

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(навчально-науковий інститут)

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти _____ Сотник Валентин Володимирович _____
(ПІБ)

академічної групи _____ 123М-24-1 _____
(шифр)

спеціальності _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія» _____
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів силосного металевого елеватора фермерського господарства» _____
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Ткаченко С.М.			
розділів:				
синтез системи	доц. Ткаченко С.М.			
розроблення програмного забезпечення	доц. Ткаченко С.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:завідувач кафедри
інформаційних технологій та
комп'ютерної інженерії

(повна назва)

В.В. Гнатушенко
(ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра
(бакалавра, магістра)здобувача вищої освіти Сотник В. В. академічної групи 123М-24-1
(прізвище та ініціали) (шифр)спеціальності 123 Комп'ютерна інженеріяза освітньою-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів силосного металевго елеватора фермерського господарства», затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13 жовтня 2025 р. №1165-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	10.10.2025
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу побудови та функціонування кіберфізичних систем керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора фермерського господарства.	24.10.2025
Синтез системи	Розробка кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора фермерського господарства.	14.11.2025
Розроблення програмного забезпечення	Розробка програмного забезпечення кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора фермерського господарства	28.11.2025
Експериментальний розділ	Проведення та обробка результатів експериментів з керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора	05.12.2025

Завдання видано _____

(підпис керівника)

доц. С. М. Ткаченко

(ініціали, прізвище)

Дата видачі _____

05 вересня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

10.12.2025 р.

Прийнято до виконання _____

(підпис здобувача вищої освіти)

Сотник В. В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 98 с., 36 рис., 17 табл., 1 дод., 51 джерел.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЕЛЕВАТОР, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МАРШРУТИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПЛК.

Об'єкт розробки – кіберфізична система транспортно-технологічних маршрутів силосного металевого елеватора фермерського господарства.

Мета роботи – обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора для підвищення ефективності переміщення зернових потоків.

Методи дослідження – аналіз технологічних процесів елеваторного господарства, методи автоматичного керування, логічного та математичного моделювання, теорії графів.

У роботі проаналізовано існуючі системи автоматизації елеваторів, обґрунтовано доцільність створення кіберфізичної системи та сформульовано завдання дослідження. У теоретичному розділі розроблено функціональну модель керування транспортно-технологічними маршрутами.

У розділі «Синтез системи» сформульовано технічні вимоги та розроблено структурну схему кіберфізичної системи. У розділі «Розроблення програмного забезпечення» описано програмну реалізацію алгоритмів керування маршрутами.

В експериментальному розділі проведено перевірку працездатності розробленої системи та оцінено ефективність її використання. Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження системи на фермерських елеваторах.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Стан питання та постановка задачі.....	10
1.1 Огляд сфери та умов застосування кіберфізичних систем в Агропромисловості.....	10
1.2 Аналіз технологічних процесів елеваторного господарства.....	11
1.3 Характеристика та структурна схема транспортно-технологічної системи металевого силосного елеватора.....	17
1.4 Аналіз принципів організації маршрутів переміщення зернових потоків.....	20
1.5 Обґрунтування напрямку досліджень і актуальності автоматизації.....	22
1.6 Постановка задачі дослідження.....	24
2 Теоретичний розділ.....	26
2.1 Аналіз функцій і задач кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами.....	26
2.2 Обґрунтування функціональної структури кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами....	26
2.3 Обґрунтування методів обробки інформації функціональними блоками кіберфізичної системи.....	28
2.4 Метод обробки інформації підсистеми запуску функціонування та зупинки маршруту.....	28
2.5 Метод обробки інформації підсистеми керування обладнанням....	29
2.6 Метод обробки інформації системи автоматичного контролю стану обладнання (САКСО).....	32
2.7 Метод обробки інформації датчиків.....	33
2.8 Метод обробки інформації підсистеми збору, обробки і зберігання інформації.....	37

2.9	Метод обробки інформації підсистеми безпечного управління обладнанням транспортування зерна.....	39
2.10	Метод обробки інформації Виконавчи механізми.....	52
2.11	Метод обробки інформації Підсистема рецептурних баз даних налагоджень.....	53
2.12	Метод обробки інформації Підсистема бази даних маршрутів.....	53
3	Синтез кіберфізичної системи.....	55
3.1	Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи.....	55
3.2	Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів.....	56
3.2.1	Аналіз входів та виходів системи.....	56
3.2.2	Обґрунтування елементної бази системи.....	63
3.2.3	Реалізація принципової схеми кіберфізичної системи.....	71
4	Розробка програмного забезпечення.....	74
4.1	Призначення та сфера застосування програмного забезпечення...	74
4.2	Обґрунтування технічних характеристик програми.....	75
4.2.1	Основні функції програми.....	75
4.2.2	Технічні вимоги до роботи програми.....	76
4.2.3	Вхідні дані програми.....	77
4.2.4	Вихідні дані програми.....	77
4.2.5	Технічні засоби та середовище розробки.....	78
4.3	Опис розробленої програми.....	78
4.3.1	Загальні відомості.....	78
4.3.2	Функціональне призначення.....	79
4.3.3	Опис логічної структури програми.....	80
4.3.4	Використані технічні засоби.....	80
4.3.5	Завантаження та виклик.....	81
4.3.6	Вхідні та вихідні дані.....	81
4.4	Оцінка техніко-економічної результативності кіберфізичної	

системи.....	82
5 Експериментальний розділ.....	83
5.1 Формулювання вимог до експерименту.....	83
5.2 Підготовка експерименту.....	83
5.3 Програма й методика експерименту з протоколом випробувань...84	
5.3.1 Підготовчі операції.....	85
5.3.2 Перевірка роботи графу Main.....	86
5.3.3 Перевірка роботи графу Bunker.....	91
5.3.4 Перевірка роботи графу Clapan.....	92
5.3.5 Перевірка роботи графу Noria.....	93
5.3.6 Перевірка роботи графу Separator.....	95
5.3.7 Перевірка роботи графу Transporter.....	95
5.3.8 Перевірка роботи графу VentelRtor.....	97
5.4 Аналіз результату експериментів.....	98
Висновки.....	99
Перелік посилань.....	101
Додаток А. Текст програми.....	108

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АС – автоматична система

АСУ – автоматизована система управління

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

БС – бункер секційний

ВЦ – вентилятор центробіжний

КП – клапан перекидний (самопливний)

КФС – кіберфізична система

Н – норія (ковшовий елеватор)

ПК – персональний комп'ютер

ПЛК – програмований логічний контролер (PLC – Programmable Logic Controller)

ПЗ – програмне забезпечення

САКСО – система автоматичного контролю стану обладнання

СП – сепаратор зерноочисний

СШ – зерносушарка

Т – транспортер (скребковий або стрічковий)

ХП – хопер (силос з конусним дном)

ВСТУП

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора фермерського господарства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологічні процеси елеваторного господарства та принципи їх автоматизації;
- дослідити існуючі системи керування транспортними потоками зерна;
- розробити алгоритми керування транспортно-технологічними процесами елеватора;
- виконати синтез функціональної структури кіберфізичної системи;
- розробити програмне забезпечення системи;
- провести експериментальну перевірку її працездатності.

Об'єктом дослідження – процеси керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора фермерського господарства.

Предметом дослідження – методи та алгоритми побудови й оптимізації транспортно-технологічних маршрутів зернових потоків у кіберфізичній системі.

Методи дослідження – включають методи аналізу та синтезу автоматизованих систем керування, математичного й логічного моделювання, а також принципи побудови кіберфізичних систем.

Наукові положення:

1. Встановлено, що ефективність керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевго елеватора залежить від узгодженості роботи транспортного обладнання та своєчасного отримання інформації про його стан, що дозволяє підвищити надійність транспортування зернових потоків.

2. Доведено, що застосування кіберфізичного підходу до керування маршрутами на основі цифрової моделі елеватора і даних від датчиків, на відміну від традиційних систем автоматизації, забезпечує визначення оптимальних маршрутів у реальному часі та зменшення простоїв обладнання.

Наукові результати:

1. Одержано теоретичні залежності між структурою транспортно-технологічних маршрутів елеватора, станом транспортного обладнання та часовими характеристиками переміщення зернових потоків.

2. Запропоновано метод автоматизованого керування транспортно-технологічними маршрутами зернових потоків, який базується на аналізі даних від датчиків та логічній моделі елеватора і забезпечує оптимальне переміщення зерна в реальному часі.

3. Обґрунтовано застосування програмно-технічних засобів програмованих логічних контролерів і комп'ютерного програмного забезпечення для реалізації кіберфізичної системи керування маршрутами елеватора.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються використанням апробованих методів аналізу та моделювання транспортно-технологічних процесів, фундаментальних положень теорії автоматичного керування і кіберфізичних систем, а також експериментальною перевіркою працездатності розробленої системи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевого елеватора, що дозволяє автоматизувати вибір маршрутів і підвищити ефективність транспортування зерна.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд сфери та умов застосування кіберфізичних систем в елеваторному господарстві

У сучасному агропромисловому комплексі України особливого значення набуває автоматизація процесів зберігання та транспортування зерна. Саме елеваторні господарства є ключовою ланкою між виробництвом і переробкою сільськогосподарської продукції, тому від ефективності їх роботи залежить рентабельність усього виробничого циклу [1].

Традиційні системи управління елеваторами переважно базуються на ручному або локально автоматизованому керуванні окремими вузлами – норіями, транспортерами, клапанами, сепараторами, сушарками. Такий підхід ускладнює координацію роботи обладнання, призводить до простоїв і перевантажень, а також не забезпечує цілісного контролю за технологічним процесом[2].

Впровадження кіберфізичних систем (CPS) у сферу елеваторного господарства дозволяє створити єдину інтегровану систему керування, де фізичне обладнання поєднується з його цифровими моделями. У такій системі дані з датчиків рівня, температури, вологості, швидкості транспортерів або заповненості силосів передаються на аналітичний рівень, де формується оптимальний маршрут руху зернових потоків[1].

Особливої актуальності набуває застосування CPS для автоматизації транспортно-технологічних маршрутів, які визначають послідовність проходження зерна через основні етапи – від приймання до очищення, сушіння, зберігання та відвантаження. Саме правильна організація маршрутів забезпечує стабільність процесів, зменшує енерговитрати та втрати продукції[2].

Кіберфізична система дозволяє створити цифровий двійник елеватора, який відображає роботу всіх транспортних ліній і технологічних вузлів у режимі реального часу. Це забезпечує можливість моніторингу, діагностики, прогнозування відмов та оптимізації керування потоками без участі

оператора[1].

В Україні вже впроваджуються окремі елементи таких систем – зокрема, автоматизовані станції керування норіями й транспортерами, системи моніторингу температури зерна в силосах, контролери для управління сушарками та клапанами. Наступним етапом розвитку є інтеграція всіх цих компонентів у єдину кіберфізичну платформу управління елеватором[3].

Таким чином, застосування кіберфізичних систем у елеваторному господарстві є актуальним напрямом розвитку автоматизації, що забезпечує підвищення ефективності транспортно-технологічних процесів, зниження впливу людського фактора та створення передумов для впровадження концепції «розумного елеватора».

1.2 Аналіз технологічних процесів елеваторного господарства

Технологічна схема роботи елеватора включає кілька основних етапів: приймання, очищення, сушіння, зберігання, транспортування та відвантаження зерна. Кожен із них виконується за допомогою комплексу механізмів і автоматизованих систем, що забезпечують безперервний рух зернових потоків і контроль за якістю продукції.

Приймання зерна здійснюється через спеціальні приймальні ями, куди продукція подається з автотранспорту. Далі за допомогою норій зерно транспортується у верхню частину елеватора. Норії (ковшові елеватори) є вертикальними транспортерами, що переміщують зерно ковшами на стрічці або ланцюгу. Вони забезпечують високу продуктивність (до 50 т/год) і компактність розміщення.

Основними елементами норії є: стрічка з ковшами, головка з приводом, натяжна частина, кожух і завантажувальний/вивантажувальний патрубок. Привід здійснюється електродвигуном потужністю 7,5–11 кВт (Рисунок 1.1)[4].



Рисунок 1.1 – Норія НКЗ–10 4,25 М контрприводі

Після підйому зерна норією потік розподіляється самопливними клапанами. Клапан типу У-200×200×200 перекидний використовується для направлення зерна на різні технологічні лінії – до сепараторів, сушарки або в силоси.

Клапани дозволяють автоматизувати процес маршрутизації потоків, зменшуючи потребу у втручанні оператора (Рисунок 1.2)[5].



Рисунок 1.2 – Клапан самопливний "У" діаметром Ø200 мм/200 мм/200 мм перекидний AgroHelix

Для горизонтального переміщення зерна між силосами або до сушарки застосовуються скребкові транспортери – надійні ланцюгові механізми з гумовими або металевими скребками, які транспортують до 60 т/год (Рисунок 1.3)[6].



Рисунок 1.3 – Транспортер скребковий AgroHelix розбірний L– 4 м. цеп – трд., скребок гума

Після завершення циклу зберігання зерно подається на засувки роликові автоматичні, що регулюють інтенсивність подачі на транспортні засоби. Подальше завантаження здійснюється через норії та транспортери на автомобільний або залізничний транспорт (Рисунок 1.4)[7].

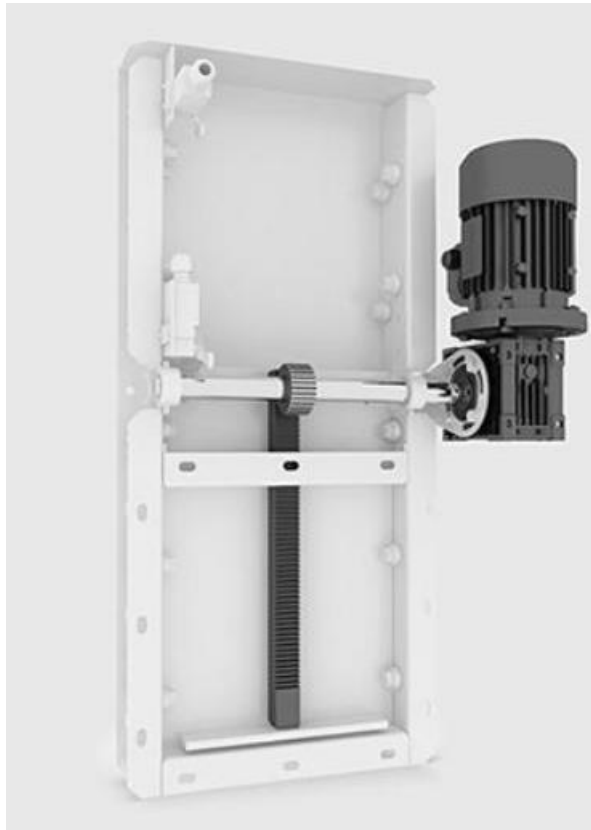


Рисунок 1.4 – Засувка роликів автоматична ZEO–RPA

Для видалення пилу й легких домішок встановлюється аспіраційна система – вентилятори та трубопроводи, які забезпечують очищення повітря у робочій зоні (Рисунок 1.5)[8].



Рисунок 1.5 – Вентилятор ВР 160–18 №6,3 22 кВт 3000 об/хв

Після сушіння зерно подається до металевих силосів із конічним дном,

обладнаних системами вентиляції, температурного контролю та рівнемірами. Такі конструкції забезпечують зручне вивантаження і запобігають утворенню застійних зон.

Типовий об'єм одного силоса становить 500–2000 т, а вентилятори системи аерації підтримують оптимальну температуру всередині ємності (Рисунок 1.6) [9].



Рисунок 1.6 – Силоси для зерна – хопер з конусним дном

На цьому етапі видаляються домішки та пил. Для цього використовуються віброцентрові сепаратори типу БЦС-50, що забезпечують очищення до 50 т/год при споживанні електроенергії 2,2–4 кВт (Рисунок 1.7)[10].



Рисунок 1.7 – Зерновий віброцентровий сепаратор БЦС–50 AgroHelix

Очищене зерно надходить у зерносушарку. Наприклад, сушарки серії ВВ КМЗ Industries мають продуктивність до 50 т/год і теплоспоживання 1,5–2 МВт. Процес контролюється за температурою і вологістю, що є основними параметрами стабільності зерна під час зберігання (Рисунок 1.8)[11].

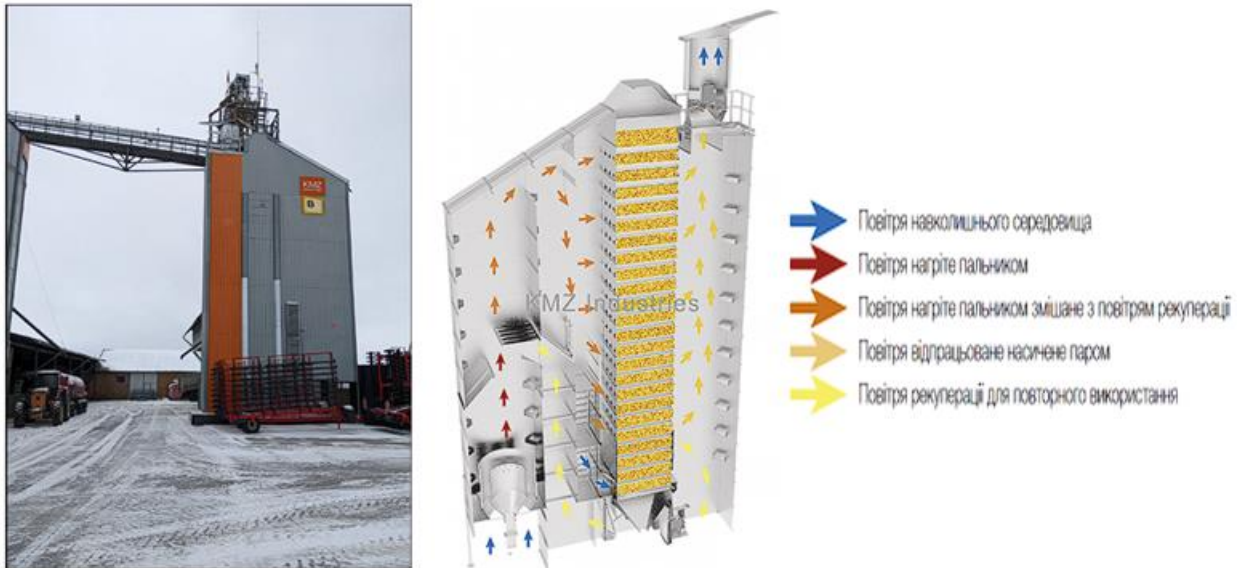


Рисунок 1.8 – Сушарка Вісе–Вакер

Для тимчасового накопичення зерна між процесами використовуються секційні бункери марки БС з різною кількістю секцій – зазвичай 3–6, що дозволяє ізолювати різні партії продукції (Рисунок 1.9)[12].



Рисунок 1.9 – Бункер секційний марки БС

Таким чином, технологічний процес елеватора являє собою послідовну взаємодію багатьох механізмів, об'єднаних у єдину транспортно-технологічну систему. Автоматизація цих процесів за допомогою кіберфізичних систем дає змогу підвищити продуктивність, зменшити втрати та забезпечити стабільність роботи комплексу.

1.3 Характеристика та структурна схема транспортно-технологічної системи металевого силосного елеватора

На основі виконаного аналізу технологічних процесів елеваторного господарства розроблено структурну схему транспортно-технологічної системи металевого силосного елеватора фермерського типу.

Схема (Рисунок 1.10) відображає порядкову побудову маршруту зерна та взаємодію між основними елементами комплексу: транспортерами, норіями, клапанами, очисною і сушильною секціями, силосами, бункерами та системою відвантаження.

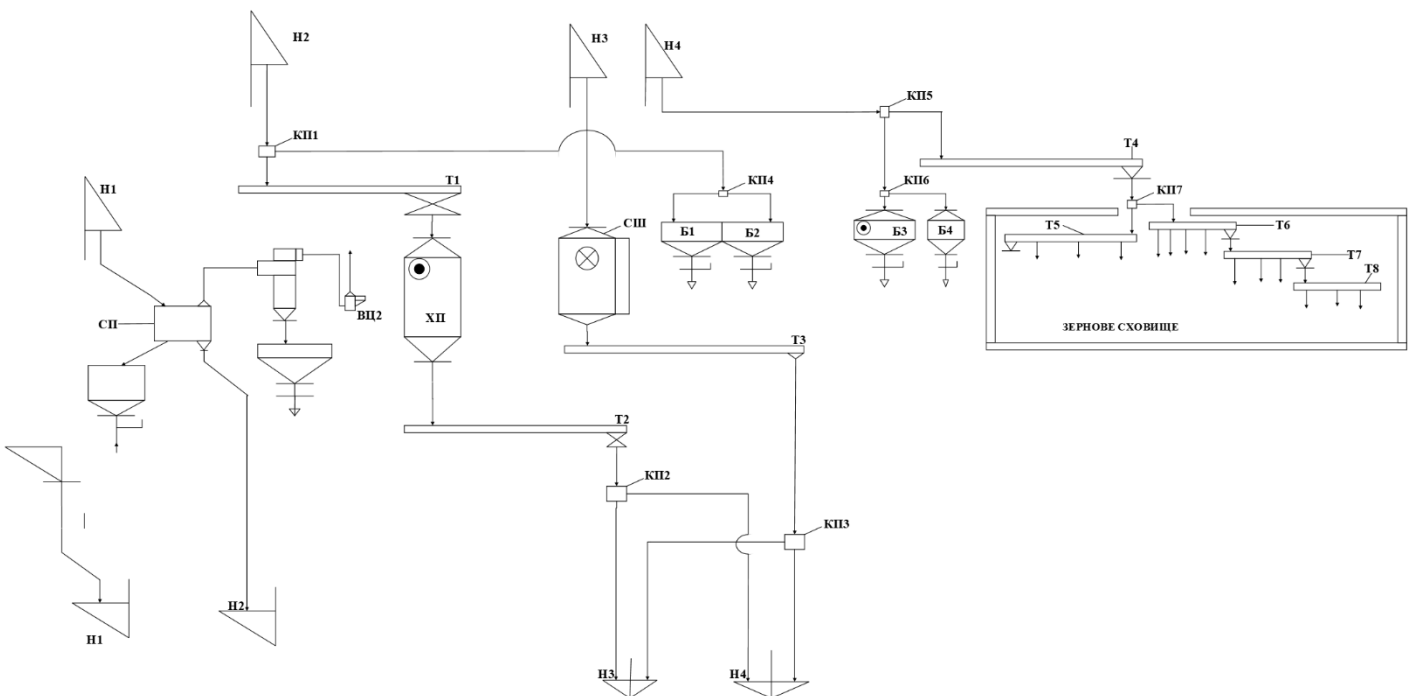


Рисунок 1.10 – Принципова схема транспортної лінії зернового елеватора фермерського господарства

Технологічна система включає такі підсистеми:

- приймання і подача зерна;
- очищення зерна;
- сушіння зерна;
- зберігання зерна;
- відвантаження зерна.

Зерно, яке надходить до елеватора, засипається в «яму» приймання. Потім через автоматичну засувку ЗРЕ1 зернова маса потрапляє до норії Н1. Далі за допомогою транспортера (наприклад, Т1) зерно подається до сепаратора СП. У цій стадії працює система автоматизації: коли накопичувальний бункер або приймальна камера досягає заданого рівня, заслінка ЗРЕ1 автоматично закривається й припиняє подачу. Такий підхід дозволяє контролювати обсяги надходження, запобігати перевантаженням і забезпечувати безперебійну роботу наступних етапів.

У сепараторі СП (тип БЦС-50) зерно очищається від пилу, дрібних і великих домішок. Одночасно підключено вентилятор ВЦ1, який відводить повітря й пилові частинки назовні. Продукт очищення (домішки, побічні матеріали) збирається в два бункери для відходів і вивозиться. Після очищення зерно транспортується норією Н2 до клапана КП1. На клапані КП1 має місце вибір маршруту подачі: положення 1 – транспортер Т1 → хопер ХП (накопичувальний бункер); положення 2 – клапан КП4 → бункери Б1, Б2 для відвантаження. Коли хопер ХП заповнений до необхідного рівня, відкривається засувка ЗРЕ2, і зерно починає рух по транспортеру Т2.

З зерном, яке пройшло очищення й накопичення, далі відбувається сушіння. Через транспортер Т2 і клапан КП2 зерно надходить або на норію Н3 (маршрут до сушарки СШ), або на норію Н4 (у випадку обхідного режиму). Якщо зерно йде на норію Н3, воно потрапляє до сушарки СШ (тип Grice–Baker), яка працює автономно. У випадку кукурудзи з високою вологістю передбачено рециркуляційний режим: після сушіння зерно повертається через КП3 і норію Н3

на повторне висушування. У випадку з нашим зерном напряму зерно після сушарки через норію Н4 потрапляє далі.

Сушіння забезпечується вентилятором ВР 160-18 №6,3, що забезпечує подачу нагрітого повітря й контроль температури.

Після сушіння зерно через систему клапанів КП5/КП6 і транспортер Т4 подається або безпосередньо у силоси Б3, Б4 (тимчасове зберігання/відвантаження), або далі по транспортерах Т5–Т8 для рівномірного розподілення у зерносховище. Силоси Б1–Б4 мають конусне дно (кут нахилу $\sim 45^\circ$), що забезпечує самопливне вивантаження. При цьому автоматичні засувки й клапани контролюють потік і напрямок зерна, гарантують заповнення закладів без залишків. Система контролю рівня та вологості у силосах забезпечує інтеграцію в майбутню кіберфізичну систему керування.

На фінальному етапі зерно з силосів подається через задані транспортери Т6–Т8 до встановлених пунктів відвантаження. Клапан КП7 розподіляє потік між транспортерами Т5 або Т6. Засувки й отвори-регулятори на транспортерах дозволяють точно налаштувати, у який із них зерно надходитиме. Це забезпечує гнучкість і рівномірність завантаження зерносховища або підготовки на відвантаження.

Структурна схема металевого силосного елеватора наочно демонструє взаємодію всіх основних елементів – від приймальної ями до транспортних ліній, норій, очисних установок, сушарки, бункерів і зерносховища. Кожен компонент виконує свою функцію в єдиній технологічній системі, забезпечуючи безперервність руху зернових потоків і їхню якісну підготовку до зберігання чи відвантаження.

Послідовність і взаємозв'язок цих елементів утворюють маршрути транспортування зерна, які можуть змінюватися залежно від типу культури, вологості, стану обладнання чи виробничих потреб. Від правильності організації маршрутів залежить ефективність роботи всього елеваторного комплексу: зниження енерговитрат, мінімізація простоїв, запобігання перевантаженню обладнання.

Таким чином, подальший аналіз буде присвячено розгляду принципів побудови та організації маршрутів переміщення зернових потоків, визначенню їхніх типових схем і можливостей оптимізації в рамках створюваної кіберфізичної системи керування.

1.4 Аналіз принципів організації маршрутів переміщення зернових потоків

Організація транспортно-технологічних маршрутів на елеваторі є одним із ключових аспектів забезпечення ефективної роботи всього виробничого комплексу. Раціонально побудована система переміщення зерна дозволяє мінімізувати втрати матеріалу, знизити енерговитрати, забезпечити стабільність технологічних процесів і підвищити загальну продуктивність елеватора [13].

Транспортно-технологічний маршрут – це послідовність дій і переходів, які здійснює зернова маса від моменту приймання до зберігання або відвантаження. Основу маршруту становить логістичний ланцюг, який включає в себе кілька етапів [14]:

- Приймання зерна (через завантажувальні ями, транспортери, норії);
- Первинне очищення (сепаратори, аспіраційні системи, пиловловлювачі);
- Сушіння (для зниження вологості до нормативного рівня);
- Тимчасове або тривале зберігання (у силосах, бункерах);
- Відвантаження або повторна подача на технологічну лінію.

Організація маршрутів залежить від типу зернової культури, рівня вологості, стану технологічного обладнання та виробничих завдань. У сучасних умовах головним завданням є забезпечення гнучкості маршрутів, тобто можливості швидко змінювати послідовність подачі та напрям руху матеріального потоку залежно від технологічної ситуації [15].

Залежно від призначення та функціональних особливостей елеватора виділяють кілька основних типів маршрутів [13]:

- Маршрут приймання–очищення–зберігання – використовується для зерна, що не потребує сушіння. Після очищення матеріал спрямовується

безпосередньо до силосів.

– Маршрут приймання–очищення–сушіння–зберігання – типовий для вологого зерна (наприклад, кукурудзи).

– Рециркуляційний маршрут – застосовується для культур із підвищеною вологістю, коли сушіння виконується у кілька циклів.

– Маршрут зберігання–відвантаження – використовується при відправці зерна споживачам або на інші підприємства.

Кожен із маршрутів реалізується через комбінацію транспортерів, норій, клапанів і засувок, які задають напрям руху зернових потоків. Перемикання між маршрутами здійснюється оператором або автоматизованою системою керування [16].

Рациональна організація маршрутів базується на таких принципах [15]:

- Мінімізація кількості транспортних переходів;
- Синхронізація роботи обладнання;
- Адаптивність маршруту;
- Безперервність процесу;
- Безпека роботи.

У традиційних системах перемикання маршрутів здійснюється вручну оператором за допомогою механічних засувок. Проте такий підхід знижує швидкість реагування, підвищує ризик помилок і вимагає постійного контролю персоналу [17].

Сучасні технології дозволяють реалізувати автоматизоване керування маршрутами за допомогою електроприводних клапанів, датчиків заповнення бункерів і програмованих логічних контролерів (ПЛК). У цьому випадку оператор лише задає бажаний режим, а система самостійно визначає оптимальний маршрут руху зерна [17].

У контексті створення кіберфізичної системи така автоматизація є базовою передумовою, адже цифрова модель елеватора може аналізувати стан усіх транспортних ліній, прогнозувати можливі перевантаження й автоматично перебудовувати маршрути відповідно до поточних умов [16].

Отже, принципи організації маршрутів визначають ефективність функціонування елеватора. Вони базуються на логічній послідовності технологічних операцій, синхронізації транспортного обладнання та адаптивності до змінних умов.

1.5 Обґрунтування напрямку досліджень і актуальності автоматизації

Сучасний розвиток агропромислового комплексу вимагає переходу від традиційних технологій управління до інтегрованих цифрових систем, здатних забезпечувати моніторинг, аналіз і оптимізацію технологічних процесів у реальному часі [18]. Одним із найважливіших напрямів цієї цифрової трансформації є автоматизація транспортно-технологічних процесів елеваторного господарства, зокрема організація руху зернових потоків між основними вузлами комплексу [19].

Традиційна експлуатація елеваторів ґрунтується на ручному або частково автоматизованому керуванні окремими механізмами – норіями, транспортерами, клапанами, сепараторами тощо. Такий підхід має низку обмежень:

- значна залежність від людського фактора;
- підвищена ймовірність помилок при виборі маршруту руху зерна;
- нерациональне використання енергоресурсів;
- затримки під час переключення маршрутів або зміни режимів роботи;
- складність у контролі за одночасною роботою декількох технологічних ліній [20].

Автоматизація цих процесів дозволяє підвищити оперативність і точність керування, забезпечити безперервність транспортування та зменшити втрати продукції під час переміщення зерна [19]. Впровадження систем автоматичного керування на елеваторах стає ключовою умовою підвищення конкурентоспроможності фермерських господарств [21].

Обґрунтування напрямку досліджень полягає у визначенні тих аспектів, які потребують вдосконалення в сучасних транспортно-технологічних системах елеваторів. До них належать:

- створення уніфікованої моделі транспортних маршрутів, яка описує логічну структуру елеватора та взаємозв'язки між обладнанням;
- розробка алгоритмів керування потоками зерна з урахуванням параметрів вологості, заповненості силосів і стану транспортних механізмів;
- використання цифрових двійників для моделювання та прогнозування роботи системи;
- реалізація інтелектуального контролю, що базується на датчиках, контролерах і програмному забезпеченні, здатному аналізувати дані в реальному часі;
- забезпечення енергоефективності та оптимального використання ресурсів під час транспортування [22].

Ці напрями досліджень є фундаментом для створення кіберфізичної системи, у якій фізичні компоненти (норії, транспортери, клапани, вентилятори) інтегруються з цифровими модулями збору, обробки й аналізу даних [18].

Фермерські елеватори, як правило, мають меншу потужність порівняно з промисловими комплексами, однак вони виконують ті ж технологічні функції – приймання, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження зерна. Особливістю фермерських об'єктів є обмеженість ресурсів – як людських, так і енергетичних [21].

Тому впровадження автоматизованих систем у таких елеваторах дозволяє:

- скоротити кількість обслуговуючого персоналу;
- підвищити стабільність роботи обладнання;
- оптимізувати енергоспоживання;
- забезпечити прозорість контролю технологічного процесу [20].

Автоматизація транспортних маршрутів на рівні фермерського елеватора має ще одну важливу перевагу – вона створює базу для подальшого розвитку в напрямі інтелектуальних систем управління (smart-agr–), які інтегруються в єдину мережу моніторингу сільськогосподарського виробництва [22].

Розвиток концепції кіберфізичних систем у сфері агротехнологій відкриває можливість комплексного управління всіма процесами на основі аналізу даних.

Ключовими перевагами такого підходу є:

- об'єднання фізичного рівня (обладнання, сенсори) з цифровим рівнем (модель, алгоритми, програмне забезпечення);
- можливість віддаленого моніторингу та адаптивного керування процесами;
- прогнозування технічних збоїв і вчасне обслуговування обладнання;
- створення віртуальної моделі елеватора для тестування оптимальних сценаріїв роботи [18].

Отже, напрям подальших досліджень полягає у розробці кіберфізичної системи управління транспортно-технологічними маршрутами, яка забезпечить оптимізацію потоків, адаптивне регулювання режимів роботи та взаємодію між усіма елементами елеватора [19].

Таким чином, актуальність автоматизації обумовлена необхідністю підвищення ефективності, надійності та адаптивності роботи елеваторних систем [21]. Запропонований напрям досліджень – розроблення кіберфізичної системи для керування маршрутами зернових потоків – відповідає сучасним тенденціям цифровізації агросектору та створює основу для подальшої розробки алгоритмів керування і моделювання системи [22].

1.6 Постановка задачі дослідження

На основі проведеного аналізу технологічних процесів елеваторного господарства, розгляду особливостей організації транспортно-технологічних маршрутів і структурної схеми системи встановлено, що для підвищення ефективності роботи елеватора фермерського типу необхідне впровадження інтелектуальної кіберфізичної системи керування, яка забезпечить автоматизацію процесів транспортування, контроль параметрів обладнання та оптимізацію маршрутів руху зерна.

Об'єкт дослідження – кіберфізична система транспортно-технологічних маршрутів силосного металевого елеватора фермерського господарства.

Предмет дослідження – процес побудови та оптимізації маршрутів руху

зернових потоків на основі взаємодії фізичних і цифрових компонентів системи.

Актуальність проблеми – Сучасні фермерські елеватори характеризуються високою складністю транспортно-технологічних процесів, що вимагає точного контролю потоків зерна між технологічними вузлами. Відсутність інтегрованої автоматизованої системи управління призводить до перевантаження обладнання, енергетичних втрат і залежності від людського фактора. Створення кіберфізичної системи дозволить забезпечити безперервний моніторинг, оптимізацію маршрутів і підвищення ефективності роботи елеватора.

Ціль магістерської роботи – обґрунтувати структуру та параметри кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевого елеватора фермерського господарства.

Ідея роботи – створення інтегрованої моделі кіберфізичної системи, що поєднує фізичні пристрої елеватора (норії, транспортери, клапани, силоси) з цифровими модулями збору, обробки та аналізу інформації, забезпечуючи автоматичне керування маршрутами руху зерна в реальному часі.

Основне завдання роботи – розроблення моделі кіберфізичної системи, яка реалізує автоматизоване керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора та забезпечує оптимальне функціонування технологічного обладнання.

Для вирішення задачі потрібно виконати такі підзадачі:

- проаналізувати технологічні процеси елеваторного господарства та принципи їх автоматизації;
- дослідити існуючі системи керування транспортними потоками зерна;
- розробити алгоритми керування транспортно-технологічними процесами елеватора;
- виконати синтез функціональної структури кіберфізичної системи;
- провести експериментальну перевірку її працездатності.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз функцій і задач кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами

Кіберфізична система керування транспортно-технологічними маршрутами забезпечує взаємодію між датчиками, виконавчими механізмами та програмними модулями [23]. Основні задачі системи:

- збір і аналіз даних про стан обладнання;
- автоматичне виконання маршрутів транспортування;
- забезпечення безпечного керування;
- ведення технологічного протоколу;
- можливість коригування режимів роботи оператором [23].

Для виконання цих задач система реалізує замкнений цикл керування, що включає такі функції [24]:

1. збір сигналів від сенсорів;
2. контроль параметрів і виявлення відхилень;
3. формування та виконання маршрутів;
4. спрацювання захисних алгоритмів у аварійних режимах;
5. аналітичну обробку та збереження даних.

Таким чином, система охоплює повний цикл керування технологічним процесом – від отримання даних до автоматичного регулювання роботи обладнання [25].

2.2 Обґрунтування функціональної структури кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами

На основі аналізу задач і функцій кіберфізичної системи розроблено її функціональну структуру (Рисунок 2.1), яка відображає взаємодію підсистем збору, обробки та передачі даних, формування керуючих сигналів і контролю роботи обладнання. Система працює за принципом замкненого циклу, поєднуючи фізичний та інформаційний рівні елеватора.

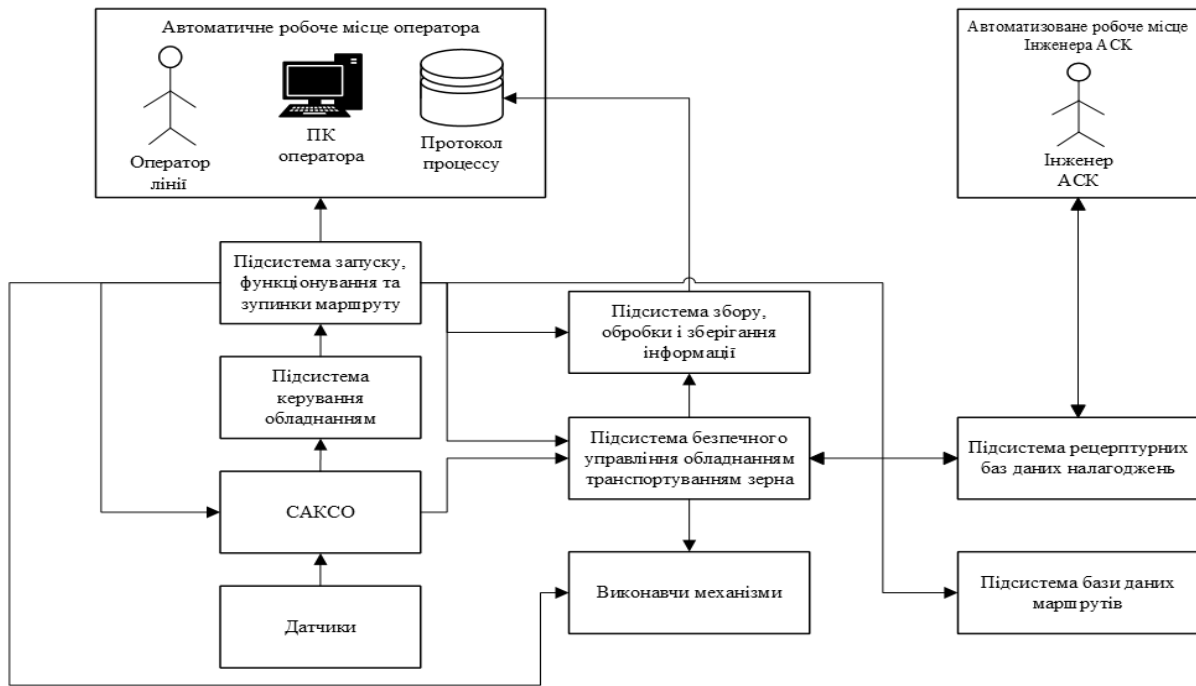


Рисунок 2.1 – Функціональна структура кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного елеватора

Основні елементи структури:

- підсистема запуску, роботи та зупинки маршруту – забезпечує послідовність дій обладнання;
- підсистема керування – формує команди і координує роботу механізмів;
- САКСО – контролює технічний стан на основі даних датчиків;
- датчики – вимірюють ключові параметри процесу;
- підсистема збору й обробки інформації – фільтрує, аналізує та зберігає дані;
- підсистема безпечного управління – виконує аварійне вимкнення та міжблокування;
- виконавчі механізми – реалізують команди керування;
- рецептурна база даних – містить налаштування допустимих режимів;
- база маршрутів – визначає конфігурації транспортних ліній.

Функціональна структура забезпечує узгоджену роботу всіх підсистем та підвищує ефективність і безпечність транспортно-технологічних процесів [26].

2.3 Обґрунтування методів обробки інформації функціональними блоками кіберфізичної системи

Методи обробки інформації в кіберфізичній системі транспортно-технологічних маршрутів забезпечують узгоджену взаємодію між датчиками, контролерами та виконавчими механізмами. Первинні сигнали проходять фільтрацію, нормалізацію та перевірку достовірності, після чого передаються до підсистем для аналізу стану обладнання й контролю технологічних параметрів у реальному часі.

Обробка даних базується на принципах замкненого циклу керування, модульності, адаптивності, надійності та синхронізації. Інформація циркулює по замкненому контуру: від датчиків – до контролера, далі до аналітичних модулів і виконавчих пристроїв, де алгоритми логічного керування визначають умови безпечного запуску, роботи й зупинки маршрутів [24].

2.4 Метод обробки інформації підсистеми запуску, функціонування та зупинки маршруту

Підсистема запуску, функціонування та зупинки маршруту забезпечує послідовне керування обладнанням відповідно до алгоритму роботи транспортно-технологічної лінії. На основі аналізу логічних переходів розроблено граф керування маршрутами (Рисунок 2.2), який визначає переходи між режимами від ініціалізації до повної зупинки чи аварії.

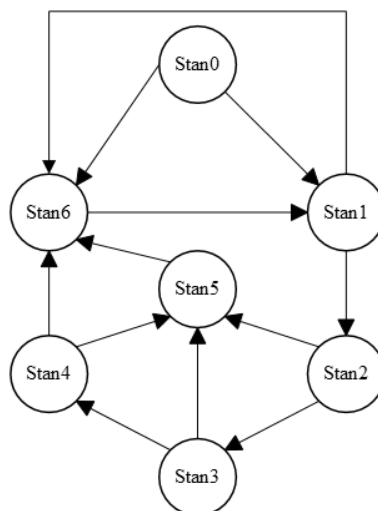


Рисунок 2.2 – Граф керування маршрутами

У роботі виділено такі основні стани маршруту:

Stan0 – початковий стан. Система запускається, дані з датчиків ще не оброблені; відбувається ініціалізація.

Stan1 – стан готовності. Устаткування вимкнене, але справне, всі міжблокування дозволяють запуск.

Stan2 – запуск. Обладнання вмикається поетапно, зазвичай у зворотному напрямку руху зерна, щоб уникнути перевантаження.

Stan3 – робочий режим. Усі механізми працюють синхронно, контролюються основні технологічні параметри маршруту.

Stan4 – планова зупинка. Механізми вимикаються у фіксованій послідовності з урахуванням видалення залишків матеріалу.

Stan5 – аварійна зупинка. У разі несправності відбувається негайне вимкнення аварійного вузла та обладнання, що може спричинити пересипання.

Stan6 – недоступний стан. Маршрут заблокований через несправності або конфлікт із запуском іншого маршруту, система очікує усунення причин.

Граф станів формалізує переходи між режимами та є основою логіки керування запуском, роботою й зупинкою обладнання елеватора [27].

2.5 Метод обробки інформації підсистеми керування обладнанням.

Підсистема керування обладнанням забезпечує обробку сигналів від технологічних датчиків та виконавчих механізмів, які формують повну картину стану транспортно-технологічних маршрутів і дозволяють контролеру виконувати пуск, зупинку та міжблокування агрегатів. Для опису цих сигналів використовується функціональна схема автоматизації, у якій наведено умовні позначення приводів, датчиків положення, рівня, температури, вологості, тиску та аварійних елементів, що беруть участь у логіці керування. Нижче наведено перелік цих позначень і їх коротке пояснення (Рисунок 2.3).

BS – датчик стрічки (контроль натягу/сходження/обриву стрічки норії)
NX – унікальний ідентифікатор сигналу датчика стрічки (прив'язка BS до PLC)
AS – датчик струму (вимірювання навантаження електродвигуна)
EX – унікальний ідентифікатор сигналу датчика струму норії (прив'язка AS → PLC)
NS – датчик стану приводу (індикатор робочий/аварія/стоп)
ZX – унікальний ідентифікатор сигналу стану приводу (прив'язка NS → PLC)
NA – команда пуску приводу (сигнал запуску двигуна з PLC)
NY – унікальний ідентифікатор команди пуску (прив'язка NA → PLC)
CB – датчик положення/стану барабана або вузла транспортера (натяг/положення)
PX – унікальний ідентифікатор сигналу датчика барабана транспортера (CB → PLC)
AA – сигнал/індикатор аварії агрегату (перевантаження, заклинювання)
AX – унікальний ідентифікатор сигналу аварії агрегату (AA → PLC)
SS – датчик стану стрічки транспортера (контроль нормальної роботи стрічки)
SY – унікальний ідентифікатор сигналу датчика стану стрічки (SS → PLC)
LSV – кінцевий вимикач «клапан відкритий» (показує повністю відкрите положення)
LX – унікальний ідентифікатор сигналу кінцевого вимикача «відкрито» (LSV → PLC)
LSC – кінцевий вимикач «клапан закритий» (показує повністю закрите положення)
LY – унікальний ідентифікатор сигналу кінцевого вимикача «закрито» (LSC → PLC)
GA – сигнал готовності/живлення актуатора клапана (актуатор у робочому стані)
FX – унікальний ідентифікатор сигналу готовності актуатора (GA → PLC)
PS – команда переміщення/подачі виконавчого механізму (сигнал на відкриття/закриття)
FY – унікальний ідентифікатор сигналу команди переміщення (PS → PLC)

LSH – датчик верхнього рівня бункера (сигнал про переповнення/досягнення верхньої відмітки)

LH – унікальний ідентифікатор сигналу верхнього рівня бункера (LSH → PLC)

BN – датчик нижнього рівня бункера (сигнал про досягнення мінімального рівня)

BY – унікальний ідентифікатор сигналу нижнього рівня бункера (BN → PLC)

BA – команда активації бункера/хопера (сигнал на вивантаження або аерацію)

BX – унікальний ідентифікатор сигналу активації бункера (BA → PLC)

SPN – стан приводу сепаратора (індикатор робота/аварія сепаратора)

SN – унікальний ідентифікатор сигналу стану приводу сепаратора (SPN → PLC)

SPA – команда пуску сепаратора (сигнал на увімкнення приводу сепаратора)

SA – унікальний ідентифікатор сигналу команди пуску сепаратора (SPA → PLC)

AS – датчик струму (повторне позначення; використовується для вимірювання струму в інших вузлах – тут слугує як загальне означення датчика струму)

EF – унікальний ідентифікатор сигналу датчика струму вентилятора (прив'язка AS (вентилятор) → PLC)

FV – стан приводу вентилятора (індикатор працює/аварія/вимкнено)

FVS – унікальний ідентифікатор сигналу стану вентилятора (FV → PLC)

FP – команда пуску вентилятора (сигнал від PLC на запуск вентилятора)

FVP – унікальний ідентифікатор сигналу команди пуску вентилятора (FP → PLC)

2.6 Метод обробки інформації системи автоматичного контролю стану обладнання (САКСО)

Система автоматичного контролю стану обладнання (САКСО) збирає сигнали від датчиків приводів, рівня, швидкості та температури й виконує їх первинну перевірку. Дані аналізуються на коректність і відповідність допустимим значенням.

У разі виявлення відхилень система формує попереджувальні або аварійні стани й передає інформацію до підсистем керування. Це забезпечує своєчасну реакцію та безпечну роботу транспортно-технологічного обладнання [28].

2.7 Метод обробки інформації датчиків

Обробка сигналів від датчиків забезпечує отримання фактичних даних про стан обладнання та процесів. Контролер перетворює ці сигнали, перевіряє їх коректність і використовує в керуванні маршрутом. Нижче наведено основні датчики та їх ключові характеристики.

Трансформатор струму MAC032PROG42 використовується для безперервного вимірювання струму електродвигунів норії та вентилятора з подальшою передачею інформації до ПЛК у вигляді аналогового сигналу 4–20 mA. Це дозволяє контролювати фактичне навантаження двигуна, своєчасно визначати перевантаження або нестандартні режими роботи та забезпечувати надійну та безпечну експлуатацію обладнання у складі автоматизованої системи керування (Рисунок 2.4).

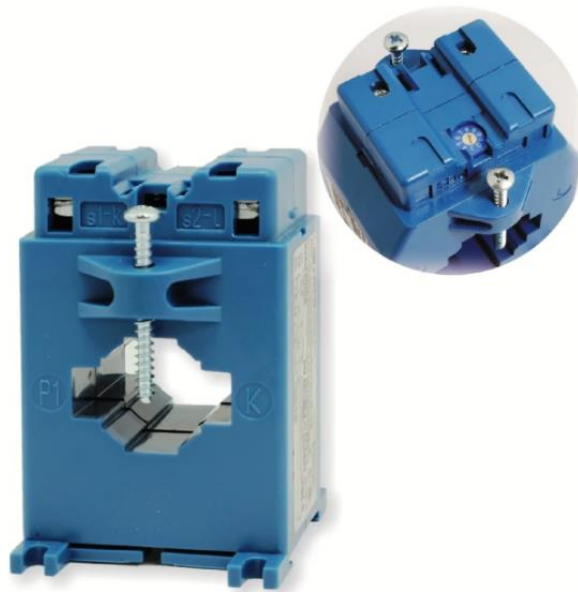


Рисунок 2.4 – Трансформатор струму вихід 4-20 mA FRER MAC032 50–300 A 32 × 10 - MAC032PROG42

Технічні характеристики:

- Первинний струм: 50...300 A
- Вторинний вихід: 4...20 mA
- Клас точності: 1

- Отвір для шини: 32 × 10 мм
- Діаметр отвору для кабелю: Ø 23 мм
- Струм динамічної стійкості: 2.5 × I_{th}
- Напруга випробування: 3 kV, 50 Гц
- Максимальний температурний діапазон експлуатації: –25...+50 °С
- Ступінь захисту: IP20
- Матеріал корпусу: UL 94-V0 (вогнестійкий пластик) [29]

Датчик Steute ES 98 SR-11 використовується для контролю сходу стрічки норій та своєчасного виявлення її бокового відхилення. При спрацюванні подає дискретний сигнал у систему керування, що дозволяє запобігти пошкодженню стрічки та аварійним зупинкам. Корпус виконано з алюмінію, що забезпечує роботу в важких промислових умовах (Рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Датчик сходу стрічки Steute ES 98 SR-11

Технічні характеристики:

- Ступінь захисту: IP67
- Перемикальні контакти: 1 NC / 1 NO, тип Zb
- Тип дії: повільна дія (slow action)
- Номінальна напруга ізоляції: 250 В
- Номінальний робочий струм: 6 А / 250 VAC
- Максимальні цикли спрацювання: до 1800/год
- Механічний ресурс: понад 1 млн спрацювань

- Матеріал корпусу: алюміній, литий під тиском
- Діапазон температур: $-20 \dots +60$ °C
- Підключення: гвинтові клеми, кабельний ввід M20x1.5 [30]

Індуктивний датчик M30 використовується для контролю обриву ланцюга транспортера шляхом фіксації наявності металевого елемента на рухомій гілці. У випадку розриву або зсуву ланцюга датчик перестає реєструвати контрольну мітку, що дозволяє системі керування миттєво зупинити транспортер і запобігти подальшим пошкодженням (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Індуктивний датчик M30 (NBK Sensor)

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 10...30 V DC – Вихід: PNP, NO (нормально розімкнений)
- Роз'єм підключення: M12
- Монтаж: прихований (flush) – корпус типу M30
- Дистанція спрацювання: ≈ 10 мм (залежно від моделі)
- Струм навантаження: ≤ 400 mA – Струм без навантаження: ≤ 20 mA
- Ступінь захисту корпусу: IP67
- Матеріал корпусу: латунь нікельована (або метал/латунь)
- Робоча температура: ~ -25 °C ... $+70$ °C [31]

Кінцевий індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX використовується для визначення положення металевих елементів та контролю граничних станів

механізмів. Він реагує на наближення металевої поверхні та передає сигнал у систему керування, забезпечуючи надійний контроль кінцевих положень без механічного зносу переглянути його можна на (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Кінцевий індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX NPN NO (3-дротовий нормально відкритий)

Технічні характеристики:

- Відстань виявлення: 4 мм
- Тип виходу: NPN, 3-дротовий, NO
- Напруга живлення: 6...36 В DC
- Максимальний вихідний струм: 300 мА
- Діаметр корпусу: 12 мм
- Матеріал корпусу: метал [32]

Ротаційний сигналізатор рівня ELF використовується для контролю наявності або відсутності матеріалу в бункерах та ємностях. При перекритті лопатки зерном ротація зупиняється, і датчик формує сигнал у систему керування. Забезпечує надійну індикацію рівня при вертикальному або горизонтальному монтажі. Аналогічні датчики використовуються і для Хопера (Рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Ротаційний датчик сигналізатор рівня стандартний ELF, 1" BSP, Алюміній, 220 VAC, корпус пластик

Технічні характеристики:

- Приєднання: 1" BSP
- Матеріал з'єднання: алюміній
- Лопатка та вал: нержавіюча сталь 304
- Живлення: 220 VAC
- Швидкість обертання: 5 г/м
- Матеріал корпусу: пластик В20р
- Максимальна температура середовища: 90 °С
- Клас захисту: IP65 [33]

Таким чином, використані датчики забезпечують отримання достовірних даних про стан обладнання та технологічного процесу. Їхні сигнали формують інформаційну основу для роботи систем автоматичного керування, дозволяючи своєчасно реагувати на відхилення та підтримувати безпечне функціонування маршруту.

2.8 Метод обробки інформації підсистеми збору, обробки і зберігання інформації

Підсистема збору, обробки і зберігання інформації забезпечує приймання сигналів від датчиків та станів виконавчих механізмів, передбачених у функціональній схемі автоматизації елеватора. Усі сигнали надходять до контролера через відповідні дискретні входи та виходи. Після цього вони

проходять первинну перевірку, обробку та передаються у логічні модулі керування транспортно-технологічними маршрутами.

Джерела інформації

До складу підсистеми входять такі групи сигналів, установлених на обладнанні елеватора

- датчики рівня в ємностях LSH (верхній рівень), BN (нижній рівень)
- датчики положення та стану клапанів і засувок LSV (відкрите положення), LSC (закрите положення), GA (готовність актуатора), PS (керуючий сигнал на переміщення)
- датчики стану приводів NS (норії), FV (вентилятор), SPN (сепаратор)
- датчики контролю стрічки та руху транспортного обладнання BS (стрічка норії), SS (стан стрічки транспортера)
- датчики аварійних станів AA (аварія транспортера або вузла)
- сигнали пуску та активації виконавчих механізмів NA (пуск норії), BA (активація бункера), SPA (пуск сепаратора), FP (пуск вентилятора)
- службові змінні системи маршрутизації активний маршрут, дозволені переходи, міжблокування та логічні умови

Обробка виконується тільки для тих сигналів, які реально присутні у схемі автоматизації елеватора.

Первинна обробка сигналів

Перед використанням у логічних алгоритмах контролер виконує такі процедури

- перевірка коректності вхідних дискретних сигналів
- фільтрація входів для усунення коротких імпульсів і «дребезгу» контактів
- формування ознак помилки при відсутності сигналу або невідповідності станів обладнання
- перевірка отриманих сигналів на відповідність активному транспортно-технологічному маршруту

Формування та збереження інформації

Підсистема накопичує оперативні дані, необхідні для роботи кіберфізичної системи

- стани рівневих датчиків LSH та BN
- положення клапанів та засувок LSV, LSC
- стани приводів обладнання NS, FV, SPN
- стани стрічкових систем BS, SS
- активний маршрут і його параметри
- дозволені та заборонені переходи
- логічні умови міжблокувань
- аварійні індикатори AA та інші сигнали, що характеризують відмови,

переповнення чи аварійні ситуації

- журнал зміни станів обладнання та маршрутів

Зберігається короткий технологічний журнал, який включає

- запуск і зупинку агрегатів
- спрацювання аварійних і попереджувальних датчиків
- зміни маршруту руху зернового потоку
- перемикання положень клапанів і засувок

Обсяг журналу обмежений, оскільки він призначений для оперативного аналізу, а не для довготривалого архівування.

Передача даних у підсистемі керування

Після обробки всі сигнали передаються у такі підсистеми:

- запуску та зупинки маршруту
- керування обладнанням
- безпечного керування
- вибору й оптимізації маршрутів
- цифрового двійника елеватора (у разі розширення системи)

Передача здійснюється у вигляді набору структур станів таких як рівень, положення, швидкість, аварія, стан приводу, активний маршрут та логічні міжблокування.

Підсистема забезпечує своєчасне оновлення інформації для коректної роботи всіх алгоритмів керування, без виконання глибокої аналітики або тривалого зберігання даних. Ці функції реалізуються на вищому рівні системи.

2.9 Метод обробки інформації підсистеми безпечного управління обладнанням транспортування зерна

Підсистема безпечного управління контролює сигнали стану обладнання та аварійні спрацювання під час транспортування зерна. На основі даних від датчиків приводу, швидкості та аварій формується рішення про запуск, зупинку або блокування механізму. Логічні моделі станів і переходів для кожного вузла наведено на рисунках (Рисунок 2.9–2.14), які визначають порядок обробки сигналів і реакцію системи на небезпечні ситуації.

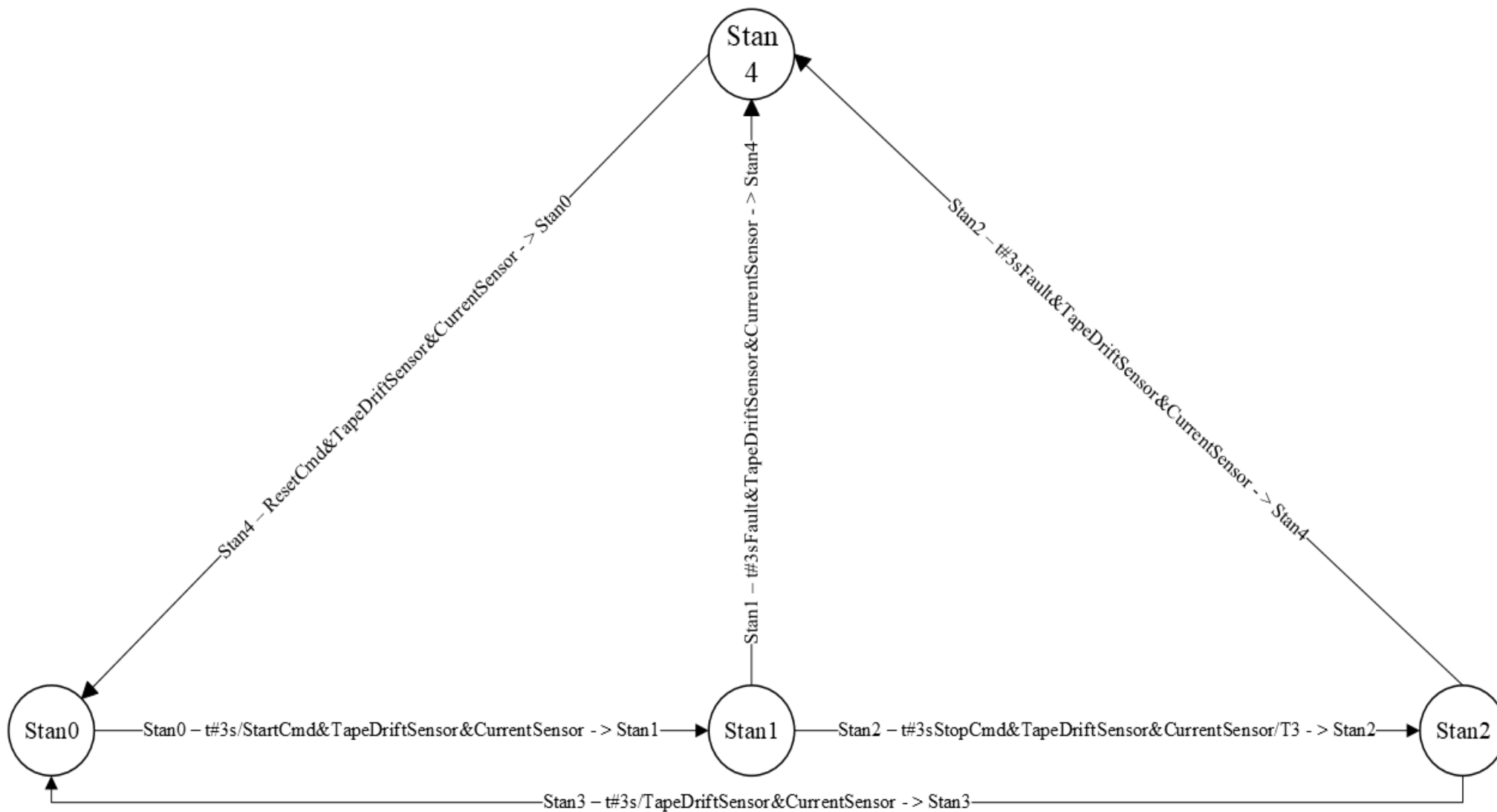


Рисунок 2.9 – Граф станів норії

Stan0 стан спокою – Норія зупинена і готується до запуску. Очікує StartCmd. Контроль BS та AS перехід в Stan1.

Stan1 стан запуску – Двигун запускається. Контроль BS, AS. При аварії запускається Stan3

Stan2 стан зупинки – Штатне вимкнення двигуна. Після повної зупинки повертається в Stan0. При аварії під час зупинки — в Stan3.

Stan3 аварійний стан – Негайна зупинка через спрацювання BS або AS. Потребує підтвердження норми датчиків та команди ResetCmd для повернення в Stan0.

StartCmd – Команда "Пуск"

ResetCmd – Команда "Скидання аварії"

TapeDriftSensor – Датчик сходу стрічки

CurrentSensor – Датчик струму двигуна

t#3s– Часові затримки для контролю процесів (наприклад, час розгону).

Fault – відбулася аварія

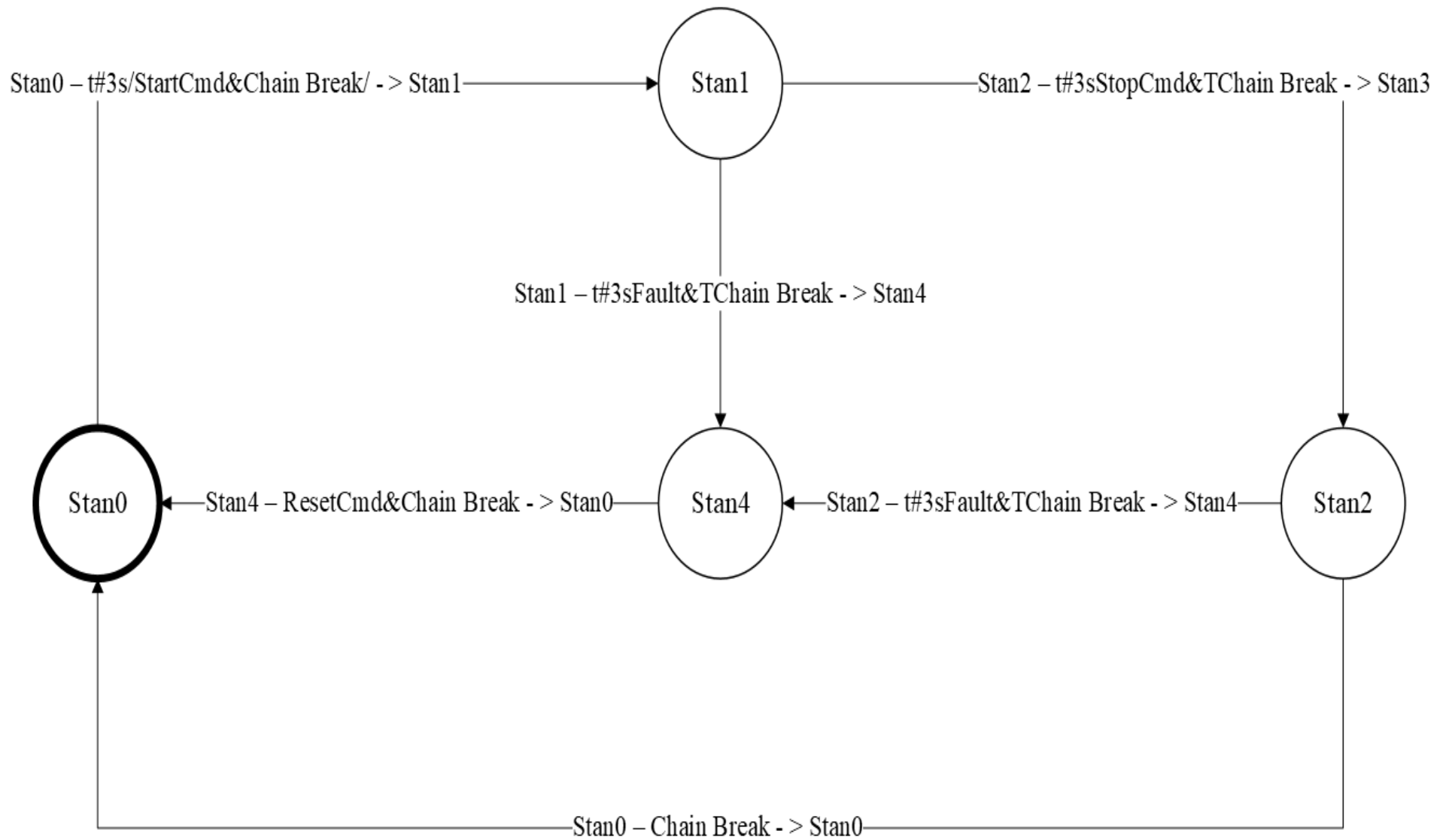


Рисунок 2.10 – Граф станів транспортера

Stan0 стан спокою – Конвеєр зупинений готується до запуску. Очікує StartCmd. Контроль CBS. Перехід в Stan1 в режим роботи.

Stan1 стан запуску – Двигун запускається. Контроль CBS. При Fault переходим в Stan3. Якщо нічого не відбувається то переходимо в Stan2.

Stan2 Штатне вимкнення двигуна. Після повної зупинки відбувається відновлення і повернення в Stan0. При аварії під час зупинки — в Stan3.

Stan3 – Аварійний стан – Негайна зупинка через спрацювання CBS. Потребує підтвердження норми датчиків та команди ResetCmd для повернення в Stan0.

StartCmd – Команда "Пуск"

RunCmd – Команда "Робота"

ResetCmd – Команда "Скидання аварії"

Chain Break – Датчик облому ланцюга

t#3s– Часові затримки для контролю процесів (наприклад, час розгону).

Fault – відбулася аварія

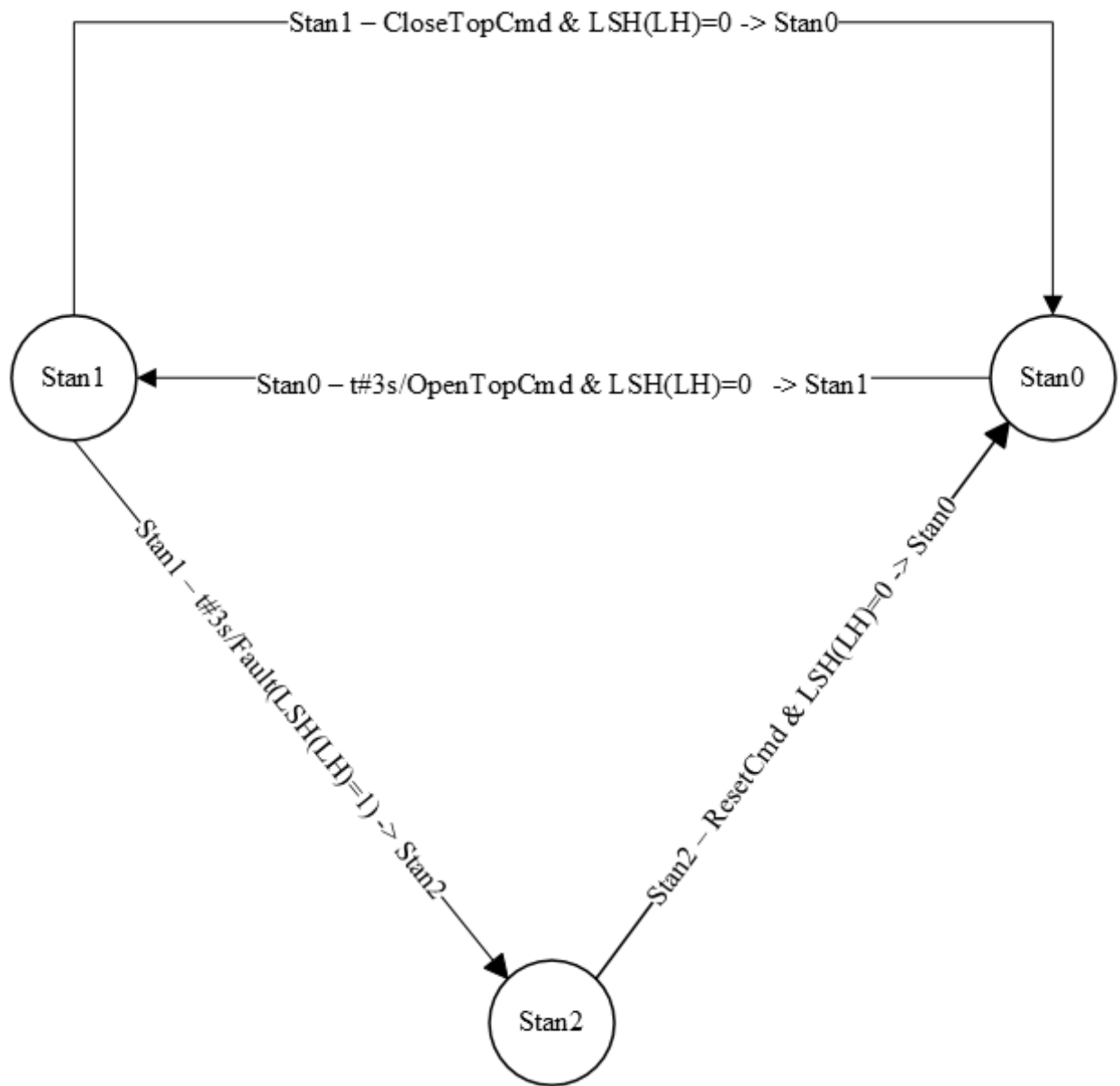


Рисунок 2.11 – Граф станів бункера

Stan0 засувка відкрита– Бункер у нормальному стані, верхня засувка закрита, аварій немає. При команді OpenTopCmd система перевіряє відсутність помилок сигналу LSH (LH).

Stan1 засувка закрита– Засувка відкрита, бункер працює у штатному режимі. Команда CloseTopCmd повертає систему у Stan0. Якщо під час роботи спрацьовує LSH(LH) у невідповідний момент, викликаючи помилку положення, система переходить у Stan2.

Stan2 аварійний стан – Аварійний режим, що активується при неправильній роботі верхньої засувки або некоректному стані датчика LSH (LH). Для повернення до нормальної роботи необхідно виконати ResetCmd та забезпечити, щоб LSH(LH)=0.

OpenTopCmd – команда на відкриття верхньої засувки.

CloseTopCmd – команда на закриття верхньої засувки.

ResetCmd – команда скидання аварії.

LSH (LH) – датчик верхнього рівня / положення засувки (0 – норма, 1 – помилка або переповнення).

t#3s – Часові затримки для контролю процесів (наприклад, час розгону)

Fault – відбулася аварія

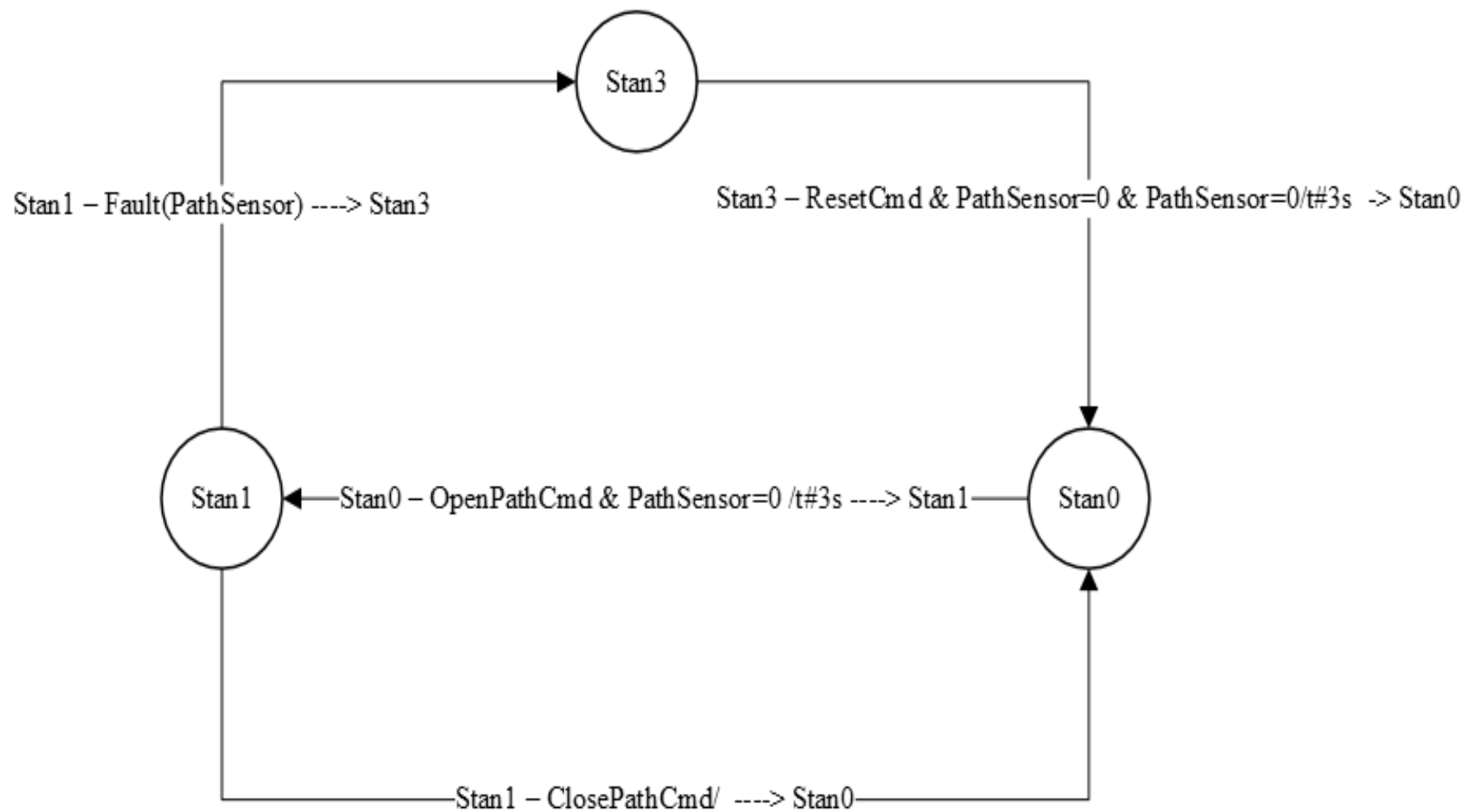


Рисунок 2.12 – Граф станів Клапана

Stan0 клапан відкритий – клапан відкритий, Система контролює положення засувки та коректність відкриття.

Stan1 клапан закритий – клапан закривається. Система контролює положення засувки та коректність закриття.

Stan3 аварійний стан – Засувка не відкрилась, неправильно спрацював датчик або виявлена інша несправність. Необхідне усунення проблеми та скидання аварії.

OpenPathCmd – команда на відкриття засувки.

ClosePathCmd – команда на закриття засувки.

ResetCmd – скидання аварійного режиму.

PathSensor – датчик положення (контроль відкриття/закриття).

Fault – аварія при неправильному положенні засувки або відсутності підтвердження відкриття.

t#3s – Часові затримки для контролю процесів

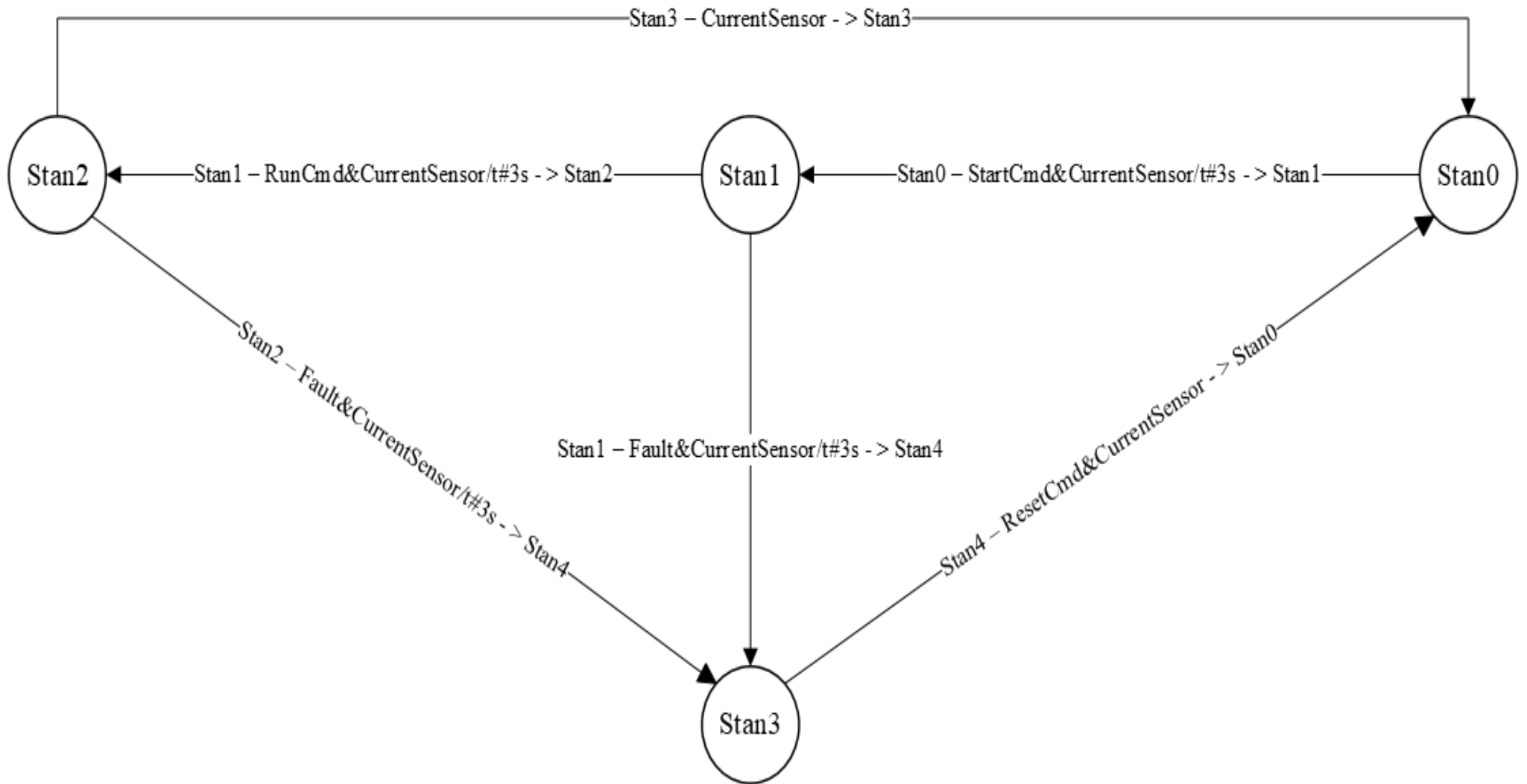


Рисунок 2.13 – Граф станів вентилятора

Stan0 стан запуску– Вентилятор зупинений. Очікує StartCmd.

Контроль CurrentSensor. Перехід в Stan1.

Stan1 робочий режим – Вентилятор працює (RunCmd). Постійний контроль CurrentSensor. При Fault (перевантаження) — в Stan3.

Stan2 штатна зупинка – Штатне вимкнення двигуна. Після повної зупинки (RunSt = FALSE) повертається в Stan0. При аварії під час зупинки — в Stan3.

Stan3 аварійний стан – Негайна зупинка через спрацювання AS. Потребує підтвердження норми датчика та команди ResetCmd для повернення в Stan0.

CurrentSensor – датчик струму двигуна вентилятора.

StartCmd – Команда "Пуск"

RunCmd – Команда "Робота"

Restoration – Команда "Відновлення"

ResetCmd – Команда "Скидання аварії"

Fault – аварійна зупинка

t#3s– Часові затримки для контролю процесів (наприклад, час зупинки)

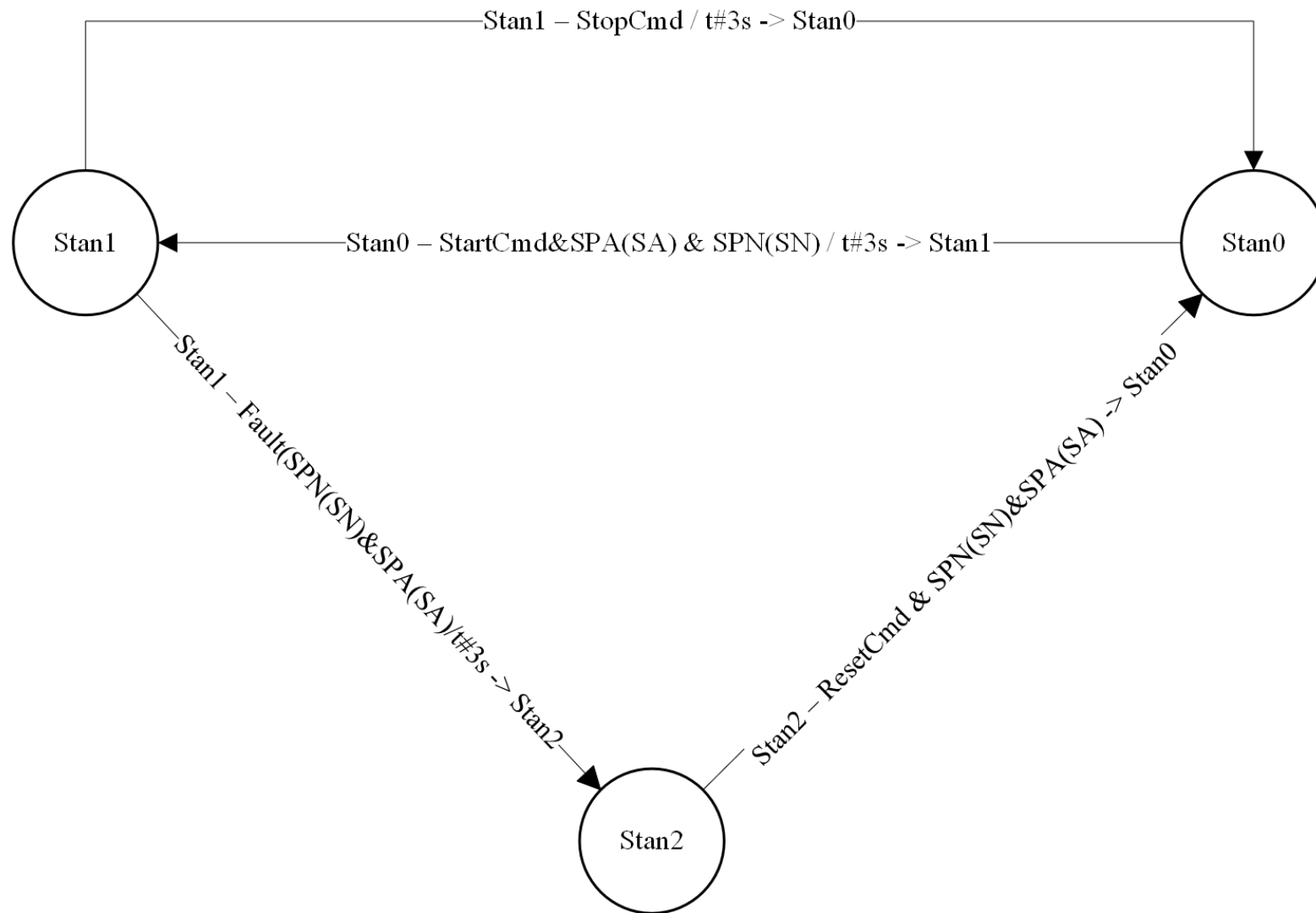


Рисунок 2.14 – Граф станів сепаратора

Stan0 стан спокою – Сепаратор вимкнений. Привід SPN(SN) у готовності. Команда SPA(SA) запускає обладнання. Якщо виявлено несправність приводу SPN(SN) — перехід у Stan2.

Stan1 робочий режим – Сепаратор працює стабільно (SPN(SN)), обробляє зерно. Команда StopCmd повертає у Stan0. Якщо виникає аварійна ситуація (Fault) через SPN(SN) або перевантаження двигуна AS(EX) — перехід у Stan2.

Stan2 аварійний стан – Негайне зупинення через аварію приводу або перевантаження. Повернення до робочого циклу можливе після ResetCmd та перевірки готовності приводу SPN(SN).

SPA (SA) — команда пуску сепаратора (сигнал від PLC на увімкнення приводу).

SPN (SN) — стан приводу сепаратора використовується для контролю роботи та виявлення аварій.

StartCmd – Команда "Пуск"

StopCmd — команда зупинки.

ResetCmd — скидання аварії.

Fault – аварійна зупинка

t#3s– Часові затримки для контролю процесів (наприклад, час зупинки)

2.10 Метод обробки інформації Виконавчи механізми

Метод обробки інформації виконавчих механізмів полягає у перевірці коректності виконання керуючих команд та контролі фактичного стану приводів норій, транспортерів, клапанів і засувок. Після подачі команди контролер аналізує сигнали датчиків стану (NS) і кінцевих положень (PS, LSV), підтверджуючи роботу механізму або фіксує відхилення.

Якщо зворотний сигнал не відповідає команді, система формує блокування та переводить механізм у безпечний режим. Крім того, обробка враховує технологічні міжблокування: запуск агрегату можливий лише за відсутності аварій та відповідності станів попередніх вузлів маршруту.

Таким чином, підсистема забезпечує достовірний контроль роботи виконавчих механізмів і запобігає помилковим або небезпечним операціям у транспортно-технологічній системі елеватора.

2.11 Метод обробки інформації Підсистема рецептурних баз даних налагоджень

Метод обробки інформації в підсистемі рецептурних баз даних налагоджень передбачає зберігання та вибір технологічних параметрів, необхідних для формування робочих маршрутів. До таких параметрів належать задані режими запуску обладнання, положення клапанів, затримки та логічні умови, що визначають порядок роботи транспортної системи.

Під час активації рецептури контролер отримує з бази даних набір налагоджень і перевіряє їх коректність та відповідність поточному стану обладнання. У випадку виявлення помилок або неповних даних система блокує запуск і повідомляє оператора про необхідність перевірки рецептури.

Підсистема також контролює внесення змін до налагоджень: усі оновлення зберігаються з фіксацією автора та часу, що забезпечує відстежуваність і захищеність даних. Це дозволяє уникати випадкових або некоректних правок, що можуть вплинути на роботу маршруту.

Таким чином, підсистема рецептурних баз даних забезпечує стабільність технологічних налаштувань, їх правильне застосування та підтримку узгодженої роботи транспортно-технологічної системи елеватора [34].

2.12 Метод обробки інформації Підсистема бази даних маршрутів

Метод обробки інформації в підсистемі бази даних маршрутів полягає у зберіганні та виборі структурованих схем переміщення матеріалу між технологічними вузлами. Кожен маршрут містить перелік необхідних агрегатів, послідовність їх увімкнення, положення клапанів і логічні умови, за яких система може перейти до наступного етапу роботи [35].

Під час вибору маршруту контролер завантажує з бази даних відповідну конфігурацію та перевіряє її на коректність, наявність усіх необхідних елементів

і сумісність із поточним станом обладнання. У разі виявлення невідповідності система блокує запуск маршруту та надсилає оператору повідомлення для перевірки налаштувань [36].

Підсистема також веде журнал змін: будь-яке оновлення маршруту зберігається з фіксацією часу та оператора, що дозволяє контролювати достовірність даних і за потреби швидко відновлювати попередні конфігурації. Це підвищує безпечність і стабільність роботи транспортно-технологічної системи елеватора [37].

3 СИНТЕЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи

Робота кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів зернового елеватора (КФС ТТМ) базується на автоматичному збиранні даних від датчиків, контролі станів обладнання, формуванні маршрутів руху зерна та керуванні транспортними механізмами у режимі реального часу. Усе обладнання системи розміщується в умовах елеваторного комплексу, де можливі коливання температури, запиленість та вібрації, що визначає вимоги до елементної бази та структури системи.

З огляду на технологічні умови елеватора, а також наявність великої кількості датчиків рівня, швидкості, положення, аварійних кінцевиків та виконавчих механізмів (норій, транспортерів, клапанів), формування функціональної схеми автоматизації потребує врахування таких вимог:

1. Для реалізації КФС ТТМ доцільно використовувати промисловий контролер, який забезпечує збір сигналів від усіх передбачених датчиків (LSH, LSL, LASH, PS, SS, DSB, TE, HS тощо) та надійне керування виконавчими механізмами (GA, NA, MX, клапанами та заслінками). Контролер працює в реальному часі та підтримує обмін даними зі суміжними системами елеватора.
2. Панель НМІ використовується як операторський інтерфейс, що забезпечує візуалізацію станів маршрутів, обладнання, аварійних подій і параметрів технологічного процесу. На ній може зберігатися оперативна інформація про активні маршрути, історію подій і параметри роботи, що розвантажує контролер та підвищує швидкодію системи.
3. Для взаємодії з верхнім рівнем керування елеватора (SCADA, MES або АСУТП) необхідно передбачити Ethernet-інтерфейс на базі промислового комунікаційного обладнання. Це дає можливість передавати дані щодо

станів обладнання, активних маршрутів та аварійних подій у загальну систему моніторингу підприємства.

4. Оскільки частина обладнання та датчиків розташована на значній відстані, у транспортних галереях та баштах елеватора, необхідно застосовувати інтерфейси та модулі, стійкі до перешкод: дискретні входи/виходи 24 В, можливість підключення датчиків через захищені кабельні лінії, використання екранованих провідників та захисту від перенапруг.
5. Для мінімізації обслуговування та підвищення надійності системи функціональна схема має використовувати централізоване керування маршрутами. Усі сигнали від датчиків та станів приводів зчитуються контролером, який самостійно перевіряє наявність блокувань, формує дозволи, керує пусками та комутацією маршрутів.

Функціональна схема автоматизації транспортно-технологічних маршрутів елеватора, розроблена з урахуванням наведених вимог, наведена в розділі 2 на (Рисунок 2.3). Вона відображає повну структуру взаємодії між датчиками, виконавчими механізмами, контролером та операторським інтерфейсом.

Подана функціональна схема, а також проведений аналіз технологічних процесів транспортування зерна дозволяють перейти до розробки принципової схеми комплексу технічних засобів кіберфізичної системи, що буде виконано у наступному підрозділі.

3.2 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів

3.2.1 Аналіз входів та виходів системи

Для обґрунтування комплексу технічних засобів кіберфізичної системи необхідно провести аналіз та класифікацію входів давачів і виходів інтерфейсу КФС.

На основі функціональної схеми автоматизації транспортно-технологічних маршрутів елеватора, наведеної на (Рисунок 2.3), а також з урахуванням переліку

технічних засобів, визначених у розділах 1 і 2, сформовано класифікацію сигналів, яка представлена відповідно до таблиці 3.1.

Для вибору та обґрунтування апаратних засобів КФС виконується класифікація вхідних та вихідних сигналів з таблиці 3.1 за їх технічними характеристиками.

Результати цієї класифікації наведено відповідно до таблиці 3.2.

Від Замовника є умова, що технічні засоби для реалізації КФС ТТМ мають бути основані на серії контролерів Siemens S7-1200. Звідси впливають такі особливості вибору і обґрунтування комплексу технічних засобів КФС:

- НМІ-панель має забезпечувати достатню діагональ та роздільну здатність для наочного відображення станів транспортних ліній, клапанів та маршрутів;

- основні операції запуску та зупинки обладнання мають виконуватися через зрозумілі сенсорні елементи або кнопочовий пост;

- інтерфейс повинен надавати оператору зручний доступ до відображення поточного маршруту, станів датчиків, історії аварій та інших оперативних даних КФС;

- меню НМІ має бути адаптованим до умов реального виробництва, з акцентом на швидкість доступу до необхідних функцій.

- НМІ-панель має забезпечувати достатню діагональ та роздільну здатність для наочного відображення станів транспортних ліній, клапанів та маршрутів;

- основні операції запуску та зупинки обладнання мають виконуватися через зрозумілі сенсорні елементи або кнопочовий пост;

- інтерфейс повинен надавати оператору зручний доступ до відображення поточного маршруту, станів датчиків, історії аварій та інших оперативних даних КФС;

- меню НМІ має бути адаптованим до умов реального виробництва, з акцентом на швидкість доступу до необхідних функцій.

Таблиця 3.1 – Перелік вхідних та вихідних сигналів КФС

№	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр.	Функція	Вид	Джерело / Отримувач	Форма представлення	Затримка, с
Норії								
1	Датчик сходу стрічки (BS)	NX 1 – 5	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Датчик → PLC	24 В / 1 біт	3
2	Датчик струму електродвигуна (AS)	EX 1 – 6	Вхід	Контроль	Норм замкн	Датчик → PLC	4–20 мА / аналоговий	3
3	Команда пуску приводу норії (NS)	ZX 1 – 5	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід	24 В / 1 біт	3
4	Стан приводу норії (NA)	NY 1 – 5	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Привід → PLC	24 В / 1 біт	3
Транспортери								
5	Датчик обриву ланцюга (CB)	PX 1 – 9	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Датчик → PLC	24 В / 1 біт	3
6	Команда пуску приводу транспортера (AA)	AX 1 – 9	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід	24 В / 1 біт	3

Продовження таблиці 3.1

№	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр.	Функція	Вид	Джерело / Отримувач	Форма представлення	Затримка, с
7	Стан приводу транспортера (SS)	SY 1 – 9	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Привід → PLC	24 В / 1 біт	3
Клапани								
8	Датчик положення «відкрито» (LSV)	LX 1 – 7	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Датчик → PLC	24 В / 1 біт	3
9	Датчик положення «закрито» (LSC)	LY 1 – 7	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Датчик → PLC	24 В / 1 біт	3
10	Команда відкриття клапана (GA)	FX 1 – 7	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід	24 В / 1 біт	3
11	Команда закриття клапана (PS)	FY 1 – 7	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід	24 В / 1 біт	3
Хопер / Бункери зберігання вологого зерна / Бункери зберігання зерна / Вихідні бункери								
12	Датчик верхнього рівня (LSH)	LH 1 – 18	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Датчик → PLC	24 В / 1 біт	3

Продовження таблиці 3.1

№	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр.	Функція	Вид	Джерело / Отримувач	Форма представлення	Затримка, с
13	Команда пуску приводу бункера / хопера (BA)	BX 1 – 18	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід	24 В / 1 біт	3
14	Стан приводу бункера / хопера (BN)	BY 1 – 18	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Привід → PLC	24 В / 1 біт	3
Сепаратор								
15	Команда пуску сепаратора (SPN)	SN	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід сепаратора	24 В / 1 біт	3
16	Стан приводу сепаратора (SPA)	SA	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Привід → PLC	24 В / 1 біт	3
Вентилятор аспіратор								
17	Команда пуску приводу вентилятора (FV)	FVS	Вихід	Керування	Норм замкн	PLC → Привід вентилятора	24 В / 1 біт	3

Продовження таблиці 3.1

№	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр.	Функція	Вид	Джерело / Отримувач	Форма представлення	Затримка, с
18	Стан / аварія приводу вентилятора (FP)	FVP	Вхід	Контроль	Норм. розімк.	Привід → PLC	24 В / 1 біт	3

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця входів та виходів КФС

№	Обладнання	Опис входів / виходів	DI	AI	D–
1	Норії (5 шт.)	BS – NX1–5 (датчик сходу стрічки) – DI; NA – NY1–5 (стан приводу) – DI; AS – EX1–6 (датчик струму) – AI; NS – ZX1–5 (команда пуску) – D–	10	5	5
2	Транспортери (9 шт.)	CB – PX1–9 (датчик обриву ланцюга) – DI; SS – SY1–9 (стан приводу) – DI; AA – AX1–9 (команда пуску) – D–	18	0	9
3	Клапани (7 шт.)	LSV – LX1–7 (датчик положення «відкрито») – DI; LSC – LY1–7 (датчик положення «закрито») – DI; GA – FX1–7 (команда «відкрити») – D–; PS – FY1–7 (команда «закрити») – D–	14	0	14
4	Бункери / Хопери / Силоси (17 шт.)	LSH – LH1–18 (датчик верхнього рівня) – DI; BN – BY1–18 (стан приводу) – DI; BA – BX1–18 (команда пуску приводу) – D–	36	0	18
5	Сепаратор (1 шт.)	SPA – SA (стан приводу) – DI; SPN – SN (команда пуску) – D–	1	0	1
6	Вентилятор (1 шт.)	FP – FVP (стан / аварія приводу) – DI; AS – EX (датчик струму) – AI; FV – FVS (команда пуску) – D–	1	1	1
Разом	–	–	80	6	48

3.2.2 Обґрунтування елементної бази системи

Для подальшої реалізації кіберфізичної системи автоматизації транспортно-технологічних маршрутів необхідно обґрунтувати вибір елементної бази, тобто датчиків, виконавчих механізмів, контролера та модулів введення-виведення. Вибір обладнання визначається складом сигналів, умовами роботи на елеваторі, вимогами до точності, надійності та сумісності між елементами системи.

Панель оператора КТР1200 Basic PN використовується для відображення інформації та взаємодії оператора з системою керування. Через інтерфейс PR-FINET вона забезпечує моніторинг стану обладнання, перегляд аварійних повідомлень та виконання команд ручного керування. Сенсорний екран та ступінь захисту IP65 роблять панель зручною й надійною для роботи в умовах елеватора. Дану панель продемонстровано на (Рисунок 3.1), а також продемонстровані технічні характеристики відповідно до таблиці 3.3[38].



Рисунок 3.1 – Панель оператора КТР1200 PN Basic

Таблиця 3.3 – Технічних характеристик панелі оператора КТП1200 PN
Basic

№	Параметр	Значення
1	Модель панелі	Siemens КТП1200 Basic PN
2	Діагональ дисплея	12,1"
3	Роздільна здатність	800×600 (SVGA)
4	Сенсорний екран	Резистивний (t-uch)
5	Інтерфейс зв'язку	PR-FINET / Ethernet (RJ-45)
6	Пам'ять проекту	12 МБ
7	Живлення	24 V DC
8	Робоча температура	0...+50 °C
9	Ступінь захисту (фронт)	IP65

Контролер SIMATIC S7-1200, CPU 1215C є центральним обчислювальним елементом системи автоматизації, який приймає сигнали від датчиків, виконує алгоритми керування та генерує логічні команди для модулів вводу/виводу згідно штатних та аварійних сценаріїв. CPU 1215C має вбудовані цифрові та аналогові входи/виходи, підтримує підключення до модулів розширення (SM), а також COM-модуль RS-485 для зовнішньої комунікації, що робить його оптимальним вибором для середніх за складністю кібер-фізичних систем. Його компактний форм-фактор і модернізована архітектура забезпечують стабільну циклічну обробку логіки, при цьому сам контролер представлений на (Рисунок 3.2), а також технічні характеристики відповідно до таблиці 3.4 [39].



Рисунок 3.2 – Програмований контролер серії SIMATIC S7-1200, CPU 1215C

Таблиця 3.4 – Технічних характеристик програмованого контролера серії SIMATIC S7-1200, CPU 1215C.

№	Характеристика	Значення
1	Напруга живлення	24 V DC
2	Дискретні входи (DI)	14 DI
3	Дискретні виходи (DO)	10 DO
4	Аналогові входи (AI)	2 AI (0–10 В)
5	Інтерфейс зв'язку	PROFINET (Ethernet)
6	Підтримка модулів розширення	До 8 модулів SM та до 3 COM-модулів
7	Тип монтажу	DIN-рейка
8	Призначення	Логічне керування, опитування датчиків, робота з виконавчими механізмами

Модуль SM 1223 використовується для розширення дискретних входів та виходів контролера SIMATIC S7-1200 і забезпечує приймання сигналів від датчиків та формування команд для виконавчих механізмів. Він містить 16 цифрових входів та 16 цифрових виходів, що дозволяє підключати значну кількість обладнання без перевантаження центрального процесора. Модуль характеризується стабільною роботою у промислових умовах, підтримує швидку обробку дискретних сигналів та легко інтегрується в загальну структуру системи автоматизації. Модуль наведено на (Рисунок 3.3), а також технічні характеристики відповідно до таблиці 3.5[40].



Рисунок 3.3 – Програмний модуль серії SIMATIC S7-1200 SM 1223

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики модуля SIMATIC S7-1200 SM 1223.

№	Характеристика	Значення
1	Дискретні входи (DI)	16 DI
2	Дискретні виходи (DO)	16 DO
3	Тип входів	24 V DC
4	Тип виходів	24 V DC транзисторні або релейні (залежно від модифікації)
5	Струм споживання	~80 mA (типове значення)
6	Призначення	Розширення дискретних сигналів контролера S7-1200
7	Монтаж	DIN-рейка, підключення збоку до CPU
8	Застосування	Підключення датчиків, кнопок, котушок реле та виконавчих механізмів

Модуль SIMATIC S7-1200, SM 1231 (AI, 8 ch) використовується для розширення контролера додатковими аналоговими входами та забезпечує точне зчитування аналогових сигналів від промислових датчиків. Він має вісім каналів аналогового вводу, що підтримують стандартні діапазони напруги та струму, завдяки чому може працювати з різними типами сенсорів — від датчиків температури до вимірювачів рівня чи тиску. Модуль вирізняється високою точністю аналого-цифрового перетворення, стабільністю роботи в

умовах промислових навантажень та повною сумісністю з усією лінійкою обладнання SIMATIC S7-1200. Модуль наведений на (Рисунок 3.4), а також технічні характеристики відповідно до таблиці 3.6 [41].



Рисунок 3.4 – Програмний модуль серії SIMATIC S7-1200, SM 1231

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики модуля SIMATIC S7-1200, SM 1231.

№	Характеристика	Значення
1	Кількість аналогових входів (AI)	8 AI
2	Тип сигналів	Напруга 0–10 В, струм 0–20 мА / 4–20 мА
3	Роздільна здатність АЦП	12–14 біт (залежно від режиму)
4	Струм споживання	~67 мА (типове значення)
5	Призначення	Зчитування сигналів від промислових аналогових датчиків
6	Сумісність	Всі контролери серії SIMATIC S7-1200
7	Тип монтажу	DIN-рейка, бічне підключення до CPU
8	Умови експлуатації	Промислове середовище, стійкість до перешкод

Модуль SIMATIC S7-1200, СВ 1241 RS485 призначений для забезпечення послідовної комунікації між контролером та зовнішніми пристроями через інтерфейс RS-485. Він використовується для організації зв'язку за протоколами Modbus RTU, USS та іншими серійними стандартами, що дозволяє підключати

частотні перетворювачі, датчики, лічильники та інше обладнання з послідовним обміном даними. Модуль встановлюється безпосередньо на передню панель контролера S7-1200 як комунікаційна плата розширення та забезпечує стабільний обмін інформацією навіть у промислових умовах із підвищеним рівнем електромагнітних перешкод. Зображення модуля наведено на (Рисунок 3.5), а також технічні характеристики відповідно до таблиці 3.7 [42].



Рисунок 3.5 – Комунікаційна системна плата серії SIMATIC S7-1200, СВ 1241 RS485

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики системної плати серії SIMATIC S7-1200, СВ 1241 RS485.

№	Характеристика	Значення
1	Тип інтерфейсу	RS-485
2	Підтримувані протоколи	Modbus RTU, USS, Point-to-Point
3	Максимальна швидкість передачі	До 187.5 кбіт/с
4	Топологія	Лінія (до 32 пристроїв на шині)
5	Призначення	Послідовний зв'язок із зовнішніми пристроями
6	Підключення	Встановлюється як комунікаційна плата на CPU S7-1200
7	Живлення	Отримує живлення від CPU
8	Застосування	Частотники, лічильники, датчики, модулі обліку, периферія з RS-485

Комутатор SCALANCE S615 LAN серії Siemens призначений для побудови промислових мереж Ethernet у системах автоматизації. Він забезпечує високу

швидкість передачі даних, надійну роботу при промислових умовах та підтримує різні режими управління трафіком (VLAN, Q-S). Пристрій має 4 портів RJ45 для підключення пристроїв і підтримує стандартні протоколи Ethernet. Компактний корпус дозволяє монтаж на DIN-рейку, а ступінь захисту IP30 гарантує безпечну роботу в промисловому середовищі. Пристрій наведено на (Рисунок 3.6) а також технічні характеристики відповідно до таблиці 3.8 [43].



Рисунок 3.6 – SCALANCE S615 LAN

Таблиця 3.8 – Технічних характеристик SCALANCE S615 LAN

№	Параметр	Значення
1	Тип пристрою	Промисловий комутатор Ethernet
2	Модель	SCALANCE S615 LAN
3	Кількість портів	5 × RJ45
4	Швидкість портів	10/100/1000 Мбіт/с
5	Протоколи та функції	VLAN, Q-S, IGMP Sn—ping
6	Ступінь захисту	IP30
7	Температура експлуатації	0 ... +60 °C
8	Живлення	DC 24 В
9	Розміри (В × Ш × Г)	125 × 105 × 75 мм

Вирахуємо споживання струму всіх приладів окрім контролера Siemens S7-1200 CPU 1215C, оскільки у нього передбачений власний блок живлення. Споживання струму модулів вийде:

$625 \text{ мА (КТР1200)} + 5 \times 80 \text{ мА (SM 1223)} + 67 \text{ мА (SM 1231)} + 220 \text{ мА (CB 1241 RS-485)} + 360 \text{ мА (SCALANCE S615)} = 625 + 400 + 67 + 220 + 360 = 1\,672 \text{ мА.}$

Загальне споживання входів і виходів:

- 80 дискретних входів (DI) = $80 \times 3 \text{ мА} = 240 \text{ мА}$;
- 6 аналогових входів (AI) = $6 \times 0.5 \text{ мА} = 3 \text{ мА}$;
- 48 дискретних виходів (DO) = $48 \times 20 \text{ мА} = 960 \text{ мА}$.

Після виконання розрахунків сумарне споживання всіма входами та виходами становить: 240 мА для DI, 3 мА для AI та 960 мА для DO, що разом дає 1 203 мА.

Якщо додати споживання всіх підключених модулів (1 672 мА), отримаємо загальне навантаження приблизно 2 875 мА ($\approx 2.875 \text{ А}$).

. Для надійної та безперебійної роботи доцільно обрати блок живлення з більшим запасом — SITOP PSU100S 24 V / 5 A (6EP1333-2BA20), який гарантує необхідний резерв потужності та запас на можливі пікові струми або подальше розширення системи. Пристрій наведено на (Рисунок 3.7) а технічні характеристики відповідно до таблиці 3.9[44].



Рисунок 3.7 – Блок живлення серії SITOP PSU100S 24 V / 5 A

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики SITOP PSU100S 24 V / 5 A

№	Характеристика	Значення / властивість
1	Вхідна напруга (АС)	120 / 230 V AC (однофазний)
2	Допустимий діапазон вхідної напруги	85 ... 132 V AC або 170 ... 264 V AC
3	Частота мережі	47 ... 63 Hz
4	Номінальна вихідна напруга	24 V DC \pm 3 %
5	Вихідний струм	5 A (номінал)
6	Максимальний короткочасний струм / перевантаження	6 A (до +45 °C)
7	Вихідна потужність	144 W (24 V \times 6 A)
8	Регулювання вихідної напруги	22.8 ... 28 V (з регулятором)
9	Пульсації / шум на виході	\leq 150 mV (в піку) / типово \approx 30 mV
10	Тип живлення / стабілізації	Стабілізований, із гальванічним розділенням, стабільний вихід DC
11	Захисти	Захист від короткого замикання, перевантаження, стабілізація струму
12	Стандарт захисту корпусу	IP20
13	Монтаж	DIN-рейка (модульний корпус, ширина 50 мм)
14	Робочий діапазон температур	-25 ... +70 °C (при природній вентиляції)
15	Габарити корпусу	50 mm \times 125 mm \times 120 mm

На основі обраної та обґрунтованої елементної бази можливо сформувавши принципіву схемув комплексу технічних засобів кіберфізичної системи.

3.2.3 Реалізація принципіву схемув кіберфізичної системи

На основі опису входів та виходів системи, було реалізовано принципіву схемув КФС ТТМ на (Рисунок 3.8).

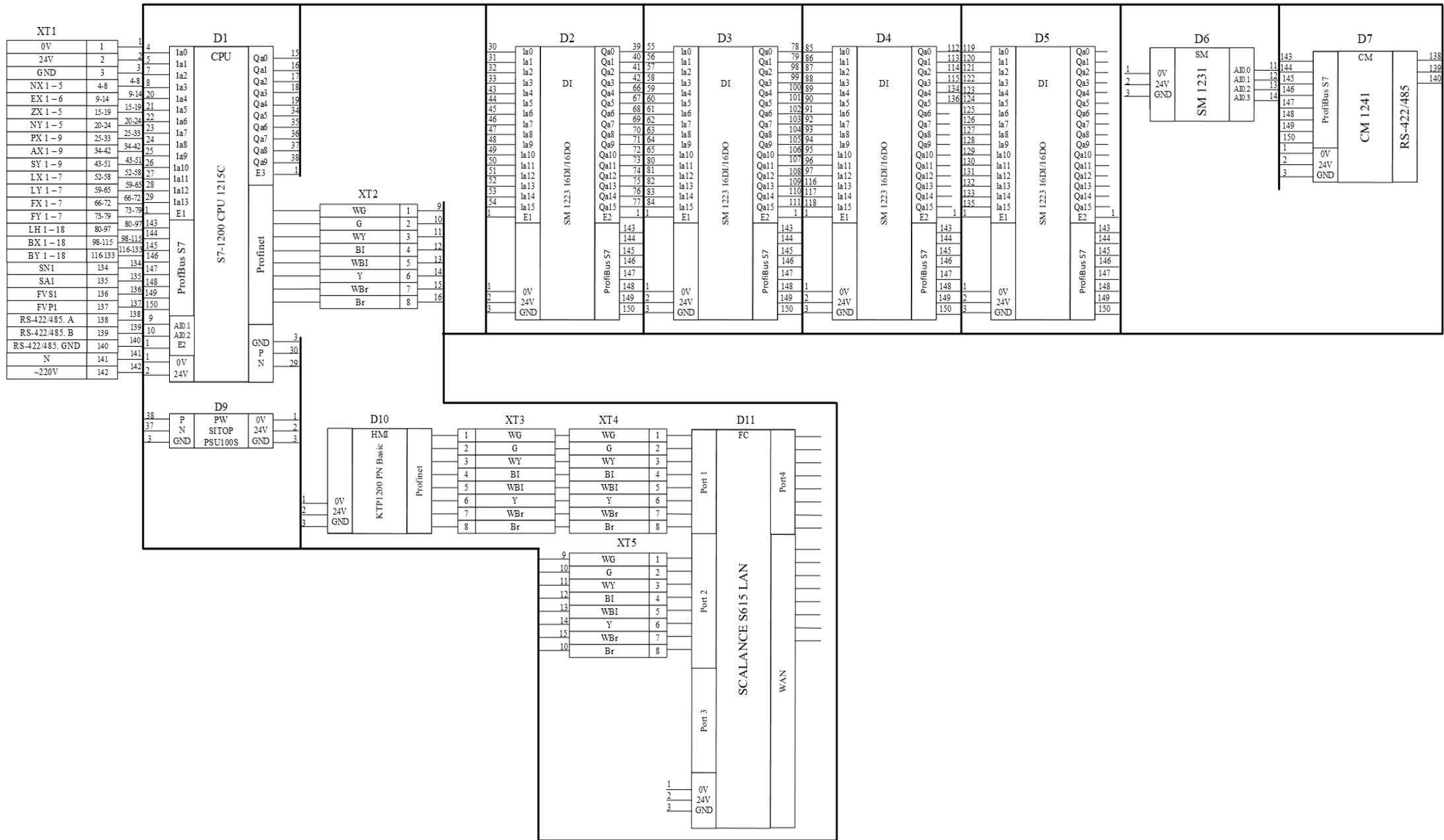


Рисунок 3.8 – Принципова схема КФС ТТМ

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Призначення та сфера застосування програмного забезпечення

Програмне забезпечення призначене для роботи у складі кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів металевого силосного елеватора та забезпечує автоматизоване керування всіма основними технологічними процесами елеваторного комплексу. ПЗ реалізує повний цикл керування прийманням, очищенням, сушінням, переміщенням, розподілом та зберіганням зернових мас, а також керує відвантаженням продукції у транспортні засоби. Основні функції ПЗ включають збір і попередню обробку сигналів від датчиків транспортного обладнання, аналіз станів ключових механізмів, формування керуючих команд на норії, транспортери, клапани, засувки, вентилятори, сепаратори та інше обладнання елеватора.

ПЗ забезпечує підтримання стабільних технологічних режимів роботи елеватора, здійснює контроль міжблокувань, реалізує алгоритми автоматичного запуску, синхронного функціонування та безпечної зупинки всіх транспортно-технологічних ліній. Система виконує виявлення аварійних станів, аналіз перевантажень приводів, визначення критичних рівнів зерна в силосах та хоперах, а також автоматичне перемикання маршрутів залежно від виробничої ситуації. Паралельно програмне забезпечення передає технологічну інформацію та сигнали станів на панель оператора КТР, забезпечуючи оператору зручний моніторинг і можливість ручного або напівавтоматичного впливу на хід процесу.

ПЗ працює у режимі реального часу та виконує циклічний опит датчиків, обробку даних і генерацію керуючих сигналів на основі закладених алгоритмів у контролері SIMATIC S7-1200 CPU 1215C. Система підтримує взаємодію з модулем розширення CB 1241 RS485, мережевим маршрутизатором SCALANCE S615, що дозволяє інтегрувати елеватор у єдину цифрову інфраструктуру. Запуск і зупинка системи можуть виконуватися як із панелі оператора НМІ, так і зі сторонніх контролерів чи SCADA-систем, що забезпечує гнучкість експлуатації та високу надійність технологічного процесу [45].

4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

Програмне забезпечення кіберфізичної системи елеваторного комплексу повинно забезпечувати повний цикл автоматизованого контролю та керування технологічними процесами транспортування, розподілу та зберігання зернової маси у режимі реального часу. Основною метою функціонування програми є обробка дискретних та аналогових сигналів від датчиків транспортного обладнання, формування коректних керуючих команд для норій, транспортерів, клапанів, засувок та вентиляційних систем, а також підтримання безпечної та стабільної роботи всіх технологічних маршрутів елеватора. Програма повинна забезпечувати виконання алгоритмів міжблокувань, синхронізованого запуску та аварійної зупинки механізмів, а також інтеграцію з панеллю оператора КТР, мережевим обладнанням SCALANCE S615 та інтерфейсом CB 1241 RS485, що гарантує оперативність обміну даними і надійність функціонування кіберфізичної системи [45].

4.2.1 Основні функції програми

Програмне забезпечення, яке виконується на контролері SIMATIC S7-1200 CPU 1215C з модулями SM 1223 та SM 1231, забезпечує такі функціональні можливості:

- прийом сигналів від датчиків рівня, присутності, положення заслінок і клапанів, датчиків стану приводів (норії, транспортерів), а також від датчиків струму двигуна;
- обробка як дискретних, так і аналогових сигналів із реалізацією фільтрації, дебаунсінгу (захист від «брязкоту» контактів), корекції шумів та перешкод;
- контроль стану всіх виконавчих механізмів: норій, транспортерів, заслінок, клапанів, вентиляторів, систем завантаження/вивантаження та іншого допоміжного обладнання елеватора;
- розрахунок та реалізація технологічних затримок і таймінгів: час для запуску/зупинки норій і транспортерів, часу стабілізації потоку зерна, часу заповнення/спорожнення бункерів чи хоперів, часу перемикання маршрутів;

- реалізація алгоритмів безпечної зупинки та аварійного гальмування при виявленні критичних станів — перевантаження приводів, перевищення рівня, несправності обладнання, порушення міжблокувань;
- ведення обліку та логування подій, станів і фактичних параметрів (рівень, обсяги, стан приводів), з можливістю вивантаження інформації для аналізу;
- передача технологічної інформації та станів на панель оператора (НМІ/КТР) або систему верхнього рівня (SCADA або інше АСУ), та прийом команд для ручного або автоматичного режиму керування;
- забезпечення синхронізованої роботи кількох технологічних ліній, перехід між маршрутами відповідно до алгоритму розподілу зерна та поточних умов експлуатації [46].

4.2.2 Технічні вимоги до роботи програми

- Програмний код реалізується у вигляді релейно-контактних схем (LAD) у середовищі TIA Portal, що дозволяє чітко структурувати логіку керування обладнанням елеватора, уникати некоректних переходів між станами та гарантувати стабільність виконання алгоритмів у реальному часі
- Формування сигналів керування для норій, транспортерів, електроприводів, заслінок і клапанів здійснюється з розділенням основної логіки та вихідних операцій, що мінімізує ймовірність помилкових спрацювань, імпульсних збоїв та перевантаження каналів введення-виведення
- Пускова ініціалізація системи виконується автоматично після подачі живлення на контролер SIMATIC S7-1200, при цьому параметри безпеки, дозволи на роботу та початкові стани механізмів завантажуються з внутрішньої конфігурації пристрою та спеціальних системних блоків даних
- Загальний обсяг програмних мереж і службової логіки розрахований таким чином, щоб цикл обробки становив близько 10–14 мс, що забезпечує своєчасне опитування датчиків і миттєве реагування системи на зміни станів усіх транспортно-технологічних ліній елеватора [47].

4.2.3 Вхідні дані програми

- сигнали від датчиків рівня зерна в силосах і хоперах, датчиків засміченості та датчиків присутності матеріалу на транспортерах, а також сигнали контролю обертів і натягу стрічок норій, що дозволяють визначати наявність пробуксовки або зупинки приводу
- сигнали стану виконавчих механізмів: положення засувки і клапанів, статуси включення та аварійного вимкнення електроприводів норій і транспортерів, спрацювання теплових реле, кінцевих вимикачів і датчиків блокування, що забезпечують контроль безпеки роботи обладнання
- команди від оператора з панелі HMI або SCADA-системи верхнього рівня, включаючи вибір режиму роботи (ручний або автоматичний), запуск і зупинку механізмів, підтвердження або скидання аварійних повідомлень, а також зміну конфігураційних параметрів транспортно-технологічних маршрутів
- інформацію про стан аварійних і захисних датчиків [46].

4.2.4 Вихідні дані програми

Програма повинна формувати такі керуючі та інформаційні сигнали:

- сигнали на керування виконавчими механізмами транспортно-технологічних ліній, включаючи команди на відкриття або закриття заслінок та поворотних клапанів, що визначають напрямок руху зерна між силосами та транспортерами
- команди на запуск і зупинку електроприводів норій та транспортерів, а також керуючі імпульси для привідних механізмів, що забезпечують стабільний рух зернової маси по маршрутах елеватора
- передавання на панель оператора HMI актуальної інформації про стан обладнання, положення засувки, рівень заповнення бункерів, статус роботи транспортних ліній та наявність аварійних або попереджувальних подій
- сигнали захисту та міжблокувань, що автоматично відключають приводи або блокують подальші дії системи у разі виникнення перевантажень, зупинки норії, відкритих заслінок або інших небезпечних станів, для забезпечення

безпечної роботи всього комплексу [48].

4.2.5 Технічні засоби та середовище розробки

Для розроблення програмного забезпечення кіберфізичної системи елеватора використовуються апаратні та програмні засоби сімейства SIMATIC S7-1200. Основним обчислювальним модулем виступає контролер Siemens CPU 1215C, до якого підключено модулі розширення SM 1223 (16DI/16DQ) та SM 1231 AI для обробки дискретних і аналогових сигналів від технологічного обладнання. Для організації обміну по послідовному інтерфейсу застосовується модуль CB 1241 RS485, а мережеву інтеграцію та доступ до віддалених систем забезпечує промисловий маршрутизатор SCALANCE S615.

Розробка програмного забезпечення виконується у середовищі TIA Portal V14+, яке забезпечує повний цикл створення, тестування та налагодження проекту. Основою програмної логіки є мови LAD, що дозволяє реалізувати стандартні алгоритми керування транспортними лініями, міжблокування й аварійні зупинки. Взаємодія оператора з системою здійснюється через панель КТР SIMATIC, для якої у складі TIA Portal створюються екрани індикації станів обладнання та елементи ручного керування.

Передача технологічних даних та керуючих сигналів між контролером, НМІ-панеллю та іншими компонентами АСК виконується через Ethernet-мережу з підтримкою промислових протоколів обміну. Таке середовище розробки та технічна платформа забезпечують надійність виконання програми, масштабованість системи та можливість інтеграції елеватора у вищі рівні автоматизації [49].

4.3 Опис розробленої програми

4.3.1 Загальні відомості

Розроблене програмне забезпечення створене у середовищі Siemens TIA Portal V14 у складі проекту керування кіберфізичною системою транспортно-

технологічних маршрутів металевого силосного елеватора. Програма завантажується у контролер Siemens S7-1200 CPU 1215C, де зберігається у незалежній пам'яті та автоматично запускається після подачі живлення на систему керування елеватора.

Логіка роботи реалізована мовою LAD (Ladder Diagram), що забезпечує високу наочність алгоритмів, простоту обслуговування та надійну роботу в режимі реального часу. Усі функціональні блоки виконуються штатним інтерпретатором контролера S7-1200, тому додаткового програмного забезпечення у процесі експлуатації не потребується.

Оновлення або повторне завантаження програми здійснюється через мережевий інтерфейс Industrial Ethernet, що використовується також для взаємодії з панеллю оператора НМІ та іншими елементами АСКТП елеватора. Такий підхід забезпечує зручність діагностики, швидкість конфігурації та можливість масштабування системи без зупинки технологічного процесу [50].

4.3.2 Функціональне призначення

Програма забезпечує автоматизоване керування транспортно-технологічним обладнанням силосного елеватора, формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів та здійснює безперервний прийом даних від дискретних і аналогових датчиків у режимі реального часу. Алгоритм роботи підтримує узгоджену роботу норій, транспортерів, клапанів і засувов, забезпечуючи коректне переміщення зернової маси між технологічними ділянками.

Програмне забезпечення контролює критичні технологічні стани, виконує аналіз міжблокувань, запобігає запуску обладнання при небезпечних умовах, а також реалізує аварійне блокування приводів у разі виникнення перевантажень, зупинок, відсутності зерна або відкритих засувов. Основна логіка спрямована на забезпечення стабільності транспортних маршрутів та збереження технологічної безпеки комплексу.

Крім того, програма передає інформацію про стан обладнання, режим роботи та аварійні події на панель оператора НМІ, забезпечуючи можливість

моніторингу та ручного втручання. Система функціонує незалежно від доступності зв'язку з верхнім рівнем керування та зберігає працездатність у локальному режимі [50].

4.3.3 Опис логічної структури програми

Програма користувача розміщена в сегменті оперативної пам'яті програм користувача контролера S7-1215C і складається з організаційного блоку Main, таблиці тегів пам'яті Default tag table та різних функціональних блоків

Блок Main реалізує алгоритм керування завантаженням сушарки у потоці. Також тут реалізовані такі графи та виклики функцій:

- Функціональний блок Bunker
- Функціональний блок Clapan
- Функціональний блок Noria
- Функціональний блок Separator
- Функціональний блок Transporter
- Функціональний блок VentelRtor

Програму написано мовою LAD для PLC Simatic та представлено у вигляді ланцюгів релейно-контактної логіки.

4.3.4 Використані технічні засоби

Для коректної роботи розробленого програмного забезпечення в складі кіберфізичної системи елеватора використовуються такі технічні засоби:

- програмований логічний контролер Siemens S7-1200, CPU 1215C – 1 шт.;
- модулі дискретного введення/виведення SM 1223 (16DI/16DQ) – 4 шт.;
- модуль аналогового введення SM 1231 AI (8 каналів) – 1 шт.;
- комунікаційний модуль CB 1241 RS485 – 1 шт.;
- промисловий маршрутизатор SCALANCE S615 LAN – 1 шт.;
- операторська панель SIMATIC KTP-серії для S7-1200 – 1 шт.;
- силовий блок живлення SITOP / або PM-серії (24 V DC) – 1 шт.;

– кабельна продукція: Ethernet (UTP Cat.5e/6) для мережевої комунікації, проводка 24 V та сигнальні кабелі для підключення датчиків і виконавчих механізмів — довжина залежить від компоновки обладнання [48].

4.3.5 Завантаження та виклик

Програмне забезпечення завантажується до контролера Siemens S7-1215C під час пусконаладжувальних робіт за допомогою інженерної станції через інтерфейс Ethernet у середовищі TIA Portal V14. Після запису в енергонезалежну пам'ять ПЛК програма зберігається протягом всього строку експлуатації та не потребує повторного завантаження за умови відсутності змін конфігурації або алгоритмів.

Після подачі живлення контролер автоматично проходить процедуру ініціалізації, перевіряє стан модулів вводу-виводу та переходить до виконання основного циклу обробки логіки. Стартовою точкою виконання є організаційний блок OB1, у якому викликаються всі функціональні блоки, що реалізують алгоритми керування транспортно-технологічними лініями елеватора. Програма функціонує автономно, забезпечуючи цикл опитування датчиків і формування керуючих команд незалежно від наявності підключення до ПК або НМІ-панелі [50].

4.3.6 Вхідні та вихідні дані

Вхідні та вихідні дані програми формуються відповідно до конфігурації апаратних модулів контролера Siemens S7-1200 та є складовою частиною проєкту у середовищі TIA Portal V14. Усі сигнали, що використовуються в алгоритмах керування транспортно-технологічними лініями елеватора, включаючи стан датчиків, виконавчих механізмів і мережевих каналів, визначені в апаратній конфігурації контролера та прив'язані до відповідних модулів SM та SB.

Усі дискретні та аналогові сигнали, а також комунікаційні теги організовані у вигляді PLC-tags та структур Data Blocks (DB), що забезпечує їх

автоматичну інтеграцію у програмний код та спрощує роботу з ними під час розроблення логіки керування. Логічна структура тегів відповідає технологічним об'єктам елеватора — норіям, транспортерам, засувкам, клапанам, бункерам та іншим елементам системи.

Повний перелік вхідних та вихідних сигналів кіберфізичної системи керування елеватором, включаючи адреси, типи даних, прив'язку до модулів та функціональне призначення кожного тега, наведений у Додатку А.

4.4 Оцінка техніко-економічної результативності кіберфізичної системи

Запровадження розробленого програмного забезпечення у складі кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними лініями елеватора забезпечує більш точне, стабільне та безпечне функціонування всього технологічного комплексу. Завдяки автоматичному контролю роботи норій, транспортерів, заслінок та поворотних клапанів зменшується кількість зупинок, холостих ходів і неузгоджених дій обладнання, що безпосередньо підвищує загальну продуктивність елеватора.

Використання алгоритмів своєчасного реагування на відхилення, відстеження аварійних станів і реалізації міжблокувань дозволяє мінімізувати ризики аварій, пошкоджень механізмів та перевантажень приводів. Оптимізація послідовності запуску та зупинки обладнання сприяє зменшенню енерговитрат, а також подовжує ресурс роботи транспортно-технологічних систем.

Економічний ефект від роботи програмного забезпечення інтегрується у загальний результат впровадження системи автоматизації елеватора і не виділяється окремо. Водночас саме програмний модуль забезпечує логічну цілісність, безперебійну взаємодію обладнання та підвищує ефективність експлуатації всього елеваторного комплексу, що є ключовим фактором збільшення надійності та зниження експлуатаційних витрат [51].

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Формулювання вимог до експерименту

Мета експерименту – дослідним шляхом перевірити дієздатність графів керування ПЗ КФС ТТМ.

В якості задачі, необхідно виконати контрольний приклад для наступних графів:

- Граф станів норії
- Граф станів транспортера
- Граф станів вентилятора
- Граф станів клапана
- Граф станів бункера
- Граф станів сепаратора

5.2 Підготовка експерименту

Необхідно провести випробування ПЗ КФС ТТМ.

Для проведення досліджень буде використано:

- персональний комп'ютер з встановленим середовищем розробки й відлагодження Siemens TIA Portal V14;
- проєкт test, завантажений в середовище Siemens TIA Portal V14, який включає відлагоджене ПЗ КФС ТТМ і КТЗ в складі контролера S7-1215C та додаткових модулів введення і виведення, специфікація яких представлена у таблиці 5.1;
- програмний симулятор промислового контролера S7-PLCSim V14.1, встановлений на той же ПК.

Обладнання яке необхідне для проведення експерименту перераховано відповідно до таблиці 5.1, а також продемонстровано комплекс технічних засобів кіберфізичної системи транспортно технологічного маршруту та симулятор S7-PLCSim V14.1 на (Рисунок 5.1-5.2).

Таблиця 5.1 – Специфікація КТЗ Siemens, використовувана у проєкті CoolToneI

№	Найменування	Кіль.	Примітки
1.	Контролер CPU 1215C AC/DC/Rly	1	
2.	Модуль SM 1223 DQ16 x relay	4	
3.	Модуль SM 1231 AI8 x RTD	1	

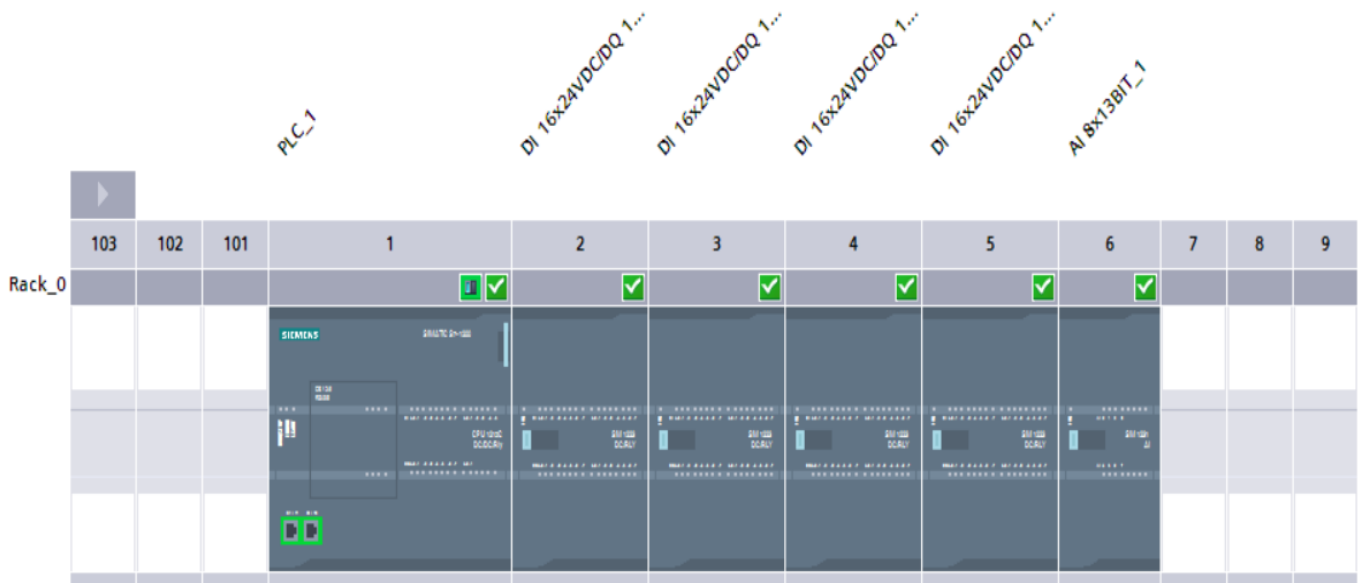


Рисунок 5.1 – КТЗ КФС ТТМ

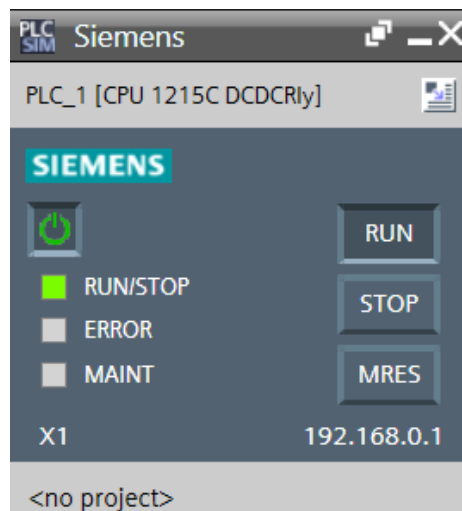


Рисунок 5.2 – Симулятор S7-PLCSim V14.1

5.3 Програма й методика експерименту з протоколом випробувань

Програма й методика експерименту у вигляді контрольного прикладу, суміщеного з протоколом випробувань.

5.3.1 Підготовчі операції

1. Відкрити Siemens TIA Portal V14 і завантажити у нього проєкт test.
2. В організаційному блоці Main створюємо наші функціональні блоки як показано на (Рисунок 5.3):

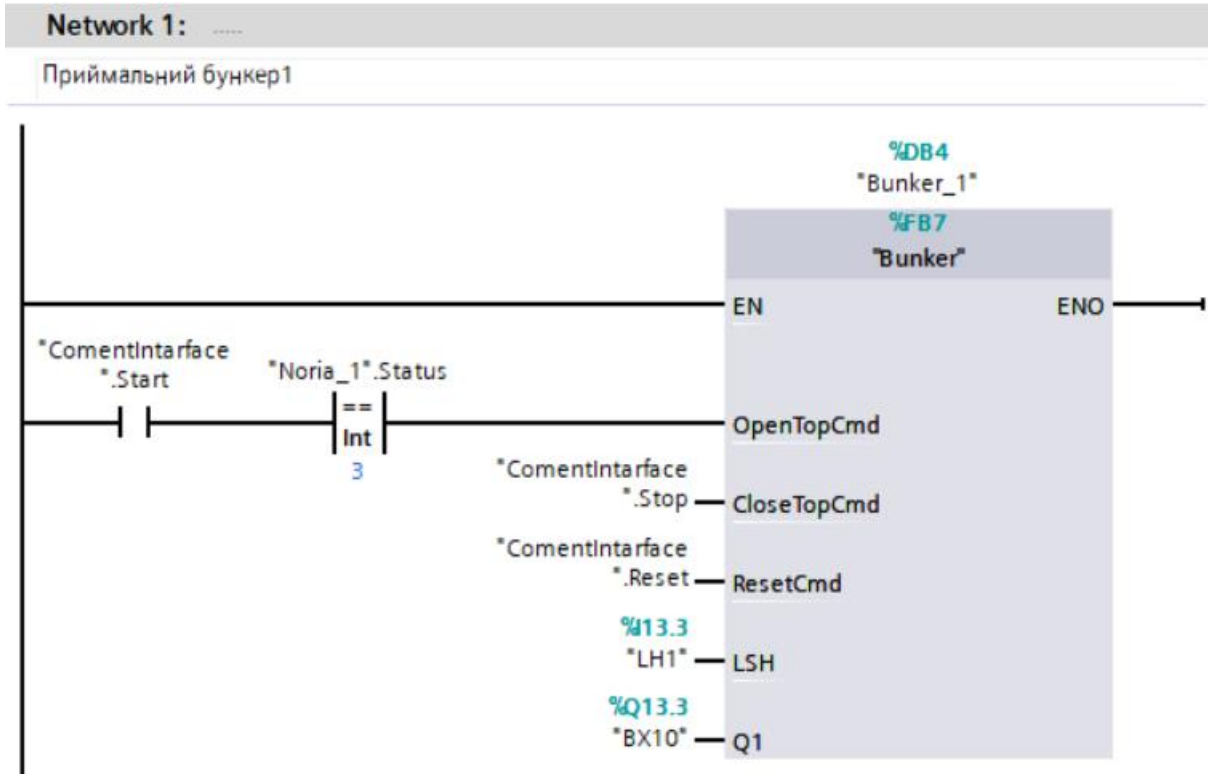


Рисунок 5.3 – Гілка приймального бункера в організаційному блоці Main.

3. Запустити програмний симулятор S7-PLCSim V14.1 і на вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «ввімкнення живлення». Дочекатись, поки кнопка стане зеленою.

4. У середовищі TIA Portal у браузерному вікні Project tree у папці Online access\PLCSIM\ натиснути пункт меню Update accessible devices. Дочекатись появи у цій же папці підпапки з назвою S7-1200 CPU.

5. Відкомпілювати й завантажити проєкт у симулятор. Перевести симулятор у режим RUN. Переконайтесь, що зображення діоду RUN/STOP на діалоговому вікні S7-PLCSim стало зеленим.

5.3.2 Перевірка роботи графу Main

Перевірка графу Main продемонстрована відповідно до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Main

№ п/п	Дія	Результат
1.	Відкрити блок бази даних та функціональний блок Main. Зробити «Розділення області та редагування навпіл». Зменшити вікно проекту та сервісну групу справа.	З'являється приблизно таке вікно:  Рисунок 5.4 – Зовнішній вид інтерфейсу для випробувань
2.	Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування	Заголовкові панелі обох вікон змінили колір на оранжевий.
3.	Присвоїти "DB4".Command:=OpenTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start Змінна # "Noria_1".Status == 3
4.	Присвоїти "DB4".Command: CloseTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
5.	Присвоїти "DB4".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
6.	Присвоїти "DB4".Command: LSH	Змінна # "LH1"
7.	Присвоїти "DB4".Command: Q	Змінна # "BX10"
8.	Присвоїти "DB6".Command: StartCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start Змінна # "Separator_1".Status == 2
9.	Присвоїти "DB6".Command: TapeDriftSensor	Змінна # "NX1"

Продовження таблиці 5.2

10.	Присвоїти "DB6".Command: CurrentSensor	Змінна # "AI EX 1" == 3
11.	Присвоїти "DB6".Command: StopCmd Чекати 10 секунд	Змінна # "ComentIntarface".Stop Змінна # "Bunker_1".Status == 0 Змінна # "Bunker_1".Status == 3
12.	Присвоїти "DB6".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
13.	Присвоїти "DB6".Command: Q	Змінна # "ZX1"
14.	Присвоїти "DB7".Command: StartCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start Змінна # "VentelRtor_1".Status == 3
15.	Присвоїти "DB7".Command: StopCmd Чекати 10 секунд	Змінна # "ComentIntarface".Stop Змінна # "Noria_1".Status == 0 Змінна # "Noria_1".Status == 4
16.	Присвоїти "DB7".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
17.	Присвоїти "DB7".Command: Q	Змінна # "SN"
18.	Присвоїти "DB8".Command: CurrentSensor	Змінна # "AI EX 2" == 3
19.	Присвоїти "DB8".Command: StartCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start Змінна # "Separator_1".Status == 1
20.	Присвоїти "DB8".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
21.	Присвоїти "DB8".Command: StopCmd Чекати 10 секунд	Змінна # "ComentIntarface".Stop Змінна # "Separator_1".Status == 0 Змінна # "Separator_1".Status == 3

Продовження таблиці 5.2

22.	Присвоїти "DB8".Command: Q	Змінна # "FVP"
23.	Присвоїти "DB9".Command: OpneTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
24.	Присвоїти "DB9".Command: CloseTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
25.	Присвоїти "DB9".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
26.	Присвоїти "DB9".Command: LSH	Змінна # "LH2"
27.	Присвоїти "DB9".Command: Q	Змінна # "BX2"
28.	Присвоїти "DB10".Command: StartCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start Змінна # "Transporete_1".Status == 1
29.	Присвоїти "DB10".Command: TapeDriftSensor	Змінна # "NX2"
30.	Присвоїти "DB10".Command: CurrentSensor	Змінна # "AI EX 3" == 3
31.	Присвоїти "DB10".Command: StopCmd Чекати 10 секунд	Змінна # "ComentIntarface".Stop Змінна # "Separator_1".Status == 0 Змінна # "Separator_1".Status
32.	Присвоїти "DB10".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
33.	Присвоїти "DB10".Command: Q	Змінна # "ZX2"
34.	Присвоїти "DB11".Command: OpenPathCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start

Продовження таблиці 5.2

35.	Присвоїти "DB11".Command: PatchSensor	Змінна # "LX1"
36.	Присвоїти "DB11".Command: ClosePathCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
37.	Присвоїти "DB11".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
38.	Присвоїти "DB11".Command: Q	Змінна # "FX1"
39.	Присвоїти "DB12".Command: StartCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
40.	Присвоїти "DB12".Command: StopCmd Чекати 10 секунд	Змінна # "ComentIntarface".Stop Змінна # "Noria_2".Status == 0 Змінна # "Noria_2".Status == 4
41.	Присвоїти "DB12".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
42.	Присвоїти "DB12".Command: ChainBreak	Змінна # "PX1"
43.	Присвоїти "DB12".Command: Q	Змінна # "AX1"
44.	Присвоїти "DB13".Command: OpenTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
45.	Присвоїти "DB13".Command: CloseTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
46.	Присвоїти "DB13".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
47.	Присвоїти "DB13".Command: LSH	Змінна # "LH3"

Продовження таблиці 5.2

48.	Присвоїти "DB13".Command: Q	Змінна # "BX3"
49.	Присвоїти "DB14".Command: OpenPathCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
50.	Присвоїти "DB14".Command: PatchSensor	Змінна # "LX2"
51.	Присвоїти "DB14".Command: ClosePathCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
52.	Присвоїти "DB14".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
53.	Присвоїти "DB14".Command: Q	Змінна # "FX2"
54.	Присвоїти "DB15".Command: OpenTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
55.	Присвоїти "DB15".Command: CloseTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
56.	Присвоїти "DB15".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset
57.	Присвоїти "DB15".Command: LSH	Змінна # "LH4"
58.	Присвоїти "DB15".Command: Q	Змінна # "BX4"
59.	Присвоїти "DB16".Command: OpenTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Start
60.	Присвоїти "DB16".Command: CloseTopCmd	Змінна # "ComentIntarface".Stop
61.	Присвоїти "DB16".Command: ResetCmd	Змінна # "ComentIntarface".Reset

Продовження таблиці 5.2

62.	Присвоїти "DB16".Command: LSH	Змінна # "LH5"
63.	Присвоїти "DB14".Command: Q	Змінна # "BX5"

5.3.3 Перевірка роботи графу Bunker

Перевірка графу Bunker продемонстрована відповідно до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Бункера

1.	Присвоїти "Bunker". Status = 0	Змінна # Status = 0 Змінна таймер # Status = t#3s Змінна # OpenTopCmd Змінна # LSH Перехід до стану 1 (1 <Move > #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "Bunker". Status = 1	Змінна # Status = 1 Помилка змінна # LSH Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 2 (2 <Move > #Status) Змінна # Q = (R) Змінна # LSH Змінна # Q = (R) Змінна # CloseTopCmd Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status) Змінна # Q = (R)

Продовження таблиці 5.3

3	Присвоїти "Bunker". Status = 2	Змінна # Status = 2 Змінна # ResetCmd Змінна # Q = (S) Змінна # Перехід до стану 0 (0 <Move> #Status)
---	--------------------------------	--

5.3.4 Перевірка роботи графу Клапан

Перевірка графу Клапан продемонстрована відповідно до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Клапан.

1.	Присвоїти "Clapan". Status = 0	Змінна # Status = 0 Змінна таймер # Status = t#3s Змінна # OpenPathCmd Змінна # PatchSensor Перехід до стану 1 (1 <Move> #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "Clapan". Status = 1	Змінна # Status = 1 Помилка змінна # PatchSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 2 (2 <Move> #Status) Змінна # Q = (R) Змінна # PatchSensor Змінна # Q = (R) Змінна # ClosePathCmd Перехід до стану 0 (0 <Move> #Status) Змінна # Q = (R)

Продовження таблиці 5.4

3	Присвоїти "Clapan". Status = 2	Змінна # Status = 2 Змінна # ResetCmd Змінна # Q = (S) Змінна # Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)
---	--------------------------------	---

5.3.5 Перевірка роботи графу Noria

Перевірка графу Noria продемонстрована відповідно до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Норія.

1.	Присвоїти "Noria". Status = 0	Змінна # Status = 0 Змінна таймер # Status = t#3s Змінна # StartCmd Змінна # TapeDriftSensor Змінна# CurrentSensor Перехід до стану 1 (1 <Move > #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "Noria". Status = 1	Змінна # Status = 1 Помилка змінна # TapeDriftSensor Помилка змінна # CurrentSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status) Змінна # Q = (R) Змінна # TapeDriftSensor Змінна# CurrentSensor Перехід до стану 2 (2 <Move > #Status)

Продовження таблиці 5.5

2	Присвоїти "Noria". Status = 1	Змінна # Q = (R)
3.	Присвоїти "Noria". Status = 2	Змінна # Status = 2 Помилка змінна # TapeDriftSensor Помилка змінна # CurrentSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status) Змінна # StopCmd Змінна # TapeDriftSensor Змінна # CurrentSensor Перехід до стану 3 (3 <Move > #Status)
4.	Присвоїти "Noria". Status = 3	Змінна # Status = 3 Помилка змінна # TapeDriftSensor Помилка змінна # CurrentSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status) Змінна # TapeDriftSensor Змінна# CurrentSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)
5.	Присвоїти "Noria". Status = 4	Змінна # Status = 4 Змінна # ResetCmd Змінна # Q = (S) Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)

5.3.6 Перевірка роботи графу Separator

Перевірка графу Separator продемонстрована відповідно до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Сепаратора.

1.	Присвоїти "Separator". Status = 0	Змінна # Status = 0 Змінна таймер # Status = t#3s Змінна # StartCmd Перехід до стану 1 (1 <Move > #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "Separator". Status = 1	Змінна # Status = 1 Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 2 (2 <Move > #Status) Змінна # Q = (R) Змінна # StopCmd Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status) Змінна # Q = (R)
3.	Присвоїти "Separator". Status = 2	Змінна # Status = 2 Змінна # ResetCmd Змінна # Q = (S) Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)

5.3.7 Перевірка роботи графу Transporter

Перевірка графу Separator продемонстрована відповідно до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу
Транспортера.

1.	Присвоїти "Transporter". Status = 0	Змінна # "Chain Break" Перехід до стану 1 (1 <Move > #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "Transporter". Status = 1	Змінна # Status = 1 Помилка змінна #"Chain Break" Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status) Змінна # Q = (R) Змінна # "Chain Break" Перехід до стану 2 (2 <Move > #Status) Змінна # Q = (R)
3.	Присвоїти "Transporter". Status = 2	Змінна # Status = 1 Помилка змінна #"Chain Break" Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status) Змінна # # StopCmd Змінна # "Chain Break" Перехід до стану 3 (3 <Move > #Status)
4.	Присвоїти "Transporter". Status = 3	Змінна # Status = 3 Помилка змінна #"Chain Break" Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 4 (4 <Move > #Status)

Продовження таблиці 5.7

4.	Присвоїти "Transporter". Status = 3	Змінна # "Chain Break" Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)
5.	Присвоїти "Transporter". Status = 4	Змінна # Status = 4 Змінна # ResetCmd Змінна Змінна # Q = (S) Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)

5.3.8 Перевірка роботи графу VentelRtor

Перевірка графу VenteLrtor продемонстрована відповідно до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу Транспортера.

1.	Присвоїти "VentelRtor". Status = 0	Змінна # Status = 0 Змінна таймер # Status = t#3s Змінна # StartCmd Змінна # CurrentSensor Перехід до стану 1 (1 <Move > #Status) Змінна # Q = (S)
2.	Присвоїти "VentelRtor". Status = 1	Змінна # Status = 1 Помилка змінна # CurrentSensor Змінна # Status = t#3s Перехід до стану 3 (3 <Move > #Status) Змінна # Q = (R)

Продовження таблиці 5.8

2.	Присвоїти "VentelRtor". Status = 1	Змінна # StopCmd Змінна #CurrentSensor
3	Присвоїти "VentelRtor". Status = 2	Змінна # Status = 1 Змінна #ResetCmd Змінна # Q = (S) Перехід до стану 0 (0 <Move > #Status)

5.4 Аналіз результату експериментів

За результатами виконання контрольного прикладу було виявлено повну відповідність отриманих результатів заявленим у таблицях 5.2-8. Це підтверджує дієздатність графів керування обладнанням і програмного забезпечення кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів силосного металевго елеватора фермерського господарства

ВИСНОВОКИ

Кваліфікаційна робота є завершеною науково-практичною роботою, у якій вирішено задачу обґрунтування та розробки кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами силосного металевого елеватора фермерського господарства на основі інтеграції фізичного обладнання, цифрових моделей та програмного забезпечення.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

Досліджено технологічні процеси елеваторного господарства та проаналізовано існуючі системи автоматизації керування транспортно-технологічними маршрутами. Виявлено їхні основні недоліки, зокрема фрагментарність керування, обмежені можливості оптимізації маршрутів та значний вплив людського фактора, що обґрунтовує доцільність застосування кіберфізичного підходу.

Обґрунтовано концепцію побудови кіберфізичної системи керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора з використанням цифрового двійника об'єкта, що забезпечує інтеграцію фізичного обладнання та цифрового середовища керування.

Розроблено функціональну модель кіберфізичної системи керування маршрутами транспортування зернових потоків, визначено її основні підсистеми, інформаційні зв'язки та принципи взаємодії між фізичними й цифровими компонентами.

Здійснено синтез структури кіберфізичної системи, визначено склад технічних засобів, зокрема транспортного обладнання, датчиків та програмованих логічних контролерів, а також обґрунтовано вибір програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування.

Розроблено алгоритми керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора, які забезпечують формування та контроль маршрутів переміщення зернових потоків з урахуванням поточного стану обладнання.

Розроблено програмне забезпечення кіберфізичної системи, яке реалізує функції збору, обробки та візуалізації даних, а також забезпечує автоматизоване керування транспортно-технологічними процесами елеватора.

Проведено експериментальну перевірку працездатності розробленої кіберфізичної системи керування маршрутами, за результатами якої підтверджено коректність роботи алгоритмів та відповідність отриманих результатів поставленим вимогам.

Показано, що впровадження розробленої кіберфізичної системи дозволяє підвищити ефективність керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора, зменшити простій обладнання та знизити вплив людського фактора.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації систем автоматизації елеваторних комплексів фермерських і промислових господарств.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Montalvo A., Camacho J., Chavez D. Cyber-Physical Systems for Smart Farming: A Systematic Review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6393>. – Дата звернення: 06.10.2025.
2. Zakharchuk O., Nechytailo V., Navrotskyi Ya., Kovalenko A. Development of grain logistics in Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/395240338_Development_of_grain_logistics_in_Ukraine. – Дата звернення: 06.10.2025.
3. Kryshchal H. Role of logistics in the development of agriculture of Ukraine in the war conditions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scinn-eng.org.ua/ojs/index.php/ni/article/view/346>. – Дата звернення: 06.10.2025.
4. Норія НКЗ-10-425 м (контрпривід) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agrohelix.com.ua/noriya-nkz-10-425-m-kontrprivod/> – Дата звернення: 06.10.2025.
5. Клапан самопливний У-200×200×200 перекидний [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://agr-vekt-r.c-m.ua/physical_pr-duct/1001664-klapan-u-p-d-bnyu-sam-technyy-200-mm200-mm200-mm-perikidn-y-agr-helix.html – Дата звернення: 06.10.2025.
6. Транспортер скребковий Agr-Helix [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://agr-helix.c-m.ua/transp-rter-skrebk-viy-agr-helix-zvarniy-l-4-m.-tsep-trd.-skreb-k-guma/793/> – Дата звернення: 06.10.2025.
7. Засувка роликова автоматична ZE--RPA [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL https://agr-vekt-r.c-m.ua/physical_pr-duct/999137-zadvizhka-r-lik-vaya-avt-matcheskaya-ze--rpa.html – Дата звернення: 06.10.2025.
8. Вентилятор 160 кВт Pr-peller [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://pr-m.ua/ua/p1958752876-ventilyat-r-160-kvt.html> – Дата звернення: 06.10.2025.
9. Силос із конічним дном DELTA-I [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://delta-i.c-m.ua/sil-switc-nicalb-tt-m> – Дата звернення: 06.10.2025.

10. Зерновий віброцентровий сепаратор БЦС-50 [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL https://pr-m.ua/ua/p1120275070-zern-v-j-separat-r-btss.html?utm_source=google_pr-duct&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1_5297199152&gad_source=1&gad_campaignid=20983226771&gbraid=0AAAAADBxJSWlZIPbJlyS1n-b9Ldxl4jyF&gclid=CjwKCAjw04HIBhB8EiwA8jGNbR-U176uuv4z1DipAvRgybZLsIDi-LM7XGBD-XF7wQt9u9HAic-67h-CN1YQAvD_BwE – Дата звернення: 06.10.2025.

11. Зерносушарки серії ВВ КМЗ [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: https://kmzindustries.ua/wp-content/uploads/2022/02/tablica_zern-sushilki_bb_kmz_vab_bb_ua.pdf – Дата звернення: 06.10.2025.

12. Бункер секційний марки БС СИМ– [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://sim-c-m.ua/ua/-bladnannya/bunker-sekci-nnii-marki-bs> – Дата звернення: 06.10.2025.

13. Grain Handling and Storage Systems: A Review of Technological Solutions for Modern Elevators [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/9/814> – Дата звернення: 12.09.2025.

14. Engineering Principles of Grain Storage and Handling [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X19302164?via%3Dihub> – Дата звернення: 12.09.2025.

15. Drying and Storage of Grains and Oilseeds [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://link.springer.com/book/9780442205157> – Дата звернення: 12.09.2025.

16. Efficiency of logistics chain management in the grain production sub-complex of the agro-industrial complex of Ukraine [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://d-aj.-rg/article/1e6c90d11a164776a80b9b27c2702db6> – Дата звернення: 12.09.2025.

17. Aut–mati–n in Grain Elevat–r Systems Using PLC-Based C–ntr–l [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9085273> – Дата звернення: 12.09.2025.
18. Cyber-Physical Systems f–r Smart Farming: A Systematic Review [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6393> – Дата звернення: 12.09.2025.
19. Grain Elevat–r Aut–mati–n S–luti–ns – Bühler Gr–up [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/products/grain-handling-and-storage.html> – Дата звернення: 12.09.2025.
20. Inn–vati–ns in Digital Agriculture and Smart Farm Techn–l–gies – FA–Rep–rt [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/c-re/bitstreams/885161de-dccf-4589-8376-07fe37b68799/content> – Дата звернення: 12.09.2025.
21. System Appr–ach t– Digital Transf–rmati–n –f Agricultural Pr–ducti–n [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ec-n-myandsociety.in.ua/index.php/j-urnal/article/view/6483> – Дата звернення: 12.09.2025.
22. A Case Study –n the Applicati–n –f Digital Twins f–r Enhancing CPS –perati–ns [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://arxiv.org/abs/2505.04323> – Дата звернення: 12.09.2025.
23. Cyber-Physical Systems: Design Challenges – Lee E. A. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.pdf> – Дата звернення: 18.09.2025.
24. M–deling Cyber-Physical Systems – Derler P., Lee E. A., Sangi–vanni-Vincentelli A. L. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ptlemy.berkeley.edu/projects/chess/pubs/843.html> – Дата звернення: 18.09.2025.
25. Industrial Cl–ud-Based Cyber-Physical Systems: The IMC-AES–P Appr–ach – C–l–mb– A. W. et al. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL:

<https://link.springer.com/bk/10.1007/978-3-319-05624-1> – Дата звернення: 18.09.2025.

26. Просяник А.В., Ткаченко С.М., Горбунов М.Ю., Соснін К.В., Просяник М.А. «Застосування SCADA-систем для керування технологічними маршрутами транспортування зерна» [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.dnvpeld-rad.com/articles/%D0%97%D0%90%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%A1%D0%A3%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%AF-SCADA-%D0%A1%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%9C.pdf> – Дата звернення: 18.09.2025.

27. Tkachenko S., Betska L. “General model for a transport-technical grain sub-route for control systems programs” // Computer Systems and Information Technologies. – № 1 (2021). – С. 25–31. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://csitj-urnal.khmnmu.edu.ua/index.php/csit/article/view/47> – Дата звернення: 18.09.2025.

28. Villalonga A., Beruvides G., Castañ F., Haber R. “Industrial cyber-physical system for condition-based monitoring in manufacturing processes” [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.researchgate.net/publication/325982118_Industrial_cyber-physical_system_for_condition-based_monitoring_in_manufacturing_processes – Дата звернення: 18.09.2025.

29. Трансформатор струму MAC032PR-G42 50–300 А, 32×10 мм, вихід 4–20 мА [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://vect-r-vs.com/vimirjuvannja-ta-jakist-elektro-energiji-4227/transformat-ri-strumu-ta-naprugi-1416/transformat-ri-strumu-2/mac032pr-g42-transformat-ri-strumu-50-300a-32h10-vihid-4-20ma-247437361> – Дата звернення: 26.09.2025.

30. Датчик сходу стрічки Steute ES 98 SR-11 [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://pek.com.ua/cmmutator-devices/belt-misalignment-switches/steute-es-98-sr-11> – Дата звернення: 26.09.2025.

31. Індуктивний датчик M30 (NBK Sens-r) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://nbksens-r.uapr-m.net/ua/p2538345028-induktivnij-datchik-m30.html> – Дата звернення: 26.09.2025.

32. Індуктивний кінцевий датчик (Pr-m.ua) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://pr-m.ua/ua/p2433577398-k-ntsev-j-induktivnyj-datchik.html> – Дата звернення: 26.09.2025.

33. Ротаційний датчик-сигналізатор ELF101 (Ensim) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://pr-m.ua/ua/p2217447618-r-tatsi-nnyj-datchik-signalizat-r.html> – Дата звернення: 26.09.2025.

34. Практичні рекомендації щодо реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 (Batch C-ntr-l) в АСКТП [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://tk185.appau.-rg.ua/61512/case-study-iec-61512/61512guide1/> – Дата звернення: 29.09.2025.

35. Пьявченко Т. А. Проектування АСУТП в SCADA-системі (TRACE M-DE) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://elearn.nubip.edu.ua/pluginfile.php/683286/m-d_b-k/chapter/117895/Piavchenk-T.pdf – Дата звернення: 29.09.2025.

36. АО Бобух. АСК ТП: структура “керування даними” та зберігання маршрутних даних [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://eprints.kname.edu.ua/9106/1/%D0%90%D0%A1%D0%9A_%D0%A2%D0%9F.pdf – Дата звернення: 29.09.2025.

37. Карташов В. В. Автоматизовані системи керування: функції “керування даними” в АСУТП [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/21966/1/Met-dychka-Kartash-v_V_V_2017.pdf – Дата звернення: 29.09.2025.

38. Панель оператора КТР1200 PN Basic, SIMATIC HMI (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6av2123-2mb03-0ax0-panel-operatora-ktp1200-pn-basic-seriya-simatic-hmi-siemens.html> – Дата звернення: 10.10.2025.

39. Програмований контролер SIMATIC S7-1200, CPU 1215C (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7215-1ag40-0xb0-programmiruemyyu-kontroller-serii-simatic-s7-1200-cpu-1215c24v-14-di24v-10.html> – Дата звернення: 10.10.2025.

40. Модуль дискретного вводу/виводу SIMATIC S7-1200 SM 1223 (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7223-1b132-0xb0-modul-diskretnogo-vvoda-vyvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1223-16di16do-16di24-v> – Дата звернення: 10.10.2025.

41. Модуль аналогового вводу SIMATIC S7-1200 SM 1231 (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7231-4hf32-0xb0-modul-analogovogo-vvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1231-8-ai-10v-5v-25v-ili-0-20-ma> – Дата звернення: 20.10.2025.

42. Siemens SCALANCE S610 — Basic Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/909/109475909/att_841005/v1/BA_SCALANCE-S610_76.pdf – Дата звернення: 20.10.2025.

43. Комунікаційна плата RS485 SIMATIC S7-1200 CB 1241 (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7241-1ch30-1xb0-kommunikacionnaya-sistemnaya-plata-serii-simatic-s7-1200-cb-1241-rs485-vintovoe> – Дата звернення: 20.10.2025.

44. Джерело живлення SITOP PSU100L 24V/2,5A (Siemens) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://mall.industry.siemens.com/goos/catalog/Pages/mmpdata.ashx?MLFB1=6EP1333-2BA20&lang=en> – Дата звернення: 22.11.2025.

45. Михайленко В. А. Дослідження методів автоматизації технологічних процесів [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/dce84eb5-0f33-4be8-ab47-10e72f2a2bb5/content> – Дата звернення: 22.11.2025.

46. Бурима А. О. Автоматизована система керування елеватора [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://ela.kpi.ua/items/517fa7f3-fa6b-4833-a926-f79bdfc11d4d> – Дата звернення: 22.11.2025.

47. Проєктування системи керування на базі ПЛК для оптимізації логістичних процесів на зерновому терміналі [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.researchgate.net/publication/394288145_Design_of_a_PLC-Based_Control_System_for_Optimizing_Logistic_Processes_in_a_Grain_Terminal – Дата звернення: 03.12.2025.

48. Автоматизація та управління технологічними процесами на зернових підприємствах [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/c5aba341-39e1-4db4-b211-56351af7c356> – Дата звернення: 03.12.2025.

49. Системне керівництво для Siemens SIMATIC S7-1200: „System Manual” [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851433/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf – Дата звернення: 03.12.2025.

50. Siemens SIMATIC S7-1200 — System Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/829/109814829/att_1120874/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf – Дата звернення: 03.12.2025.

51. Розробка системи автоматизації процесом керування технологічним комплексом елеватора на базі ПЛК Siemens S7 [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/c5aba341-39e1-4db4-b211-56351af7c356> – Дата звернення: 03.12.2025.

ДОДАТОК А

Текст програми кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів силосного металевго елеватора фермерського господарства

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТІВ СИЛОСНОГО МЕТАЛЕВОГО
ЕЛЕВАТОРА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Текст програми

804.02070743.24014-01 12 01

Листів 20

АНОТАЦІЯ

Дана програма містить в собі данні по розробці обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи транспортно-технологічних маршрутів силосного металевого елеватора фермерського господарства.

Текст програми написано мовою LAD для ПЛК SIMATIC, відлагодження та застосування в середовищі Siemens TIA Portal V.14.

ЗМІСТ

1. Програмний блок Main.....	4
2. Програмний блок Bunker.....	5
3. Програмний блок Clapan.....	7
4. Програмний блок Noria.....	9
5. Програмний блок Separator.....	10
6. Програмний блок Transporete.....	12
7. Програмний блок VentelRtor.....	13
8. Таблиця ПЛК тегів Default tag table.....	17