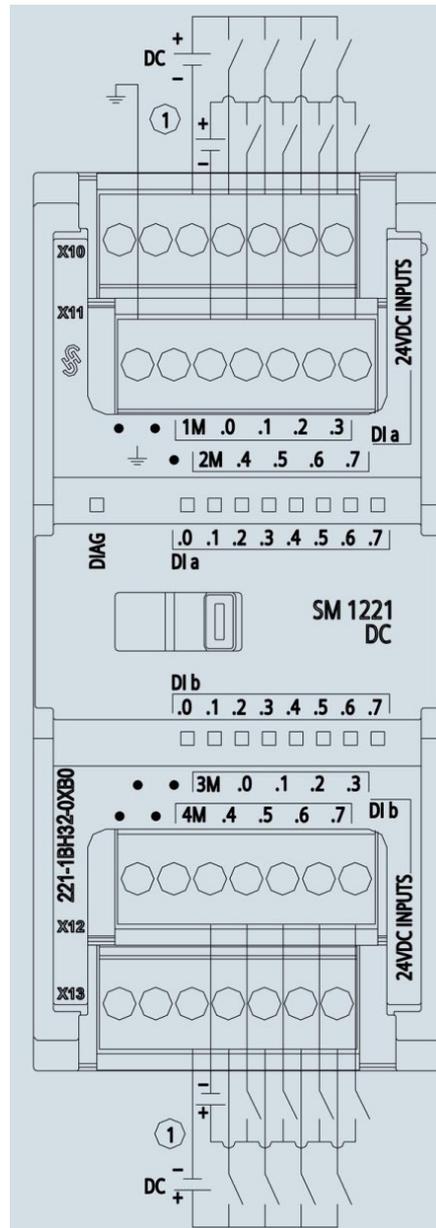


Рисунок 3.23 – Схема підключення SM 1221, 16DI, 24VDC

Схему підключення модуля розширення SM 1221, 8DI, 24VDC наведено на рисунку 3.24.

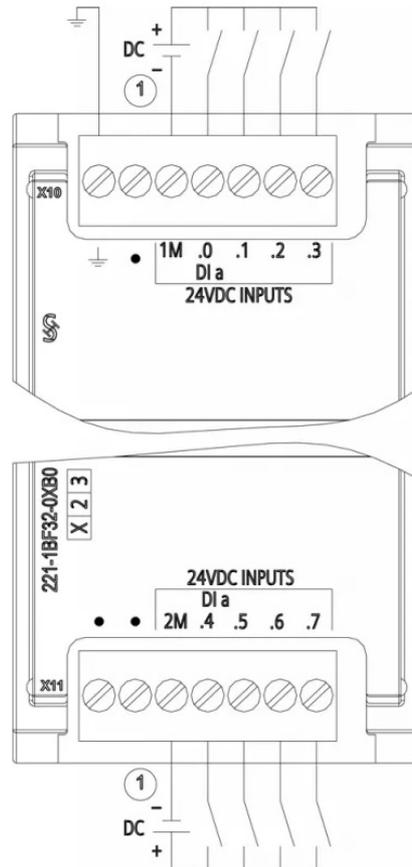


Рисунок 3.24 – Схема підключення SM 1221, 8DI, 24VDC

3.3.2 Вибір засобів НМІ-інтерфейсу

Для керування елеваторним комплексом та візуалізації процесів транспортування зерна виберемо операторську панель фірми WEINTEK – сMT2128X з діагоналлю 12.1 дюймів (рисунок 3.25).

«Weintek сMT2128X – це сучасна інтелектуальна панель оператора НМІ з потужними IoT-функціями (Industrial Internet of Things) і розширеними можливостями інтеграції у промислові системи керування. Пристрій поєднує функції НМІ, шлюзу даних, OPC UA-клієнта та, за потреби, контролера з підтримкою CODESYS для реалізації локальної логіки управління» [19].

Технічні характеристики панелі наведені в таблиці 3.4.



Рисунок 3.25 – Зовнішній вигляд панелі WEINTEK cMT2128X

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики панелі WEINTEK cMT2128X [19]

Параметр	Значення
Дисплей	12.1" TFT LCD з широким кутом огляду (WVA 89/89/89/89°)
Роздільна здатність	1024 × 768 пікселів
Процесор	продуктивний 4-ядерний RISC
Пам'ять	1 ГБ RAM + 4 ГБ Flash (вбудована)
Сенсор	4-провідний резистивний екран
Захист	IP66 / NEMA 4 — пилозахищена панель, стійка до струменів води
Комунікаційні та IoT-можливості	<p>Ethernet-порти (2 шт.): LAN 1: 10/100/1000 Base-T (Gigabit Ethernet); LAN 2: 10/100 Base-T.</p> <p>COM-порти (3 шт.): Con.A: COM2 (RS-485 2W/4W), COM3 (RS-485 2W); Con.B: COM1 (RS-232 4W), COM3 (RS-232 2W).</p>

Продовження таблиці 3.4

Параметр	Значення
Протоколи	Modbus TCP, Modbus RTU, MPI (187.5 K), а також сучасні IoT-стандарти — OPC UA (клієнт) та MQTT.
Додаткові інтерфейси	USB 2.0 Host, слот для Micro SD.
Розробка проєктів	Середовище EasyBuilder Pro
Віддалений моніторинг	VNC Server, FTP, EasyAccess 2.0 (опція)
Розширені можливості	Підтримка CODESYS (опція), Dashboard, WebView
Напруга живлення	24VDC
Ступінь захисту	IP65
Температура при експлуатації	0 °C ~ 50 °C
Температура при зберіганні	-20 °C ~ 60 °C

3.2.3 Вибір сенсорів рівня в накопичувальному бункері сушарки

Для контролю рівня зерна в накопичувальному бункері сушарки виберемо ротаційні сенсори, їх конструкція є відносно простою а тому характеризуються високою надійністю, вони стійкі до вібрацій, характеризуються високою чутливістю, можуть працювати в широкому діапазоні температур тощо.

Зовнішній вигляд вибраного сенсора рівня зображено на рисунку 3.26, а його основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.5.



Рисунок 3.26 – Зовнішній вигляд ротаційного сенсора рівня ILTD0

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики ротаційного сенсора рівня ILTD0 [20]

Характеристика	Дані
Бренд	TOREX S.p.A.
Країна виробництва	Італія
Тип приладу	Лопастний
Кількість рівнів	1
Контрольоване середовище	Сипучі матеріали
Напруга живлення	24 V DC
Потужність	3 Вт
Тип контівків	CO (перекидний, релейний)
Номінальний струм контактів	2 А
Матеріал корпусу	Алюміній
Матеріал сполучних різьблень	Пластик
Матеріал лопатей і лез	Нержавіюча сталь
Температура навколишнього середовища	-20 ... + 70°C
Температура вимірюваного середовища	-20 ... + 80°C
Ступінь захисту	IP66

3.3.4 Вибір сенсорів підпору та рівня

Захист від завалу зерном норій та транспортерів реалізують, зазвичай, за допомогою мембранних сенсорів. Для цієї мети виберемо відповідні сенсори типу СУМ-1 (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 – Мембранний сенсор рівня СУМ-1

Технічні характеристики датчика СУМ-1 наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики сенсора рівня СУМ-1 [21]

Параметри	Значення
Струм комутації виходу при 220В	2 А
Гарантоване зусилля спрацювання	0,5Н±10%
Гарантована кількість спрацювань	30000
Середній строк служби	12 років
Ступінь захисту	IP65
Робочий діапазон температур	-20...+50°C
Відносно вологість повітря	30-90%
Внутрішній розмір установочного фланця	88 мм
Маса	0,4 кг
Габаритні розміри	130×115×77 мм

Розміщення сенсора підпору норії №1, зображено на рисунку 3.28, а скребкового транспортера №2 – на рисунку 3.29.



Рисунок 3.28 – Сенсор підпору норії №1



Рисунок 3.29 – Сенсор підпору скребкового транспортера №2

3.3.5 Вибір сенсорів положення перемикачів потоків

Крайні положення засувки перемикачів потоків повинні контролюватись, що є необхідним для реалізації системи керування (рисунок 3.30).



Рисунок 3.30 – Зовнішній вигляд норій з перемикачами потоків

З цією метою виберемо датчики типу ME-8108 фірми АСКО (рисунок 3.31).

Технічні характеристики кінцевого вимикача ME-8108 наведені в таблиці 3.7.



Рисунок 3.31 – Датчик положення ME-8108

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики кінцевого вимикача ME-8108 [22]

Параметри	Значення
Номінальна напруга	230В (AC) 115В (DC)
Номінальний струм	5А (AC) 0,4А (DC)
Тип контакта	1NO+1NC
Механічна зносостійкість	10 ⁷ циклів
Максимальна кількість включень за хвилину	30
Ступінь захисту	IP65
Робочий діапазон температур	-15...+70°C

3.3.6 Вибір автоматів захисту приводних двигунів

Для захисту приводних механізмів елеваторного комплексу від коротких замикань та перевантажень виберемо обладнання фірми Etimat типу MPE (таблиця 3.8). На рисунку 3.32 наведено зовнішній вигляд такого автомату.



Рисунок 3.32 – Зовнішній вигляд автомата типу MPE

Таблиця 3.8 – Вибрані автомати захисту двигунів механізмів елеваторного комплексу

Назва	Параметри приводного двигуна	Характеристики АЗД	
		тип	діапазон налаштування
Електрифікована засувка №1	$P = 0,37$ кВт $I_H = 1,17$ А	MPE25-1,6	(1,0-1,6) А
Клапан електрифікований №1 – №7	$P = 0,37$ кВт $I_H = 1,17$ А	MPE25-1,6	(1,0-1,6) А
Норія №1 – №3	$P_H = 5,5$ кВт $I_H = 11,16$ А	MPE25-16	(10-16) А
Транспортер скребковий №1	$P_H = 7,5$ кВт $I_H = 15$ А	MPE25-16	(10-16) А
Транспортер скребковий №2	$P_H = 4,0$ кВт $I_H = 8,36$ А	MPE25-10	(6,3-10) А

Загальні технічні характеристики автоматів захисту двигунів типу MPE наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Загальні технічні характеристики АЗД типу МРЕ [23]

Найменування	Значення
Номінальна напруга	690 В
Номінальна частота	50 / 60 Гц
Регулювання теплового захисту	так
Струм спрацювання електромагнітного розчіплювача	$13xI_n$
Клас теплового розчіплювача	10
Частота комутацій	до 15/год
Механічний / електричний ресурс	100000 / 100000
Температура експлуатації	-20°C до +70°C
Температурна компенсація	-20°C до +60°C
Ступінь захисту	IP20

3.3.7 Вибір силових контакторів

В якості силових контакторів для живлення приводних двигунів механізмів елеваторного комплексу виберемо контактори фірми Etimat типу СЕМ (таблиця 3.10). На рисунку 3.33 наведено зовнішній вигляд такого контактора.



Рисунок 3.33 – Зовнішній вигляд контактора типу СЕМ

Таблиця 3.10 – Силові контактори механізмів механізмів елеваторного комплексу [23]

Назва	Параметри приводного двигуна	Характеристики контактора	
		тип	Номінальний струм/потужність (режим АС3)
Електрифікована засувка №1	$P = 0,37 \text{ кВт}$ $I_H = 1,17 \text{ А}$	СЕМ9.10	9 А / 4 кВт
Клапан електрифікований №1 – №7	$P = 0,37 \text{ кВт}$ $I_H = 1,17 \text{ А}$	СЕМ9.10	9 А / 4 кВт
Норія №1 – №3	$P_H = 5,5 \text{ кВт}$ $I_H = 11,16 \text{ А}$	СЕМ18.10	18 А / 7,5 кВт
Транспортер скребковий №1	$P_H = 7,5 \text{ кВт}$ $I_H = 15 \text{ А}$	СЕМ25.00	25 А / 11 кВт
Транспортер скребковий №2	$P_H = 4,0 \text{ кВт}$ $I_H = 8,36 \text{ А}$	СЕМ18.10	18 А / 7,5 кВт

Напруга керування контакторів: 24VDC.

3.4 Призначення портів контролера та модулів його розширення

Контролер та модулі його розширення об'єднаємо у PLC-збірку (рисунок 3.34).

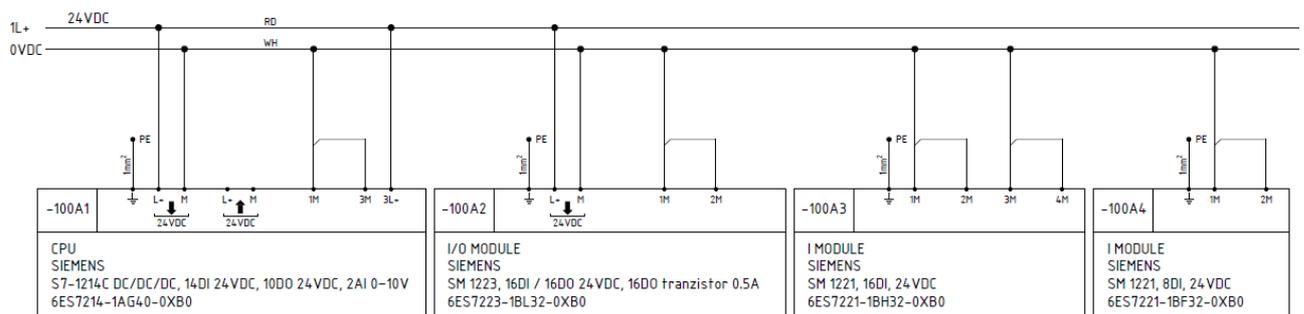


Рисунок 3.34 – PLC-збірка

Таблиця 3.11 – Призначення портів CPU S7-1214C, DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0)

Входи/виходи	Порт	Призначення
Digital inputs 24VDC	DIa.0	Контроль стану кіл живлення (реле напруги)
	DIa.1	АВАРІЙНИЙ СТОП
	DIa.2	Ел. засувка №1. Захист приводного двигуна
	DIa.3	Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач 1SQ1
	DIa.4	Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач 1SQ2
	DIa.5	Норія №1. Захист приводного двигуна
	DIa.6	Норія №1. Контроль стану
	DIa.7	Норія №1. Сенсор підпору
	DIb.0	Клапан №1. Захист приводного двигуна
	DIb.1	Клапан №2. Захист приводного двигуна
	DIb.2	Клапан №1. Кінцевий перемикач 3SQ1
	DIb.3	Клапан №1. Кінцевий перемикач 3SQ2
	DIb.4	Клапан №2. Кінцевий перемикач 3SQ3
	DIb.5	Клапан №2. Кінцевий перемикач 3SQ4
Digital outputs 24VDC	DQa.0	Ел. засувка №1. Керування (контактор 1KM1)
	DQa.1	Ел. засувка №1. Керування (контактор 1KM2)
	DQa.2	Норія №1. Керування (контактор 2KM1)
	DQa.3	Клапан №1. Керування (контактор 3KM1)
	DQa.4	Клапан №1. Керування (контактор 3KM2)
	DQa.5	Клапан №2. Керування (контактор 3KM3)
	DQa.6	Клапан №2. Керування (контактор 3KM4)
	DQa.7	Транспортер скребковий №1. Керування (контактор 4KM1)
	DQb.0	Транспортер скребковий (резервний). Керування (контактор 5KM1)
	DQb.1	Норія №2. Керування (контактор 6KM1)
Analog inputs 0-10VDC	AI0	РЕЗЕРВ
	AI1	РЕЗЕРВ

Таблиця 3.12 – Призначення портів SM 1223, 16 DI / 16 DQ (6ES7223-1BL32-0XB0)

Входи/виходи	Порт	Призначення
Digital inputs 24VDC	DIa.0	Транспортер скребковий №1. Захист приводного двигуна
	DIa.1	Транспортер скребковий №1. Контроль стану
	DIa.2	Транспортер скребковий №1. Сенсор підпору
	DIa.3	Транспортер скребковий (резервний). Захист приводного двигуна
	DIa.4	Транспортер скребковий (резервний). Контроль стану
	DIa.5	Транспортер скребковий (резервний). Сенсор підпору
	DIa.6	Норія №2. Захист приводного двигуна
	DIa.7	Норія №2. Контроль стану
	DIb.0	Норія №2. Сенсор підпору
	DIb.1	Клапан №3. Захист приводного двигуна
	DIb.2	Клапан №3. Кінцевий перемикач 7SQ1
	DIb.3	Клапан №3. Кінцевий перемикач 7SQ2
	DIb.4	Норія №3. Захист приводного двигуна
	DIb.5	Норія №3. Контроль стану
	DIb.6	Норія №3. Сенсор підпору
DIb.7	Попереджувальна звукова сигналізація	
Digital outputs 24VDC	DQa.0	Клапан №3. Керування (контактор 7KM1)
	DQa.1	Клапан №3. Керування (контактор 7KM2)
	DQa.2	Норія №3. Керування (контактор 8KM1)
	DQa.3	Клапан №4. Керування (контактор 9KM1)
	DQa.4	Клапан №4. Керування (контактор 9KM2)
	DQa.5	Клапан №5. Керування (контактор 9KM3)
	DQa.6	Клапан №5. Керування (контактор 9KM4)
	DQa.7	Транспортер скребковий №2. Керування (контактор 10KM1)
	DQb.0	Клапан №6. Керування (контактор 11KM1)
	DQb.1	Клапан №6. Керування (контактор 11KM2)
	DQb.2	Клапан №7. Керування (контактор 12KM1)
	DQb.3	Клапан №7. Керування (контактор 12KM2)

Продовження таблиці 3.12

Входи/виходи	Порт	Призначення
Digital outputs 24VDC	DQb.4	Попереджувальна та аварійна звукова сигналізація
	DQb.5	РЕЗЕРВ
	DQb.6	РЕЗЕРВ
	DQb.7	РЕЗЕРВ

Таблиця 3.13 – Призначення портів SM 1221, 16 DI (6ES7221-1BH32-0XB0)

Входи/виходи	Порт	Призначення
Digital inputs 24VDC	DIa.0	Клапан №4. Захист приводного двигуна
	DIa.1	Клапан №5. Захист приводного двигуна
	DIa.2	Клапан №4. Кінцевий перемикач 9SQ1
	DIa.3	Клапан №4. Кінцевий перемикач 9SQ2
	DIa.4	Клапан №5. Кінцевий перемикач 9SQ3
	DIa.5	Клапан №5. Кінцевий перемикач 9SQ4
	DIa.6	Транспортер скребковий №2. Захист приводного двигуна
	DIa.7	Транспортер скребковий №2. Контроль стану
	DIb.0	Транспортер скребковий №2. Сенсор підпору
	DIb.1	Клапан №6. Захист приводного двигуна
	DIb.2	Клапан №6. Кінцевий перемикач 11SQ1
	DIb.3	Клапан №6. Кінцевий перемикач 11SQ2
	DIb.4	Клапан №7. Захист приводного двигуна
	DIb.5	Клапан №7. Кінцевий перемикач 12SQ1
	DIb.6	Клапан №7. Кінцевий перемикач 12SQ2
	DIb.7	РЕЗЕРВ

Таблиця 3.14 – Призначення портів SM 1221, 8 DI (6ES7221-1BF32-0XB0)

Входи/виходи	Порт	Призначення
Digital inputs 24VDC	DIa.0	Сенсор завантаження накопичувального бункера сушарки (верхній рівень)
	DIa.1	Сенсор завантаження накопичувального бункера сушарки (нижній рівень)
	DIa.2	Контроль роботи очистки (сепаратор ЛУЧ)
	DIa.3	Фізична кнопка «ПУСК в автоматичному режимі» при напрямку транспортування на сепаратор
	DIa.4	Фізична кнопка «СТОП в автоматичному режимі» при напрямку транспортування на сепаратор
	DIa.5	РЕЗЕРВ
	DIa.6	РЕЗЕРВ
	DIa.7	РЕЗЕРВ

3.5 Розробка принципової схеми

Використовуючи вибрану елементу базу розроблено схему електричну принципову автоматизованої система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.

Окремі фрагменти принципової електричної схеми зображено:

- 1) на рисунку 3.35 – фрагмент схеми «ПЛК збірка»;
- 2) на рисунку 3.36 – фрагмент схеми «Електрифікована засувка №1»;
- 3) на рисунках 3.37 та 3.38 – фрагмент схеми «Клапани електрифіковані №1 та №2»;
- 4) на рисунку 3.39 – фрагмент схеми «Керування контакторами механізмів комплексу».

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

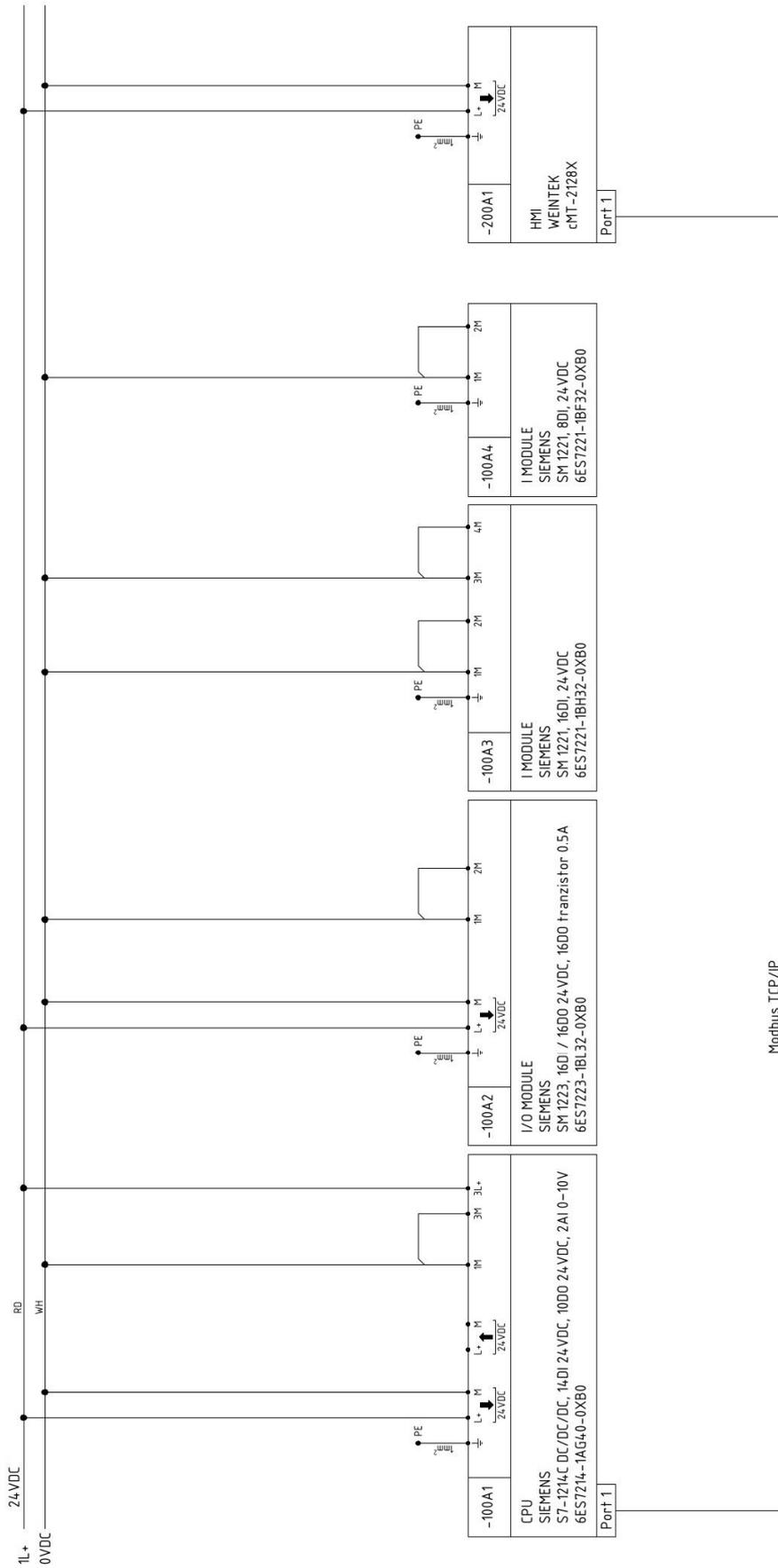


Рисунок 3.35 – ПЛК збірка

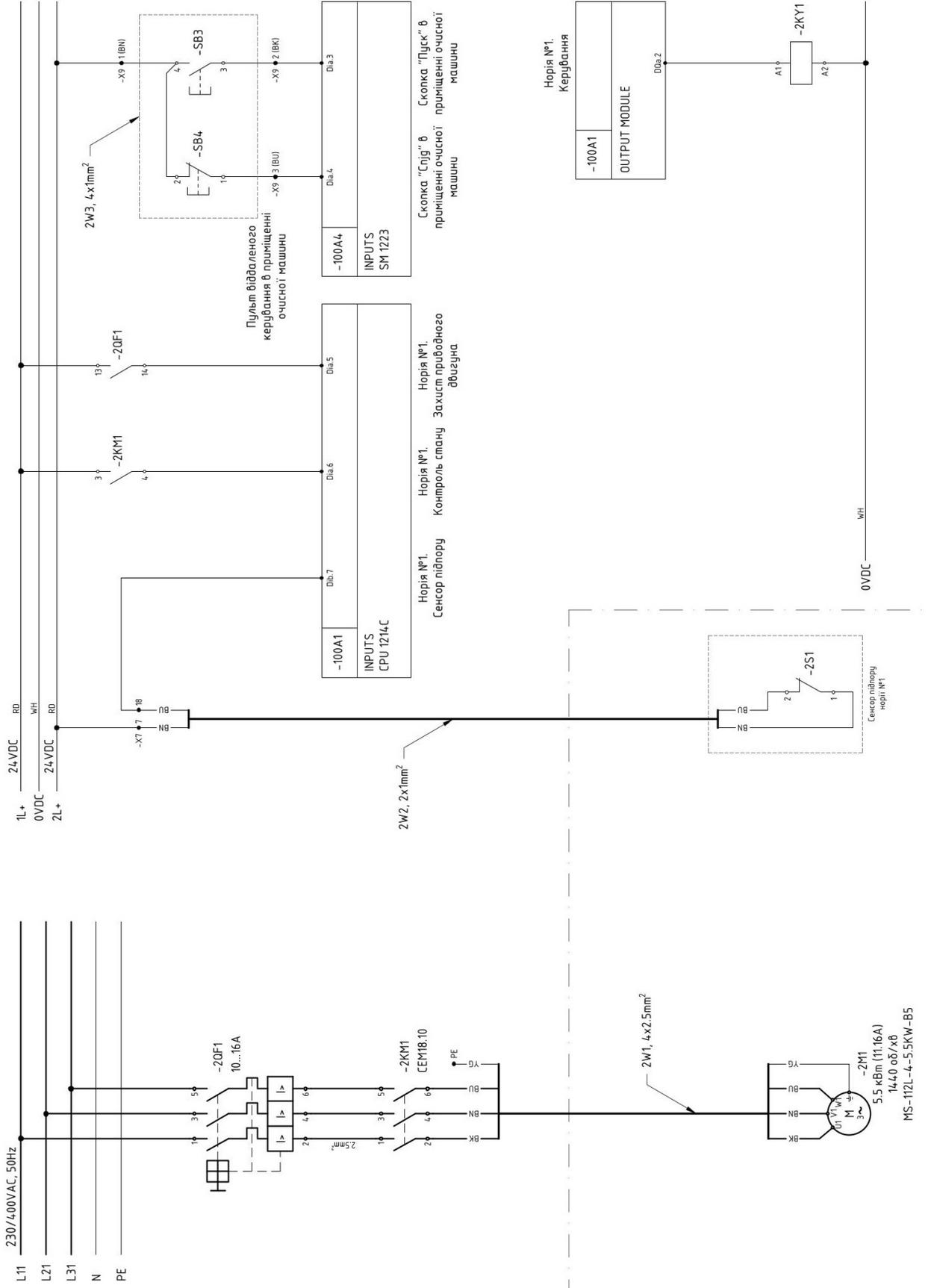


Рисунок 3.36 – Електрифікована засувка №1

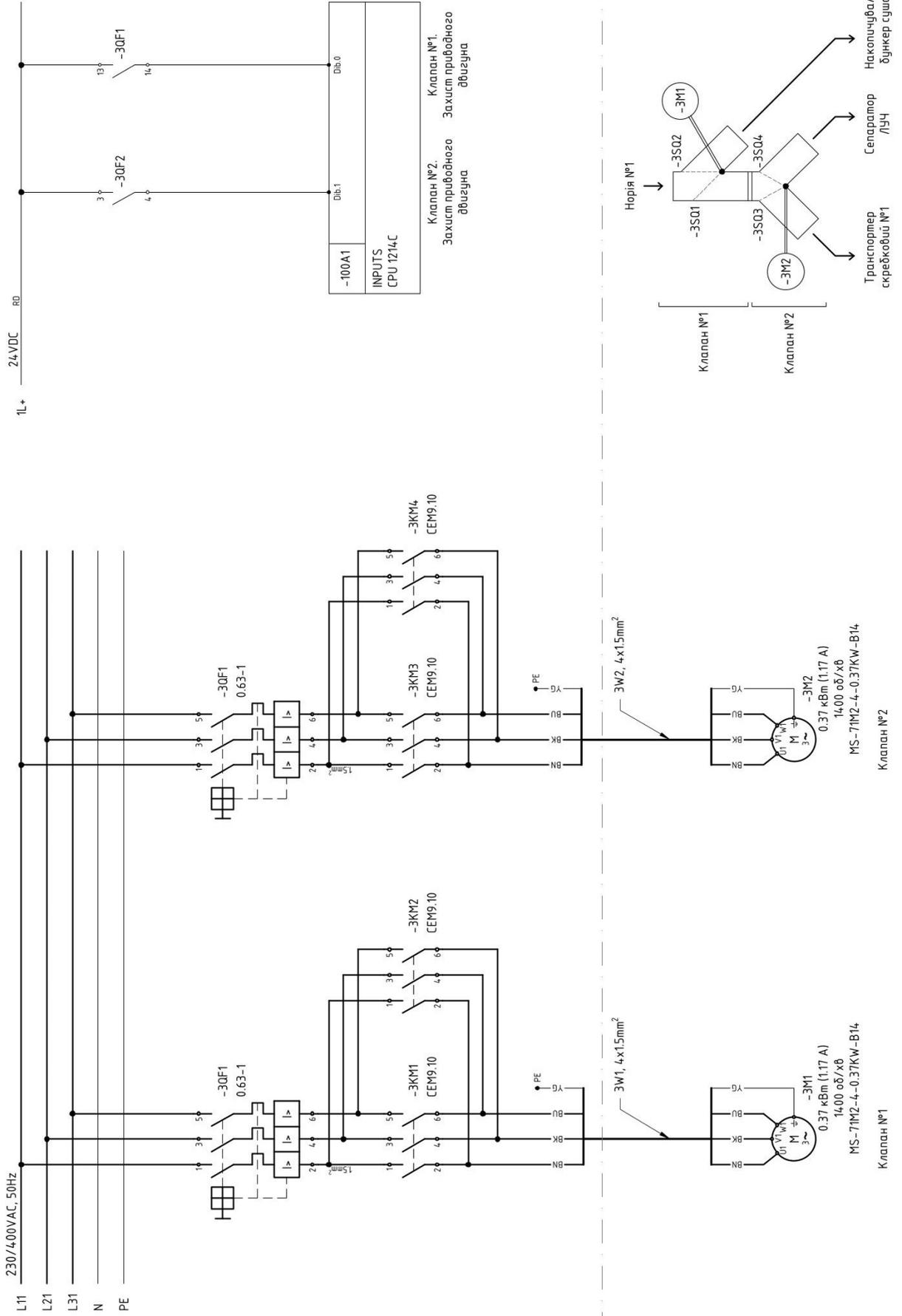
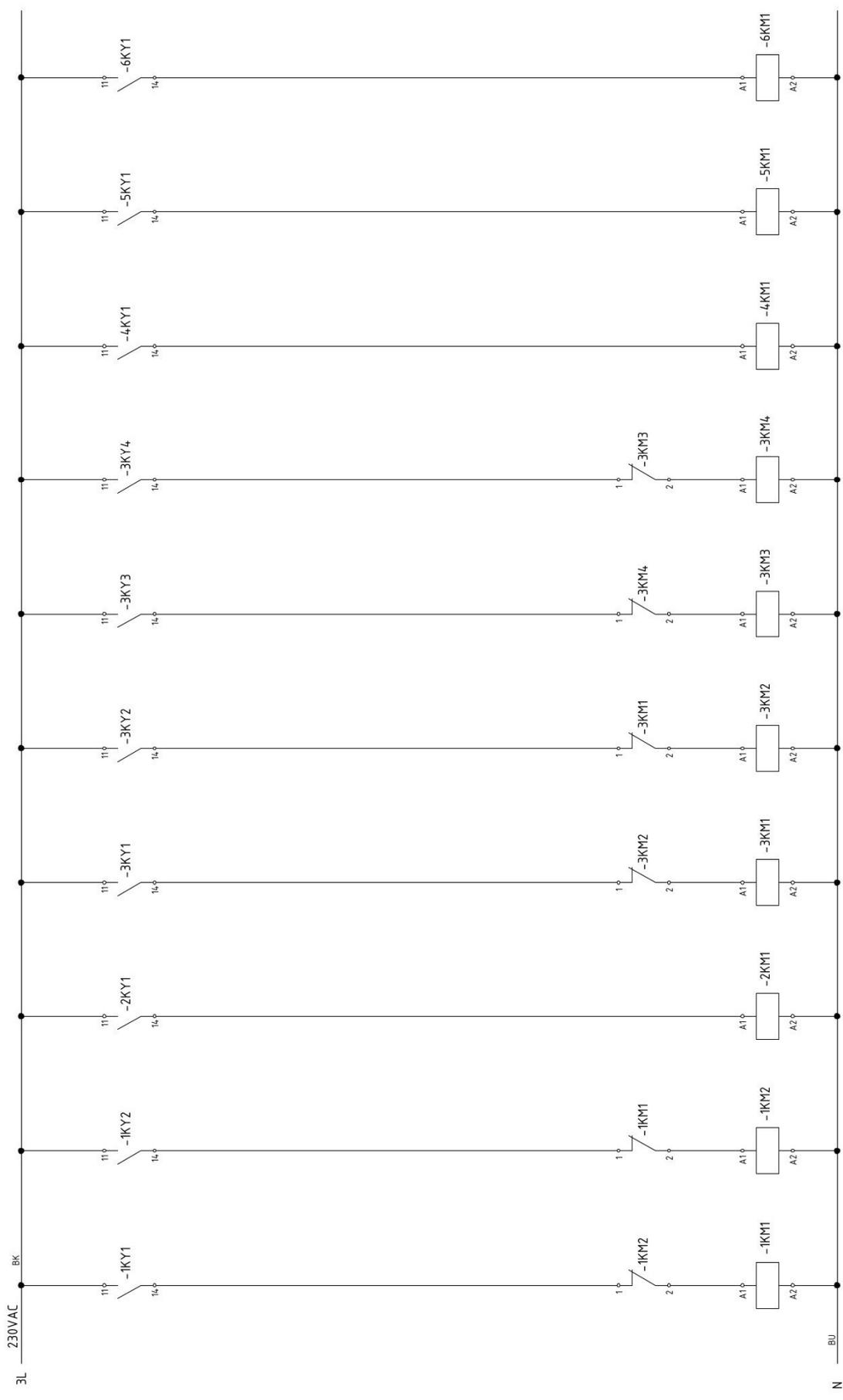


Рисунок 3.37 – Клапани електрифіковані №1 та №2



Ел. засвідка №1	Норія №1	Клапан №1	Клапан №2	Транспортер скребовий №1	Транспортер скребовий (резерв.)	Норія №2
-----------------	----------	-----------	-----------	--------------------------	---------------------------------	----------

Рисунок 3.39 – Керування контакторами механізмів комплексу

3.6 Розробка програми керування

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

На рисунку 3.40 наведено вікно Device configuration проекту.

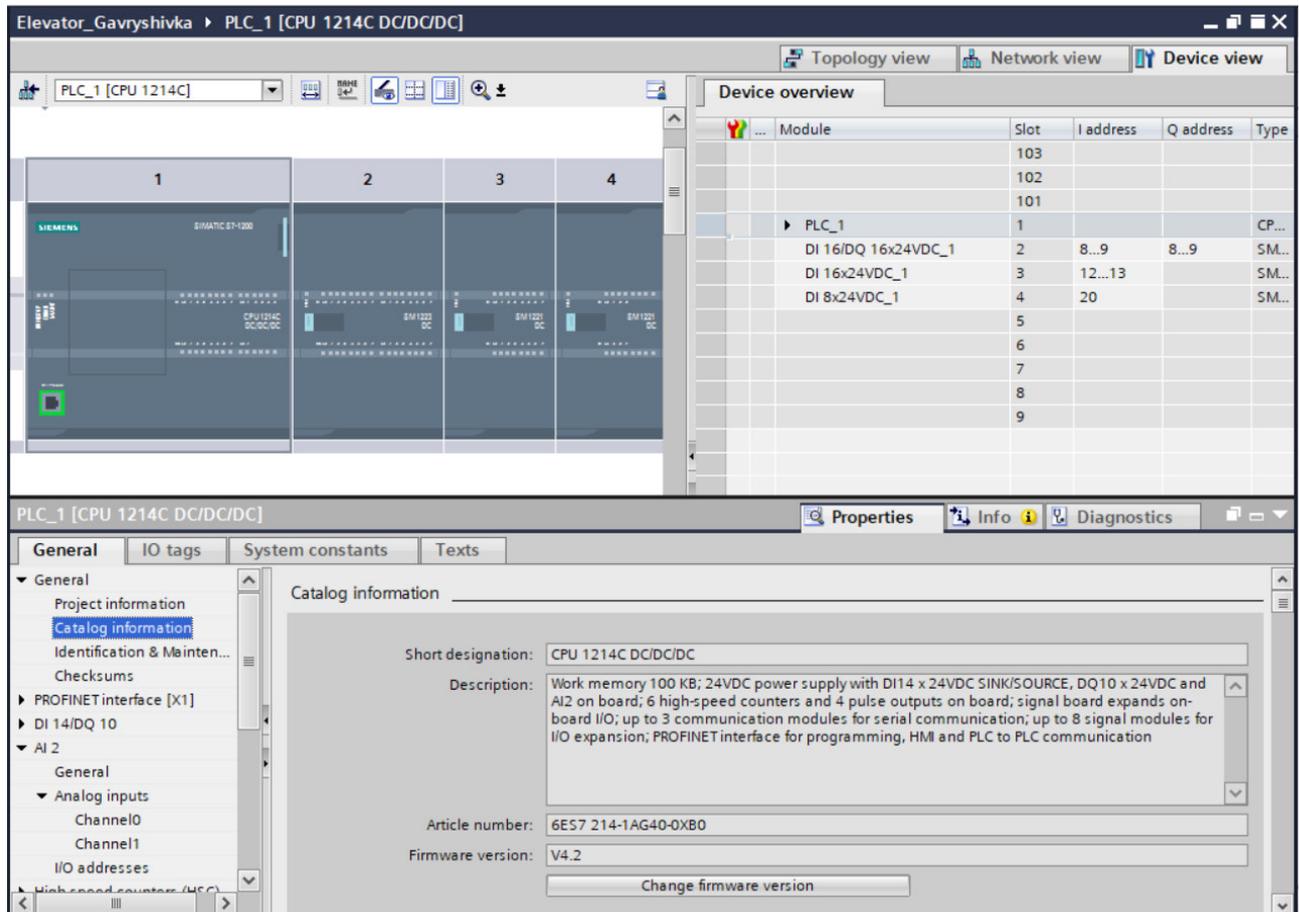


Рисунок 3.40 – Вікно «Device configuration»

На рисунку 3.41 наведено таблицю тегів проекту.

На рисунку 3.42 наведено структуру основного блоку програми OB1.

На рисунку 3.43 наведено фрагмент програми вибору маршруту транспортування.

Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
DI_CTR_Voltage	Default tag table	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Контроль стану кіп живлення (реле...
DI_Emergency_stop	Default tag table	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	АВАРИЙНИЙ СТОП
DI_Latch_1_Fuse	Default tag table	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ел. засувка №1. Захист приводного...
DI_Latch_1_Open	Default tag table	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач...
DI_Latch_1_Close	Default tag table	Bool	%I0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач...
DI_E_1_Fuse	Default tag table	Bool	%I0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Норія №1. Захист приводного двиг...
DI_E_1_Contactor	Default tag table	Bool	%I0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Норія №1. Контроль стану
DI_E_1_Support_sens	Default tag table	Bool	%I0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Норія №1. Сенсор підпору
DI_Valve_1_Fuse	Default tag table	Bool	%I1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №1. Захист приводного дв...
DI_Valve_1_SQ1	Default tag table	Bool	%I1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №1. Кінцевий перемикач З...
DI_Valve_1_SQ2	Default tag table	Bool	%I1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №1. Кінцевий перемикач З...
DI_Valve_2_SQ3	Default tag table	Bool	%I1.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №2. Кінцевий перемикач З...
DI_Valve_2_SQ4	Default tag table	Bool	%I1.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №2. Кінцевий перемикач З...
DO_Latch_1_Open	Default tag table	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ел. засувка №1. Керування (контакт...
DO_Latch_1_Close	Default tag table	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ел. засувка №1. Керування (контакт...
DO_E_1_StartComm	Default tag table	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Норія №1. Керування (контактор 2...
DO_Valve_1_3KM1	Default tag table	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №1. Керування (контактор ...
DO_Valve_1_3KM2	Default tag table	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №1. Керування (контактор ...
DO_Valve_2_3KM3	Default tag table	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №2. Керування (контактор ...
DO_Valve_2_3KM4	Default tag table	Bool	%Q0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Клапан №2. Керування (контактор ...
DO_T_1_StartComm_4KM1	Default tag table	Bool	%Q0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №1. Керу...
DO_T_1_StartComm_5KM1	Default tag table	Bool	%Q1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №1. Керу...
DO_E_2_StartComm	Default tag table	Bool	%Q1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Норія №2. Керування (контактор 6...
DI_T_1_Fuse	Default tag table	Bool	%I8.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №1. Захи...
DI_T_1_Contactor	Default tag table	Bool	%I8.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №1. Конт...
DI_T_1_Support_sens	Default tag table	Bool	%I8.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №1. Сенс...
Rezerv_fuse	Default tag table	Bool	%I8.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №2. Захи...
Rezerv_contac	Default tag table	Bool	%I8.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Транспортер скребковий №2. Конт...

Рисунок 3.41 – Таблиця тегів проекту

Network	Comment
Network 1:	Блоки на SCL
Network 2:	Умови появи блокування для механізмів
Network 3:	Банер про несумісні маршрути
Network 4:	Вибір маршруту
Network 5:	Норія №1
Network 6:	Норія №2
Network 7:	Норія №3
Network 8:	Транспортер №1
Network 9:	Транспортер №2
Network 10:	Ел. засувка №1
Network 11:	Клапан №1
Network 12:	Клапан №2
Network 13:	Клапан №3
Network 14:	Клапан №4
Network 15:	Клапан №5
Network 16:	Клапан №6
Network 17:	Клапан №7
Network 18:	Включення сигналізації при появі аварії та її автоматичне скидання через 60 секунд
Network 19:	Тіпівні пла. усіх аварій

Рисунок 3.42 – Структура основного блоку програми OB1

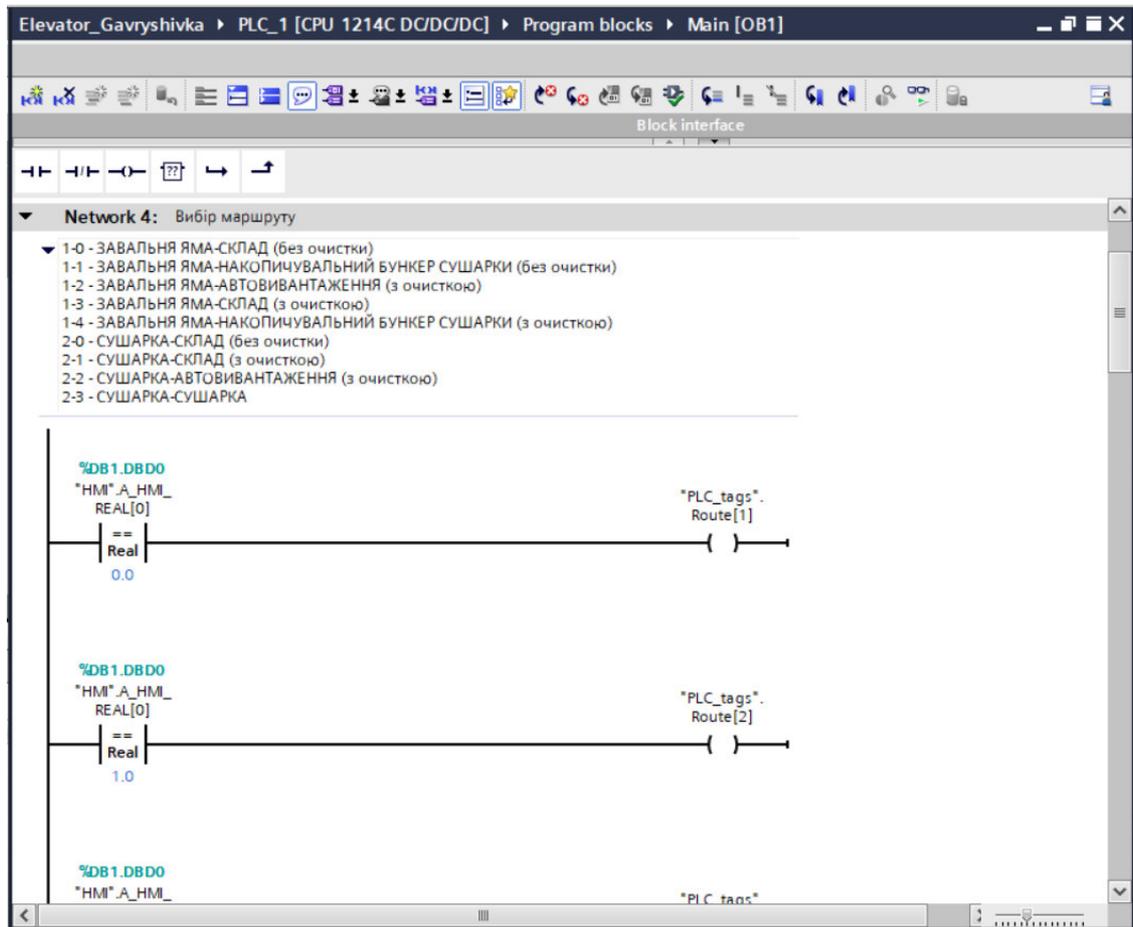


Рисунок 3.43 – Фрагмент програми вибору маршруту транспортування

3.7 Розробка HMI-інтерфейсу

Для створення проекту візуалізації на основі вибраної панелі Weintek сMT2128X використовуватимемо спеціалізоване, безкоштовне програмне забезпечення EasyBuilder Pro.

Вікно головного екрану проекту системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу розроблене в середовищі EasyBuilder Pro зображене на рисунку 3.44.

На рисунку 3.45 відображене головне вікно проекту в режимі offline-симуляції.

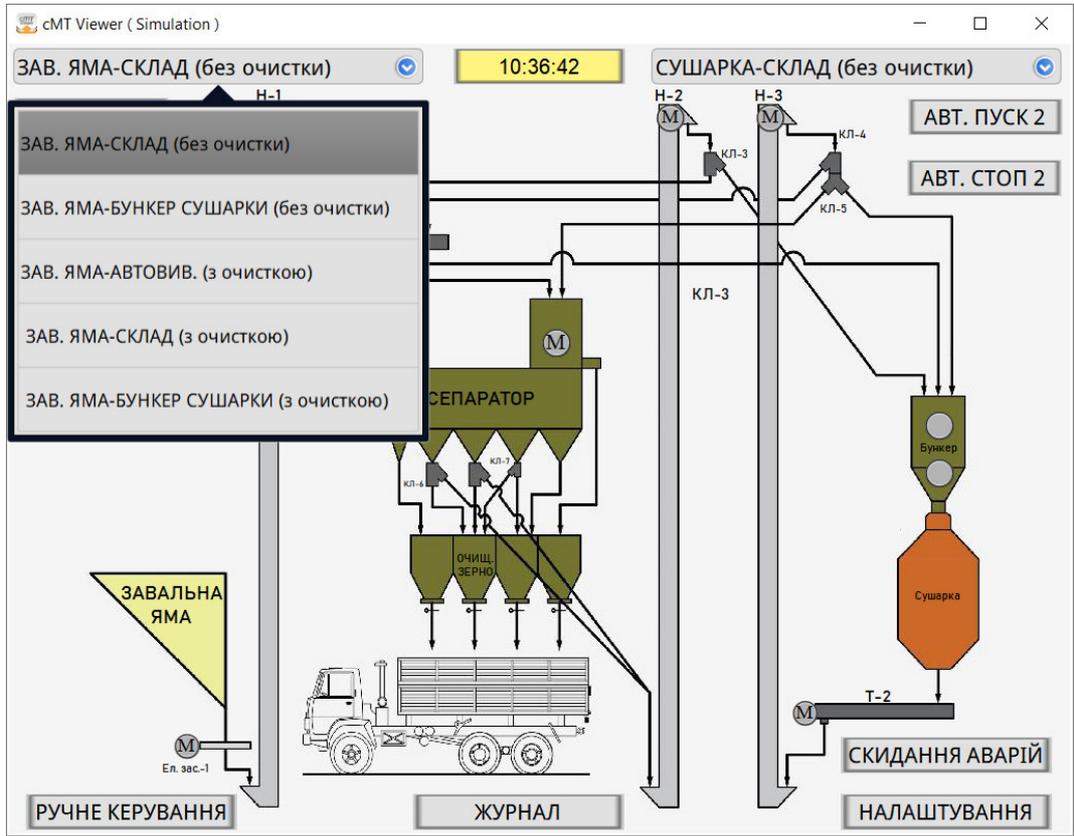


Рисунок 3.46 – Вибір маршруту транспортування із завальної ями

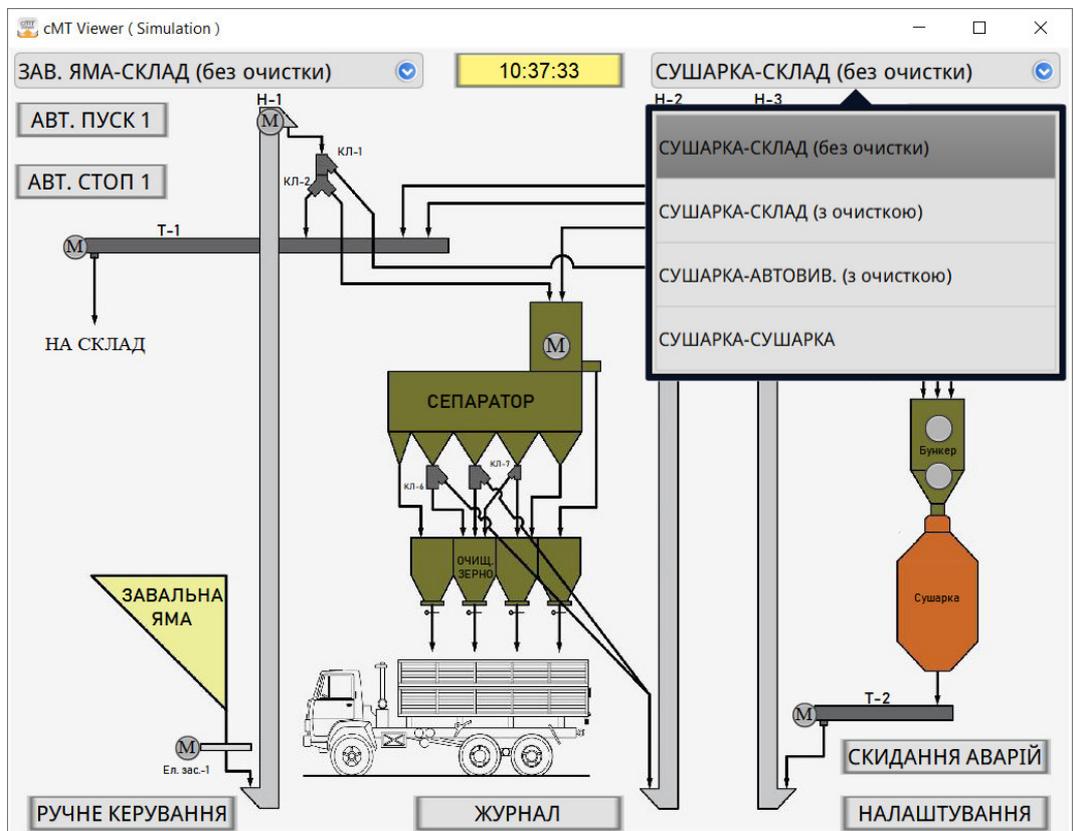


Рисунок 3.47 – Вибір маршруту транспортування із сушарки

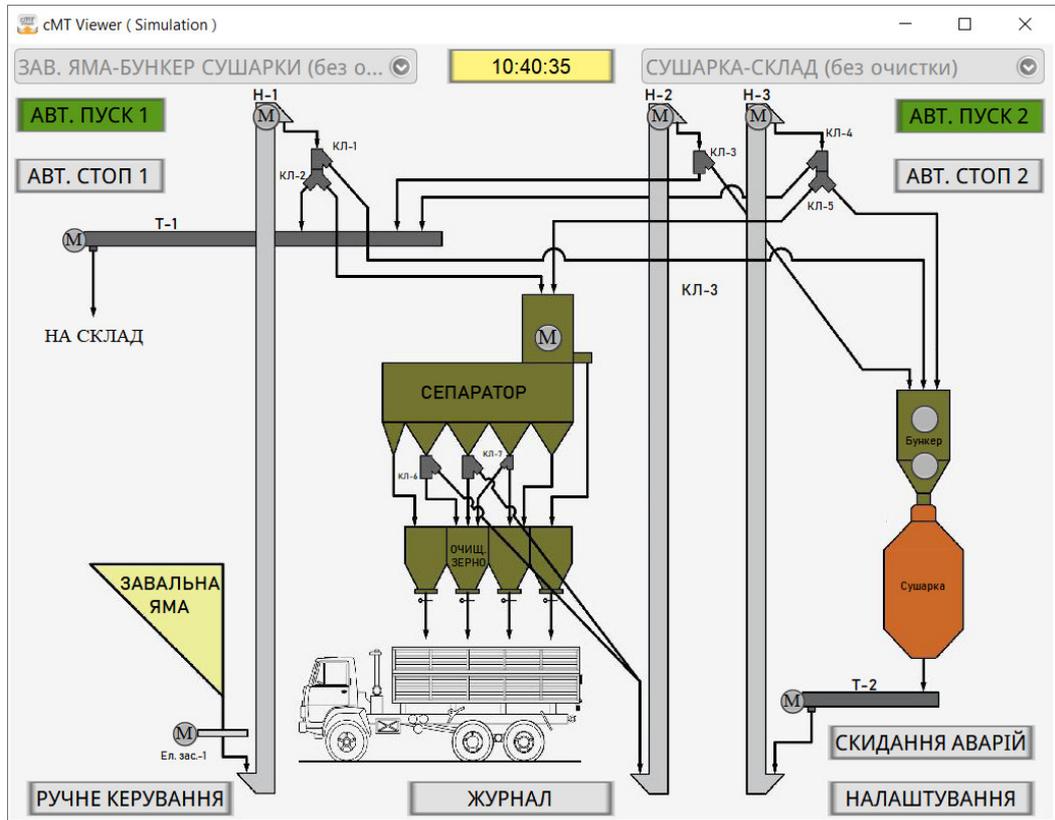


Рисунок 3.48 – Пуск вибраних маршрутів транспортування в реж. АУТО

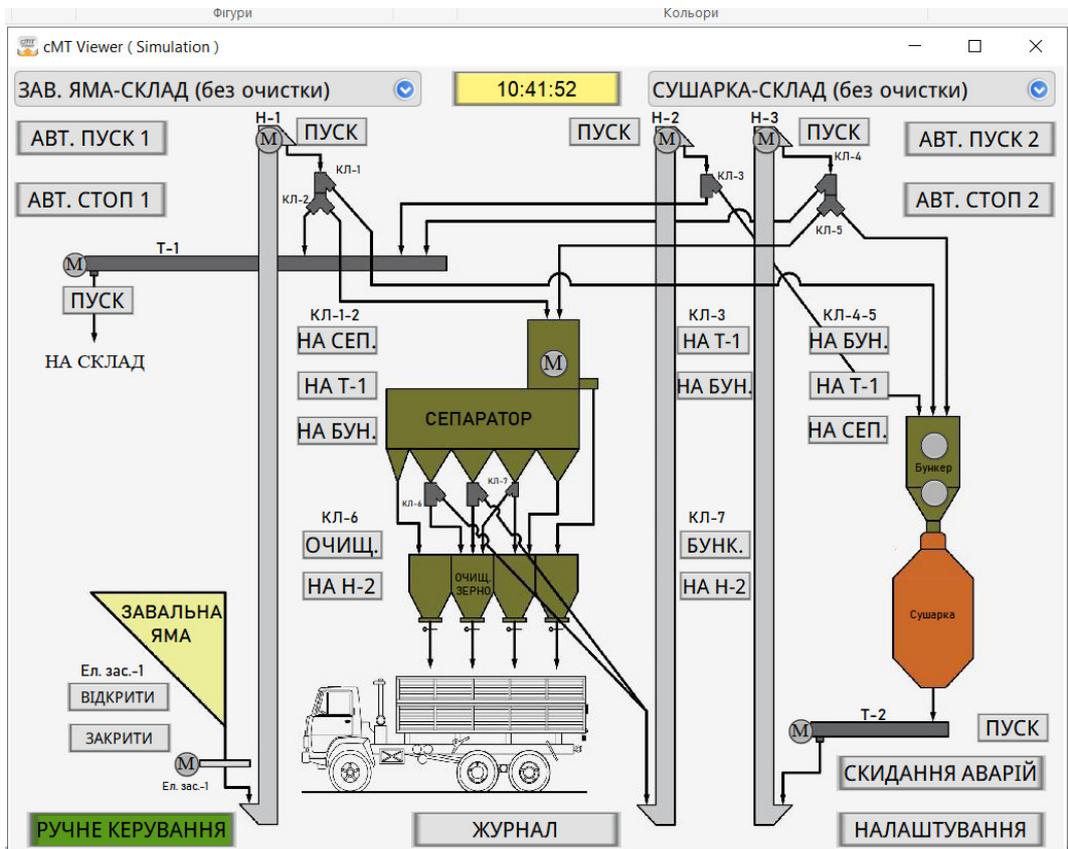


Рисунок 3.49 – Ручний режим керування механізмами комплексу

Для позначення станів та положення механізмів, а також різного роду блокувань використано систему позначень, яка зображена на рисунку 3.50.



Рисунок 3.50 – Використана система позначень

3.8 Контроль роботи електрифікованих засувок та клапанів

Одними з найменш надійних і в той же час важливих механізмів, які безпосередньо забезпечують формування тих чи інших напрямків транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу є електрифіковані засувки та клапани. Основна причина, чому виникають проблеми з цими механізмами полягає в тому, що не коректно працюють їх сенсори положення. Це пов'язано з особливостями їх експлуатації:

- 1) експлуатація в умовах дії факторів навколишнього середовища;
- 2) конденсація вологи в середині сенсорів положення;
- 3) механічні навантаження;
- 4) послаблення кріплення в процесі експлуатації тощо.

На рисунку 3.51 показано наслідки потрапляння води (внаслідок утворення конденсату чи потрапляння води через пошкоджені ущільнення) в середину сенсора положення (кінцевого перемикача) електрифікованого клапана.



Рисунок 3.51 – Наслідки потрапляння води в середину кінцевого перемикача

Таким чином, запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування:

$$\begin{cases} \text{Якщо } t_{\text{факт.}} < t_{\text{гран.}}, \text{ то "1",} \\ \text{Якщо } t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{гран.}}, \text{ то "0",} \end{cases} \quad (3.1)$$

де $t_{\text{факт.}}$ – фактичний час переключення, с;

$t_{\text{гран.}}$ – граничний час переключення, с.

3.9 Практична реалізація

Розроблена система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу була реалізована у вигляді шафи керування. Лицьова панель шафи керування зображена на рисунку 3.52.

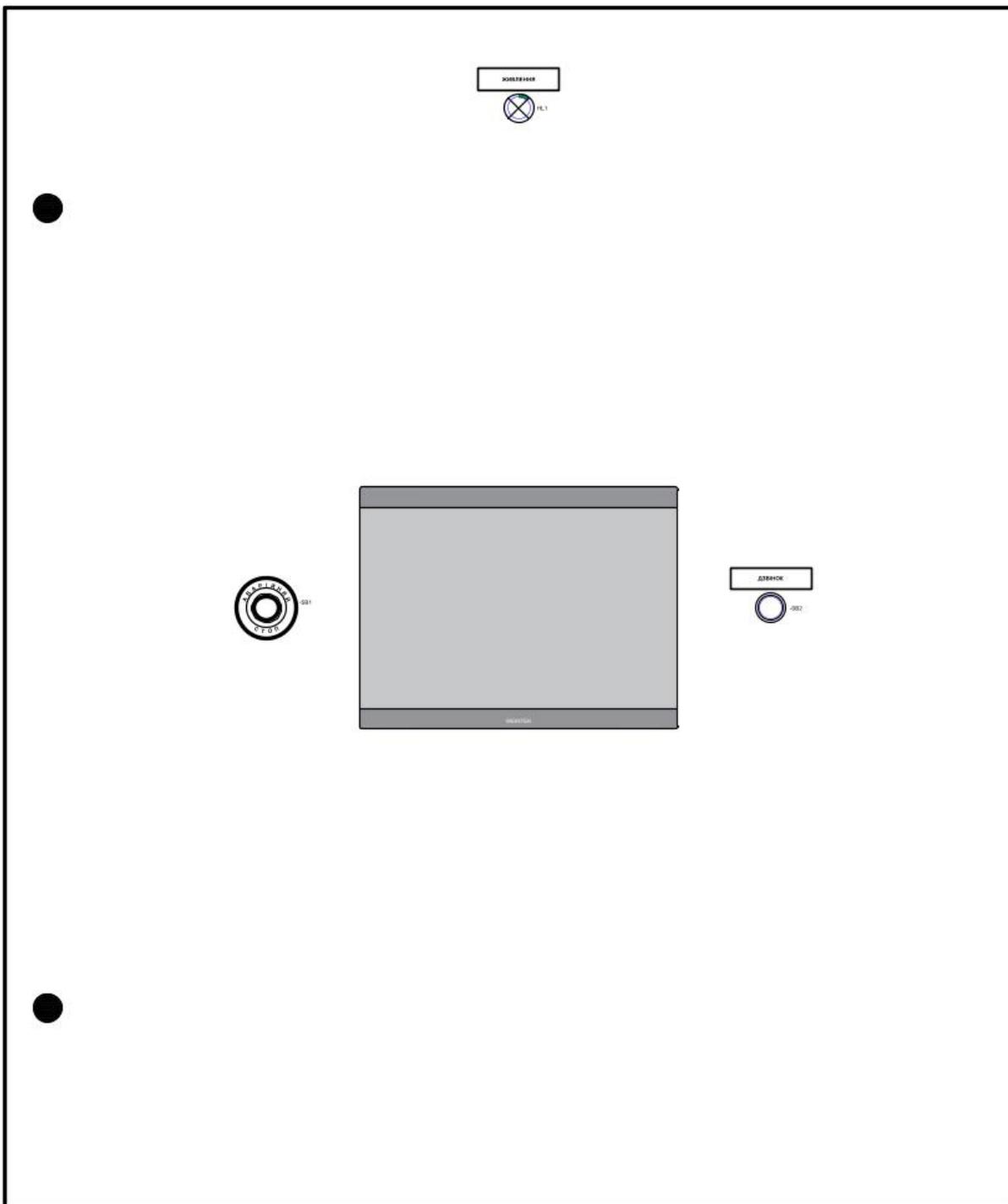


Рисунок 3.52 – Лицьова панель шафи керування

Компоновка шафи керування зображена на рисунку 3.53.

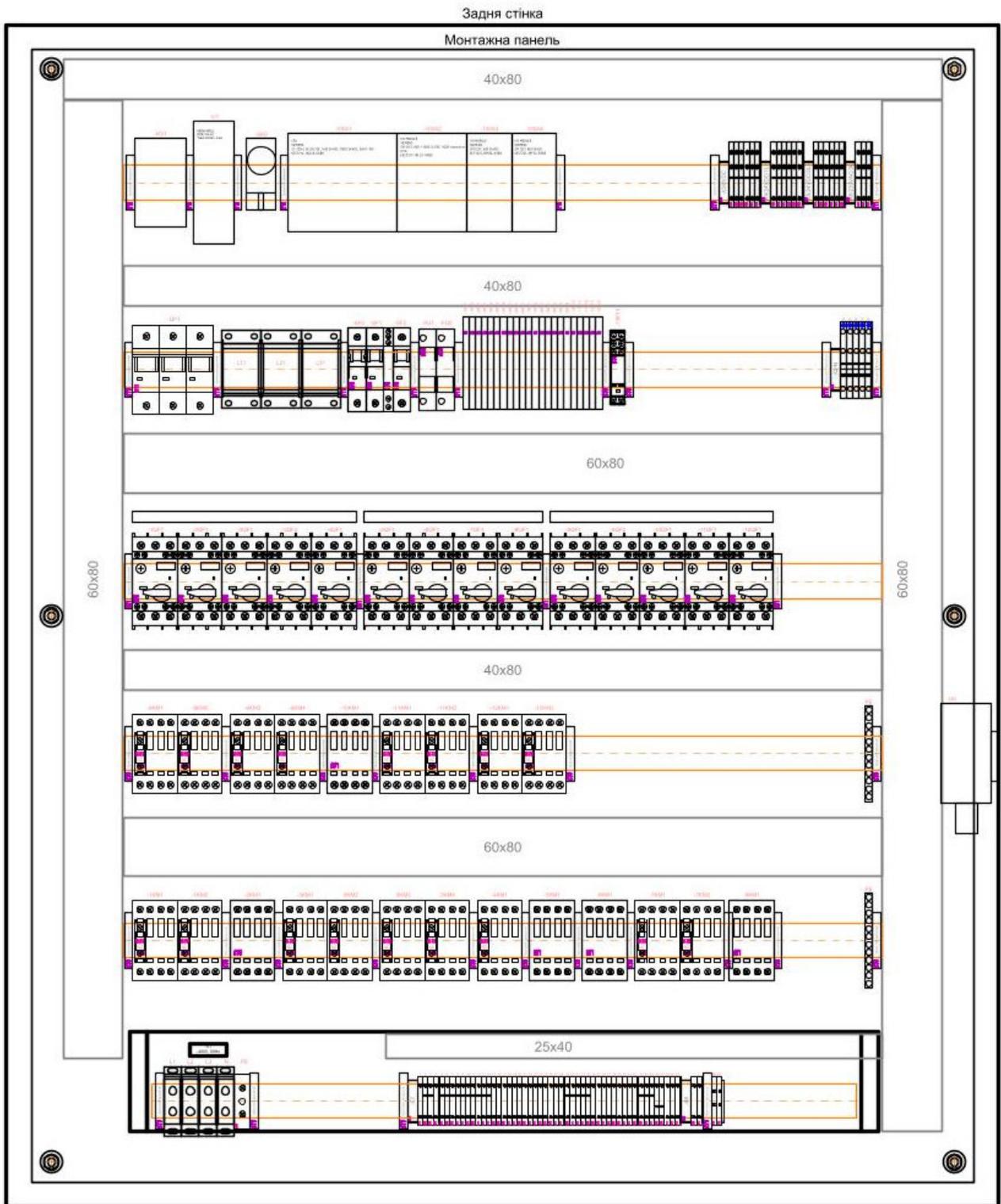


Рисунок 3.53 – Компоновка шафи керування

В подальшому було виконано монтаж та налаштування роботи розробленої системи керування. На рисунку 3.54 показано лицьову панель шафи керування, а на рисунку 3.55 – компоновку монтажної панелі.



Рисунок 3.54 – Лицьова панель шафи керування
(виконаний монтаж)

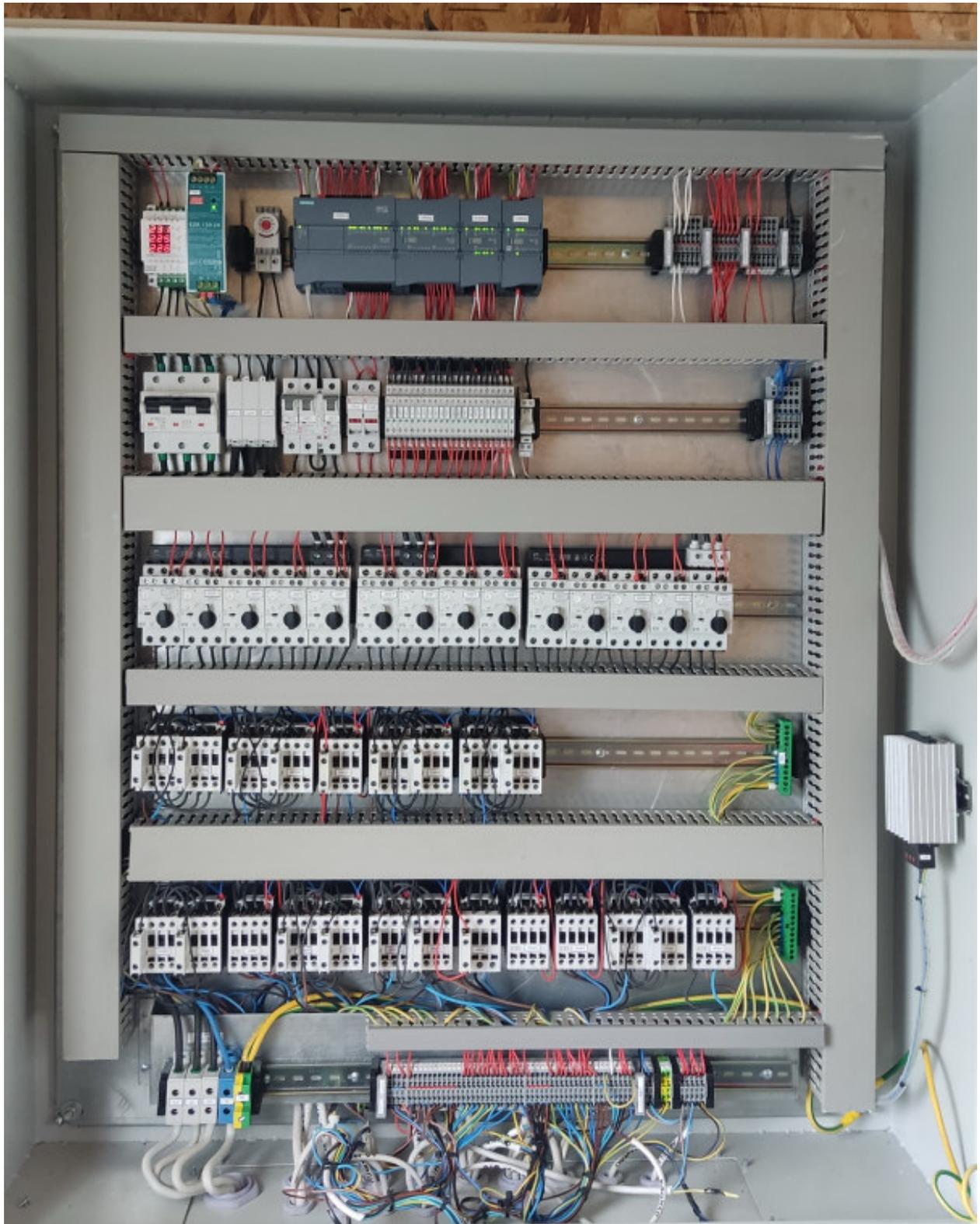


Рисунок 3.55 – Монтажна панель шафи керування
(виконаний монтаж)

Висновок. Розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Сформовано можливі маршрути транспортування зерна та визначено порядок пуску та зупинки кожного з маршрутів. Вибрано елементну базу автоматизованої системи керування маршрутами транспортування та розроблено принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal та розроблено її HMI-інтерфейс в середовищі EasyBuilder Pro. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання та в реальних умовах експлуатації.

Запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.

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.
Контролер S7-1214C DC/DC/DC	19864
Модуль розширення SM 1223, 16DI / 16DO, 24VDC	14397
Модуль розширення SM 1221, 16DI, 24VDC	9112
Модуль розширення SM 1221, 8DI, 24VDC	5694
Сенсорна панель cMT2128X	40140
Джерело живлення Mean Well EDR-150-24	1140
Сенсор рівня ILTD0	2×7602=15204
Сенсор рівня СУМ-1	3×1080=3240

Продовження таблиці 4.1

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Кінцевий вимикач ME-8108	14×172=2408
Релейно-контакторна апаратура	98638
Кабельно-провідникова продукція та монтажна оснастка	73863
Програмне забезпечення	63000
Всього	346700
Витрати на транспортування (10%)	34670
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	34670
Всього капітальні вкладення К, грн	416040

Отже, капітальні вкладення становлять $K = 416040$ 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 [23].

Експлуатаційні витрати C включають [24]:

- 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) [24]:

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

$$C_a = 0,1 \cdot 416040 = 41604 \text{ (грн/рік)}.$$

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 [24].

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 [24]:

$$C_z = C_{zo} + C_{зд} + C_{зн}, \quad (4.3)$$

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

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

$C_{зн}$ – 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 ($N = 1$ чол);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 48$ грн/год);

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

$\Phi_{\text{эф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування пальника зерносушарки (згідно техніко-економічного обґрунтування $\Phi_{\text{эф}} = 90 \text{ днів} \cdot 0,5 \text{ год} = 45 \text{ год/рік}$);

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 ($\beta = 1$),

$$C_{30} = 1 \cdot 48 \cdot 2,33 \cdot 45 \cdot 1 \cdot 1 = 5032,8 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата $C_{3д}$ становить 10% від основної заробітної плати.

$$C_{3д} = 0,1 \cdot C_{30}, \quad (4.5)$$

$$C_{3д} = 0,1 \cdot 5032,8 = 503,28 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата C_{30} , грн/рік	5032,8
Додаткова заробітна плата $C_{3д}$, грн/рік	503,28
Разом основна і додаткова заробітна плата ($C_{30}+C_{3д}$), грн/рік	5536,08
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%) $C_{3н}$, грн/рік	1217,94
Всього нарахування, грн/рік	6754,02

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу згідно (4.3):

$$C_3 = 5032,8 + 503,28 + 1217,94 = 6754,02 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на споживану електроенергію [24]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot B, \quad (4.6)$$

де P – загальна установлена потужність приводних двигунів механізмів, що забезпечують транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу ($P = 0,37 + 3 \cdot 5,5 + 7,5 + 4 + 7 \cdot 0,25 = 30,12$ кВт, оскільки, залежно від вибраного маршруту транспортування задіяно постійно близько $2/3$ усіх механізмів, то отримаємо $P = 2/3 \cdot 30,12 \cdot 0,75 \approx 20$ кВт);

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

Φ – дійсний фонд часу роботи електроприводів механізмів (грунтуючись на даних техніко-економічного обґрунтування та з врахуванням того, що деякі механізми працюють короткочасно прийmemo, що $\Phi = 0,8 \cdot 2160 = 1728$ год/рік);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю) (приймаємо $K_3 = 0,7$);

B – вартість електроенергії ($c = 12,13$ грн/(кВт·год) [13]),

$$C_e = \frac{20}{0,75} \cdot 1728 \cdot 0,7 \cdot 12,13 = 391265,28 \text{ (грн/рік)}.$$

4.1.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт

визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 4.4), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Таблиця 4.4 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування						4				4		4	12
Двигуни							4		4		4		12
Кабельна мережа								3		3		3	9
Апарати захисту							2		2		2		6
Сенсори						3				3		3	9
Загальна трудомісткість												48	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електрик п'ятого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 4.4), основну заробітну плату розрахуємо за формулою [24]:

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

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

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

$$C_{з\ по} = 48 \cdot 2,33 \cdot 48 = 5368,32 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

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

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot 5368,32 = 1181,03 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [24]:

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

$$C_{з\text{ пр}} = 5368,32 + 1181,03 = 6549,35 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [24]:

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

$$C_{м\text{ пр}} = 0,15 \cdot 5368,32 = 805,25 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [24]:

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

$$C_{пр} = 6549,35 + 805,25 = 7354,6 \text{ (грн/рік)}.$$

4.3 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [24]:

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

$$C_{ін} = 0,05 \cdot (41604 + 6754,02 + 391265,28 + 7354,6) = 22348,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати, грн/рік

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування C_a	41604
Заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу	6754,02
Витрати на електроенергію C_e	391265,28
Витрати на поточний ремонт $C_{пр}$	7354,6
Інші витрати $C_{ін}$	22348,89
Всього експлуатаційні витрати C	469326,79

Висновок. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. 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 469326,79 грн/рік.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз та впровадження інноваційних технологій у сфері автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна вимагають особливої уваги до охорони праці. Це дозволяє знизити ризики виробничих травм, попередити аварійні ситуації та забезпечити безпечні й комфортні умови роботи персоналу елеваторного комплексу. Основна мета розділу полягає у мінімізації впливу шкідливих факторів на працівників, які здійснюють технічне обслуговування та контроль транспортних систем.

У виробничому середовищі працівники стикаються з мікрокліматичними особливостями приміщень, шумом і вібрацією від обладнання, недостатнім освітленням та пилом зернового походження, що негативно впливають на стан здоров'я. Додатково на них діють фізичні навантаження, пов'язані з переміщенням вантажів чи статичними позами, а також інтелектуальні та сенсорні навантаження під час контролю автоматизованих процесів.

Таким чином, система охорони праці має бути спрямована на зменшення цих ризиків, забезпечуючи безпечне й ефективне функціонування технологічних процесів елеваторного комплексу.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Безпечна експлуатація автоматизованих систем транспортування зерна вимагає впровадження комплексу технічних рішень, спрямованих на створення безпечних і зручних робочих місць. Одним із ключових аспектів є ергономічне проектування: правильне розташування обладнання та органів керування зменшує фізичне навантаження на працівників і запобігає травмам. Зручність у користуванні панелями управління, оптимальна висота робочих поверхонь та підтримка робочої позиції сприяють збереженню здоров'я персоналу.

Важливу роль відіграє використання автоматизованих систем моніторингу та управління, які дозволяють своєчасно виявляти несправності обладнання та знижують ризик людських помилок. Інтеграція датчиків і програмного забезпечення забезпечує оперативне реагування на відхилення в роботі транспортних механізмів, що мінімізує ймовірність аварійних ситуацій.

До систем колективного захисту належать огороження небезпечних зон, блокувальні пристрої та вентиляційні установки, які запобігають контакту з небезпечними елементами та зменшують вплив пилу й шкідливих випарів. Додаткову безпеку забезпечують звукові та світлові сигналізації, інтегровані з автоматизованими системами управління, що дозволяють швидко інформувати персонал про потенційні загрози.

Не менш важливим є інформаційне забезпечення працівників: доступність інструкцій, знаків безпеки та навчальних програм допомагає персоналу краще розуміти вимоги охорони праці й дотримуватися їх у процесі роботи.

5.1.2 Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки в елеваторному комплексі, де живлення силового обладнання та систем освітлення здійснюється через кабельні лінії 10/0,4 кВ, необхідно суворо дотримуватися вимог національних стандартів та нормативних документів України, зокрема ДСТУ та Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Це дозволяє гарантувати безпечну експлуатацію транспортних систем та допоміжного обладнання.

Усе електроустаткування, включаючи електроприводи транспортерів, вентиляторів та іншого технологічного обладнання, повинне мати захисне заземлення, що запобігає можливості ураження електричним струмом у разі виникнення аварійних режимів. Персонал, який виконує монтаж чи обслуговування електрообладнання, має користуватися основними

електрозахисними засобами — ізолюючими штангами, кліщами та інструментами з ізольованими ручками.

Додаткову безпеку забезпечують огорожувальні пристрої, що обмежують доступ до небезпечних зон, а також плакати й знаки безпеки, які нагадують працівникам про правила роботи та порядок дій у разі надзвичайних ситуацій. До засобів індивідуального захисту належать діелектричні рукавички та переносні заземлення, що знижують потенціал на обладнанні та мінімізують ризик ураження.

Комплексне застосування цих заходів відповідно до вимог ДСТУ та ПУЕ сприяє створенню безпечних умов праці, зменшує ймовірність електротравм та підвищує ефективність роботи автоматизованого елеваторного комплексу.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

У процесі експлуатації автоматизованих систем транспортування зерна важливим аспектом охорони праці є дотримання нормативних параметрів мікроклімату виробничих приміщень. Основним документом, що регламентує ці показники, є ДСН 3.3.6.042-99. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	ІІБ	13-23	75	не більше 0,4
Теплий		15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони в елеваторному комплексі регулюється відповідно до гранично допустимих концентрацій (ГДК), визначених у нормативних документах. Під час монтажу та експлуатації систем автоматизованого керування може виділятися нетоксичний пил, а в процесі роботи транспортерів і зернопереміщувальних механізмів у приміщення надходять пилові частинки та інші домішки, що утворюються під час технологічних процесів. Їхні допустимі концентрації наведені у таблиці 5.2.

Для підтримання відповідності мікрокліматичним та хімічним параметрам проект передбачає використання систем вентиляції та очищення повітря. Спеціальні агрегати встановлюються безпосередньо біля обладнання, забезпечуючи видалення пилу та шкідливих речовин перед тим, як повітря потрапляє у робочі зони. Персонал зобов'язаний здійснювати регулярний контроль за вмістом пилу та інших речовин у повітрі, перевіряючи їх відповідність нормативним ГДК.

Окрім механічної вентиляції, застосовується організована та неорганізована природна вентиляція, що забезпечує постійний обмін повітря й зменшує концентрацію шкідливих домішок. Сукупність цих заходів спрямована на створення безпечних і комфортних умов праці, мінімізацію ризику впливу пилу та відповідність вимогам ДБН щодо якості повітря у виробничому середовищі елеваторного комплексу.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні

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

5.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення є важливим чинником організації безпечних та ефективних умов праці в приміщеннях елеваторного комплексу. Воно повинно забезпечувати достатній рівень освітленості для комфортної роботи персоналу та безпечного обслуговування автоматизованих систем транспортування зерна. Недостатнє освітлення підвищує ризик помилкових дій і нещасних випадків: близько 5% травм прямо пов'язані з його браком, а у 20% випадків воно сприяло їх виникненню. Крім того, погане освітлення негативно впливає на самопочуття працівників, знижує фізичну та розумову працездатність і може спричинити професійні захворювання.

Зорові роботи в умовах елеватора належать до середньої точності, що відповідає IV розряду, підрозряду «г» згідно з ДБН В.2.5-28-2018. Допустимі рівні виробничого освітлення наведені у таблиці 5.3. Для підтримання належних умов здійснюють регулярне очищення скла та світильників від пилу, застосовують жалюзі для регулювання природного світла. У випадку його нестачі використовують загальне штучне освітлення на основі світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG", які відзначаються високою світловою віддачею (понад 75 лм/Вт) та тривалим ресурсом роботи (до 10 000 годин). Світильники розташовують на висоті 4,5 метра над робочою поверхнею.

Під час експлуатації освітлювальної системи контролюють рівень напруги мережі, своєчасно замінюють лампи та підтримують чистоту повітря у приміщеннях. Це забезпечує стабільний рівень освітленості, знижує ризики виробничих травм і сприяє ефективній роботі автоматизованих транспортних систем елеваторного комплексу.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

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

5.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу та експлуатації систем автоматизованого керування транспортуванням зерна джерелами шуму є будівельне обладнання, транспортні механізми, вентилятори, електроприводи та переносний електроінструмент. Основним видом є механічний шум, який може негативно впливати на працездатність і безпеку персоналу.

Санітарно-гігієнічне нормування шуму здійснюється двома методами: за гранично допустимим спектром шуму та за рівнем звуку, виміряним за шкалою «А» шумоміра. За спектральними характеристиками шум у виробничих приміщеннях елеватора є широкосмуговим, із безперервним спектром шириною більше октави; за тональністю — постійним; за походженням — переважно гідродинамічним, що відповідає роботі вентиляторів та систем аспірації.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та їх еквівалентні значення на робочих місцях визначаються вимогами ДСН 3.3.6.037-99 та ДСН 32.23-85 і наведені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних Робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	127	98	83	80	74	98	83	91	89	90

Щоб знизити рівень шуму в цеху до допустимих значень, двигуни розміщують у металевих кожухах, здійснюють їх регулярне змащення, застосовують елементи з пластмасових матеріалів, а працівники користуються протишумними навушниками, що повністю закривають вушну раковину.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових та інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні. Пожежо- та вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829:2019, відповідно до якого встановлюється категорія приміщень за вибуховою та пожежною небезпекою.

Приміщення, де здійснюється зберігання та транспортування зерна, включає транспортні механізми, електродвигуни, вентилятори та інші елементи технологічного обладнання. Основним небезпечним фактором є наявність зернового пилу, який може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Тому такі приміщення відносяться до категорії В – горючі пил та волокна, що

створюють ризик займання та вибуху. Це потребує застосування спеціальних заходів протипожежного захисту та контролю за концентрацією пилу.

Приміщення категорії В елеваторного комплексу розташовуються у будівлях II ступеня вогнестійкості, що включають несучі та огорожувальні конструкції з бетону, залізобетону та метало каркасів. Металеві елементи додатково захищаються вогнезахисними покриттями, що знижує ризик втрати міцності при пожежі. Для перекриттів допускається використання бетонних плит та металевих конструкцій із захисними шарами. Таке виконання забезпечує стійкість будівлі до високих температур та поширення вогню.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) визначені ДБН В.1.1-7:2016 і наведені в таблиці 5.6. Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник).

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)									
	стіни				колони	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші	сходових кліток	перекриття між поверхові (у т.ч. горючі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)					плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
II	REI 150 M0	REI 90 M0	E 30 M0	E 30 M1	R 150 M0	R 90 M0	REI 60 M1	REI 45 M1	R 45 M1	

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості (хв)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	Залізобетонні та металокаркасні з вогнезахисним покриттям	REI 150	Протипожежні двері класу 2	Тамбур-шлюз класу 2
Перегородки	Металеві та бетонні з негорючим облицюванням	EI 30	Протипожежні двері класу 3	Тамбур-шлюз класу 2
Перекрыття	Залізобетонні плити та металеві балки із захисним шаром	REI 60	Протипожежні люки класу 2	Тамбур-шлюз класу 1

Таблиця 5.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
II	9/10	12/14	15/18

Для елеваторного комплексу найбільш доцільним є застосування порошкових вогнегасників типу ВП-10, оскільки вони ефективно ліквідують загоряння горючого пилю, твердих матеріалів та електрообладнання під напругою. Використання водяних чи пінних вогнегасників є менш придатним через ризик пошкодження електросистем та недостатню ефективність при гасінні пилових сумішей. Порошковий ВП-10 забезпечує універсальний захист, має достатній об'єм заряду для виробничих приміщень і відповідає вимогам пожежної безпеки для категорії В.

ВИСНОВКИ

1. Дано загальну характеристику елеваторного комплексу та виконано детальний аналіз його технологічної схеми.

2. Виконано перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна норії №1 (завальної ями). Для привода норії №1 вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу MS-112L-4-5.5KW-B5 потужністю 5,5 кВт.

3. Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування для привода норії №1 (завальної ями) найбільш економічно вигідним є використання системи електричного привода з пристроєм плавного пуску типу ATS01N222QN, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 33428,28 грн/рік.

4. Виконано моделювання роботи даного електропривода норії №1 (завальної ями) з системою плавного пуску та отримано графіки перехідних зміни моменту та швидкості АД при пуску. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.

5. Розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Сформовано можливі маршрути транспортування зерна та визначено порядок пуску та зупинки кожного з маршрутів. Вибрано елементну базу автоматизованої системи керування маршрутами транспортування та розроблено принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі TIA Portal та розроблено її HMI-інтерфейс в середовищі EasyBuilder Pro. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання та в реальних умовах експлуатації.

Запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування.

6. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного

комплексу. 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 469326,79 грн/рік.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коди видів економічної діяльності. Клас 01.11. [Електронний ресурс]. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/01/KVED10_01_11.html
2. Коди видів економічної діяльності. Клас 01.19. [Електронний ресурс]. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/01/KVED10_01_19.html
3. Зернова сушарка ЗСМ1412. [Електронний ресурс]. URL: <https://phoenixtec.com.ua/products/zernosusharky/zsk-00>
4. Ківшовий конвеєр (транспортер), норія. [Електронний ресурс]. URL: <https://ogrant.ck.ua/ua/p438746325-kovshovyj-konvejer-transporter.html>
5. 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.
6. Синявський О. Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, Ю.М. Лаврінченко, Д.Г. Войтюк, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш.; За ред. О.Ю. Синявського. – К. : ФОП Ямчинський О.В. 2020. – 444с.
7. Машини безперервного транспорту /Дереза О.О. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. – 108 с.
8. Пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart 01 22A ATS01N222QN. [Електронний ресурс]. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/ustrojstva-plavnogo-puska/ustroistvo-plavnogo-puska-schneider-electric-altistart-01-22a-ats01n222qn>
9. Пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart 22 17A ATS22D17Q. [Електронний ресурс]. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/ustrojstva-plavnogo-puska/ustroistvo-plavnogo-puska-schneider-electric-altistart-22-17a-ats22d17q>
10. Перетворювач частоти ATV320С 5,5кВт 380-500В, компакт, з ЕМС-фільтром С2 (ATV320U55N4С). [Електронний ресурс]. URL:

<https://eleng.com.ua/promyslove-obladnannia/peretvoriuvachi-chastoty/peretvoriuvach-chastoty-atv320c-5-5kvt-380-500v-kompakt-z-ems-filtrom-c2-atv320u55n4c>

11. 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.

12. Електродвигун MS 112L-4, 1400 об./хв, 5.5 кВт. [Електронний ресурс]. URL: <https://prom.ua/ua/p796268297-elektrodivigatel-112l-1400.html>

13. ЕНЕРА Вінниця. Тарифи на послуги постачальника універсальних послуг. [Електронний ресурс]. URL: <https://vin.enera.ua/el/tariff>

14. ПРИСТРІЙ ПЛАВНОГО ПУСКУ ATS01 22А 380-415В, байпас. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATS01N222QN/%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D1%96%D0%B9-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D1%83-ats01-22a-380415%D0%B2-%D0%B1%D0%B0%D0%B9%D0%BF%D0%B0%D1%81/>

15. CPU 1214C, 6ES7214-1AG40-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

16. Модуль виводу SM1223, 6ES7223-1BL32-0XB0. [Електронний ресурс]. <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6ES7223-1BL32-0XB0?tree=CatalogTree>

17. Модуль виводу SM1221, 6ES7221-1BH32-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6ES7221-1BH32-0XB0?tree=CatalogTree#overview>

18. Модуль виводу SM1221, 6ES7221-1BF32-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6ES7221-1BF32-0XB0?tree=CatalogTree>

19. сМТ2128Х - Панель оператора 12.1". [Електронний ресурс]. URL: <https://privodok.com.ua/cmt2128x-panel-operatora-10-1-tft-lcd-1024x600-1gb-ram-2-com-rs-232-485-usb-ethernet-24v-dc-ip65-weintek>

20. Датчик рівня ротаційний ILTD0, 24 V DC. [Електронний ресурс]. URL: <https://electrokom.kiev.ua/product/datchik-urovnya-rotatsionnyy-iltld0>

21. Сигналізатор рівня СУМ-1 У2, 220-230VAC. [Електронний ресурс]. URL: https://electrokom.kiev.ua/product/signalizator-urovnya-sum-1-u2?srsltid=AfmBOorB87Ha2E6NIn0uC1vXIBFVADbl_bys1QUXQ6_rncCregu6kFKS

22. ME 8108 кінцевий вимикач. [Електронний ресурс]. URL: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/kintsevi_vimikachi_serii_me/19694/#characteristic

23. Загальний каталог ЕТІ. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eti.ua/katalohy-ua/zahalnyy-kataloh>

24. 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.

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

26. 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->

27. 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.

28. 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>

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

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

31. 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>

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

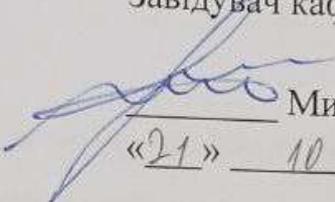
Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРИЗ

«21» 10 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

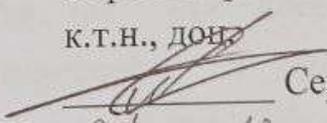
на магістерську кваліфікаційну роботу

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАРШРУТАМИ
ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА В УМОВАХ ЕЛЕВАТОРНОГО
КОМПЛЕКСУ**

08-24.МКР.014.00.000 ТЗ

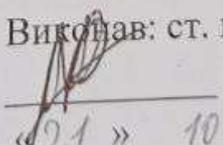
Керівник роботи

к.т.н., доц.


Сергій БАБІЙ

«21» 10 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-24м


Ярослав ЯЩУК

«21» 10 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу».

Скорочене найменування розробки – «Система керування маршрутами транспортування зерна».

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

Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу забезпечує автоматичну перебудову логістичних ланцюжків транспортування зерна з врахуванням різноманітних захистів та системи захисних блокувань.

4 Вимоги до розробки

Робота усіх механізмів, які працюють в складі елеваторного комплексу повинна бути організована таким чином, щоб не допустити завалу механізмів зерном як в нормальному режимі роботи, так і при виникненні нештатних ситуацій та некваліфікованих дії персоналу. З метою проведення налагоджувальних та ремонтних робіт кожен з механізмів повинен передбачати роботу не лише в автоматичному але і ручному режимі роботи.

5 Комплектація розробки

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

6 Джерела розробки

1. Технологічна схема елеваторного комплексу.
2. Машини безперервного транспорту /Дереза О.О. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. – 108 с.

7 Технічні характеристики норії завальної ями

Характеристики	Значення
Продуктивність, т/год	50
Висота норії, м	21
Швидкість стрічки, м/с	2,0
Ширина стрічки, мм	250
Ширина ковша, мм	200
Діаметр барабана (приводного, веденого), мм	500
ККД норії	0,7

8 Умови експлуатації

Система керування маршрутами транспортування зерна 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 маршрутами транспортування зерна виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Система керування маршрутами транспортування зерна 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

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАРШРУТАМИ
ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА В УМОВАХ ЕЛЕВАТОРНОГО
КОМПЛЕКСУ**

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є автоматизація процесів транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу за рахунок використання системи логістичних маршрутів транспортування.

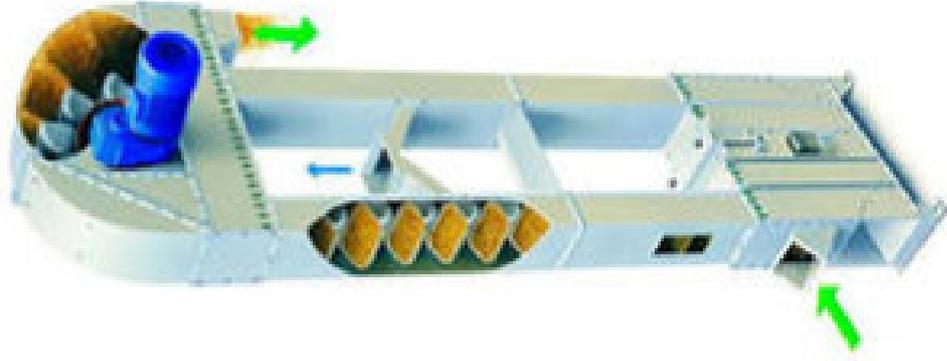
Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Дати загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Провести перевірочний розрахунок електропривода норії завальної ями.
3. Обґрунтувати вибір електропривода норії завальної ями.
4. Перевірити коректність проведених розрахунків електропривода норії завальної ями шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Розробити автоматизовану систему керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.
6. Перевірити коректність роботи системи керування маршрутами транспортування зерна в реальних умовах експлуатації.
7. Провести економічні розрахунки.
8. Розробити ряд заходів з охорони праці.

Об'єкт дослідження – процес транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу.

Технічні характеристики норії завальної ями



Технічні характеристики норії завальної ями

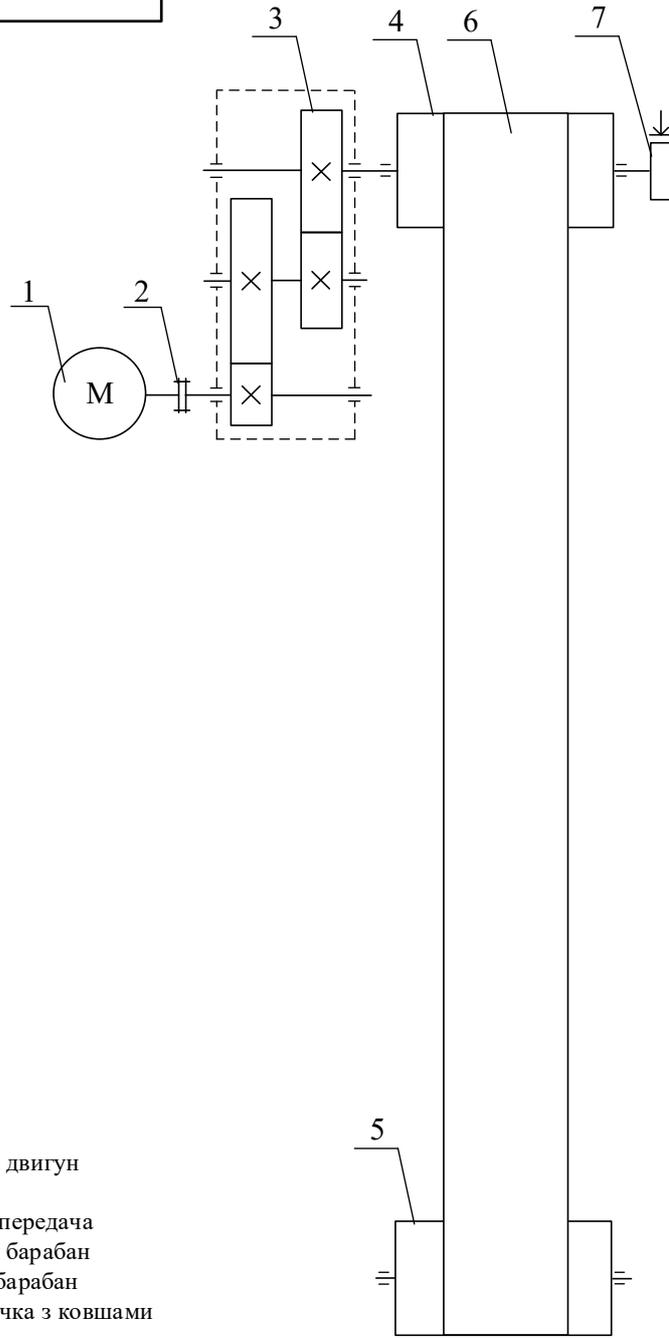
Характеристики	Значення
Продуктивність, т/год	50
Висота норії, м	21
Швидкість стрічки, м/с	2,0
Ширина стрічки, мм	250
Ширина ковша, мм	200
Діаметр барабана (приводного, веденого), мм	500
ККД норії	0,7

Вимоги до електропривода:

- електропривод є нереверсивним і розрахованим на роботу в тривалому режимі S1;
- для регулювання продуктивності норії може бути передбачено неглибоке регулювання швидкості;
- пуск повинен бути плавним з метою зменшення навантажень на стрічку норії.

Конструкція норії

08-24.МКР.014.00.000 К



- 1 – приводний двигун
- 2 – муфта
- 3 – механічна передача
- 4 – приводний барабан
- 5 – натяжний барабан
- 6 – тягова стрічка з ковшами
- 7 – останов

Підпис і дата								
Інв. № дубл.								
Зам. інв. №								
Підпис і дата								
Інв. № ориг.								
08-24.МКР.014.00.000 К								
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Схема кінематична норії	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ящук Я.В.						
Перевірив:		Бабій С.М.						
Т. контр.								
						Аркуш 1	Аркушів 1	
Норм.кон.		Паянок О.А.				гр. ЕПА-24м		
Затверд.		Мошноріз М.М.						

**Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода
норії завальної ями**

Показники	Системи електричного привода		
	Softstart1-АД	Softstart2-АД	ПЧ-АД
Тип перетвор. пристрою	ATS01N222QN	ATS22D17Q	ATV320U55N4C
Вартість двигуна D, грн	14175	14175	14175
Вартість системи керування СК, грн	14124	27282	33783
Капітальні вкладення К, грн	28299	41457	47958
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	4810,83	7047,69	8152,86
Амортизаційні відрахування S_A , грн/рік	2829,90	4145,70	4795,80
Відрахування на ремонт S_R , грн/рік	565,98	829,14	959,16
Додаткові відрахування S_D , грн/рік	23858,83	23858,83	23858,83
Відрахування на обслуговування S_O , грн/рік	1362,74	1441,68	1480,69
Загальні відрахування S , грн/рік	28617,45	30275,36	31094,48
Приведені витрати Z , грн/рік	33428,28	37323,05	39247,34

Вибір елементної бази електропривода норії завальної ями

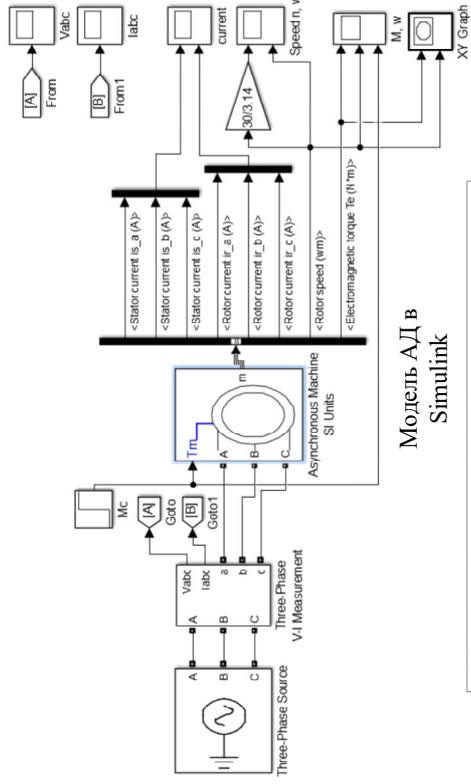
Технічні дані вибраного приводного двигуна

Тип	Параметри двигуна	Значення
		MS-112L-4-5.5KW-B5
Номінальна потужність $P_{дв.н.}$, кВт		5,5
Номінальна напруга $U_{дв.н.}$, В		230/400
Номінальна частота напруги живлення $f_{дв.н.}$, Гц		500
Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н.}$, об/хв		1400
Кількість пар полюсів p		2
Коефіцієнт потужності $\cos\phi_{ном}$		0,83
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н.}$, %		85,5
Кратність пускового моменту $\lambda_{пуск}$		2,0
Кратність критичного моменту λ_k		2,2
Номінальний струм статора $I_{дв.н.}$, А		19,4/11,16
Кратність пускового струму $\lambda_{д.пуск}$		7
Момент інерції ротора $J_{рот.}$, кг·м ²		0,017
Клас ізоляції		F
Режим роботи		S1
Температура навколишнього середовища		-30...+40°C
Висота над рівнем моря, м		1000
Ступінь захисту		IP55
Монтажне виконання		B5
Висота вісі вала, мм		112
Діаметр вала, мм		28
Рівень шуму, Дб		65

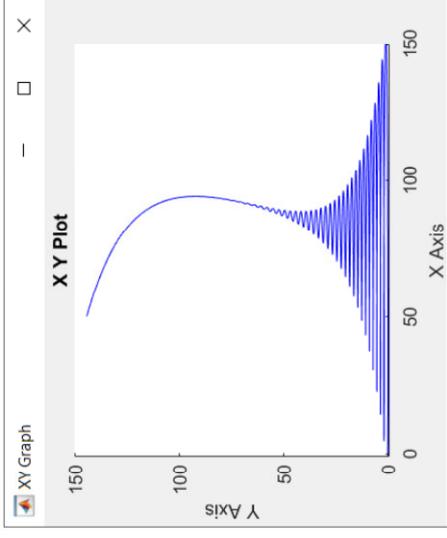
Технічні характеристики пристрою плавного пуску

Характеристики	Значення
Бренд	Schneider Electric
Серія	Altistart 01
sku	ATS01N222QN
Номінальна напруга живлення	380..415 В $\pm 10\%$
Частота мережі	50...60 Гц $\pm 5\%$
Номінальний струм	22 А
Тип пуску	Пуск у режимі регулювання напруги
Розсіювана потужність	124,5 Вт у перехідному стані 4,5 Вт при повному навантаженні та в кінці запуску
Доступна функція	Вбудований байпас (шунтуючий контактор)
Час запуску	Регулюється від 1 до 10 с
Час уповільнення	Регулюється від 1 до 10 с
Момент під час запуску	30...80 % пускового моменту двигуна
Тип дискретного входу	Логічний (L1, L2, BOOST) функції стоп, пуск та Boost(підвищ. напруги при пуску)
Напруга дискретного входу	24...40 В
Релейний вихід	1
Максимальний струм перемикання релейного виходу	2 А при 250 В змінний струм
Робоча температура повітря	-10...40 °С (без зниження номінальних характеристик) 40...50 °С (зі зниженням струму на 2 % на °С)
Температура повітря для зберігання	-25...70°C
Ступінь захисту	IP 20

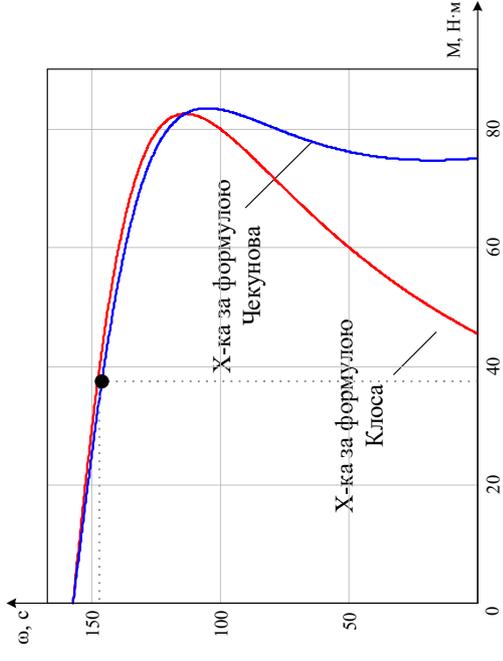
Моделювання приводного двигуна норії завальної ями



Модель АД в Simulink



Динамічна механічна характеристика АД



Розрахункові природні механічні характеристики приводного двигуна

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)
Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pr(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:
[5500 400 50]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Ls(H)]:
[0.6058 0.002306]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Lr'(H)]:
[1.104 0.002306]

Mutual inductance Lm (H):
0.11634

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) pO]:
[0.5 0.0005 2]

Initial conditions
[1.0 0.0 0.0]

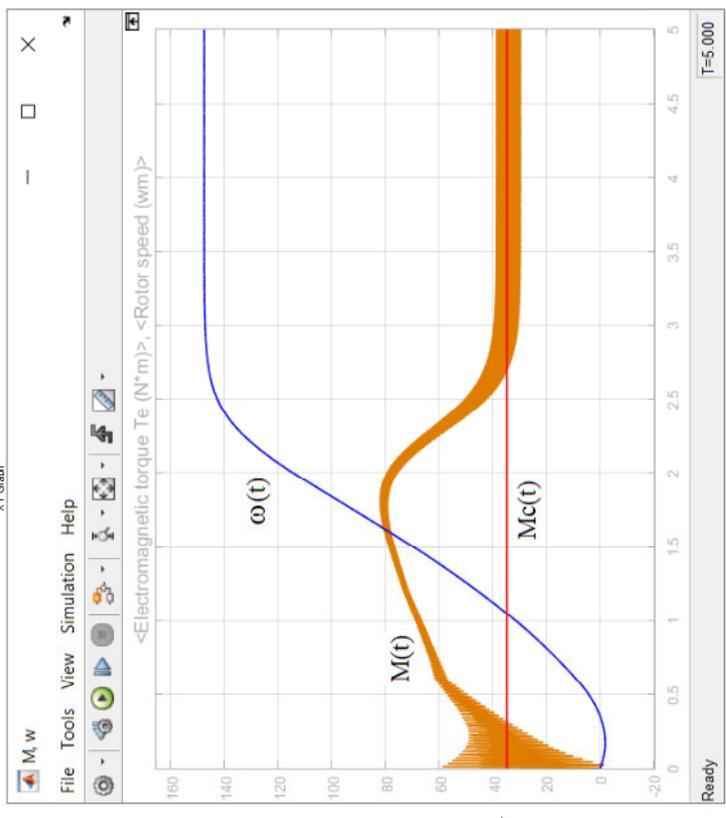
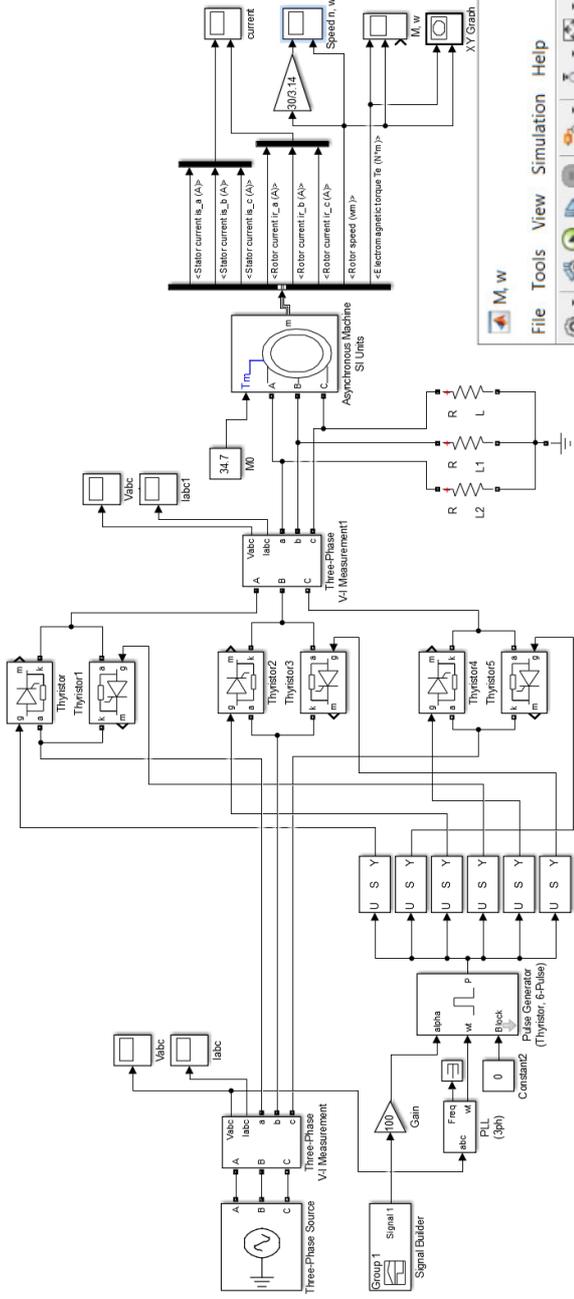
Simulate saturation

[I(Arms) ; V(VLL rms)]: [0.31917; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Налаштування параметрів моделі АД

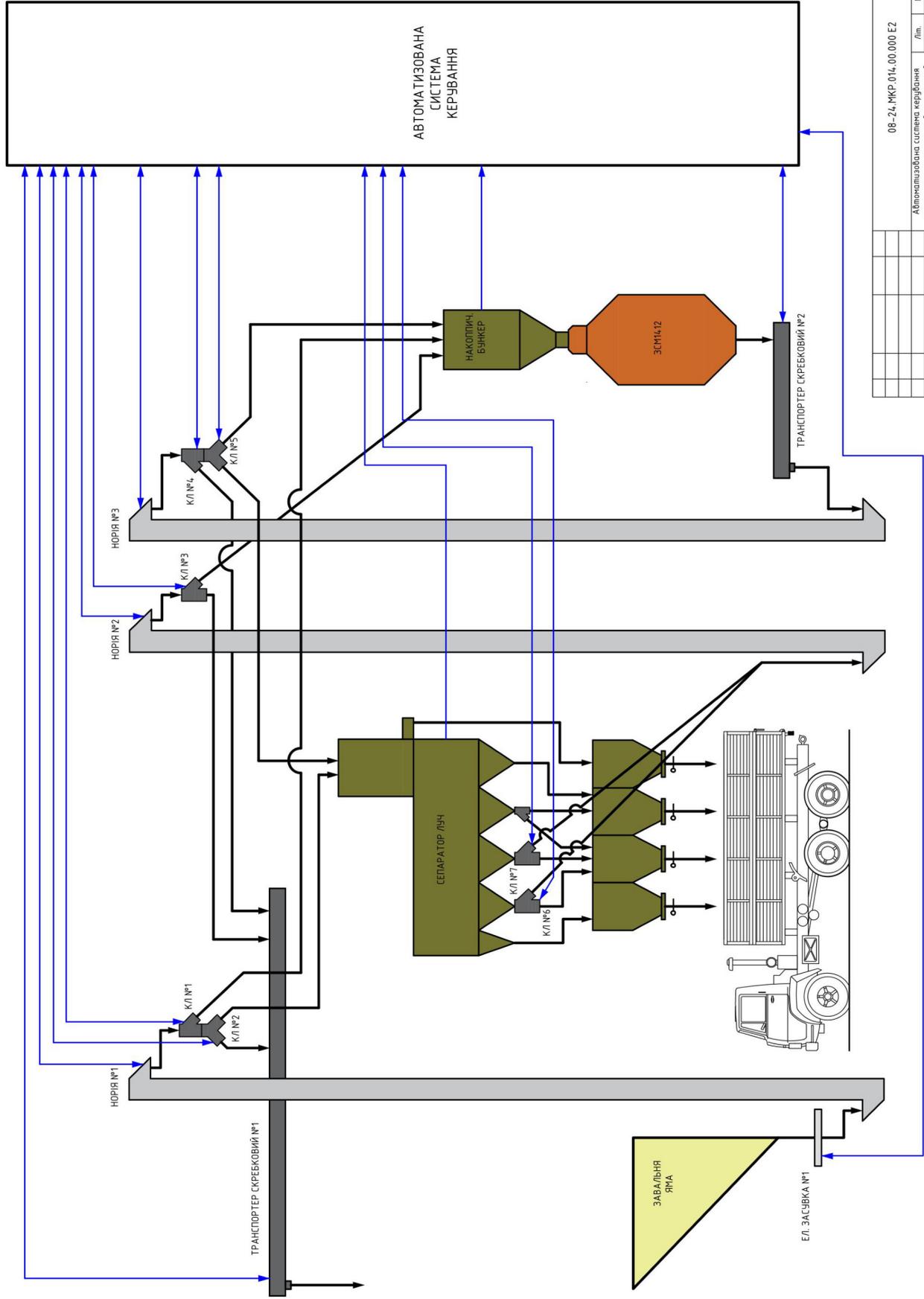
Моделювання електропривода норії завальної ями



Модель електропривода з системою плавного пуску в Simulink

Графіки перехідних процесів зміни моменту та швидкості АД при пуску

08-24.МКР.014.00.000.Е2



08-24.МКР.014.00.000.Е2

Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в цехах елеваторного комплексу.
Схема електричної функціональна системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Розробив	Яцук Я.В.			
Перевірив	Бабій С.М.			
Т. контр.				
Н. контр.	Павлюк О.А.			
Заміверив	Молочора М.М.			

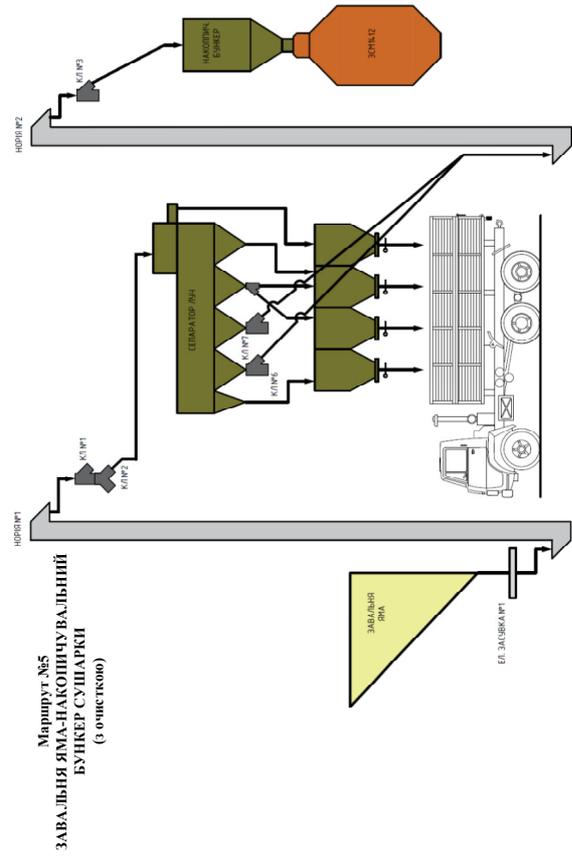
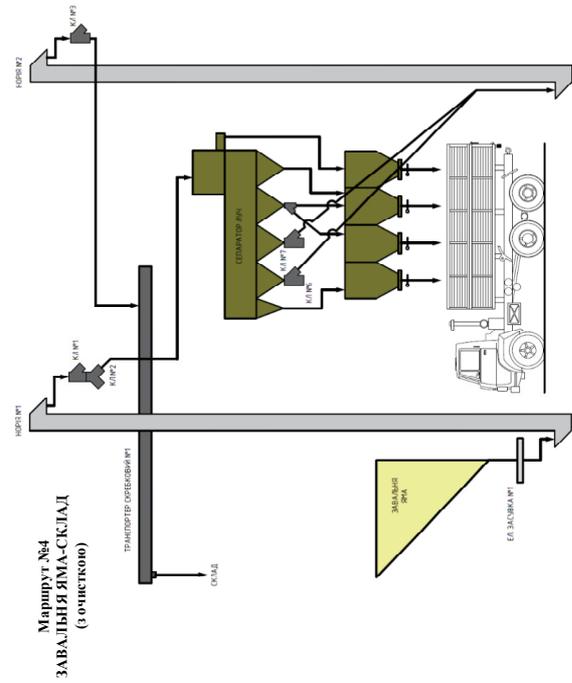
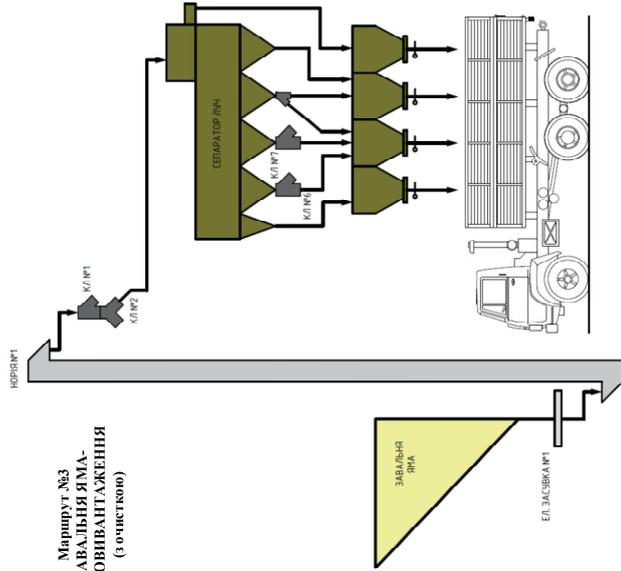
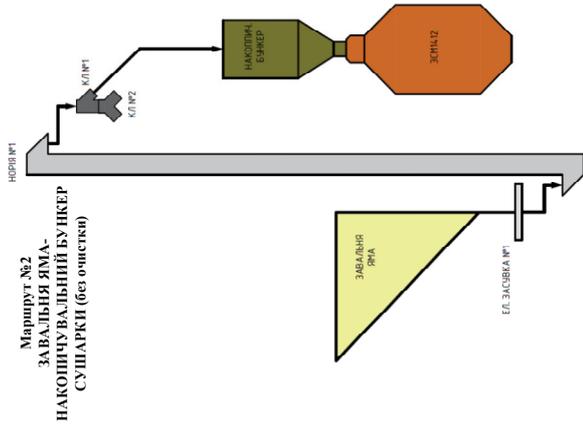
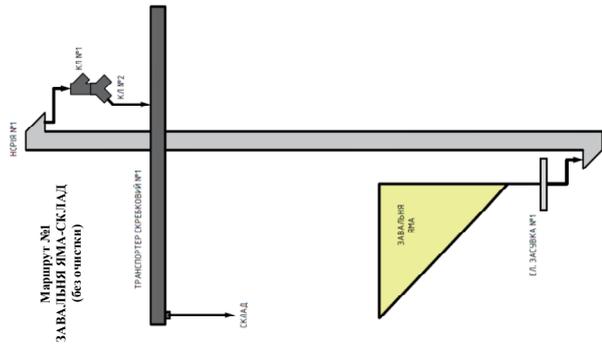
л/м	Маса	Масштаб
Аркушів 1		
Аркушів 1		

зр. ЕПА-24ч

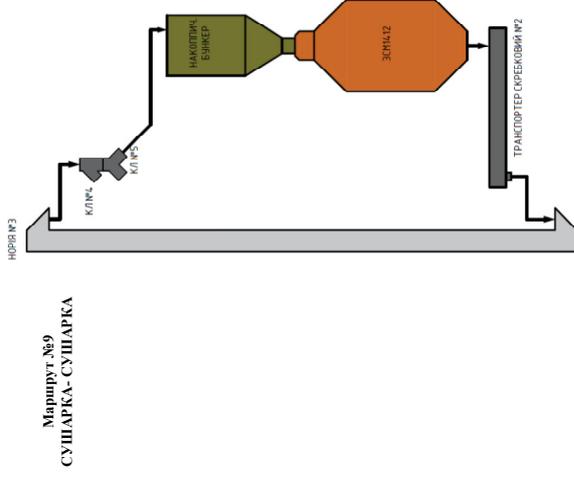
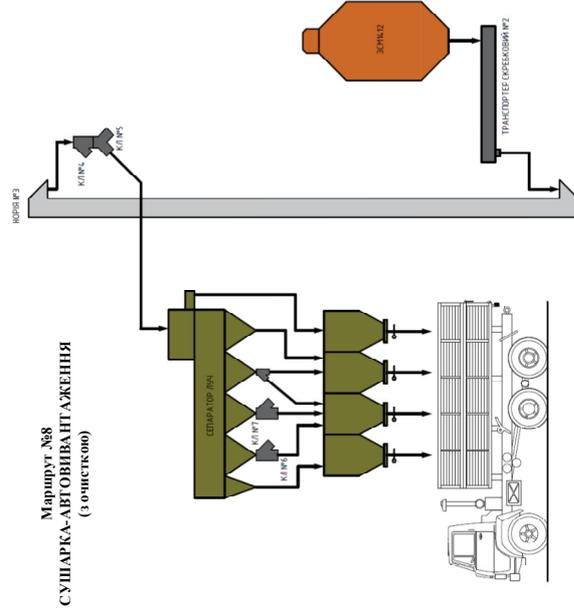
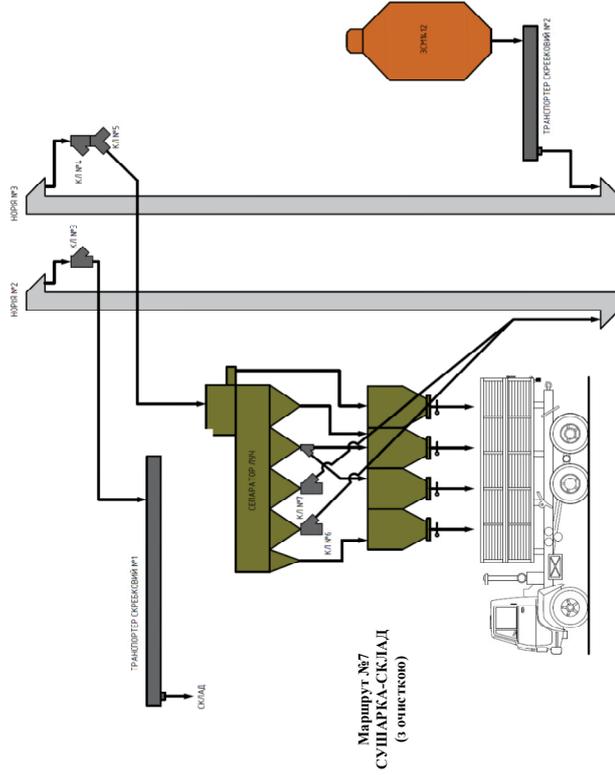
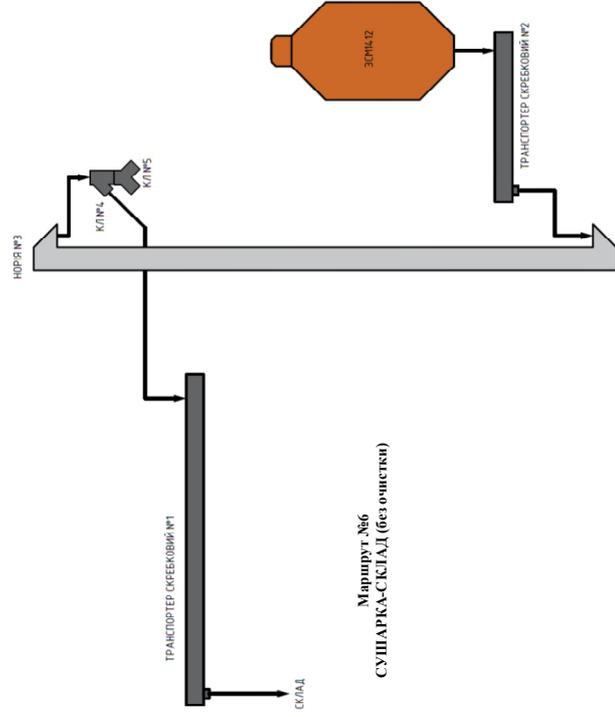
Формат А2

Ім'я № розр.	Підпис і дата
Зам. ім'я №	Ім'я № д/вн.

Маршрути транспортування (із завальної ями)



Маршрути транспортування (із сушарки)



Вибір основної елементної бази системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна



S7-1214C DC/DC/DC

SM 1223

SM 1221



Weintek cMT2128X

№	Найменування	Номер для замовлення	Кіл
1	Програмований логічний контролер	S7-1214C DC/DC/DC	1
2	Дискретний модуль розширення	SM 1223, 16DI / 16DO, 24VDC	1
3	Дискретний модуль розширення	SM 1221, 16DI, 24VDC	1
4	Дискретний модуль розширення	SM 1221, 8DI, 24VDC	1
5	Операторська панель	Weintek cMT2128X	1
6	Ротарійний сенсора рівня	ILTDO	1
7	Мембранний сенсор рівня	СУМ-1	5
8	Кінцевий вимикач	МЕ-8108	14
9	Автомати захисту приводних двигунів	MPE25-1,0	7
		MPE25-1,6	1
		MPE25-10	2
		MPE25-16	4
10	Контактори	CEM9.10	16
		CEM18.10	5
		CEM25.00	1



ILTDO



СУМ-1



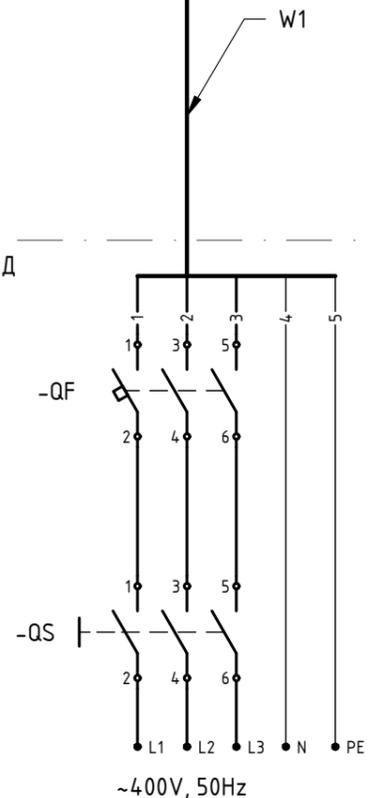
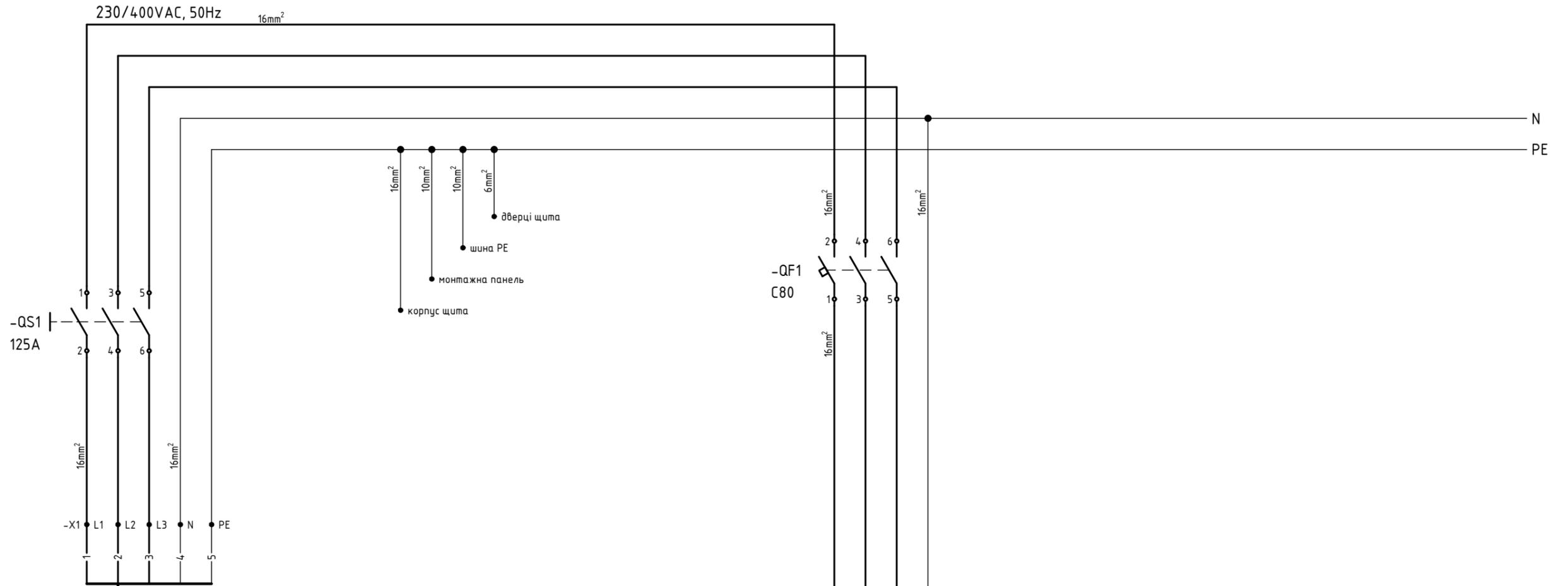
МЕ-8108



MPE25-16

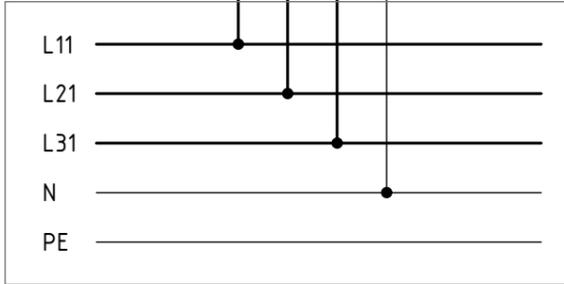


CEM9.10



- BU : Blue Синій
- WH : White Білий
- YE : Yellow Жовтий
- GN : Green Зелений
- GY : Grey Сірий
- OG : Orange Помаранчевий
- BN : Brown Коричневий
- BK : Black Чорний
- VT : Violet Фіолетовий
- PK : Pink Рожевий
- RD : Red Червоний
- YG : Yellow-Green Жовто-зелений

- ПРИМІТКИ:**
- Сумарна номінальна потужність приводних двигунів: 34,12 кВт (≈73 А).
 - Рекомендується виконати підключення 5-ти жильним кабелем з перерізом струмоведучої жили (мідь): 5x25мм²;
 - Установку заземлити.

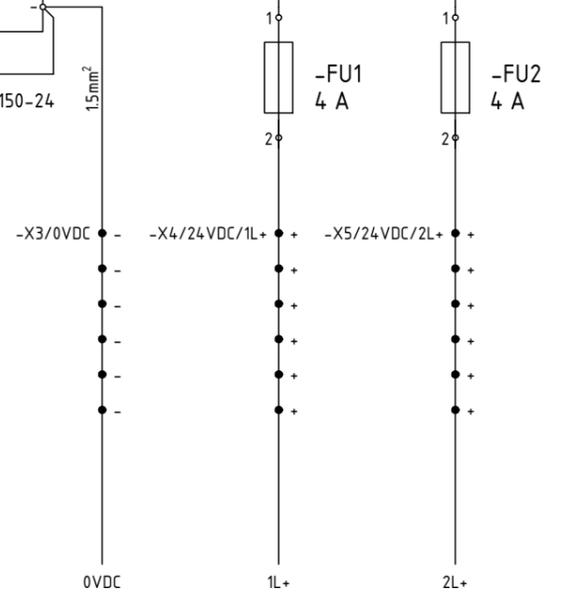
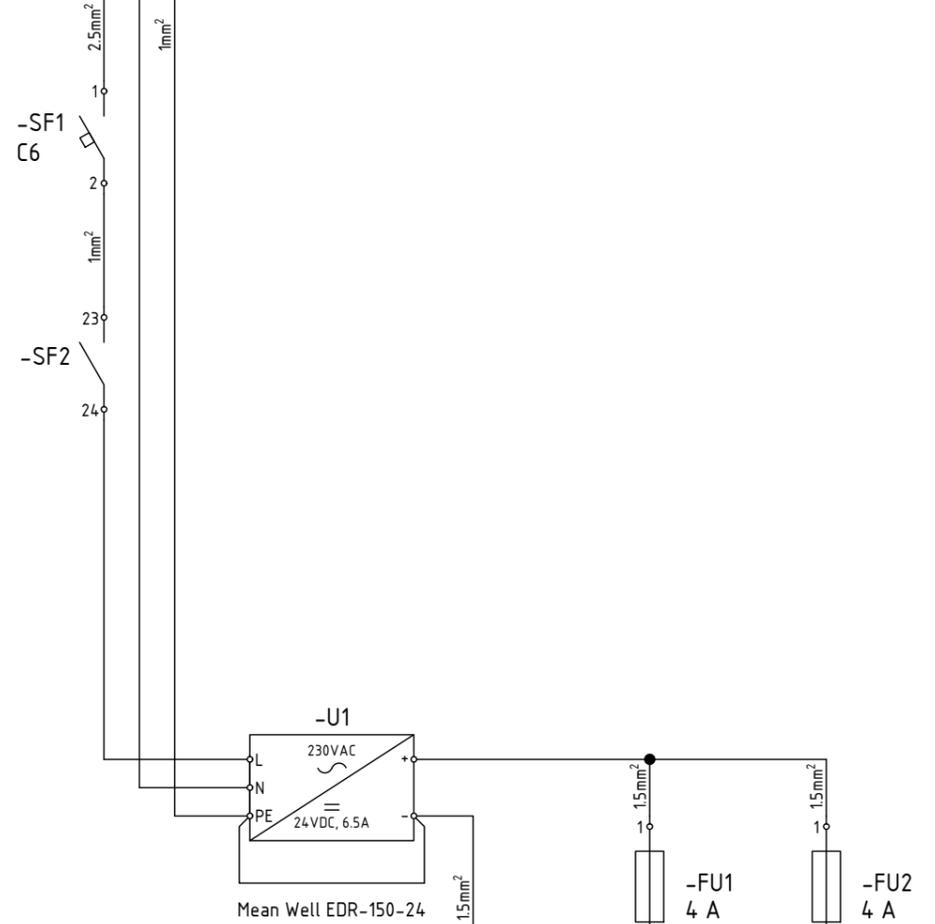
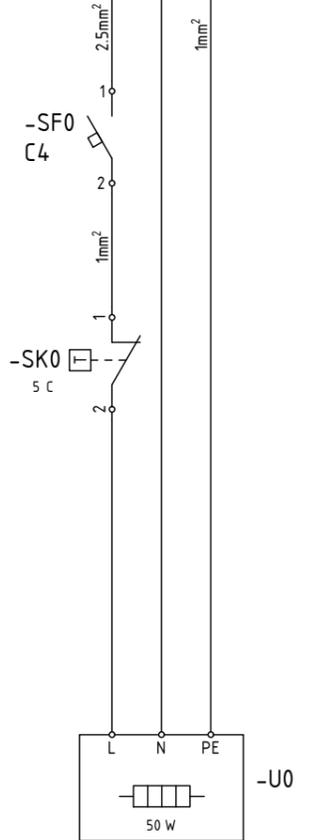
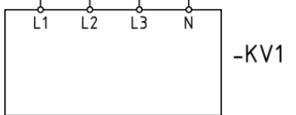
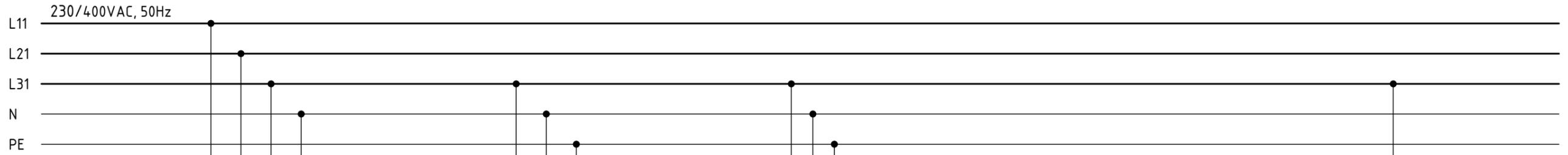


Розподільчий силовий блок

Силова частина

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

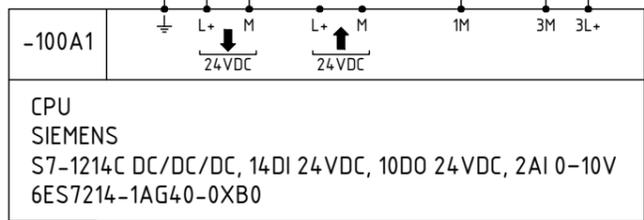
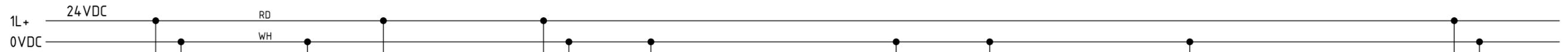
					08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Схема електрична принципова системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна	Лім.	Маса	Масштаб
Розробив	Ящук Я.В.							
Перевірів	Бадій С.М.							
Т. контр.						Аркуш 1	Аркушів 27	
Н. контр.	Паянок О.А.				гр. ЕПА-24м			
Затвердив	Мошноріз М.М.							



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

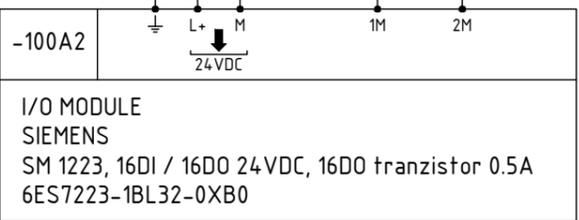
Мікроклімат.
Живлення кіл керування

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

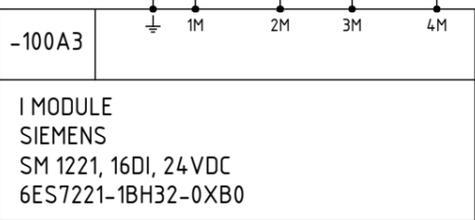


CPU
SIEMENS
S7-1214C DC/DC/DC, 14DI 24VDC, 10DO 24VDC, 2AI 0-10V
6ES7214-1AG40-0XB0

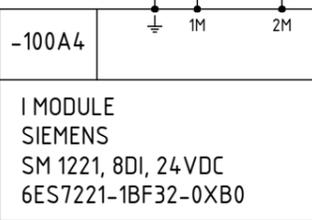
Port 1



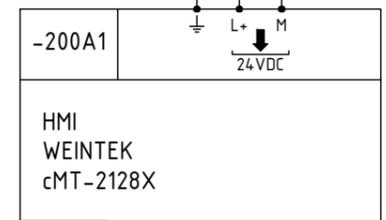
I/O MODULE
SIEMENS
SM 1223, 16DI / 16DO 24VDC, 16DO tranzistor 0.5A
6ES7223-1BL32-0XB0



I MODULE
SIEMENS
SM 1221, 16DI, 24VDC
6ES7221-1BH32-0XB0



I MODULE
SIEMENS
SM 1221, 8DI, 24VDC
6ES7221-1BF32-0XB0



HMI
WEINTEK
cMT-2128X

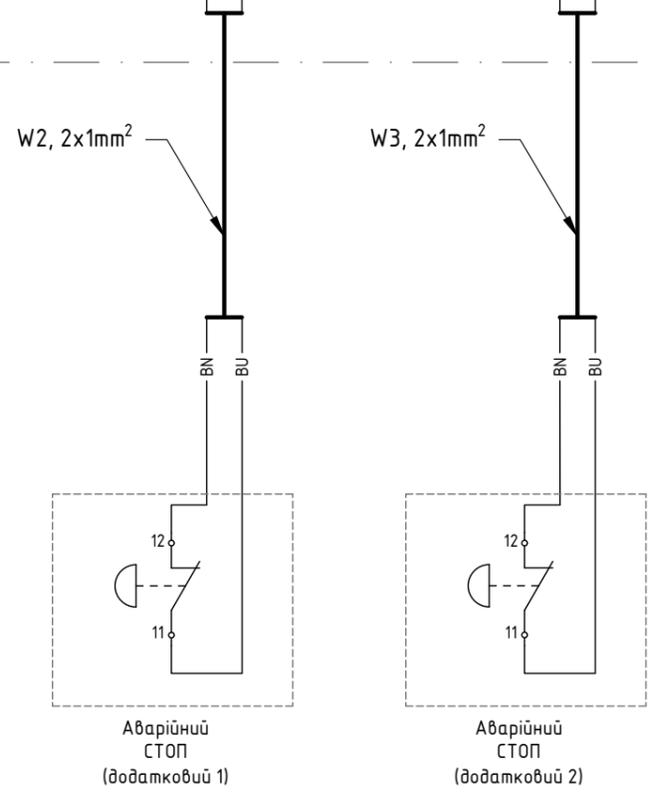
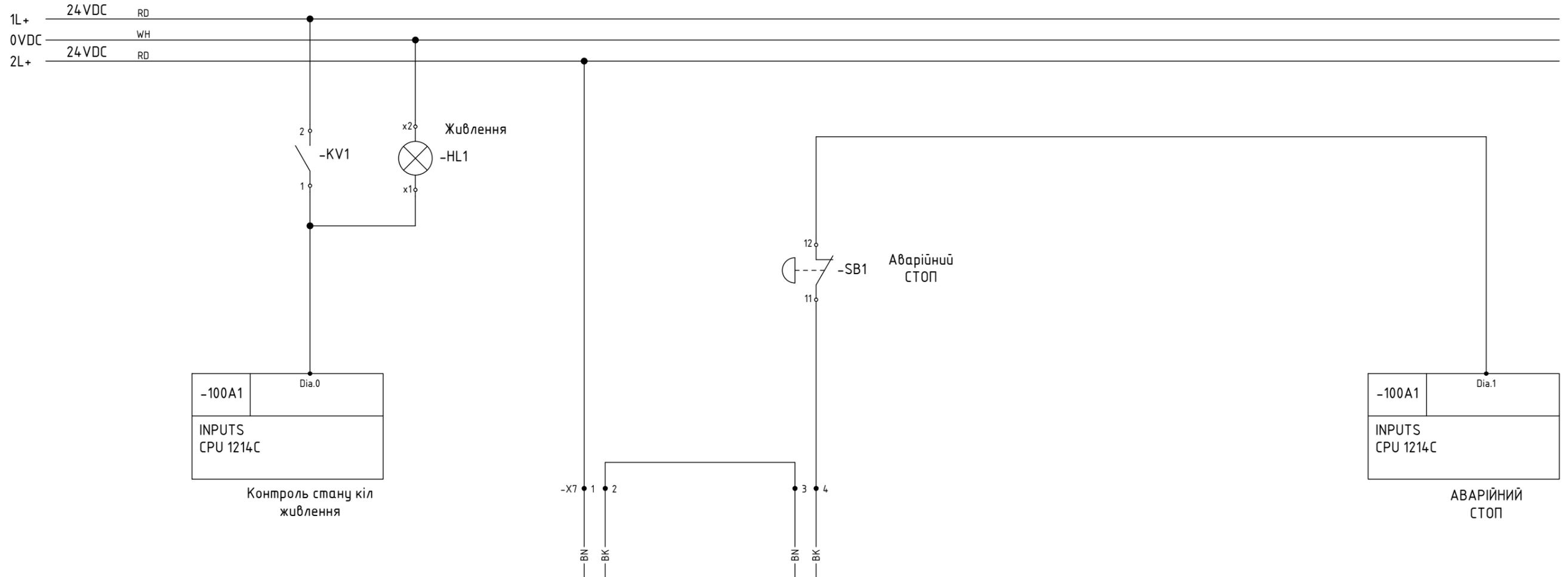
Port 1

Modbus TCP/IP

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

PLC збірка

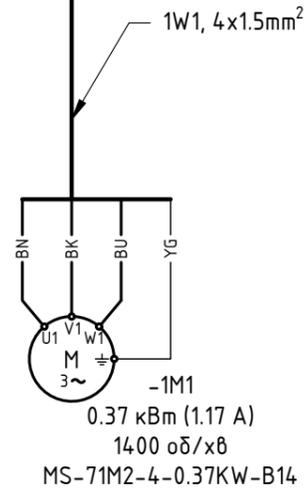
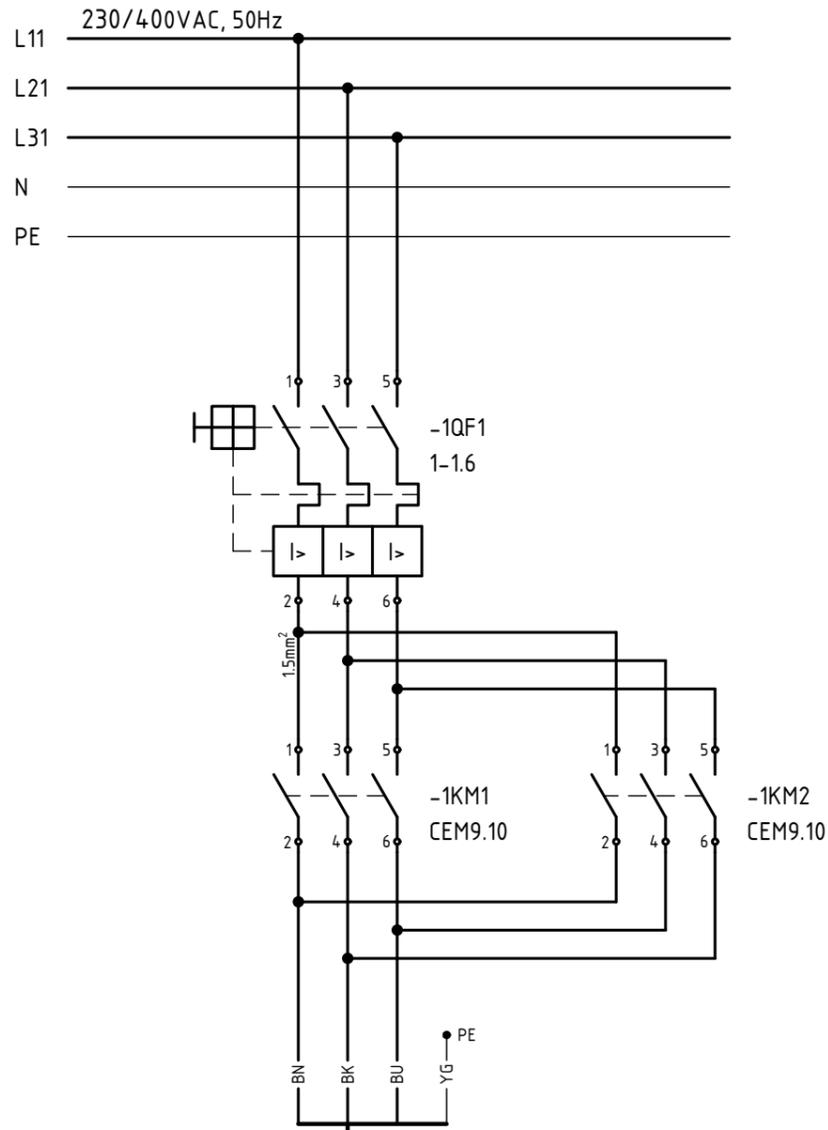
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



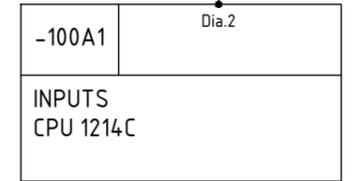
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Контроль стану кіл живлення.
АВАРІЙНИЙ СТОП

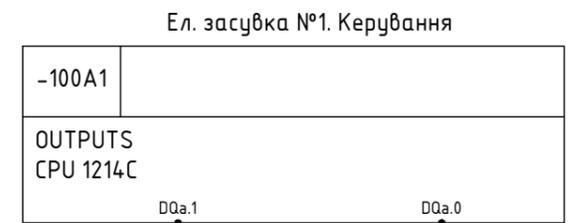
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



Ел. засувка №1
(завальна яма)



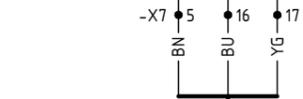
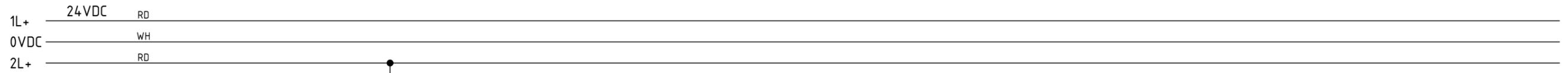
Ел. засувка №1.
Захист приводного
двигуна



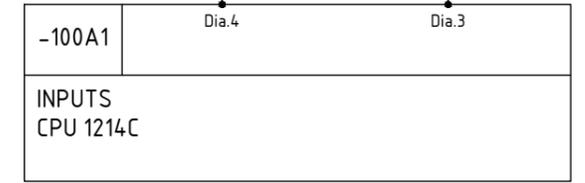
0VDC — WH

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

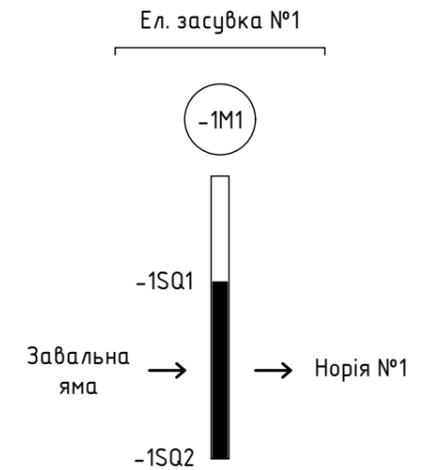
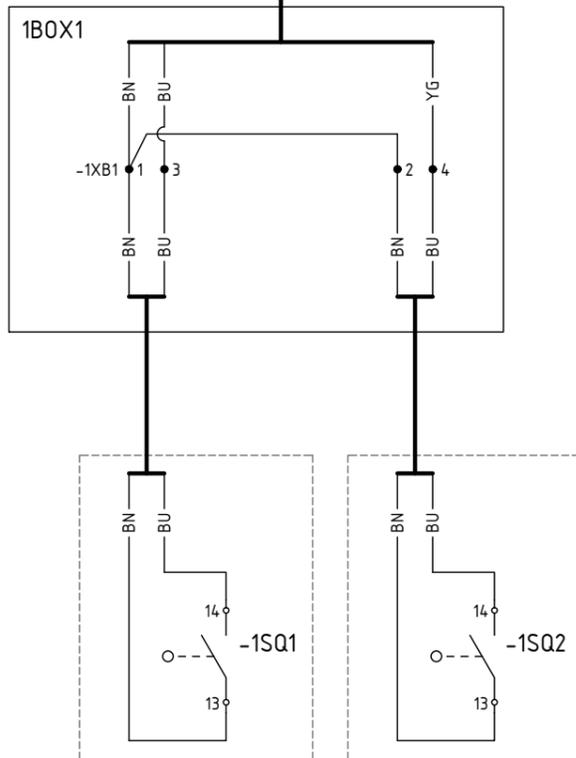
08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ



1W2, 3x1mm²



Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач 1SQ2
Ел. засувка №1. Кінцевий перемикач 1SQ1



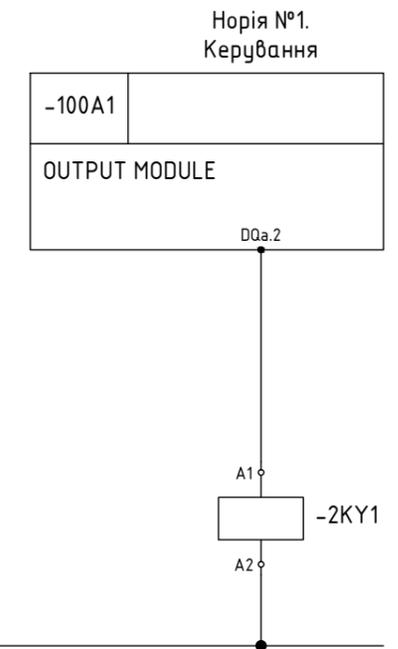
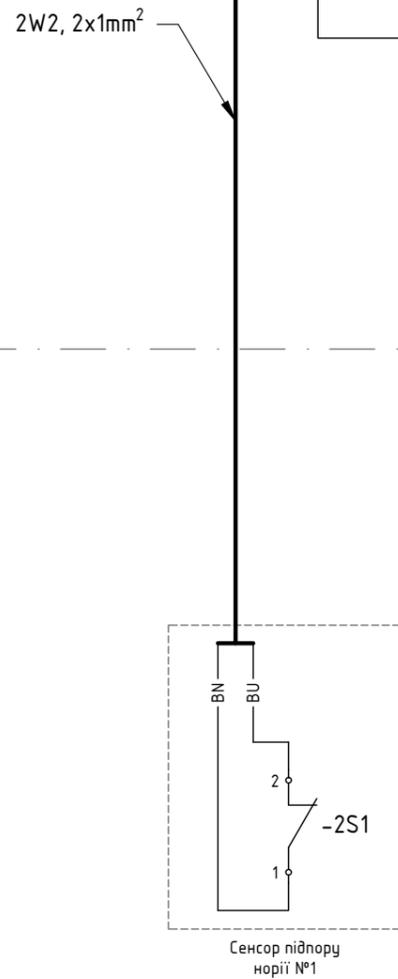
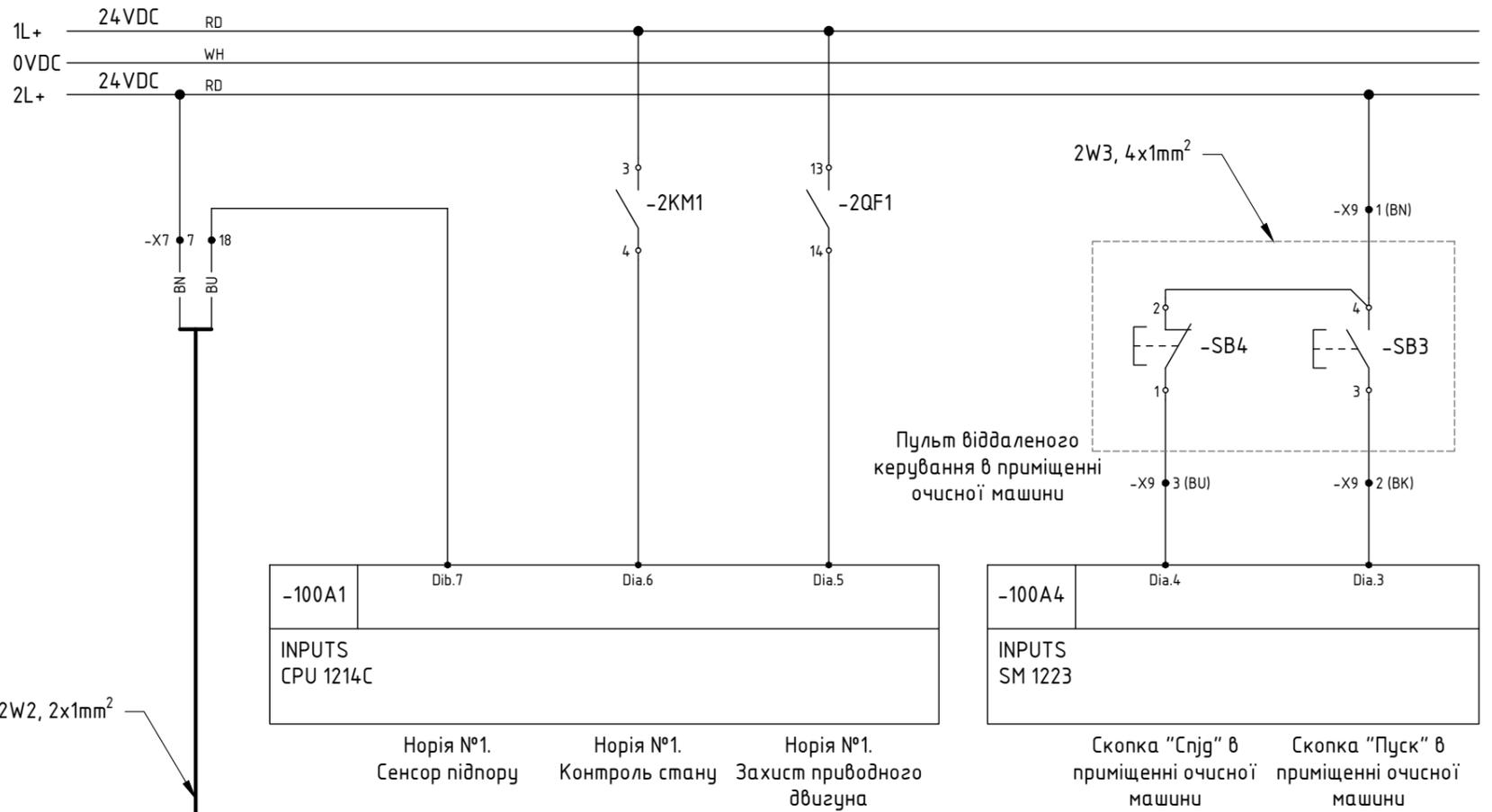
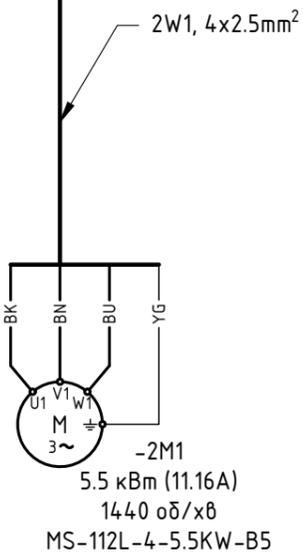
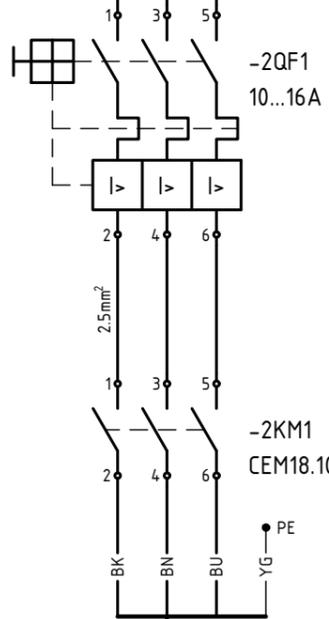
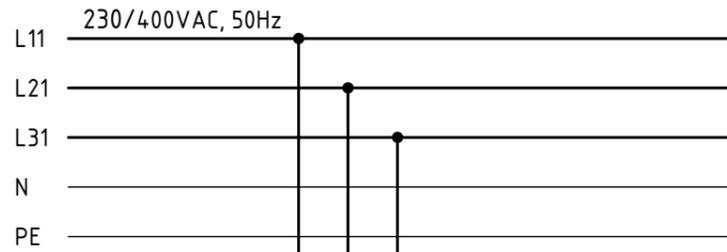
Ел. засувка №1 (завальна яма)

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ

Лист
6

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

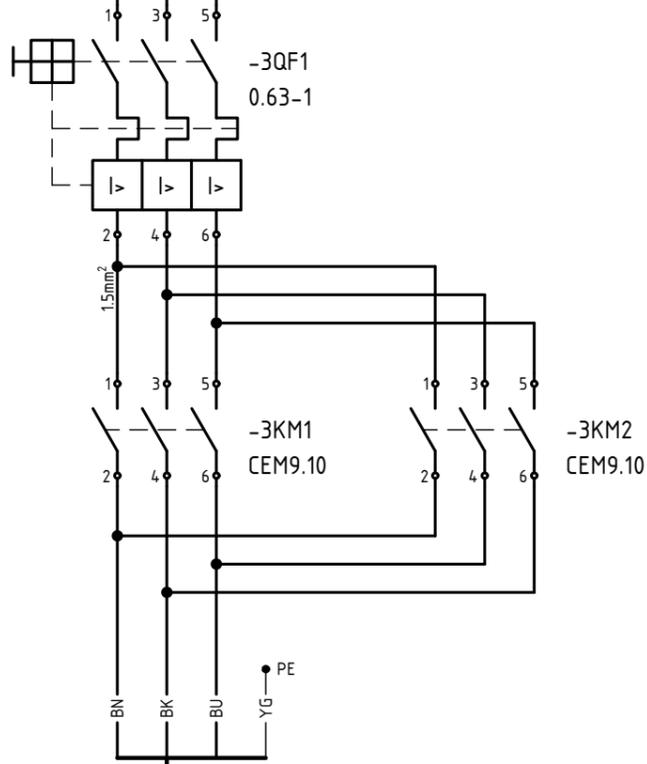
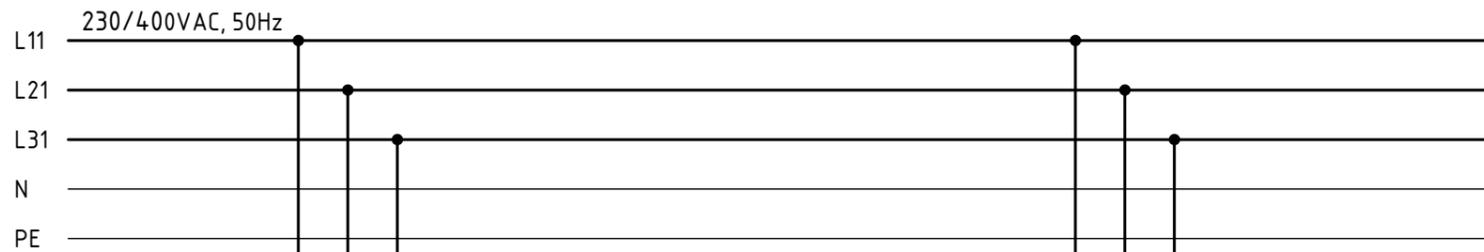


0VDC WH

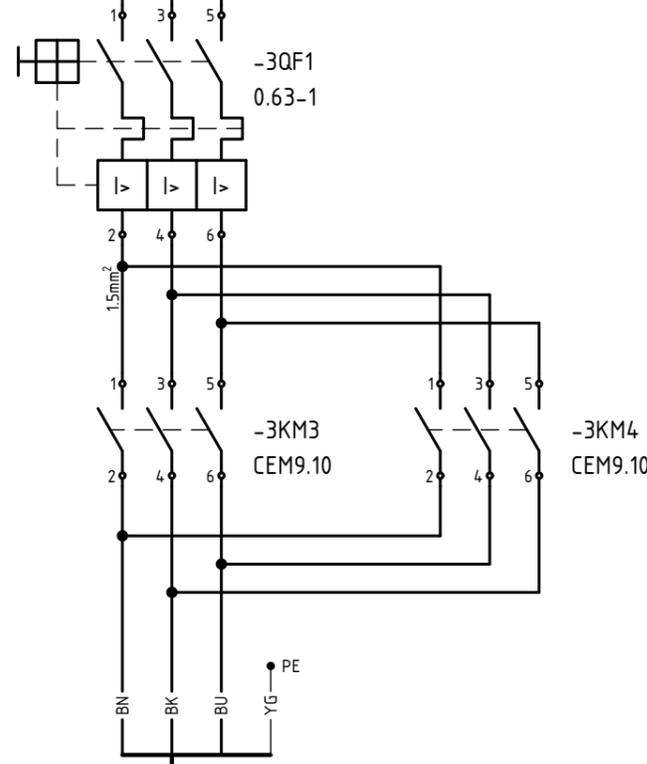
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Норія №1

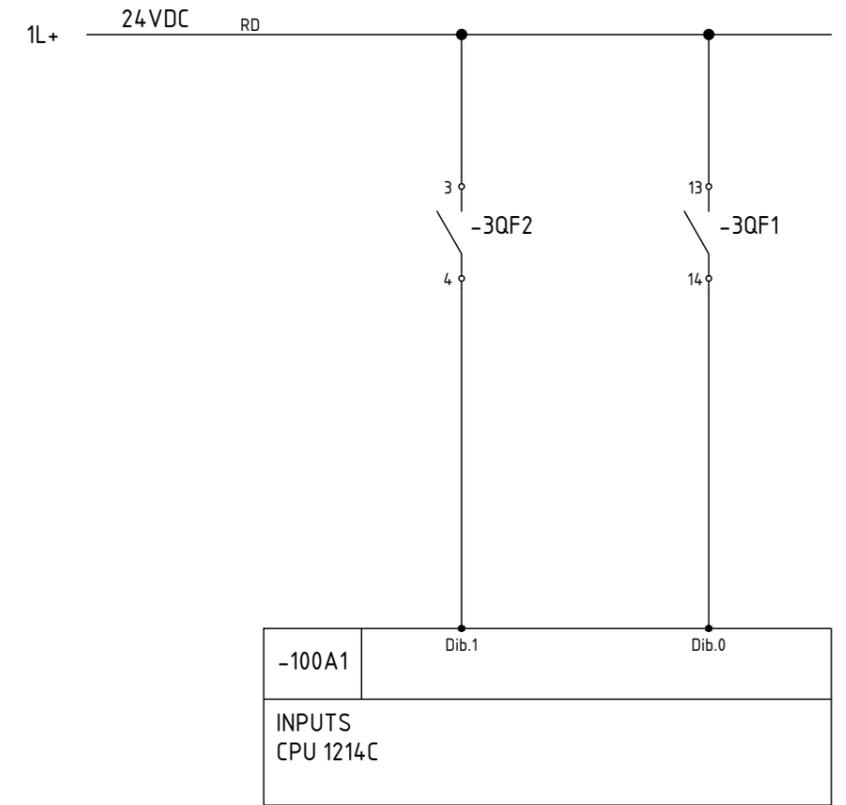
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



Клапан №1

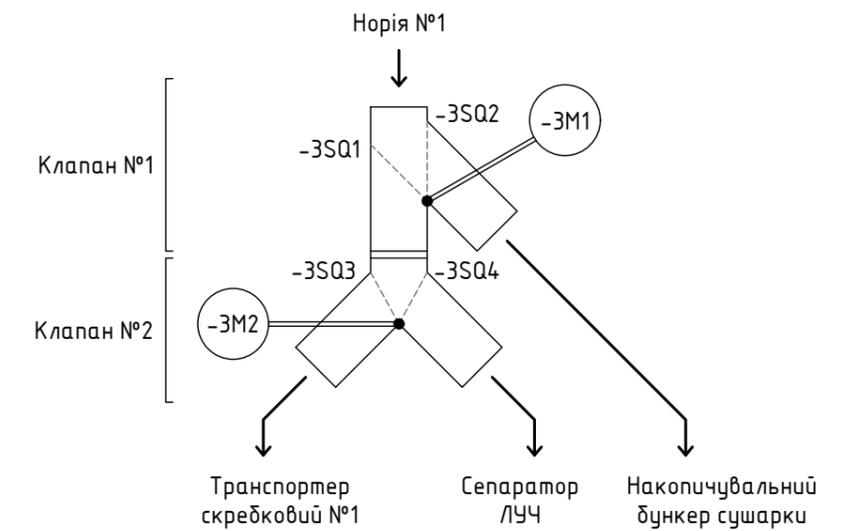


Клапан №2



Клапан №2.
Захист приводного
двигуна

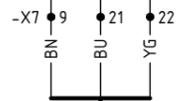
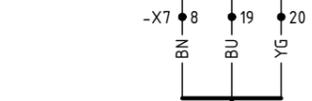
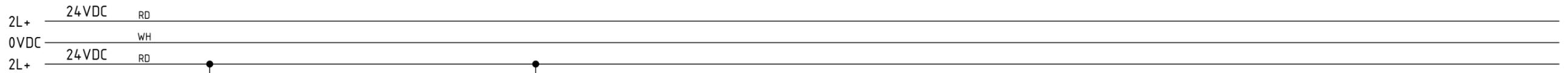
Клапан №1.
Захист приводного
двигуна



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

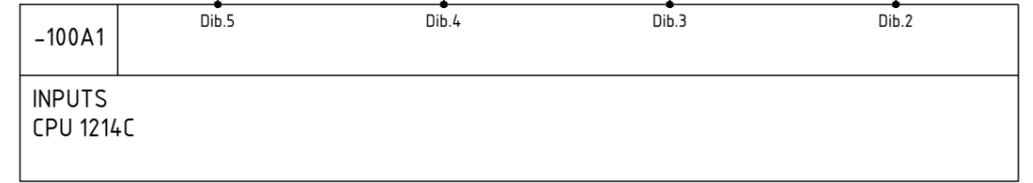
Клапан №1.
Клапан №2

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



3W3, 3x1mm²

3W4, 3x1mm²

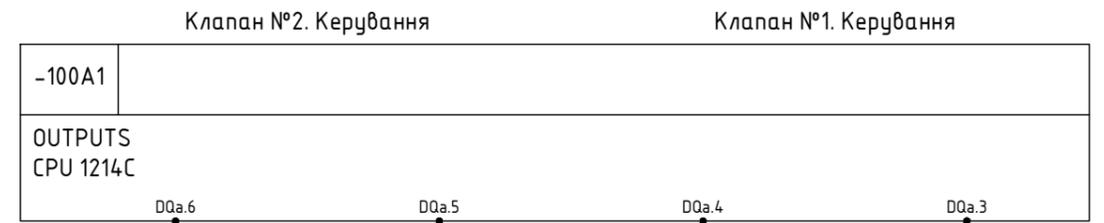
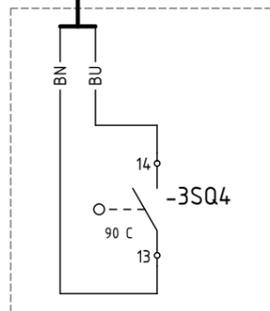
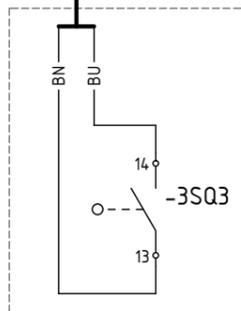
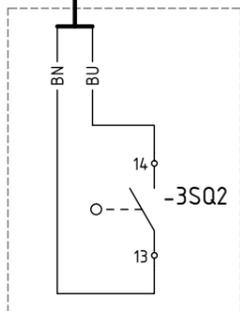
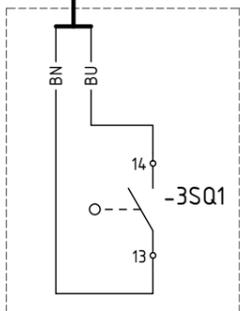
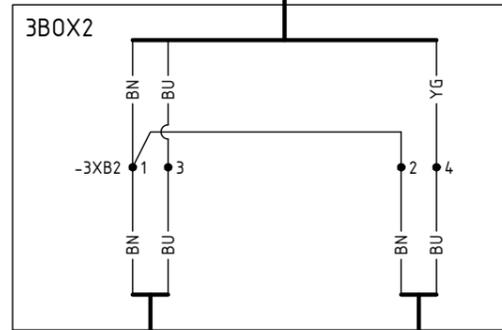
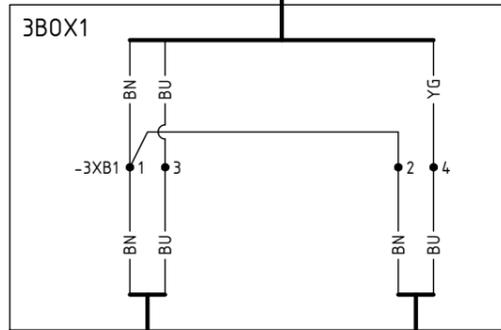


Клапан №2.
Кінцевий
перемикач 3SQ4

Клапан №2.
Кінцевий
перемикач 3SQ3

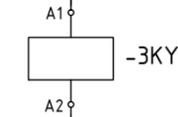
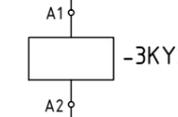
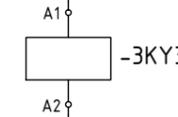
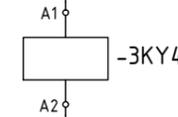
Клапан №1.
Кінцевий
перемикач 3SQ2

Клапан №1.
Кінцевий
перемикач 3SQ1



Клапан №2. Керування

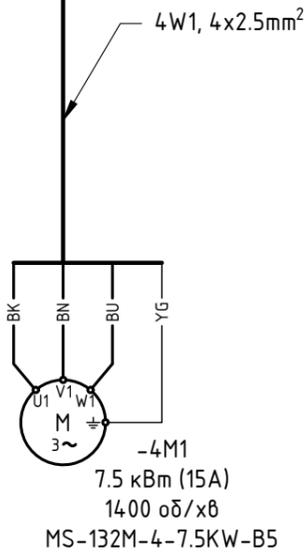
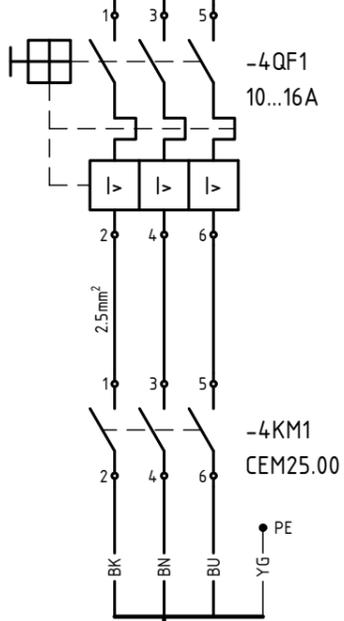
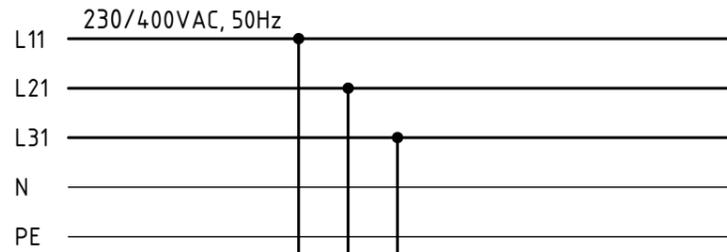
Клапан №1. Керування



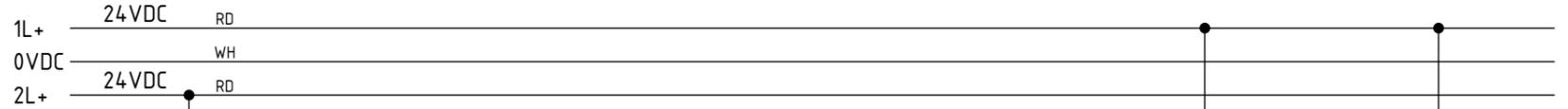
Підпис і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ориг.

Клапан №1.
Клапан №2

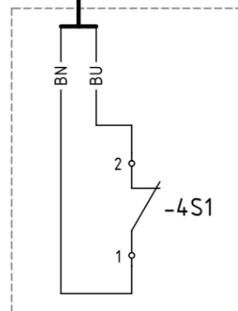
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------



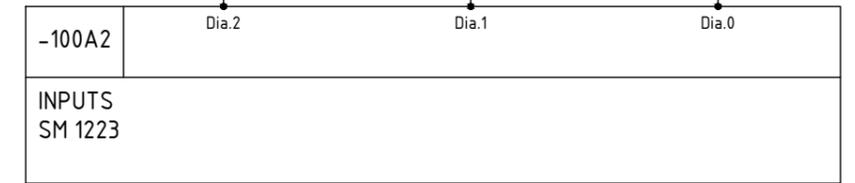
Транспортер
скребковий №1



4W2, 2x1mm²



Сенсор підпору
тр. скребкового №1

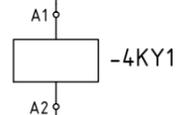
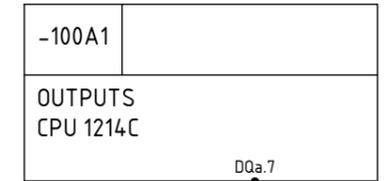


Тр. скребк. №1.
Сенсор підпору

Тр. скребк. №1.
Контроль стану

Тр. скребк. №1.
Захист приводного
двигуна

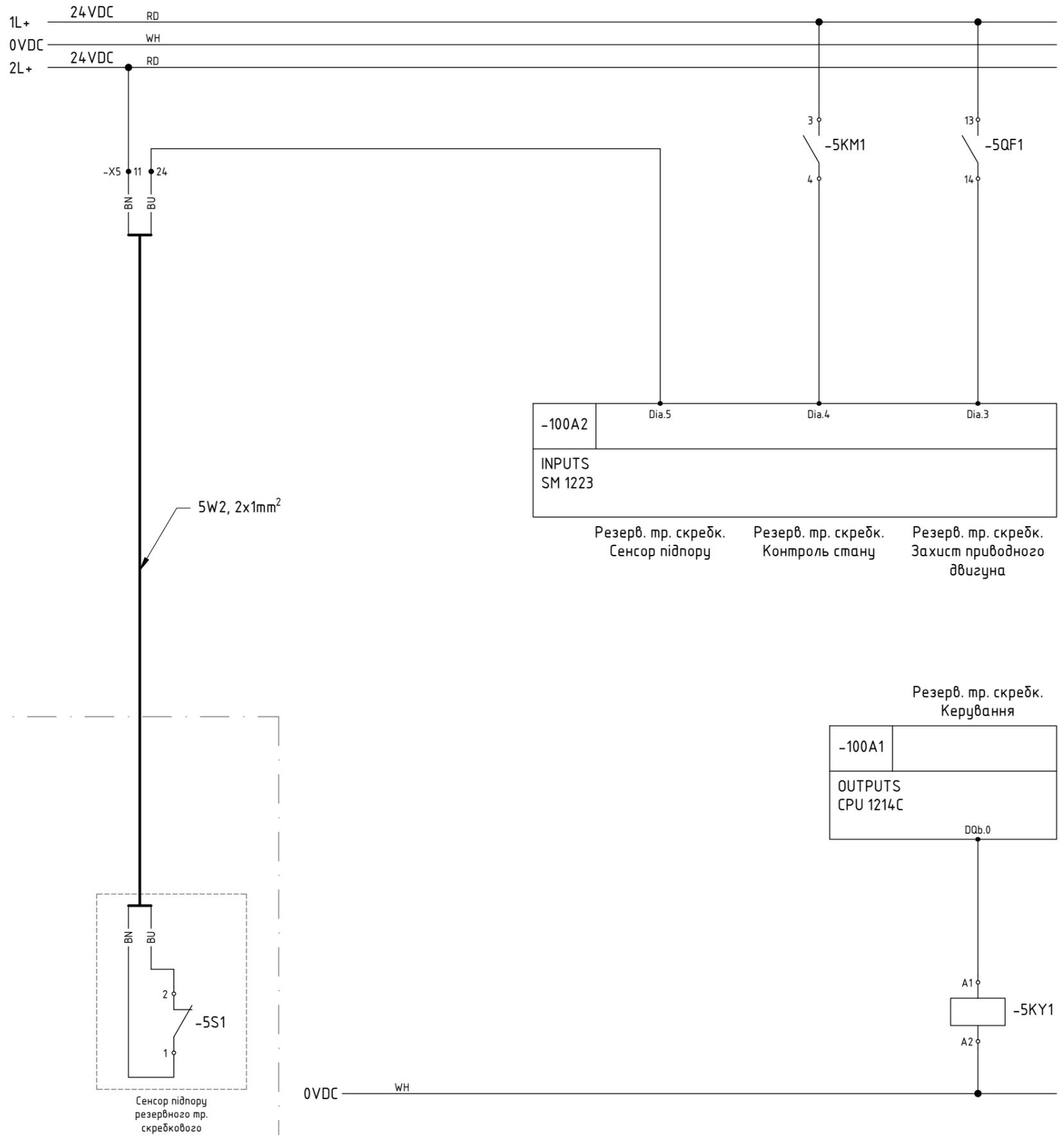
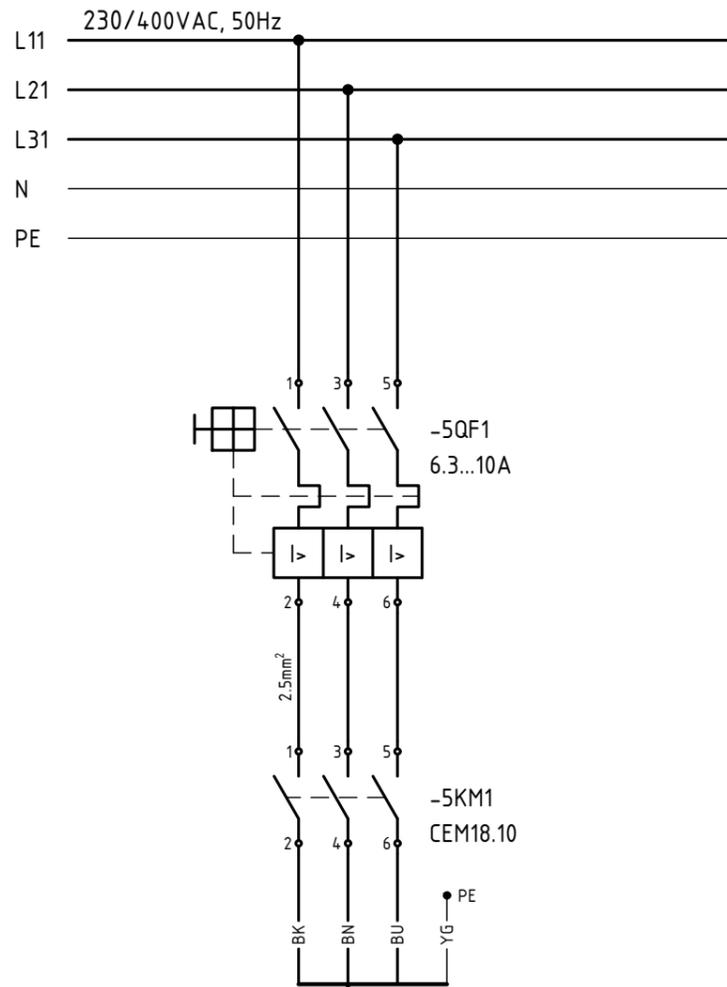
Тр. скребк. №1.
Керування



0VDC — WH

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

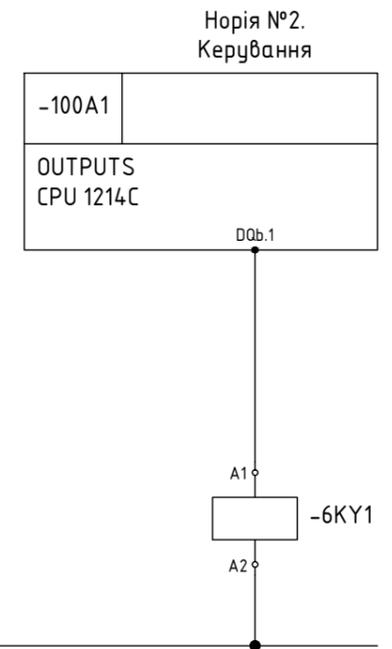
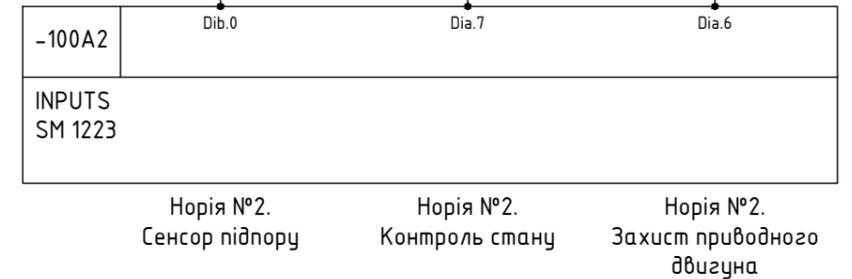
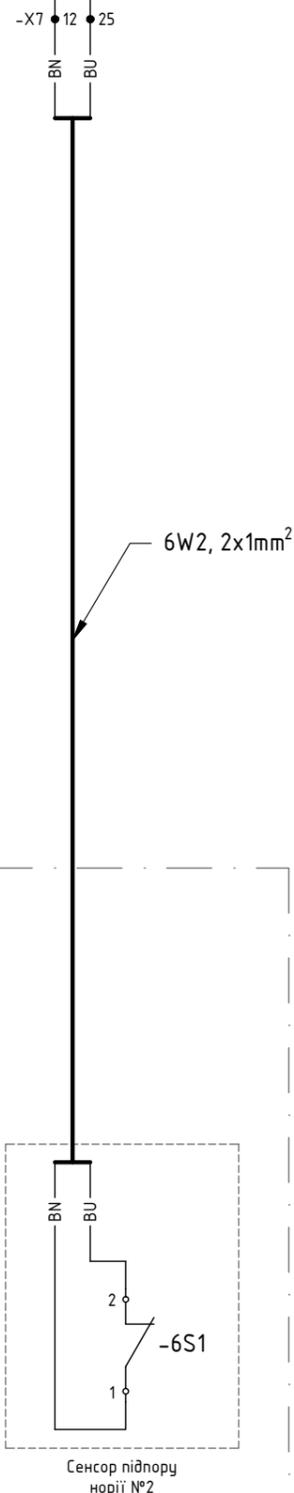
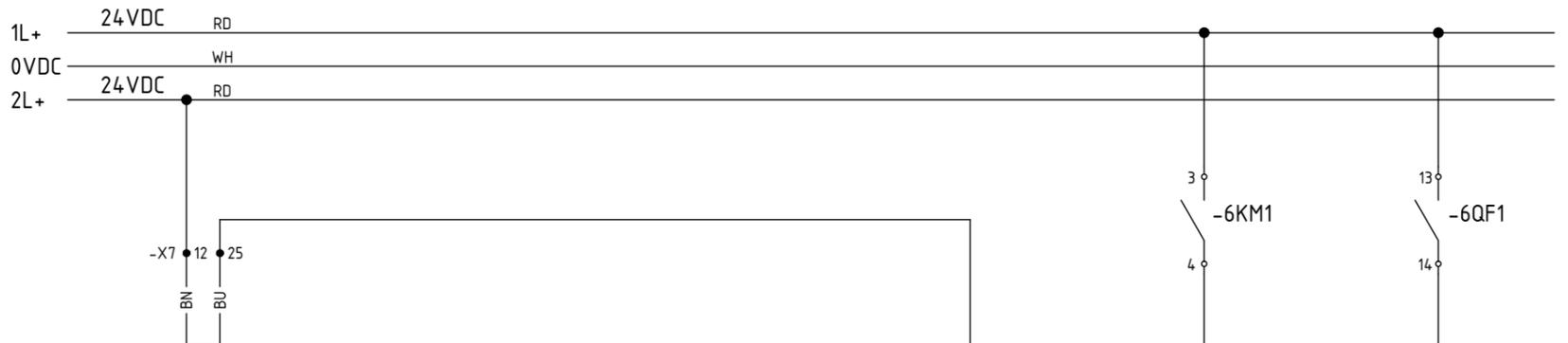
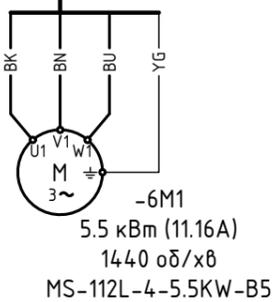
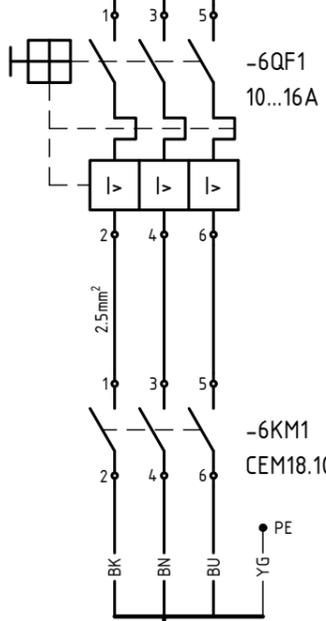
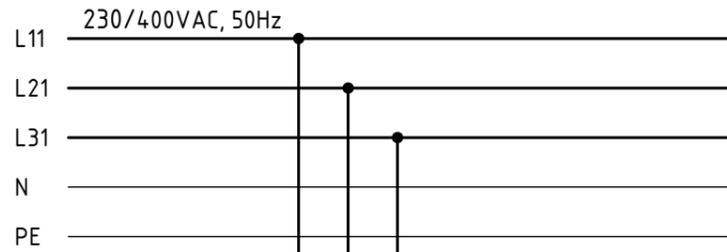
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата



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

Резервний скрежковий
транспорт

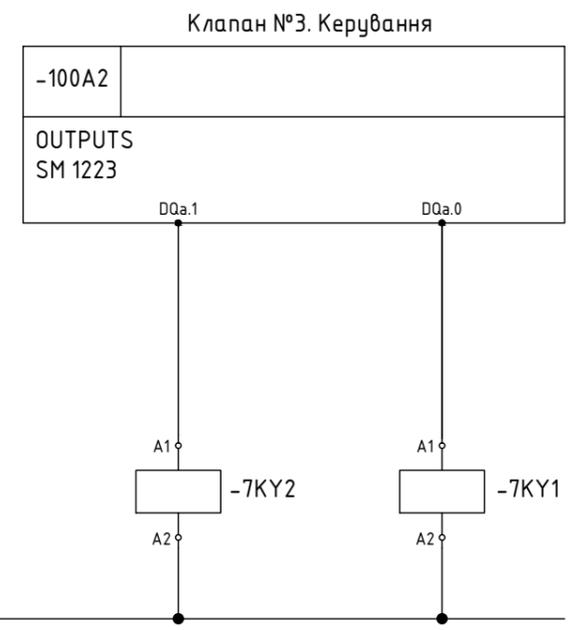
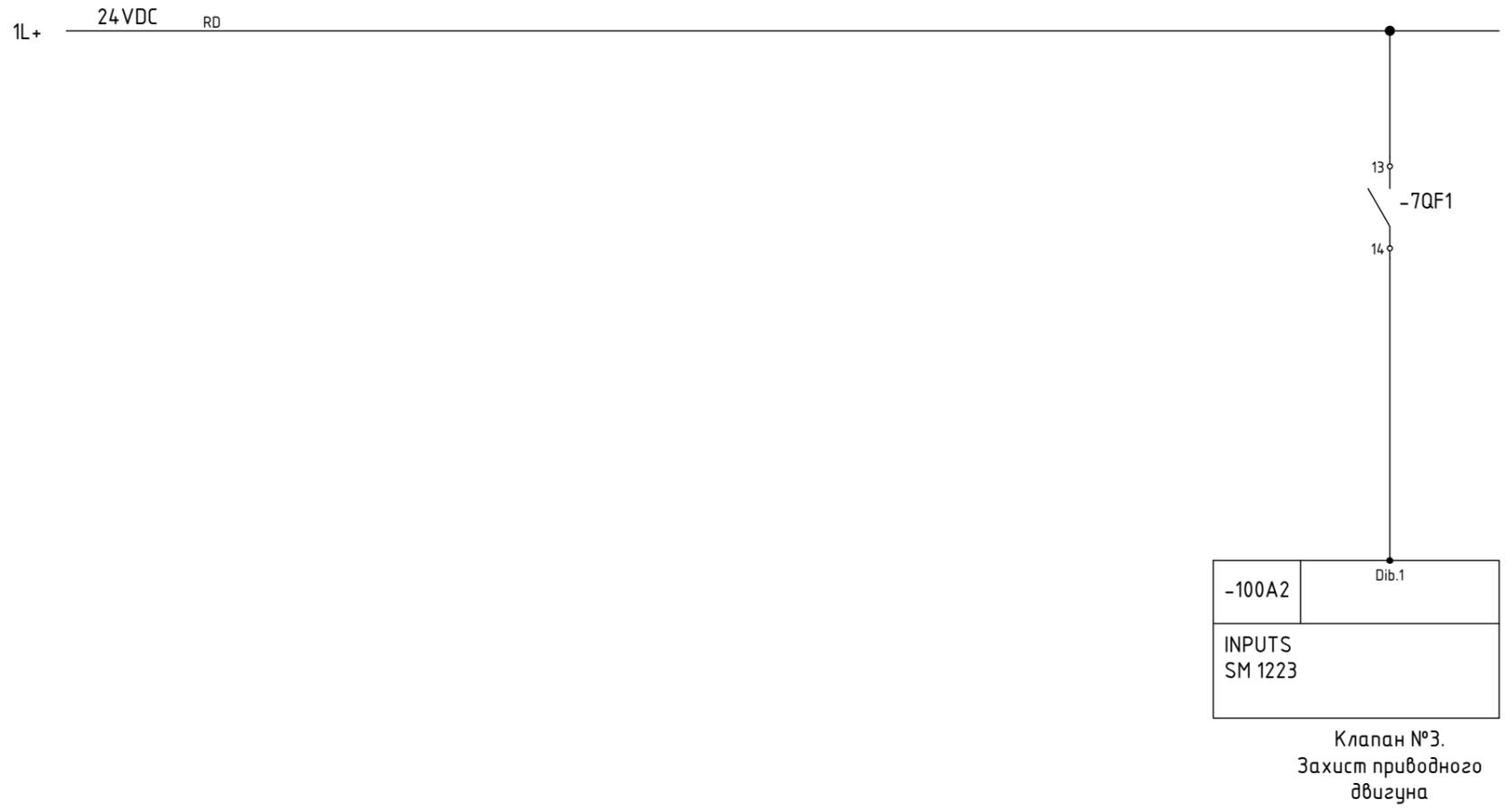
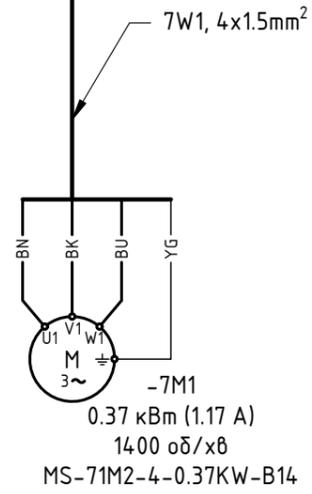
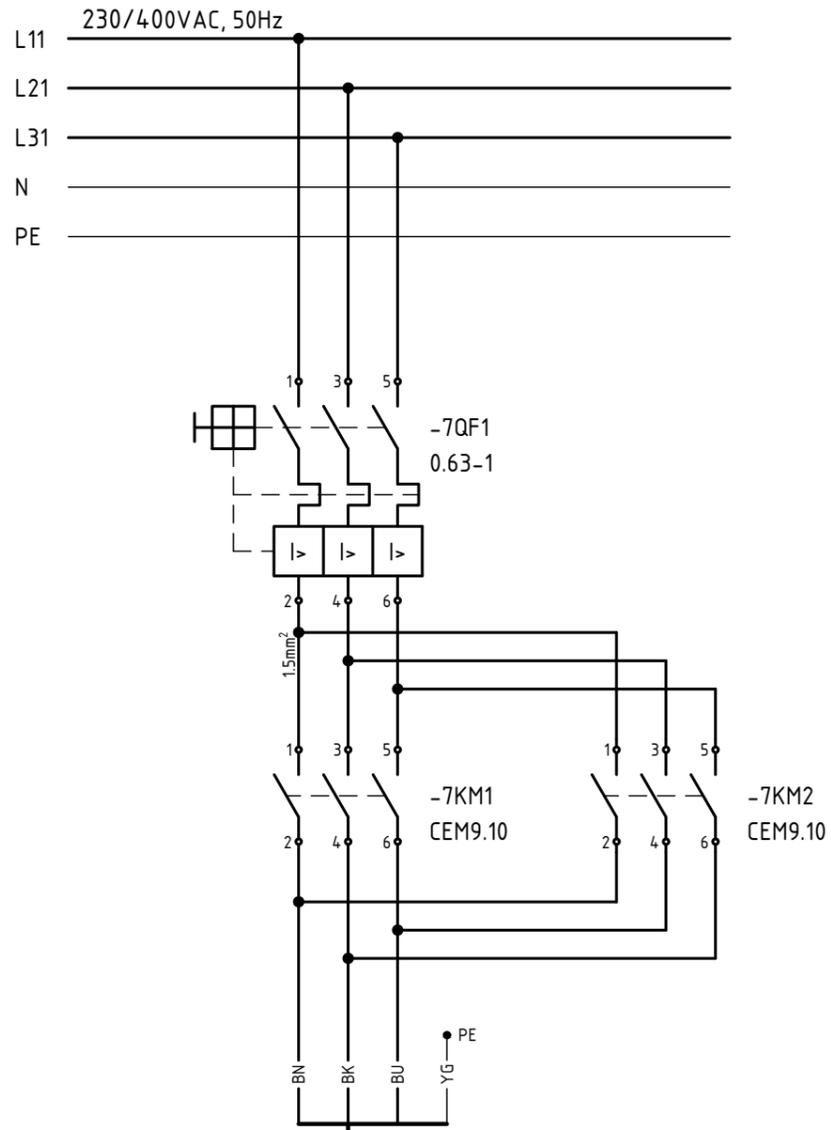
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------



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

Норія №2

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------



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

Клапан №3

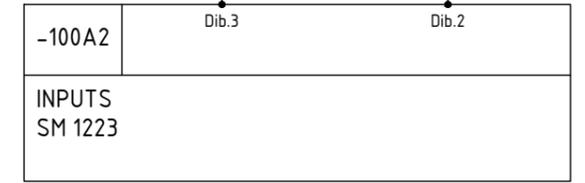
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ

1L+ 24VDC RD
 0VDC WH
 2L+ RD

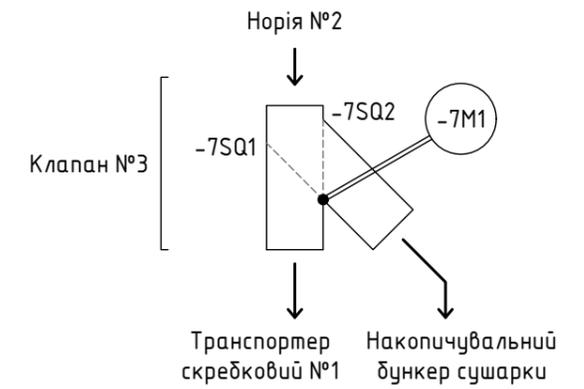
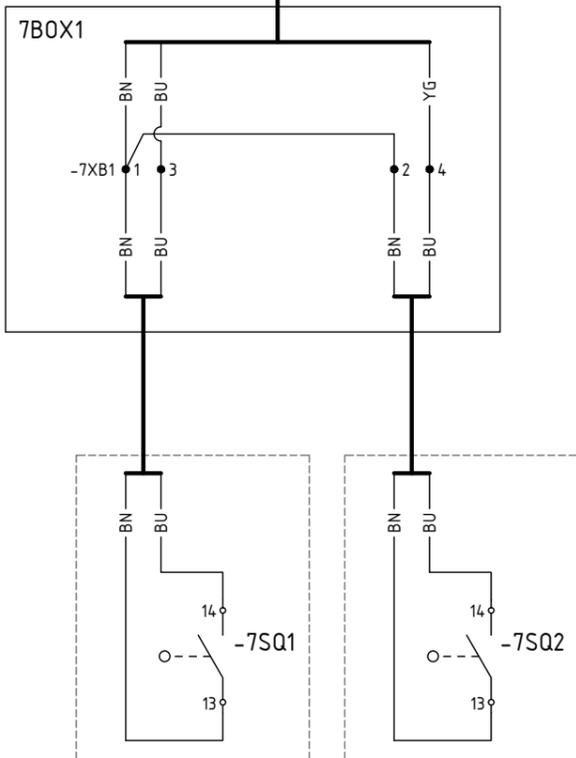
-X7 13 26 27
 BN BU YG

7W2, 3x1mm²



Клапан №3.
Кінцевий
перемикач 7SQ2

Клапан №3.
Кінцевий
перемикач 7SQ1



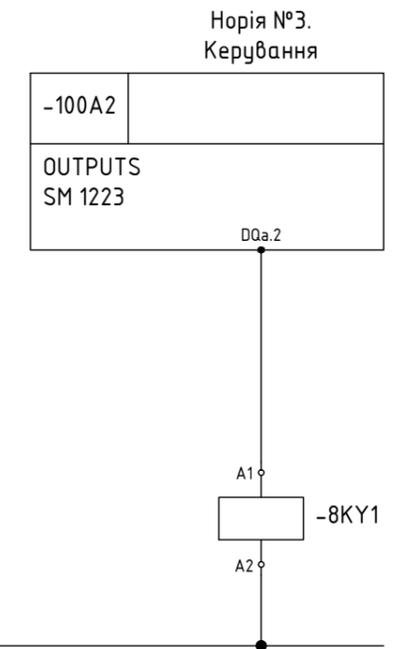
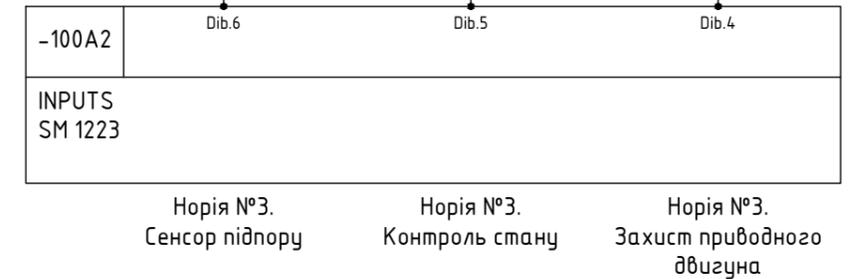
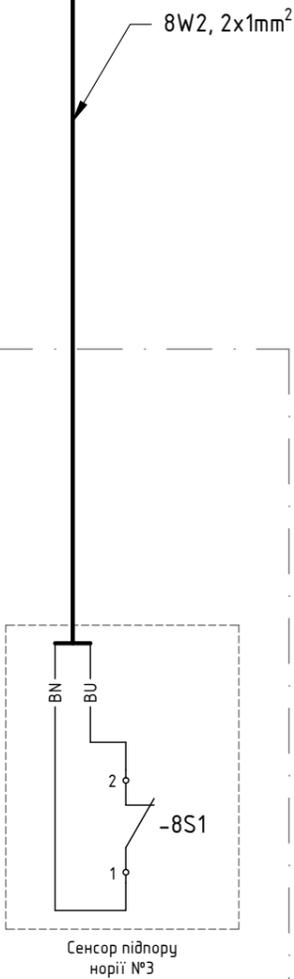
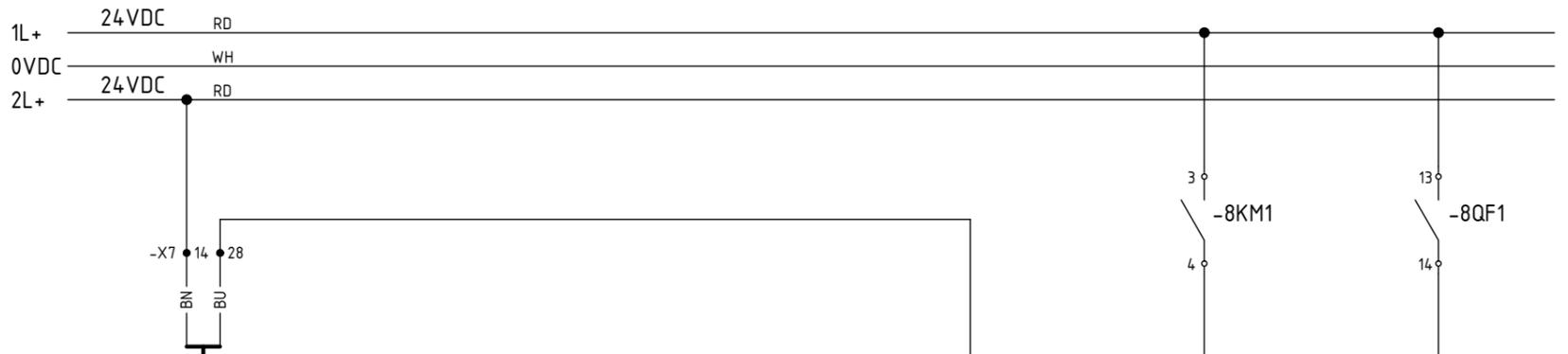
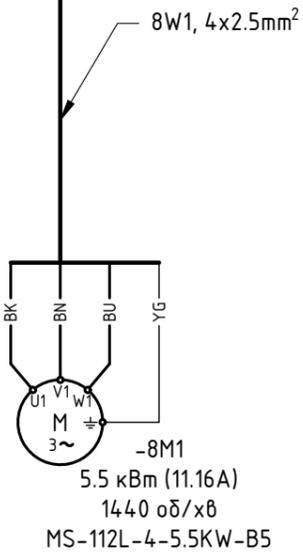
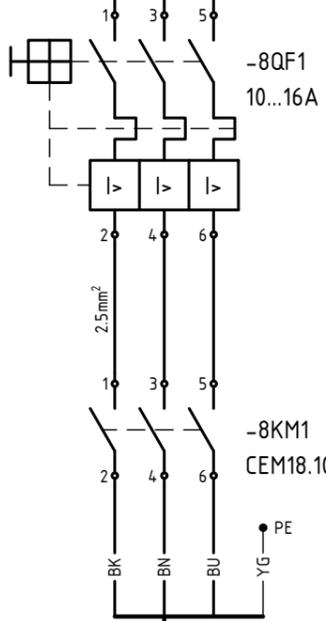
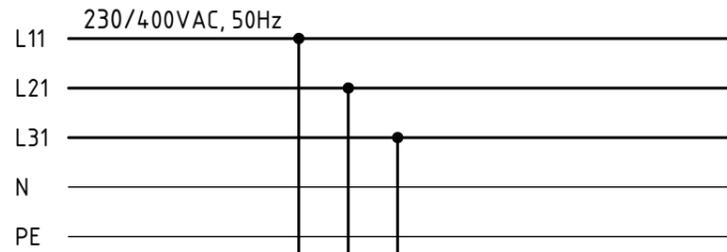
Підпис і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ориг.

Клапан №3

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ

Лист
14



0VDC WH

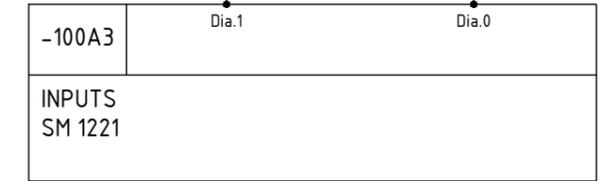
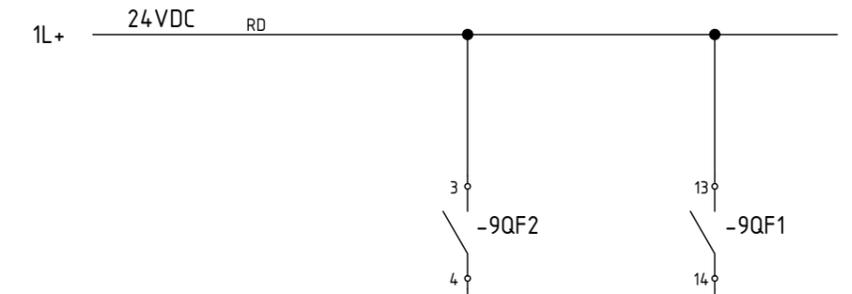
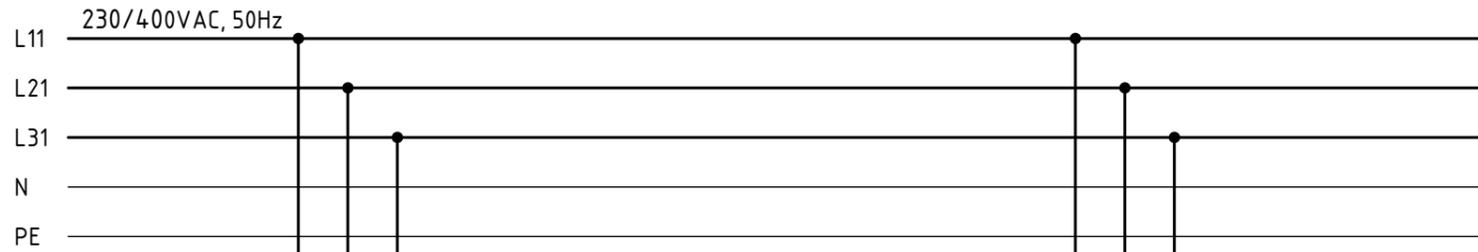
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Норія №3

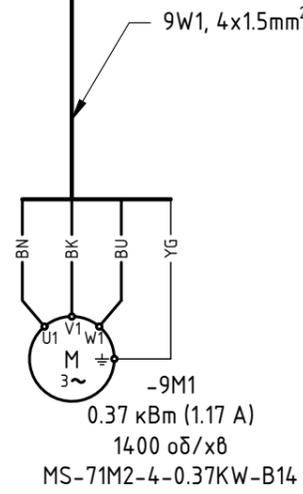
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

08-24.MKP.014.00.000 E3

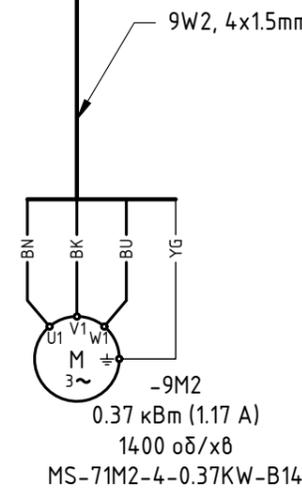
Лист
15



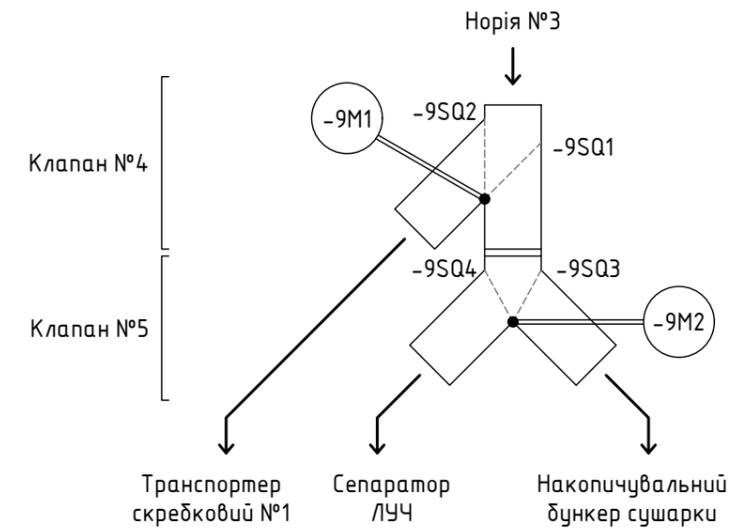
Клапан №5. Захист приводного двигуна
Клапан №4. Захист приводного двигуна



Клапан №3



Клапан №4

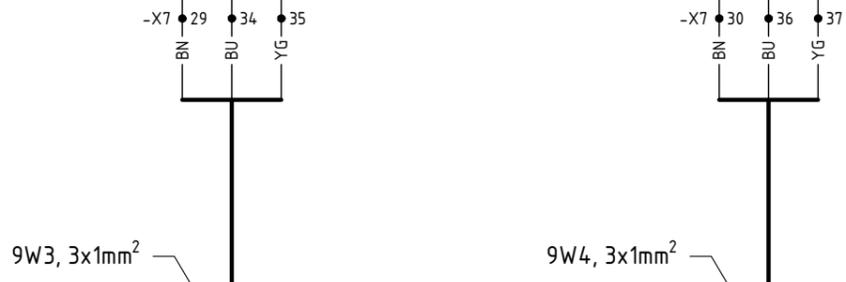
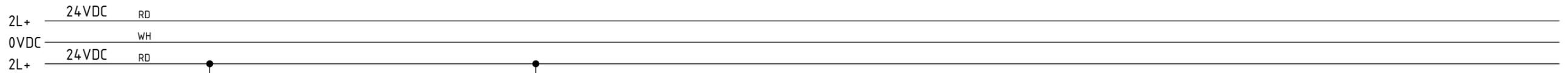


Транспортер скребковий №1
Сепаратор ЛУЧ
Накопичувальний бункер сушарки

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

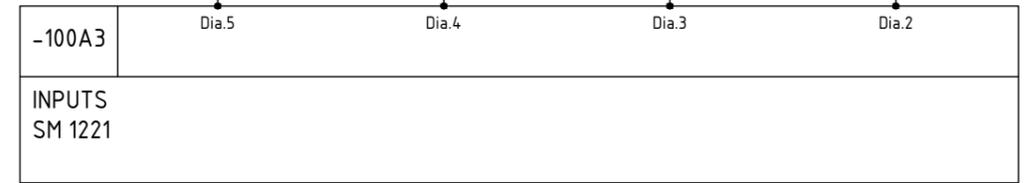
Клапан №4.
Клапан №5

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

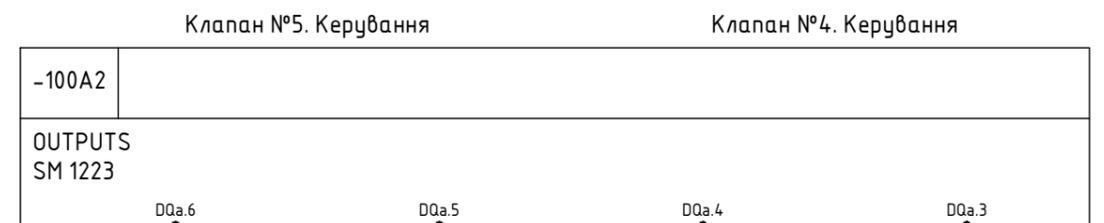
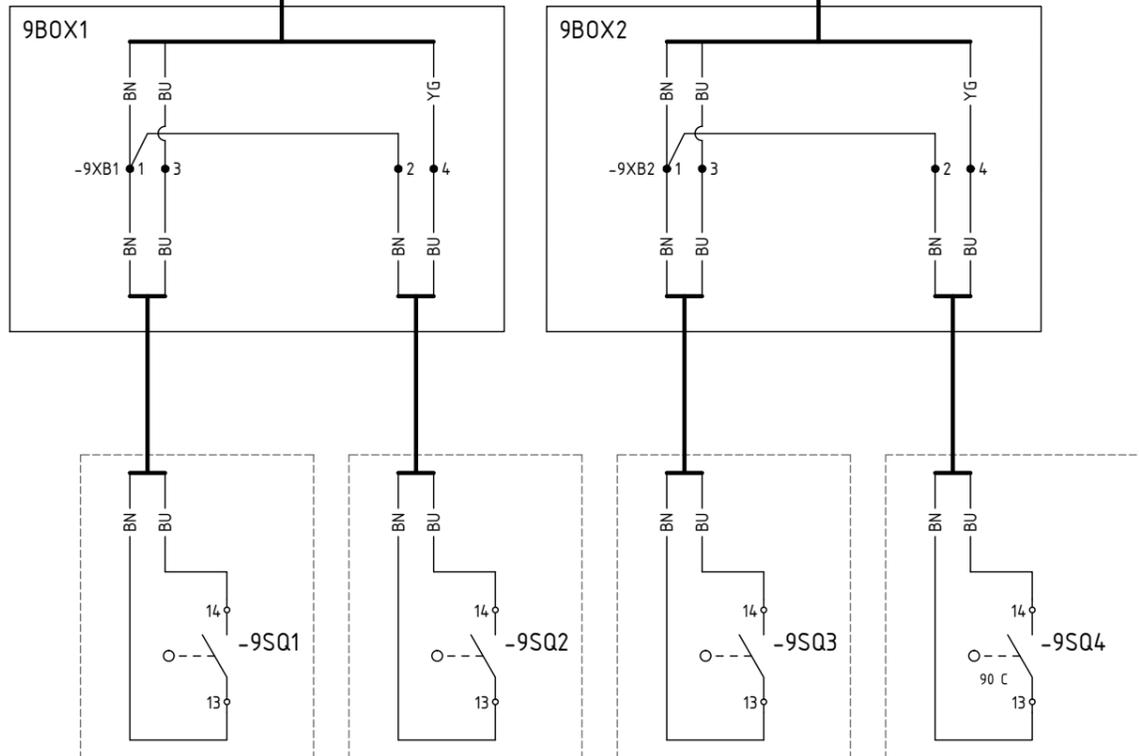


9W3, 3x1mm²

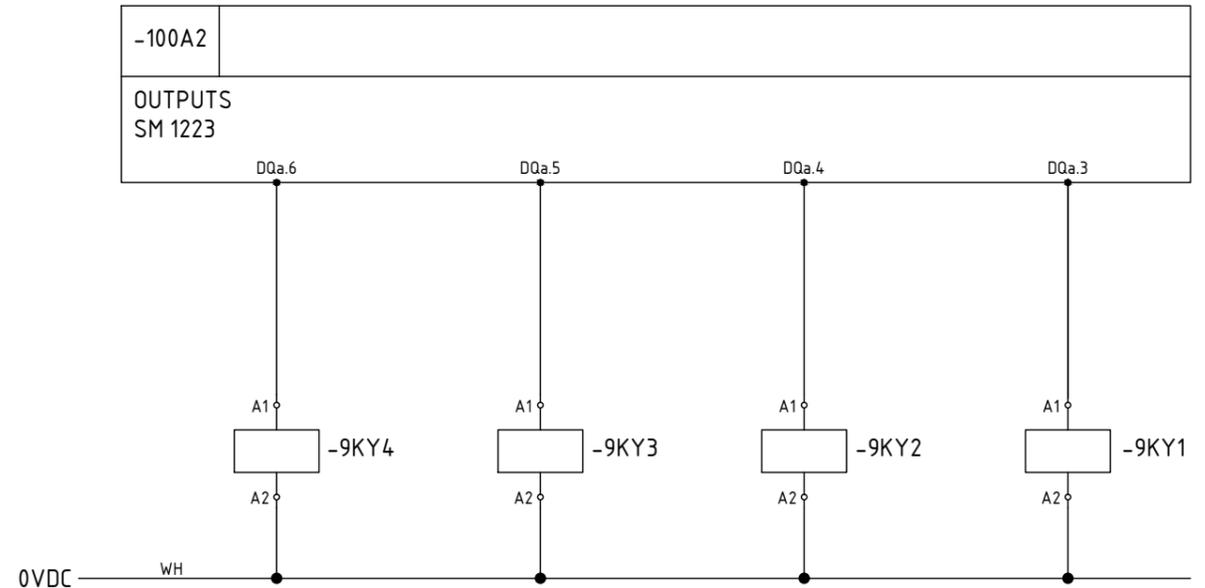
9W4, 3x1mm²



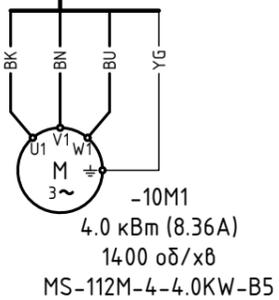
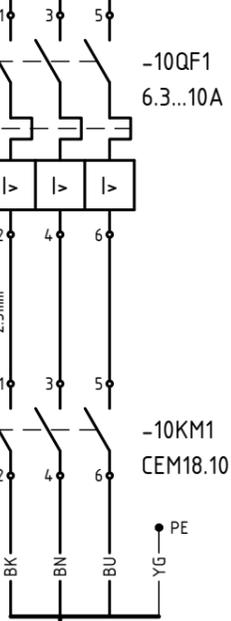
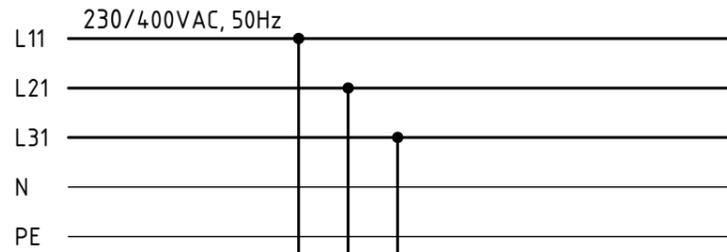
Клапан №5. Кінцевий перемикач 9SQ4 Клапан №5. Кінцевий перемикач 9SQ3 Клапан №4. Кінцевий перемикач 9SQ2 Клапан №4. Кінцевий перемикач 9SQ1



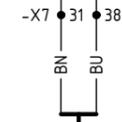
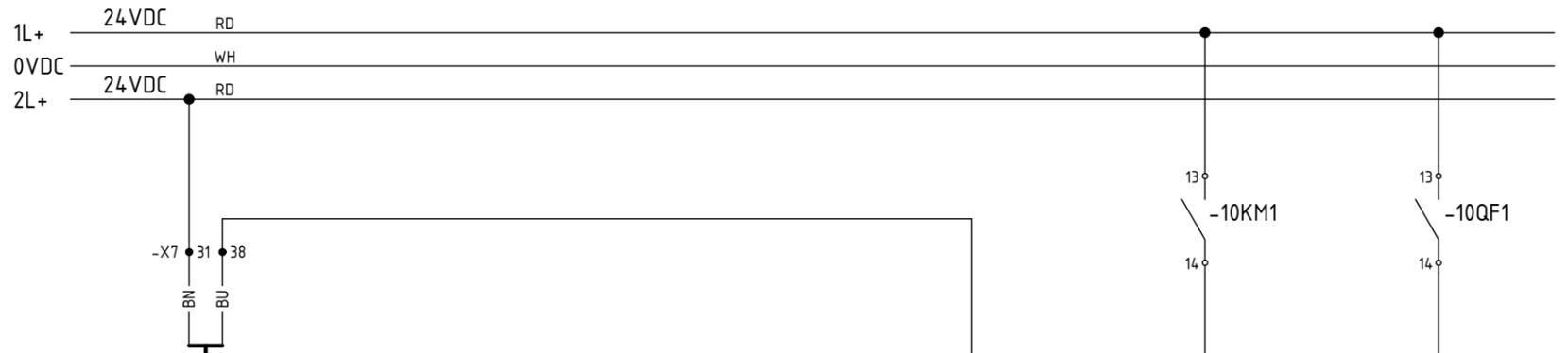
Клапан №5. Керування Клапан №4. Керування



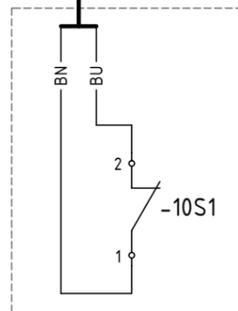
Клапан №4.
Клапан №5



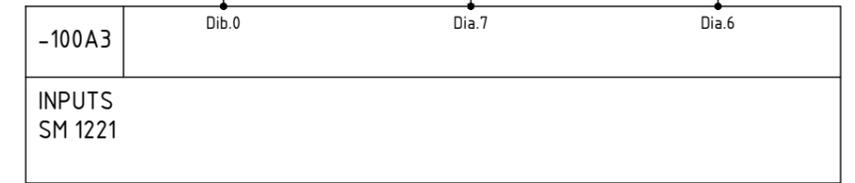
Транспортер
скребковий №2



10W2, 2x1mm²



Сенсор підпору
тр. скребкового №2

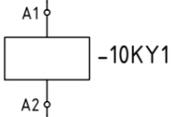
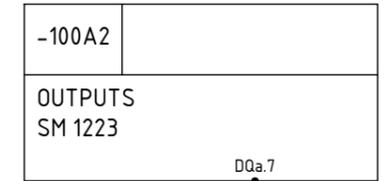


Тр. скребок. №2.
Сенсор підпору

Тр. скребок. №2.
Контроль стану

Тр. скребок. №2.
Захист приводного
двигуна

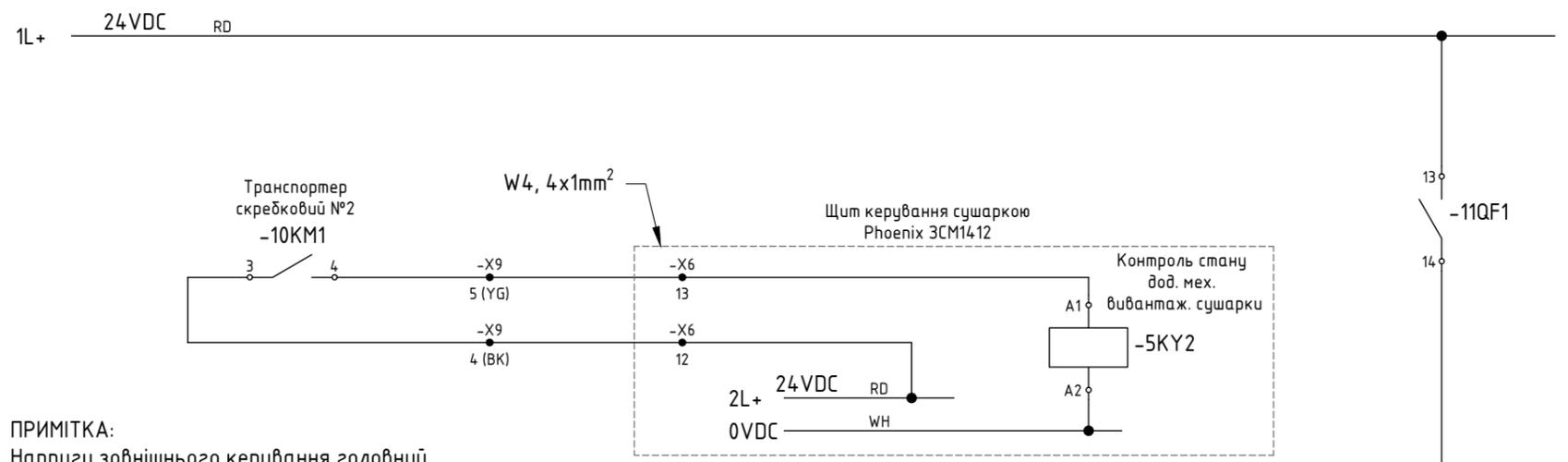
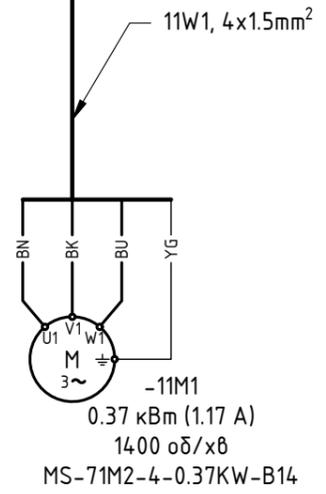
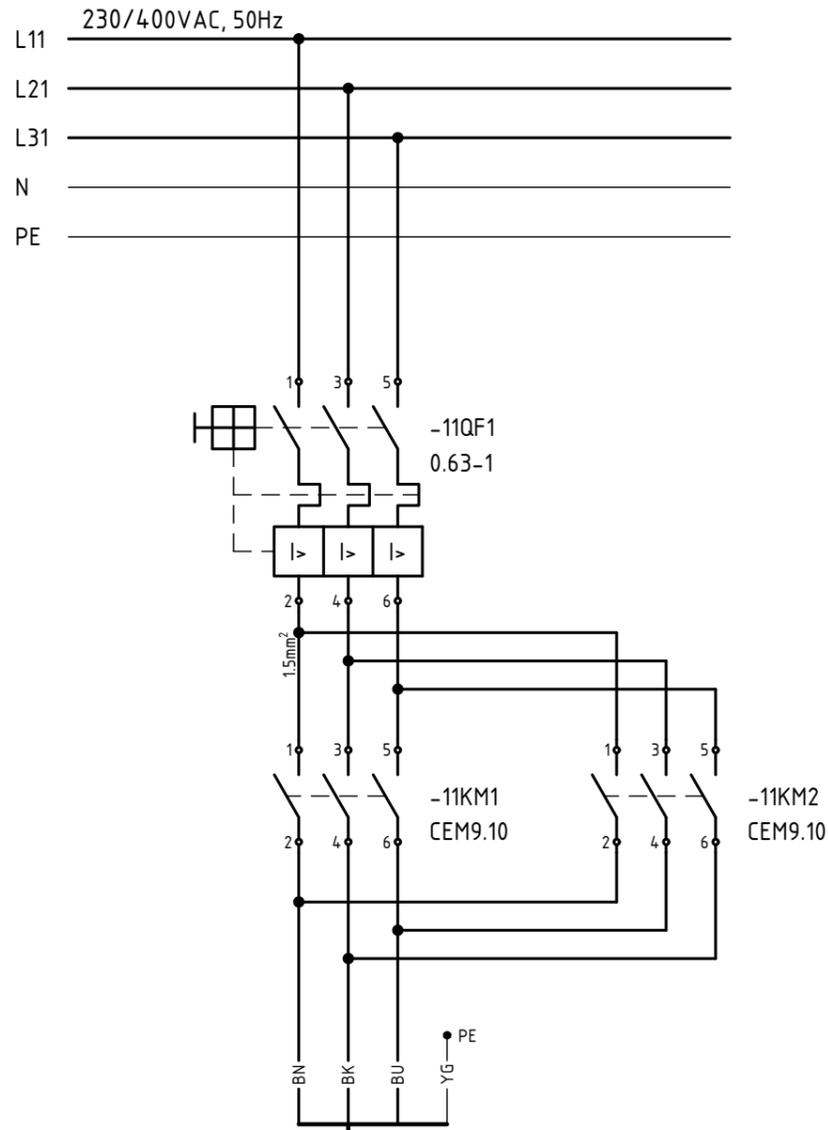
Тр. скребок. №2.
Керування



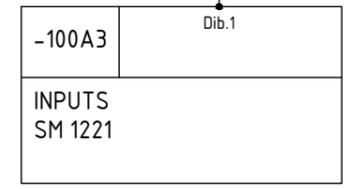
0VDC WH

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

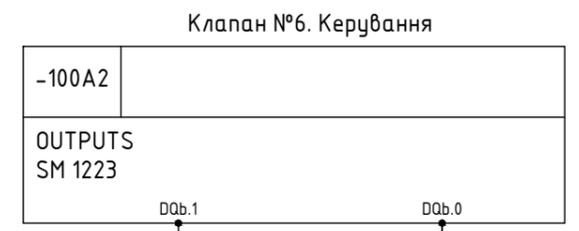
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата



ПРИМІТКА:
Напругу зовнішнього керування головний вимикач щита керування не відключає!!!



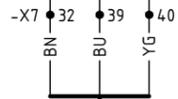
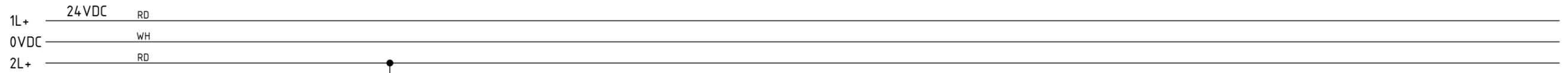
Клапан №6.
Захист приводного двигуна



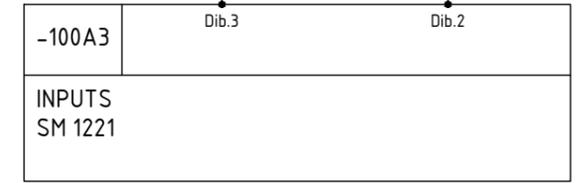
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

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

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ



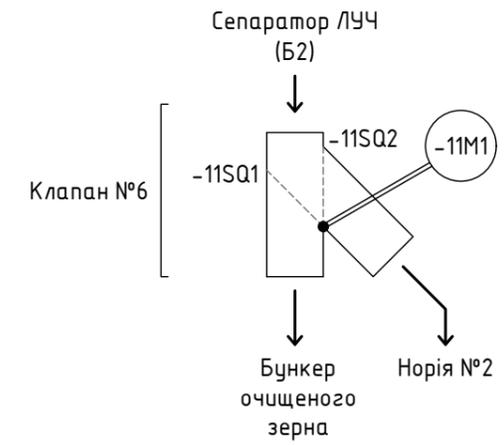
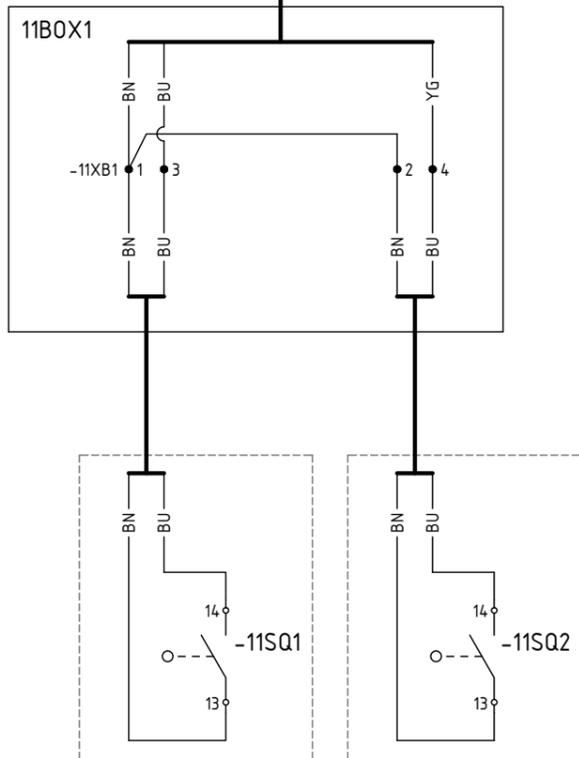
11W2, 3x1mm²



Клапан №6.
Кінцевий перемикач 11SQ2

Клапан №6.
Кінцевий перемикач 11SQ1

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

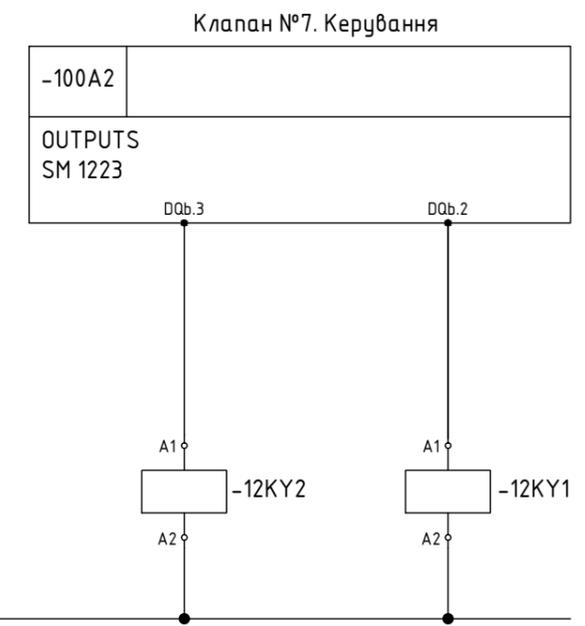
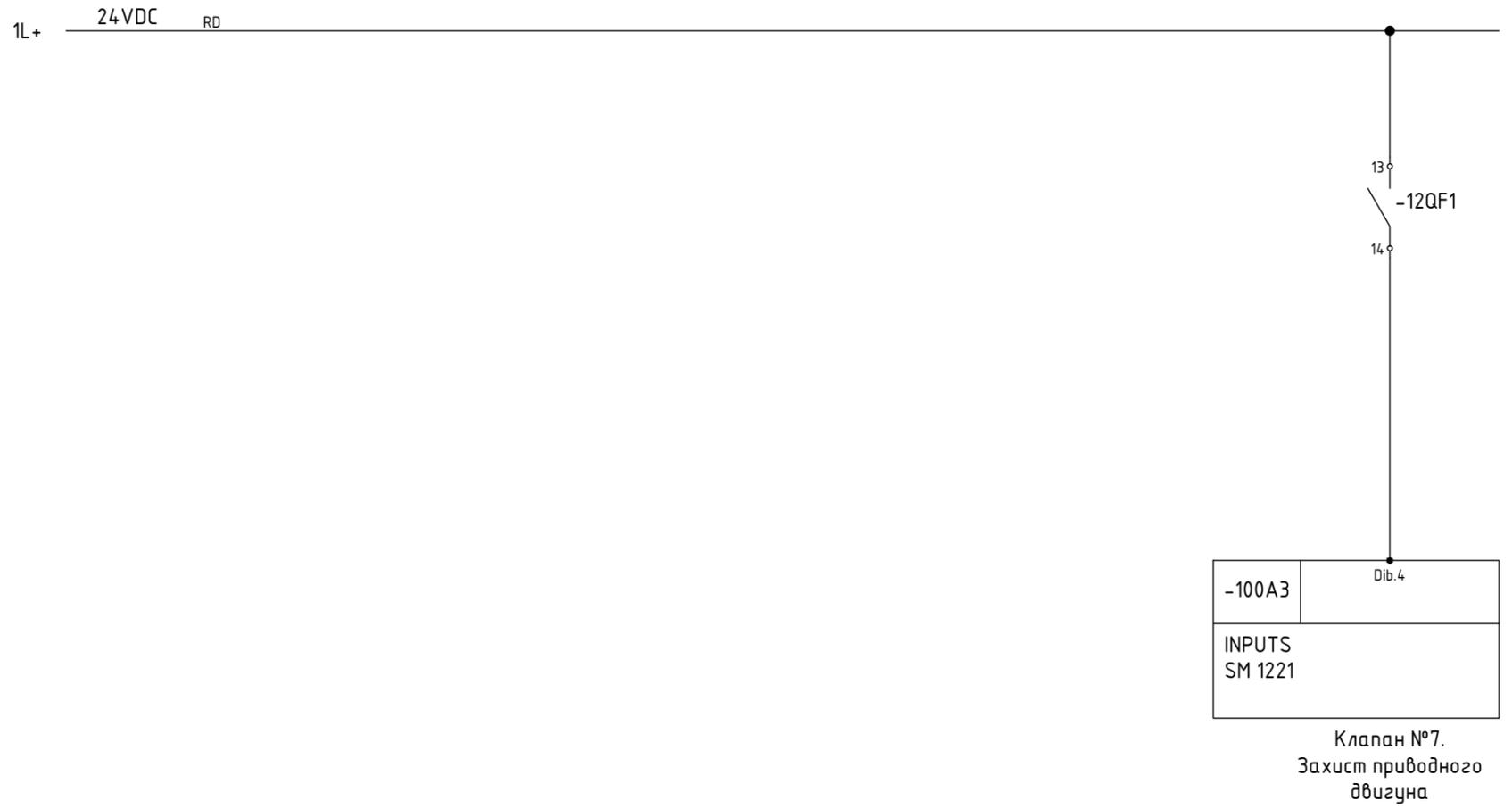
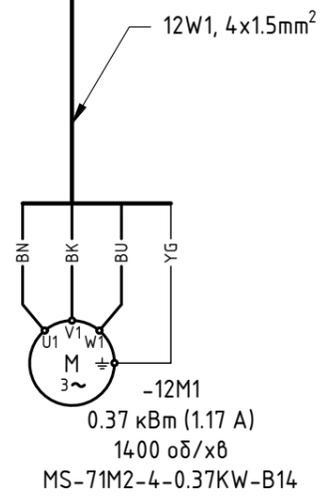
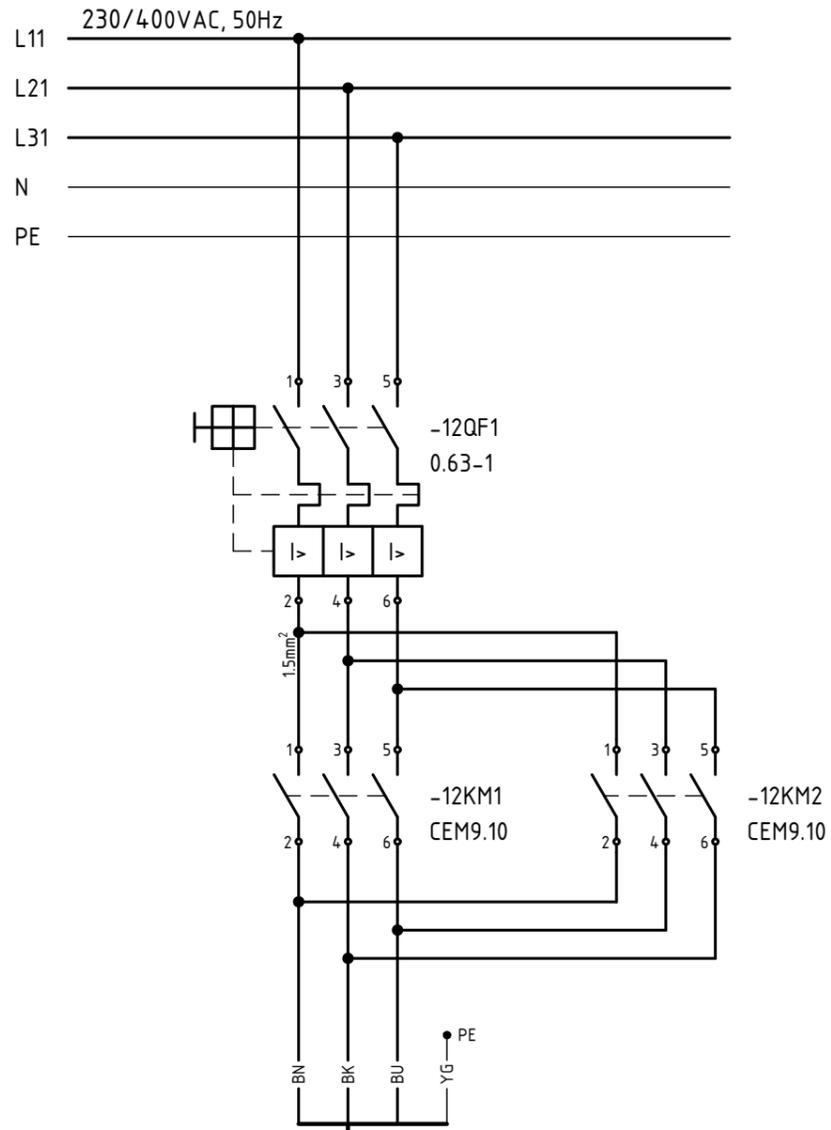


Клапан №6

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ

Лист
20

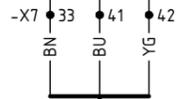
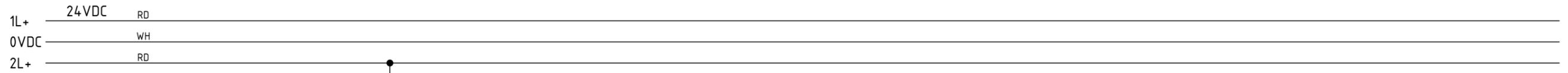


Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата

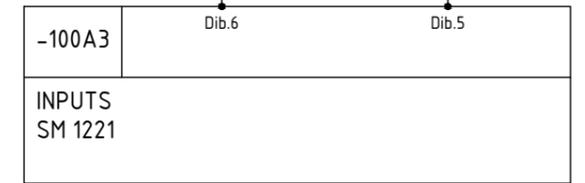
Клапан №7

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ



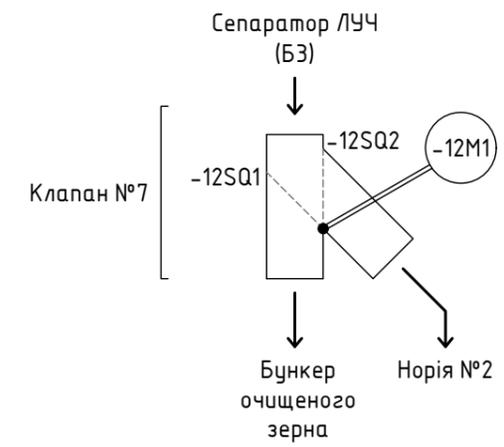
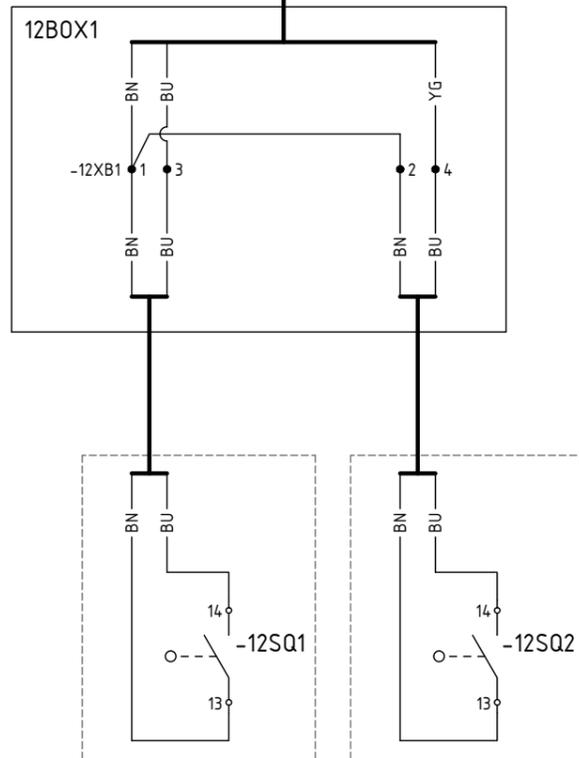
12W2, 3x1mm²



Клапан №7.
Кінцевий
перемикач 12SQ2

Клапан №7.
Кінцевий
перемикач 12SQ1

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

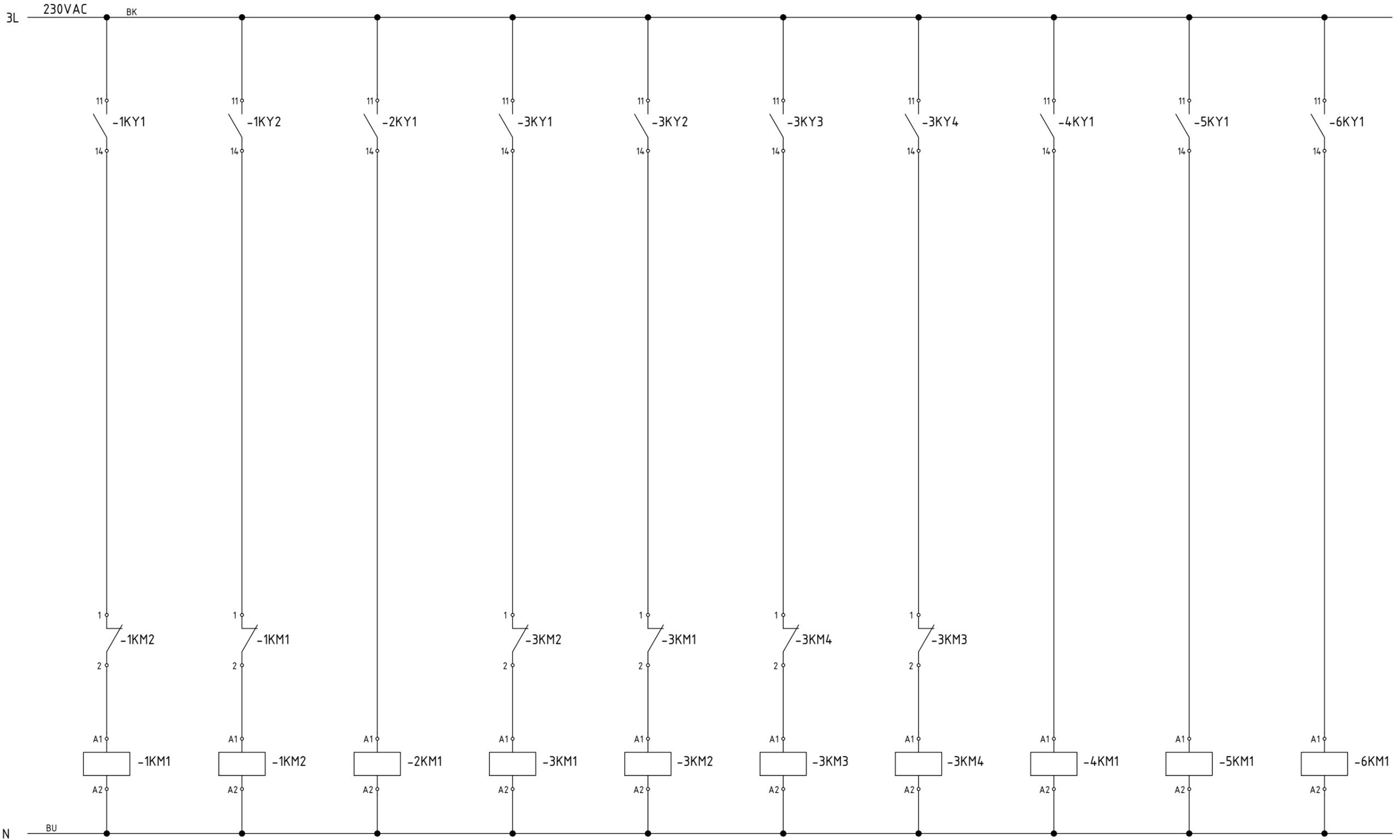


Клапан №7

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

08-24.МКР.014.00.000 ЕЗ

Лист
22

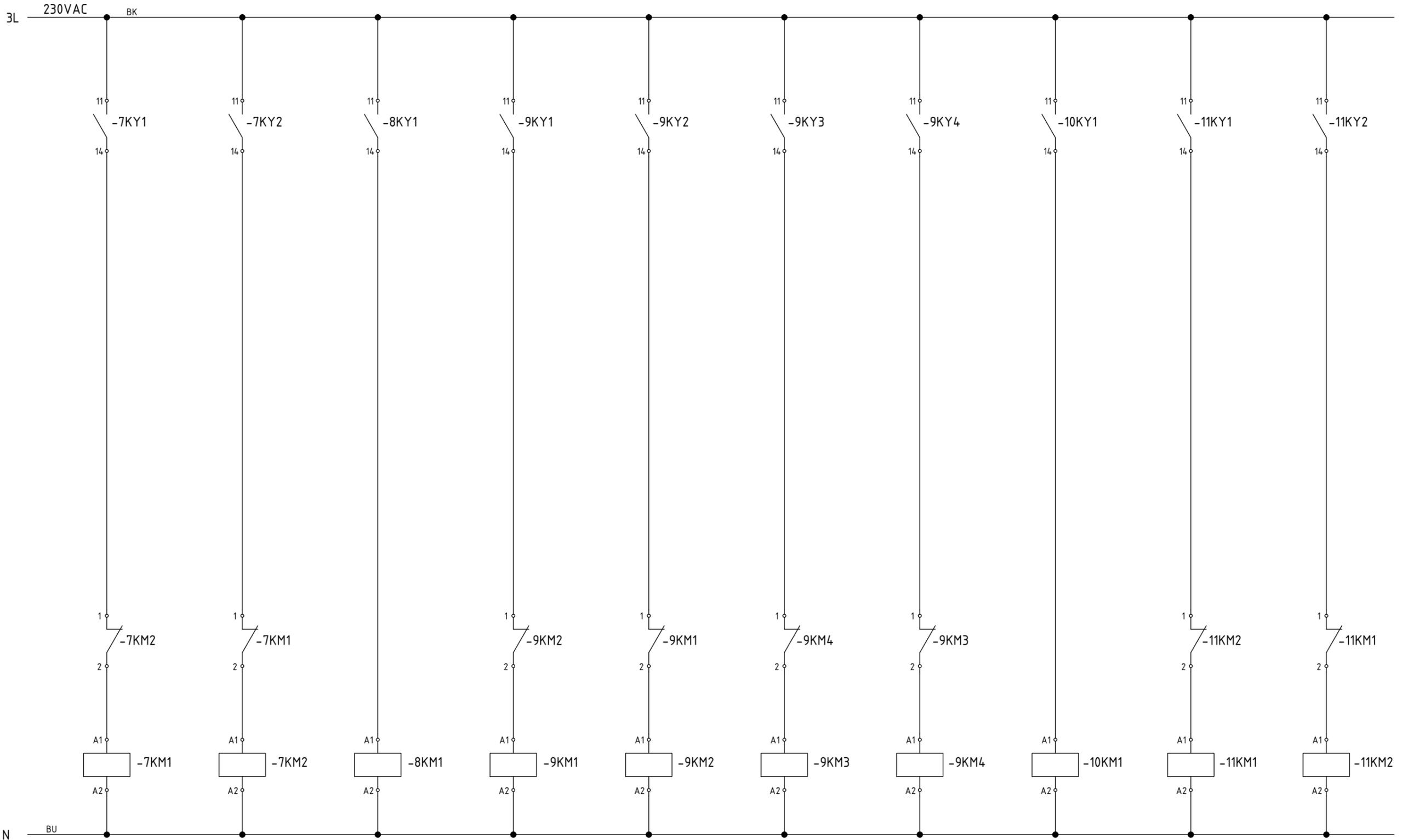


Ел. засувка №1	Норія №1	Клапан №1	Клапан №2	Транспортер скребковий №1	Транспортер скребковий (резерв.)	Норія №2
----------------	----------	-----------	-----------	---------------------------	----------------------------------	----------

Керування контакторами механізмів

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

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



Клапан №3	Норія №3	Клапан №4	Клапан №5	Транспортер скребковий №2	Клапан №6
-----------	----------	-----------	-----------	---------------------------	-----------

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

Керування контакторами механізмів

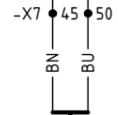
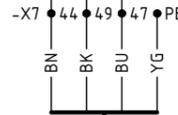
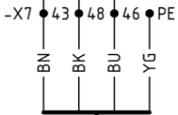
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------



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

Керування контакторами механізмів

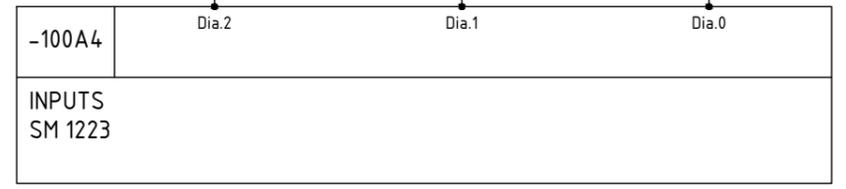
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------



13W1, 4x1mm²

13W2, 4x1mm²

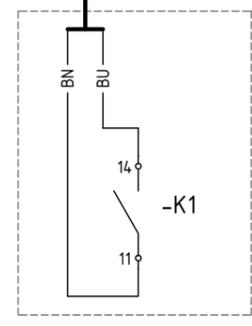
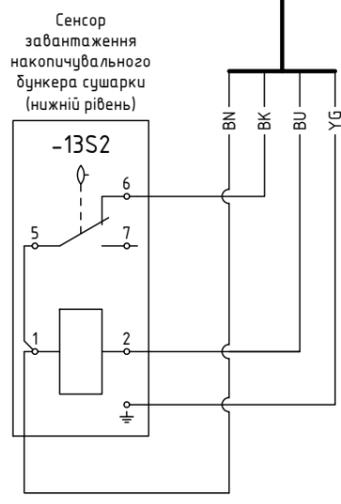
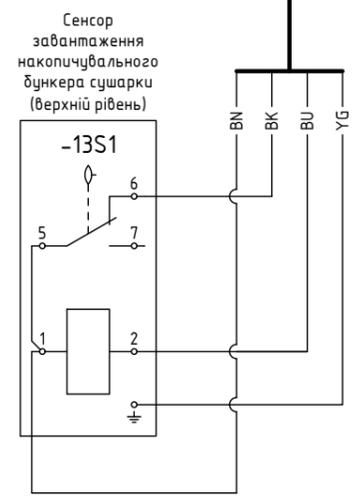
13W3, 2x1mm²



Контроль роботи очистки (сепаратор ЛУЧ)

Сенсор завантаження накопичувального бункера сушарки (нижній рівень)

Сенсор завантаження накопичувального бункера сушарки (верхній рівень)

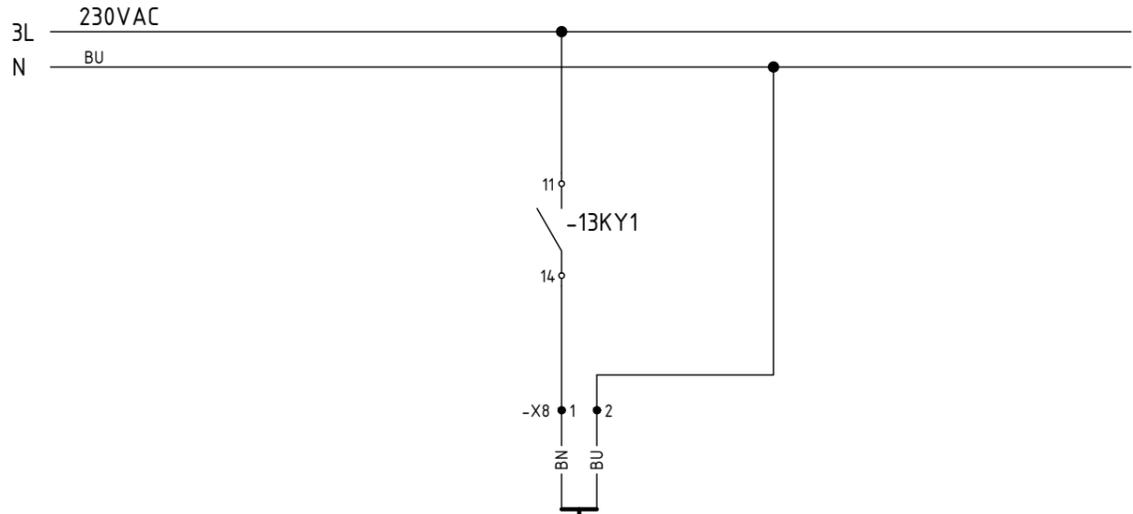


Котроль рівня в накопичувальному бункері сушарки.

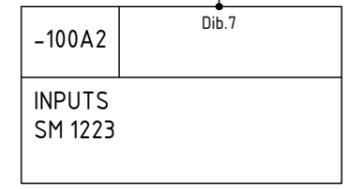
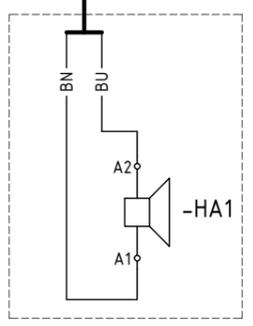
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

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

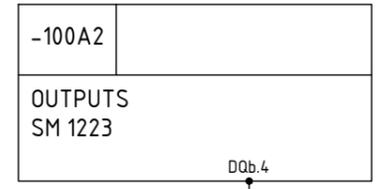
08-24.MKP.014.00.000 E3



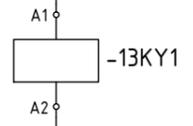
13W4, 2x1mm²



Попереджувальна
звукова сигналізація



Попереджувальна та
аварійна звукова
сигналізація



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

Контроль рівня в
накопичувальному бункері
сушарки.

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

08-24.MKP.014.00.000 E3

Лист
27

Контроль роботи електрифікованих засувок та клапанів

Одними з найменш надійних і в той же час важливих механізмів, які безпосередньо забезпечують формування тих чи інших напрямків транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу є електрифіковані засувки та клапани. Основна причина, чому виникають проблеми з цими механізмами полягає в тому, що не коректно працюють їх сенсори положення. Це пов'язано з особливостями їх експлуатації:

- 1) експлуатація в умовах дії факторів навколишнього середовища;
- 2) конденсація вологи в середині сенсорів положення;
- 3) механічні навантаження;
- 4) послаблення кріплення в процесі експлуатації тощо.

Запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування:

$$\begin{cases} \text{Якщо } t_{\text{факт.}} < t_{\text{гран.}}, \text{ то "1",} \\ \text{Якщо } t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{гран.}}, \text{ то "0",} \end{cases}$$

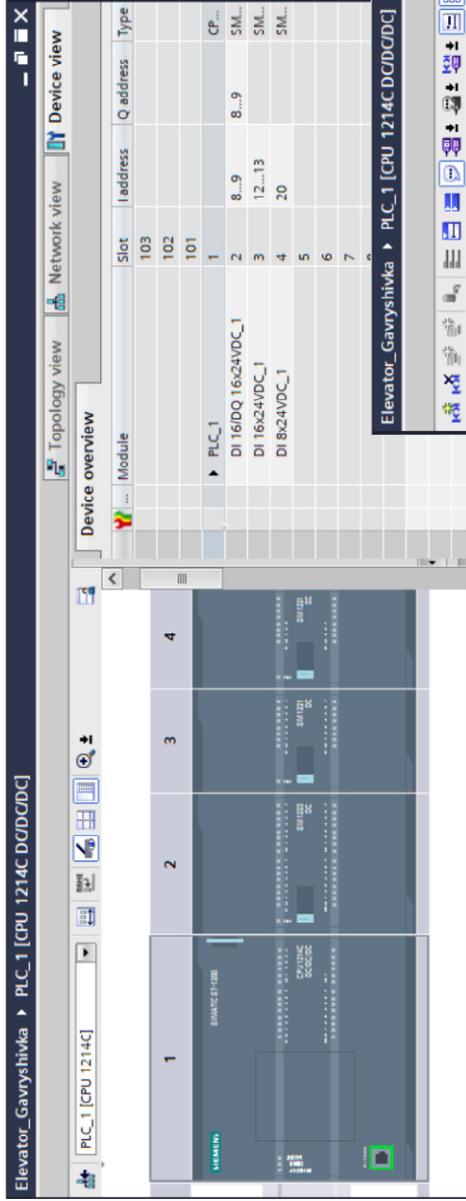
де $t_{\text{факт.}}$ – фактичний час переключення, с;

$t_{\text{гран.}}$ – граничний час переключення, с.

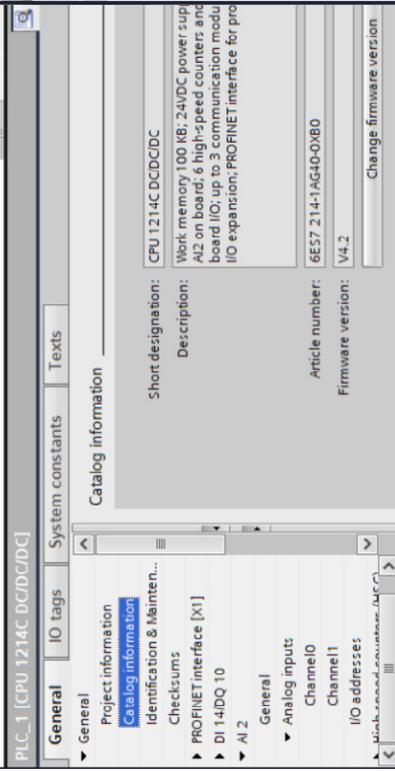
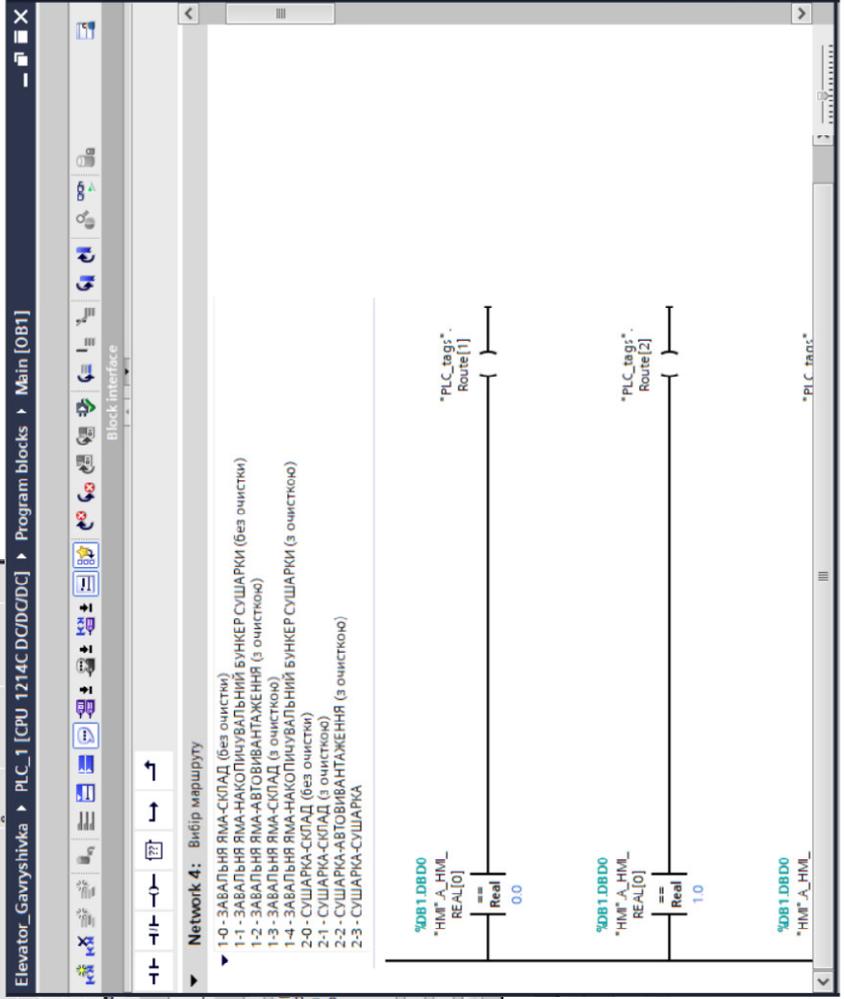


Наслідки потрапляння вологи в середину кінцевого перемикача

Програма керування

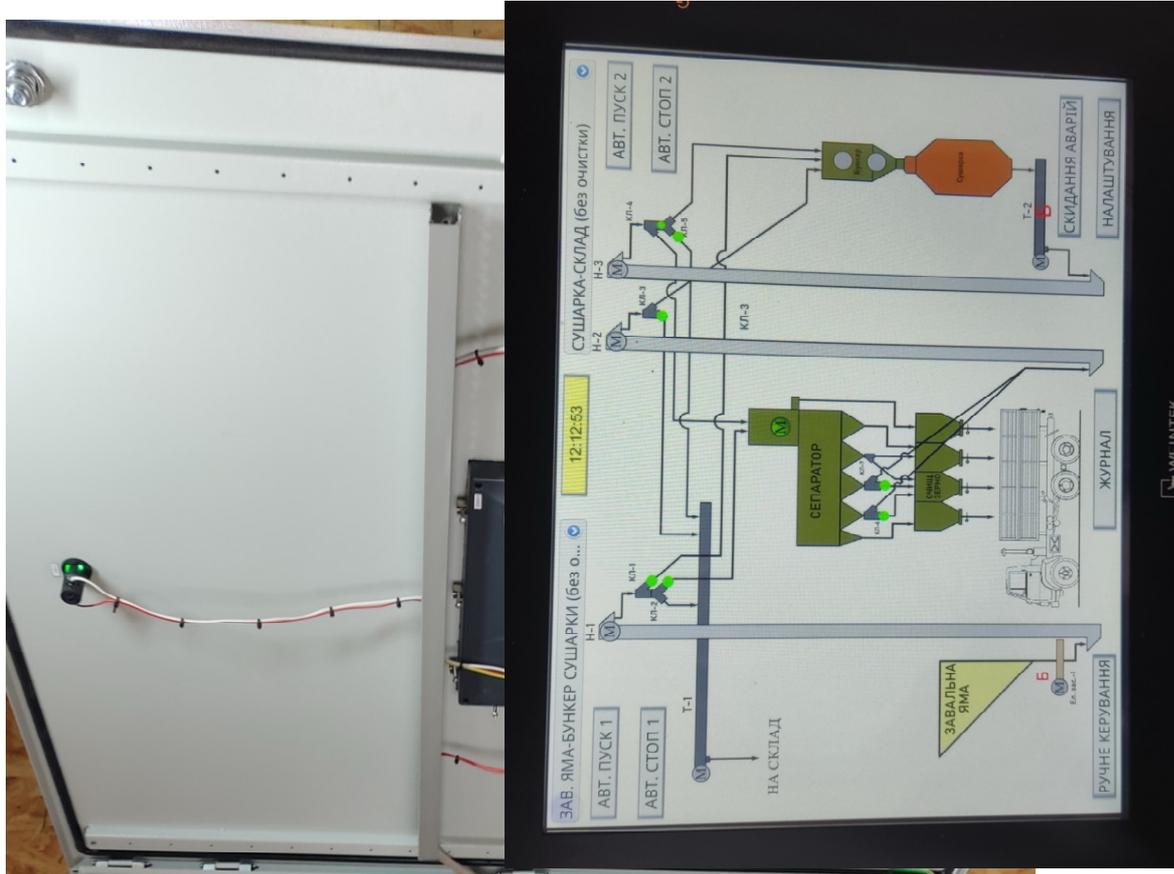
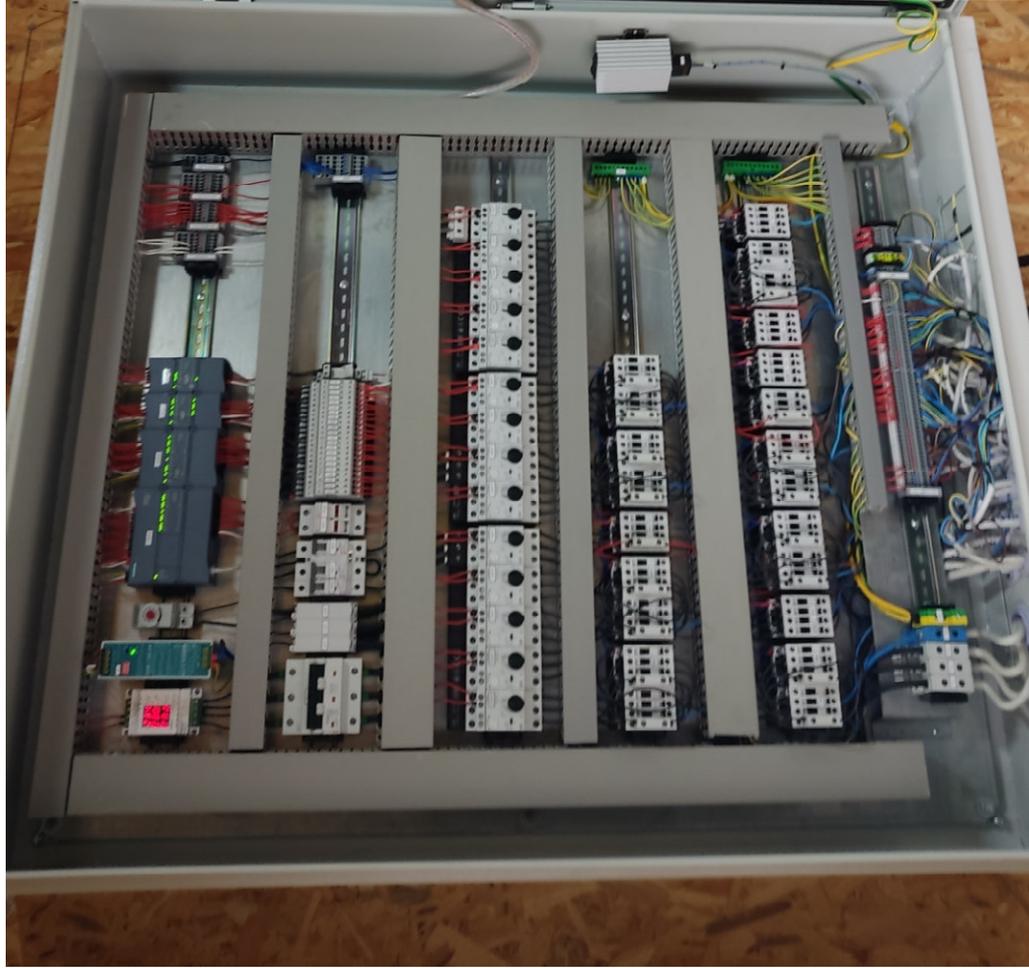


Фрагмент програми вибору маршруту транспортування



Вікно «Device configuration»

Практична реалізація



ВИСНОВКИ

1. Дано загальну характеристику елеваторного комплексу та виконано детальний аналіз його технологічної схеми.
2. Виконано перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна норії №1 (завальної ями). Для привода норії №1 вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу MS-112L-4-5.5KW-B5потужністю 5,5 кВт.
3. Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування для привода норії №1 (завальної ями) найбільш економічно вигідним є використання системи електричного привода з пристроєм плавного пуску типу ATS01N222QN, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 33428,28 грн/рік.
4. Виконано моделювання роботи даного електропривода норії №1 (завальної ями) з системою плавного пуску та отримано графіки перехідних зміни моменту та швидкості АД при пуску. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що розрахунки є коректними.
5. Розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Сформовано можливі маршрути транспортування зерна та визначено порядок пуску та зупинки кожного з маршрутів. Вибрано елементну базу автоматизованої системи керування маршрутами транспортування та розроблено принципову електричну схему. Розроблено програму керування в середовищі ПІА Portal та розроблено її HMI-інтерфейс в середовищі EasyBuilder Pro. Коректність роботи розробленої системи керування перевірено шляхом моделювання та в реальних умовах експлуатації.
Запропоновано контролювати коректність роботи електрифікованих засувок та клапанів шляхом аналізу часових інтервалів, які відведені на зміну їх положення при зміні маршрутів транспортування.
6. Розраховано капітальні вкладення для побудови автоматизованої системи керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. 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 469326,79 грн/рік.
7. Розроблено ряд заходів з охорони праці при експлуатації розробленої системи керування.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-24м

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 19,53 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП

(прізвище, ініціали, посада)

Проценко Д.П.

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Бабій С.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Ящук Я.В.

(прізвище, ініціали)

08-24.МКР.014.00.000 Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування маршрутами транспортування зерна в умовах елеваторного комплексу. Схема електрична функціональна системи автоматизованого керування маршрутами транспортування зерна	Літ.	Маса	Масшт.
Розробив:		Яшук Я.В.	<i>[Signature]</i>	21.11				
Перевірив:		Бабій С.М.	<i>[Signature]</i>	21.11				
Т. контр.								
Опозит		Бобитишук Ю.П.	<i>[Signature]</i>	22.11				
Норм. кон.		Павлюк О.А.	<i>[Signature]</i>	24.11				
Затверд.		Мошноріт М.М.	<i>[Signature]</i>	25.11				
						Аркуш 1	Аркушів 1	
						гр. ЕПА-24м		

Масштаб: 1:100
 08-24.МКР.014.00.000 Е2
 (у вигляді схеми)

Масштаб: 1:100
 08-24.МКР.014.00.000 Е2
 ІНСТРУКЦІЯ ВАНТАЖНИЙ ЕЛЕВАТОР
 СУШАРКА (без очищення)

Масштаб: 1:100
 08-24.МКР.014.00.000 Е2
 (у вигляді схеми)