

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: Автоматизована система управління обладнанням елеватора

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-28м
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Примаченко В'ячеслав Олександрович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доцент

Гуменюк Анна Анатоліївна

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц.

Чепюк Ларіна Олексіївна

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

_____ к.т.н., доц. Громовий О.А.
“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Примаченко В'ячеслав Олександрович

1. Тема роботи: Автоматизована система управління обладнанням елеватора
Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 646/с.
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «20» грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: виконати аналіз існуючих систем управління елеваторами, виявити їх недоліки та сформулювати пропозиції щодо їх подолання та покращення їх техніко-економічних показників.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) аналіз об'єкта дослідження, розробка структурної та функціональної схеми системи, розробка схеми електричної принципової, вибір виконавчих пристроїв, вимірювальних засобів системи, розробка та дослідження математичної моделі та алгоритму роботи ситеми.
5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових слайдів/креслень) структурна схема автоматизованої системи управління, функціональна схема автоматизованої системи, блок-схема алгоритму роботи, схема електрична принципова.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Гуменюк А.А.	11.09.24	11.09.24

Дата видачі завдання 11.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта дослідження	21.09.2024 – 24.09.2024	виконано
2	Розробка структурної схеми системи	24.09.2024 – 11.10.2024	виконано
3	Розробка функціональної схеми системи	11.10.2024 – 02.11.2024	виконано
4	Вибір виконавчих пристроїв, вимірювальних засобів системи	02.11.2024 – 10.11.2024	виконано
5	Розробка та дослідження математичної моделі та алгоритму роботи автоматизованої системи	10.11.2024 – 30.11.2024	виконано
6	Оформлення проекту	30.11.2024 – 17.12.2024	виконано

Студент _____ Примаченко В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Гуменюк А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі розроблено та досліджено автоматизовану систему управління обладнанням елеватора. Виконано дослідження елеватора як об'єкта автоматизації й керування; здійснено вибір контрольованих і регульованих параметрів і розробка на їх основі структури АСУТП. Було проведене моделювання розроблювальної системи. Для підвищення рівня автоматизації, покращення показників роботи системи керування, зручності управління та обслуговування технологічного процесу елеватора, пропонується впровадити мікропроцесорну систему керування.

В роботі обрано сучасні засоби автоматизації, що мають зручний інтерфейс для роботи оператора, забезпечують достатній рівень точності, безперервний вимір показників технологічного процесу елеватора, що сприяю покращенню якості зберігання продукції.

THE ANNOTATION

In the work, the elevator automated control system developed and studied. The research of the elevator as an object of automation and control was performed; the selection of controlled and regulated parameters and development of the structure of the automated process control system on their basis was made. The simulation of the system being developed. To improve the level of automation, improve the performance of the control system, ease of management and maintenance of the elevator technological process, it is proposed to introduce a microprocessor control system.

In the work modern automation tools are chosen which have a convenient interface for the operator's work, provide a sufficient level of accuracy, continuous measurement of elevator technological process indicators, and contribute to improving the quality of production storage.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЕЛЕВАТОРА.....	8
1.1. Види та сфера застосування зернових елеваторів.....	8
1.2. Влаштування елеватора по функціональним системам	10
1.3. Склад елеватора	15
1.4. Розрахунок електроприводу ковшового елеватора.....	18
1.5. Розробка вимог до системи автоматизованого керування елеватором ..	24
2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕВАТОРА.....	27
2.1. Розробка структурної схеми системи	27
2.2. Функціональна схема системи	34
2.3. Вимірювальні засоби системи.....	36
2.3.1. Датчик - рівня радарний VEGAPULS 67.....	36
2.3.2. Трансформатор струму Т-0,66 50/5.....	42
2.3.3. Датчик струму Seneca T201	43
2.4. Перетворювач частоти Moeller M-Max 740-230-SC	46
2.5. Програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200F	49
2.6. Розробка схеми електричної принципової	54
3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕВАТОРА.....	56
3.1. Моделі управління зернопереробними підприємствами.....	56
3.2. Математична модель динаміки запасів зерна	

на хлібоприймальному підприємстві.....	64
3.2.1. Концептуальна модель створення та витрачання запасів зерна ...	65
3.2.2. Математична модель запасів зерна	67
3.2.3. Імітаційна модель створення та витрачання запасів зерна.....	69
3.3. Функції програмного забезпечення системи	70
3.4. Алгоритм побудови маршруту	71
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	84
ДОДАТКИ	86

ВСТУП

Актуальність теми. Сільськогосподарське виробництво на сучасному етапі характеризується кризовими явищами, які викликані багаторічною недооцінкою його ролі в розвитку економіки країни, слабкою державною підтримкою сільськогосподарських товаровиробників, великими прорахунками у формуванні виробничо-економічних відносин, нееквівалентним обміном між містом і селом, систематичним використанням потенціалу села в якості інвестиційного та трудового донора для інших галузей господарства.

Розвиток сільськогосподарського виробництва - одна з головних задач в економічному розвитку країни.

Однією зі складових у вирішенні даного завдання є підвищення рівня механізації і електрифікації технологічних процесів сільськогосподарського виробництва, а також застосування сучасних технологій, досягнень науки і техніки.

Зернові продукти є одним з головних елементів у харчуванні людей. Збереження та раціональне використання всього вирощеного врожаю, отримання максимальної кількості виробів із сировини сьогодні є одним із найважливіших державних завдань.

Зберігання, що є фінальною фазою виробництва зерна, - це наука, яка вивчає особливості зерна і зернових мас в цілому як об'єктів зберігання, а також вплив фізичних, хімічних і біологічних факторів на стан зерна. Зберігання зерна і зернових продуктів вимагає грандіозної матеріально-технічної бази і спеціалістів, які володіють достатніми знаннями та досвідом в цій області [1].

Автоматизація виробничих процесів - основний напрямок, по якому в даний час просувається виробництво в усьому світі. Все, що раніше виконувала сама людина, її функції, не тільки фізичні, але і інтелектуальні,

поступово переходять до техніки, яка сама виконує технологічні цикли і здійснює контроль за ними.

Впровадження новітніх інформаційних технологій та останніх розробок в сфері промислової автоматизації підприємств зберігання і переробки зерна має значний вплив на підвищення ефективності керування, зростання конкурентоспроможності підприємств в цілому.

На сьогоднішній день найнадійнішим місцем зберігання зерна є зернові елеватори. В елеваторах можна поліпшити якість зерна, просушити його, а також очистивши від дрібних і великих домішок [1]. В останні роки при рішенні задач автоматизації процесів очищення, сушіння та зберігання зерна досягнуті певні успіхи, але при цьому деякі завдання залишаються невирішеними. У існуючих елеваторних комплексах забезпечується тільки транспортування зерна (відсутні системи управління (СУ) з автоматичним сушінням зерна при високій точності вимірювання вологості), не передбачено автоматичне формування маршрутів переміщення зерна (для кожного маршруту треба складання технічного завдання та внесення змін у керуючу програму СУ). Разом з тим потрібно більш точне регулювання витрат потоків зерна (застосовувані автоматичні засувки мають тільки положення «відкрито / закрито») [2, 3].

Метою автоматизації елеватора є: зниження часу аварійного простою обладнання шляхом відстеження напрацювання обладнання, кількості аварій і інформування оператора про обладнання, яке схильне до виходу з ладу; зниження часу налагодження та обслуговування елеватора; підвищення якості продукції; зменшення відсотка браку, а також зменшення впливу людського фактора на процес.

Об'єкт дослідження – методи побудови та модель автоматизованої системи управління обладнанням елеватора.

Предмет дослідження – автоматизована система управління обладнанням елеватора.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЕЛЕВАТОРА

1.1. Види та сфера застосування зернових елеваторів

Зерновий елеватор - це споруда, призначена для зберігання, сушіння та переробки зерна. Елеватори відіграють важливу роль у сільському господарстві та зернопереробній промисловості.

Основна функція зернового елеватора - збереження та обробка зерна. Коли врожай зібраний, зерно може містити надмірну вологу, яка може призвести до її псування. Елеватори забезпечують умови для сушіння зерна, щоб усунути зайву вологу та запобігти розвитку цвілі та гнилі.

Зерно зберігається в елеваторах до його подальшої переробки чи продажу. Це дозволяє сільгоспвиробникам утримувати зерно від ринкових коливань цін та пропонує їм можливість контролювати час та умови продажу.

Зернові елеватори є важливою ланкою у сільськогосподарському секторі, призначеною для зберігання та обробки зерна. Вони виконують ряд функцій, включаючи прийом, сушіння, очищення та зберігання зерна, а також його завантаження та вивантаження. Залежно від свого призначення, зернові елеватори можуть мати різні типи та сфери застосування.

Ось деякі з основних видів та областей застосування зернових елеваторів:

Приймальні елеватори:

- Вони призначені для приймання зерна від сільськогосподарських виробників. Приймальні елеватори зазвичай оснащені системами вагового контролю та виконують первинне очищення зерна від домішок.

- Зберігання та сушіння: Елеватори для зберігання та сушіння зерна забезпечують оптимальні умови для збереження та якості зерна. Вони зазвичай оснащені системами контролю вологості та температури, а також вентиляцією для запобігання пліснявим та гнильним процесам.

- Очищення та сортування: Зернові елеватори, що спеціалізуються на очищенні та сортуванні зерна, видаляють домішки, такі як каміння, солома та пил, а також проводять сортування зерна за його розміром та якістю. Це дозволяє покращити якість та комерційну цінність зерна.

- Навантажувально-розвантажувальні елеватори: Вони використовуються для ефективного навантаження та вивантаження зерна зі сховищ елеваторів. Вантажно-розвантажувальні системи можуть бути автоматизованими і мати високу продуктивність, що дозволяє скоротити час операцій і підвищити ефективність роботи.

Функції та принцип роботи елеваторів

Зернові елеватори є важливою частиною сільськогосподарської інфраструктури, призначеної для зберігання та переробки зерна. Ось деякі основні функції та принципи роботи зернових елеваторів:

- Зберігання зерна: Основна функція зернового елеватора полягає у наданні місця для зберігання великих обсягів зерна. Елеватори обладнані спеціальними силосами, бункерами та іншими ємностями, які дають змогу зберігати зерно в оптимальних умовах.

- Завантаження та розвантаження: Зерно в елеватор надходить через навантажувальну систему, зазвичай з використанням конвеєрів або механічних лопат. Після зберігання зерно розвантажуються та передається на подальшу переробку чи відвантаження.

- Сушіння та очищення: Зерно, що надходить на елеватор, часто містить зайву вологу та домішки. Елеватори оснащені системами сушіння та очищення, які видаляють зайву вологу та відсортують домішки, такі як бур'яни або дрібне каміння.

- Сортування та класифікація: У зернових елеваторах використовуються різні методи сортування та класифікації зерна. Це дозволяє відокремити зерно за різними категоріями відповідно до його якості, розміру або інших характеристик.

- **Управління та моніторинг:** Сучасні зернові елеватори зазвичай оснащені комп'ютерними системами керування та моніторингу, які відстежують та контролюють різні параметри, такі як температура, вологість та рівень зерна. Це дозволяє оптимізувати процеси зберігання та обробки зерна.

1.2. Влаштування елеватора по функціональним системам

Влаштування зернового елеватора функціонує на основі комплексу функціональних систем, кожна з яких виконує певне завдання. Основні функціональні системи включають приймально-розвантажувальну систему, систему очищення та сортування зерна, систему сушіння та охолодження, систему зберігання та систему транспортування.

Приймально-розвантажувальна система призначена для прийому зерна від фермерів та його розвантаження з транспортних засобів, таких як вантажівки чи поїзди. Система очищення та сортування зерна забезпечує видалення домішок, пилу та інших сторонніх речовин із зерна, а також його класифікацію за якістю та розміром. Система сушіння та охолодження використовується для підтримки оптимальної вологості зерна, щоб запобігти його псуванню та зберегти якість. Система зберігання призначена для тривалого зберігання зерна, забезпечуючи оптимальні умови температури та вологості. Система транспортування забезпечує переміщення зерна елеватором і його доставку до точки призначення.

Приймальні системи та обладнання

Приймальні системи зернового елеватора включають різні компоненти, такі як приймальні жолоби, транспортери, механізми очищення і сепарації, а також вагові пристрої для точного контролю маси зерна. Вони розроблені з урахуванням високих вимог до продуктивності, надійності та безпеки.

Обладнання зернового елеватора дозволяє автоматизувати та оптимізувати процеси прийому та обробки зерна. Це включає використання сучасних технологій, таких як комп'ютерне управління і моніторинг, автоматичне сортування зерна за якістю і розміром, а також системи очищення від домішок і небажаних включень.

Правильний вибір приймальних систем та обладнання для зернового елеватора має велике значення для ефективної роботи підприємства. Він забезпечує швидкий та надійний прийом зерна, мінімізує втрати та пошкодження продукції, а також підвищує якість та конкурентоспроможність виробленої продукції.

Обладнання для очищення та підготовки зерна

Обладнання для очищення та підготовки зерна в елеваторі включає різні пристрої та системи, призначені для видалення сторонніх домішок, сортування зерна за розміром і вологістю, а також обробки його для поліпшення якості та збереження.

Одним із ключових елементів обладнання є сепаратори, які використовуються для механічного поділу зерна від сміттєвих домішок та різних за розміром фракцій. Сепаратори ефективно видаляють каміння, пил, насіння бур'янів та інші небажані включення, підвищуючи якість та чистоту зерна.

Крім того, елеватори зазвичай оснащені вентиляційними системами для підтримки оптимальної вологості та температури у зерносховищах. Це важливо для запобігання розвитку цвілі, гниття та інших процесів, які можуть негативно вплинути на збереження та якість зерна.

Обладнання для очищення та підготовки зерна в елеваторі забезпечує автоматизований та ефективний процес обробки, дозволяючи сільгоспвиробникам зберегти високу якість свого продукту та підвищити його конкурентоспроможність на ринку.

Внутрішній технологічний транспорт елеватора

Внутрішній технологічний транспорт зернового елеватора є однією з ключових складових у процесі переробки та зберігання зерна. Він забезпечує ефективне переміщення зерна всередині елеватора та відіграє важливу роль у забезпеченні його безпеки та якості.

Внутрішній технологічний транспорт включає різні системи та пристрої, призначені для переміщення зерна на різних етапах його обробки. Ось деякі з основних компонентів внутрішнього технологічного транспорту зернового елеватора:

- **Стрічковий конвеєр:** Стрічкові конвеєри є основним засобом транспортування зерна всередині елеватора. Вони є безперервною стрічкою, яка переміщає зерно від одного місця до іншого. Стрічкові конвеєри можуть бути різних розмірів та конфігурацій залежно від потреб елеватора.

- **Повітряний транспорт:** Повітряні системи транспорту використовують повітряні потоки для переміщення зерна. Вони особливо ефективні для транспортування зерна на довгі відстані або високі рівні всередині елеватора. Повітряний транспорт забезпечує швидку та дбайливу доставку зерна.

- **Елеваторні машини:** Елеваторні машини є основними пристроями для підйому та спуску зерна всередині елеватора. Вони забезпечують ефективне переміщення зерна між різними рівнями елеватора та можуть мати різні характеристики залежно від обсягу та швидкості переробки.

Устаткування для аспірації

Обладнання для аспірації елеватора є невід'ємною частиною сучасної сільськогосподарської інфраструктури. Воно відіграє ключову роль у процесі переміщення та обробки зерна на елеваторах, забезпечуючи його ефективне всмоктування та транспортування.

Аспірація зернового елеватора здійснюється за допомогою спеціального обладнання, що включає вентилятори, пневматичні трубопроводи, фільтри та інші компоненти. Основний принцип роботи полягає у створенні різниці тисків, яка дозволяє притягувати та переносити зерно по повітряному струменю.

Переваги використання устаткування аспірації зернового елеватора очевидні. По-перше, воно значно спрощує процес завантаження та розвантаження зерна, скорочуючи трудовитрати та збільшуючи продуктивність. По-друге, воно дозволяє здійснювати транспортування зерна на значні відстані та піднімати його на значні висоти, що особливо важливо під час роботи з висотними елеваторами.

Основне обладнання елеватора - силосні сховища

Силосні сховища є важливим основним обладнанням елеваторів, що відіграє ключову роль у процесі зберігання і транспортування сипких матеріалів, таких як зерно, корми, цемент та інші. Ці структури мають значну місткість і забезпечують ефективне управління запасами.

Основна функція силосних сховищ полягає у збереженні продукції, підтримці її якості та запобіганні втратам під час зберігання. Вони забезпечують захист від вологи, пилу, комах та інших небажаних факторів, які можуть негативно вплинути на якість продукції.

Типове силосне сховище має міцну конструкцію, зазвичай виготовлену із сталі або бетону, що забезпечує його довговічність та стійкість до навантажень.

Логістика зернового елеватора

Логістика зернового елеватора грає вирішальну роль ефективної організації зберігання і транспортування зерна. Елеватори є ключовими

елементами сільськогосподарської інфраструктури, забезпечуючи збирання, обробку, зберігання та відвантаження зернових культур.

Одним з основних аспектів логістики елеватора є оптимізація всіх етапів постачання та розподілу зерна. Починаючи з приймання сировини від фермерів і закінчуючи відвантаженням готової продукції клієнтам, кожен етап потребує точного планування, координації та контролю.

Зерновий елеватор повинен мати не тільки сучасне обладнання, а й ефективну систему управління логістикою. Важливими компонентами такої системи є моніторинг запасів, прогнозування попиту, оптимізація маршрутів транспортування та оптимальне використання складських площ.

Комплексна логістична система елеватора дозволяє мінімізувати витрати на зберігання, знизити ризики втрати якості зерна та скоротити час доставки продукції до споживачів. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності елеватора на ринку та задоволенню потреб клієнтів.

Система підтримки кондиції зерна у силосах елеватора

Система підтримки кондиції зерна в силосах елеватора – це комплекс заходів та технологій, розроблений для забезпечення оптимальних умов зберігання та збереження зерна. Силоси елеватора є важливими об'єктами у сільському господарстві та харчовій промисловості, де зерно зберігається у великих обсягах протягом тривалого часу.

Мета системи підтримки кондиції зерна – запобігання різноманітним негативним процесам, таким як розпад крохмалю, втрата поживних речовин, гниття та розвиток шкідників. Вона заснована на контролі та регулюванні основних факторів, що впливають на якість та довговічність зерна в силосах.

Для досягнення цієї мети система підтримки кондиції зерна включає наступні компоненти: системи вентиляції та кондиціювання, системи моніторингу та управління, а також засоби захисту від шкідників. Системи

вентиляції та кондиціювання забезпечують підтримку оптимальних температури та вологості всередині силосів, що дозволяє запобігти розвитку пліснявих грибків та інших мікроорганізмів.

Сучасний елеватор – це не просто місце для зберігання зерна, а відповідність актуальним вимогам до ефективного ведення бізнесу.

На рис. 1.1 показана технологічна схема елеватора [6]

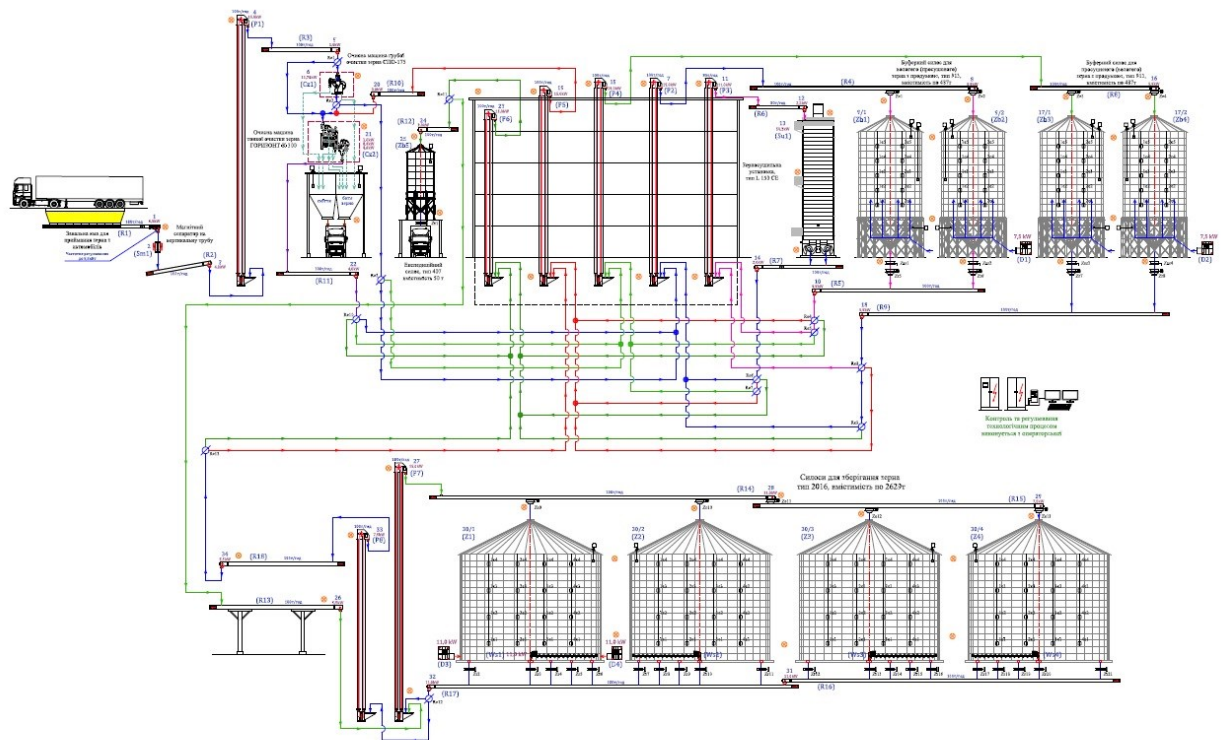


Рис. 1.1 Технологічна схема елеватора

1.3. Склад елеватора

Основні споруди елеватора – робоча вежа, силосний корпус, приймальні та відпускні пристрої. У робочій вежі розміщені: норії, ваги, зерноочисні машини, самопливне та аспіраційне обладнання, приводні та натяжні станції транспортерів елеватора (приймальні, відпускні, надсилосні, підсилосні) (рис. 1.2) [2].

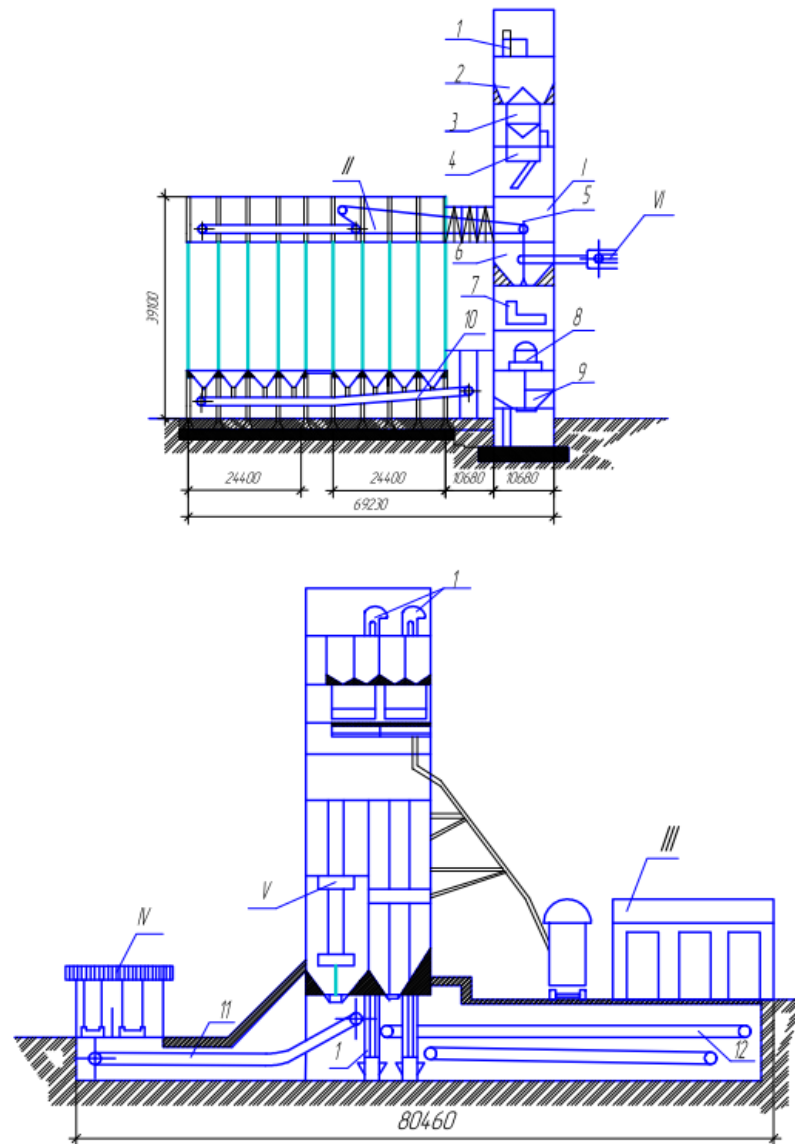


Рис. 1.2. Схема елеватора: I – робоча вежа; II – силосний корпус; III – приймальний пристрій із залізниці, IV – приймальний пристрій із автотранспорту; V – зерносушарка; VI – галерея відпустки на млин; 1 – норії, 2 – над ваговий бункер, 3 – ковшові ваги, 4 – розподільні труби, 5 – над силосний транспортер, 6 – над сепараторний бункер, 7 – сепаратор, 8 – контрольний сепаратор, 9 – під сепараторний бункер, 10 – під силосний транспортер приймальний транспортер з автотранспорту, 12 – приймальний транспортер із залізниці

На рис. 1.3. наведена структурна схема технологічного процесу елеватора.

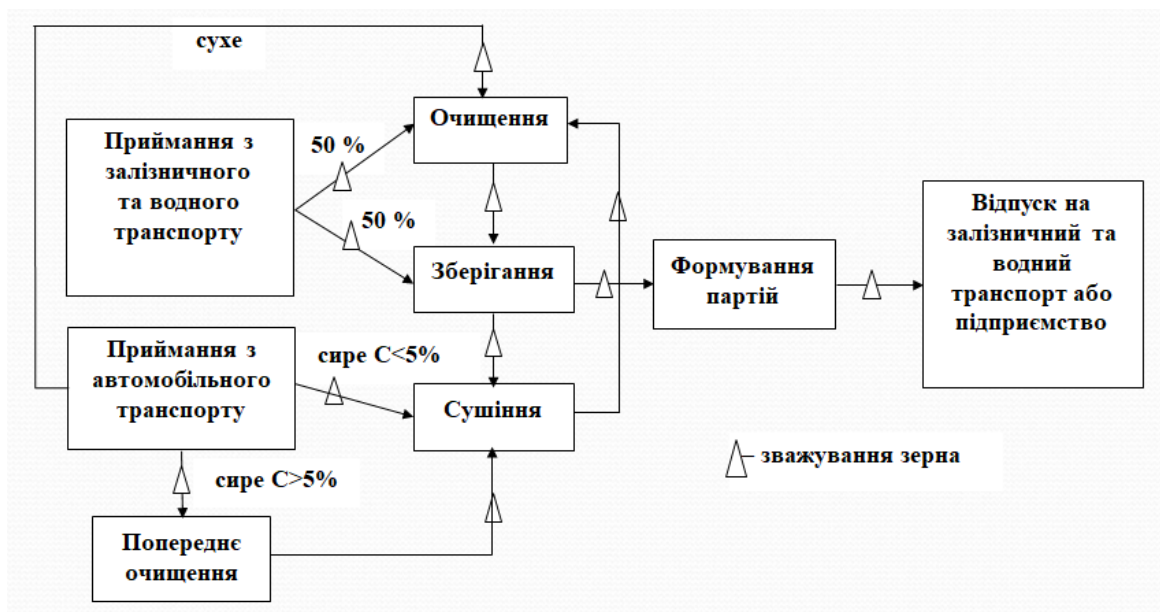


Рис. 1.3. Структурна схема технологічного процесу елеватора

На рис. 1.4. наведена повна технологічна схема елеватора

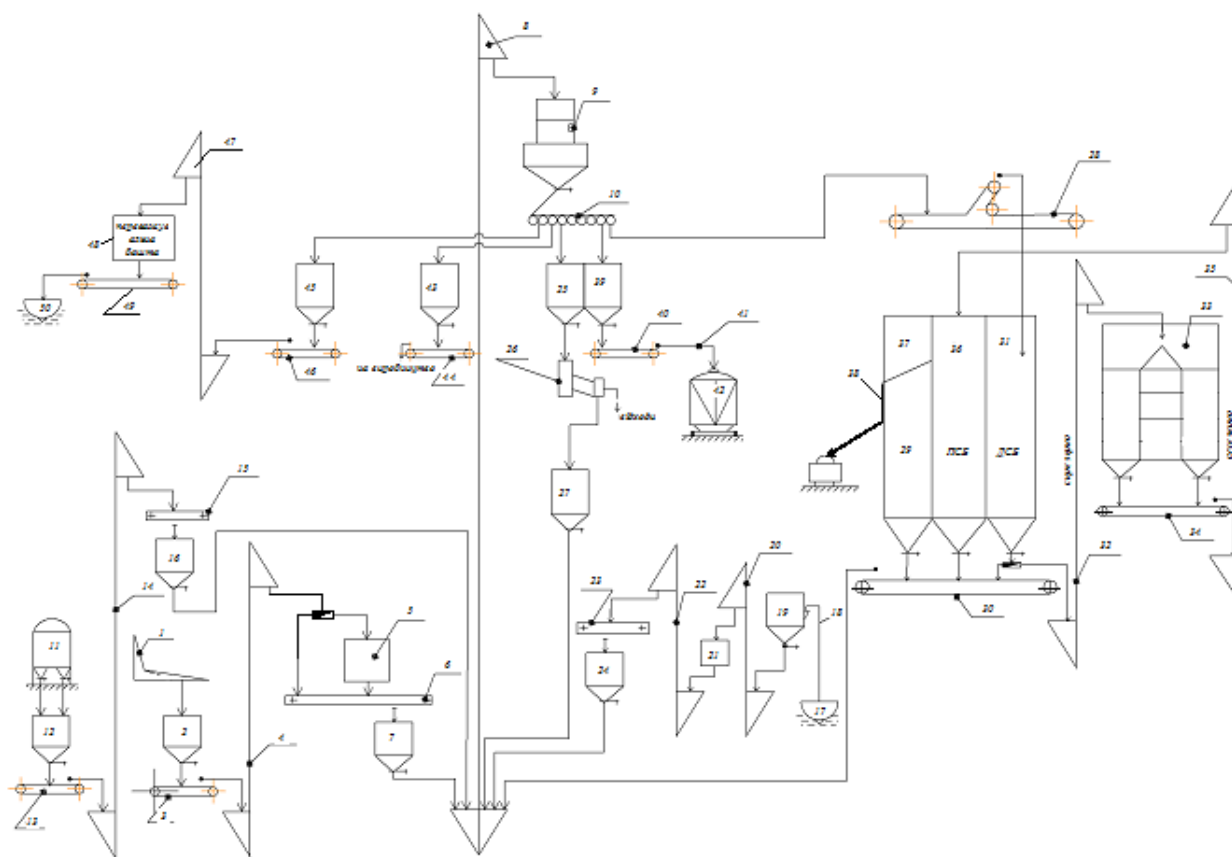


Рис. 1.4. Повна технологічна схема елеватора

1 – автомобілерозвантажувач; 2 – приймальний бункер; 3 – приймальний конвеєр; 4 – приймальна норія; 5 – ворохоочисник (скальператор); 6 – скребковий конвеєр; 7 – приймальний накопичувальний бункер; 8 – основна норія робочої будівлі; 9 – ваги автоматичні порційні з над- і під ваговим бункерами (ВАП); 10 – поворотна труба; 11 – вагон; 12 – приймальний бункер з залізничного транспорту; 13 – приймальний конвеєр; 14 – приймальна норія; 15 – скребковий конвеєр; 16 – приймальний накопичувальний бункер, місткістю 70т і більш; 17 – баржа або судно; 18 – матеріалопровід пневмоустановки; 19 – віддільник зерна від повітря; 20, 22 – приймальна норія; 21 – перевантажувальна башта з ковшовими вагами; 23 – скребковий конвеєр; 24 – приймальний накопичувальний бункер; 25 – надсепараторний бункер; 26 – сепаратор основного очищення; 27 – підсепараторний бункер; 28 – надсилосний конвеєр зі скидальним візком; 29 – силоси; 30 – підсилосний конвеєр; 31 – досушительний бункер (силос); 32 – норія для транспортування сирого зерна в шахтну зерносушарку; 33 – зерносушарка; 34 – конвеєр для прибирання просушеного зерна; 35 – норія, яка переміщує сухе зерно до післясушительних бункерів; 36 – післясушительний бункер; 37 – відпускні накопичувальні бункери на автотранспорт, місткістю 20 т; 38 – завантажувальний самоплив; 39 – відпускні накопичувальні бункери на залізничний транспорт; 40 – відпускний конвеєр; 41 – завантажувальний пристрій типу ЛД-8; 42 – вагон; 43 – відпускні накопичувальні бункери на підприємство; 44 – відпускний конвеєр; 45 – відпускні накопичувальні бункери на водний транспорт; 46 – відпускний конвеєр, якій передає зерно на пірс; 47 – норія; 48 – переважувальна башта, яка передає зерно до відпускної башти; 49 – відпускний конвеєр; 50 – телескопічна завантажувальна труба, яка передає зерно до баржі.

1.4. Розрахунок електроприводу ковшового елеватора

Даний електродвигун норії НЦ І-175 номінальною продуктивністю 175

т/год. розраховується на тривалий режим роботи.

Технологічна характеристика

Ківшові елеватори застосовуються в кормоцехах тваринницьких ферм, зернохранилищах, зернотоках для переміщення зерна, борошна, корене клубне плодів та інших дрібно кускових та сипучих вантажів [7].

У даному випадку норія НЦ І-175 служить переміщення зерна та інших видів насіння.

Матеріал, що транспортується, надходить у башмак норії, в якому ковші наповнюються зачерпуванням, і разом з тяговим органом піднімається вгору. У голівці норії ковші розвантажуються під впливом на матеріал відцентрових сил і сили тяжіння [7].

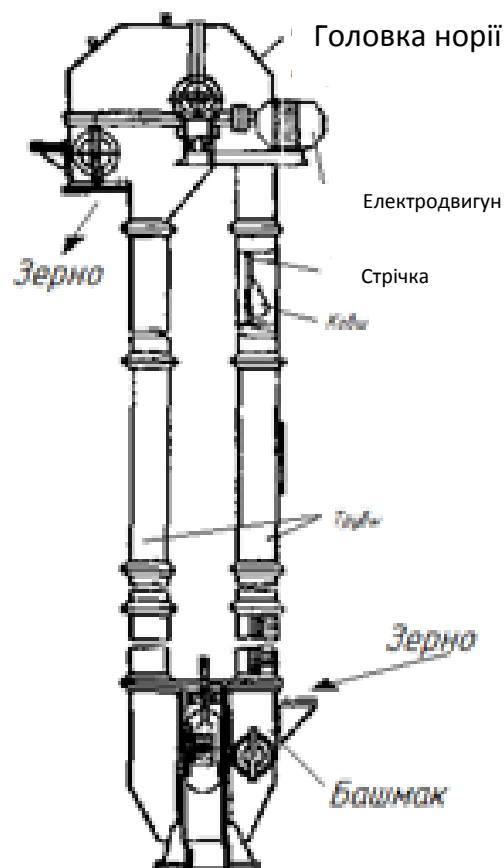


Рис. 1.5 Технологічна схема та пристрій норії

Кінематична характеристика

У ковшовому елеваторі – норії рух на провідний барабан нескінченної стрічки з ковшами передається з електродвигуна через знижувальний редуктор (рис. 1.6) з параметрами: передаточне число редуктора $i_{ред} = 23$; номінальна швидкість обертання валу двигуна $n_{дв} = 970$ об/хв.; номінальна швидкість обертання валу барабана норії $n_б = 42,17$ об/хв.

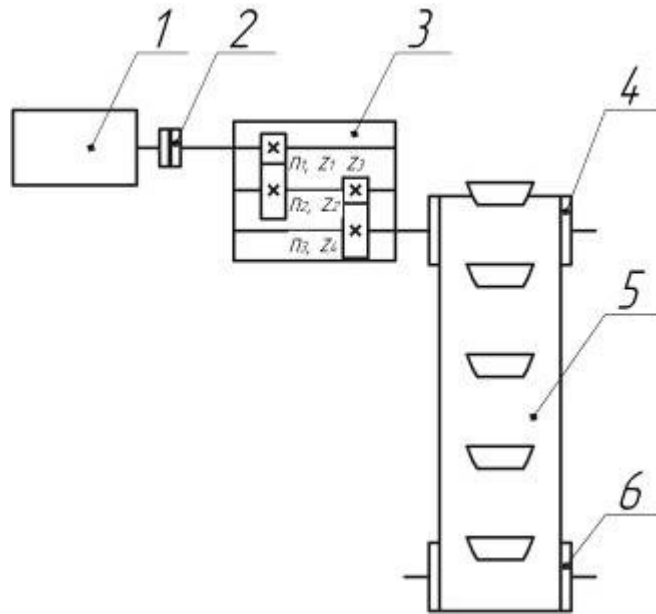


Рис. 1.6 – Кінематична схема норії:

1 - електродвигун АО2 - 82 - 6У3; 4 - провідний барабан норії; 2 - муфта; 5 - стрічка норії.

Енергетична характеристика

Норія НЦІ-175 має один виконавчий орган, потрібна потужність якого може змінюватися від ступеня завантаження. Вся енергія двигуна передається робочим органам норії.

Механічна характеристика

Механічні характеристики робочих машин описуються узагальненим рівнянням:

$$M_c = M_0 + (M_{cn} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (1.1)$$

де M_0 – момент опору при швидкості, що дорівнює нулю;

M_{cn} – момент опору при номінальній швидкості;

ω_n – номінальна швидкість;

ω – поточне значення швидкості робочої машини.

Показник ступеня "x" у різноманітних зерноавантажувачів приймається рівним нулю]. Однак у норії механічна характеристика дещо відрізняється від характеристик даного типу машин: у випадку з останніми характеристика йде паралельно осі швидкості, у норії вона має злегка падаючий характер (рис. 1.7) [7].

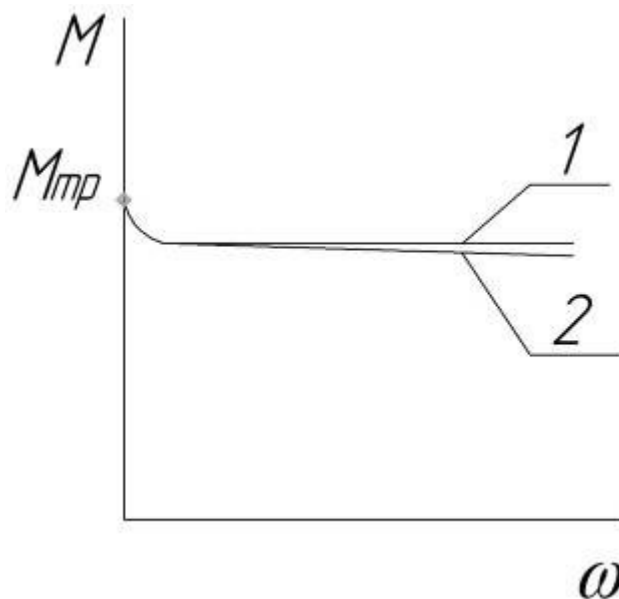


Рис. 1.7– Механічні характеристики зерноавантажувачів (1)
та норії (2)

Навантажувальна характеристика

Розглянувши технологічну і кінетичну характеристики, можна зробити висновок про те, що ковшовий елеватор працює з тривалим навантаженням, що мало змінюється.

Інерційна характеристика

Наведений момент інерції норії буде постійним, оскільки протягом робочого процесу, що встановився, маса системи виконавчих органів і вантажу, що переміщується, змінюватися не буде.

Висновок щодо приводних характеристик

Результати аналізу приводних характеристик дозволяють зробити такі висновки:

1) Привод потрібен нерегульований, асинхронний, закритого виконання;

2) У кінематичній схемі присутні пружні елементи (стрічка);

Режим роботи зернової норії тривалий, з навантаженням, що мало змінюється [10].

Вибір електродвигуна

Потрібну потужність електродвигуна для норії можна визначити [10]:

$$P = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{нор}}}, \quad (1.2)$$

де Q – продуктивність норії, кг/с (продуктивність норії НЦІ – 175 дорівнює 175 т/год або 48,61 кг/с);

H – висота підйому, м (в даному випадку висота норії, відповідно і підйому зерна, дорівнює 40 м);

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД передачі (редуктора), $\eta_{\text{пер}} = 0,97$;

$\eta_{\text{нор}}$ – ККД норії, що враховує опір у підшипниках норії, на вигин стрічки, зачерпування зерна ковшами тощо. (Для вертикальних норій $\eta_{\text{нор}} = 0,4..0,86$; прийmemo 0,7).

$$P = \frac{9,81 \cdot 48,61 \cdot 40}{0,97 \cdot 0,7} = 28092,8 \text{ Вт.}$$

Встановлена потужність електродвигуна для приводу норії дорівнює [7]:

$$P_{\text{дв}} = K \cdot P_{\text{ном}}, \quad (3.3)$$

де K – коефіцієнт навантаження; $K=1,1..1,2$;

$$P_{\text{дв}} = 1,15 \cdot 28092,8 = 32306,72 \text{ Вт.},$$

За результатами розрахунку вибираємо електродвигун закритого виконання 5A225M6, призначений для роботи у тривалому режимі [7].

$$P_{\text{дв}} = 37 \text{ кВт}; i_n = 6,2;$$

$$I_n = 73,1 \text{ А}; m_n = 2,3;$$

$$n = 980 \text{ об/хв}; m_{\text{min}} = 1;$$

$$\cos\varphi = 0,84; m_{\text{max}} = 2,5; M_n = 361 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\eta = 91,5 \%; J = 0,65 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; m = 330 \text{ кг}.$$

Вибраний двигун необхідно перевірити на умову пуску [7]:

$$0,81 \cdot M_{\text{н.дв.}} \cdot \lambda \geq 1,3 \cdot M_{\text{тр}}, \quad (1.4)$$

де $M_{\text{н.дв.}}$ – номінальний момент електродвигуна у кгм;

λ – кратність пускового моменту електродвигуна, $\lambda = m_{\text{п}} = 2,3$;

$M_{\text{тр}}$ – момент тертя завантаженої норії в Н · м.

Номінальний момент електродвигуна: $M_{\text{н.дв.}} = 361 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Момент тертя завантаженої норії визначають за такою формулою:

$$M_{\text{тр}} = \frac{Q_n \cdot H \cdot R_6}{3,6 \cdot v \cdot i \cdot \eta_{\text{пер}}} \cdot \left(0,06 + 1,29 \cdot \frac{Q}{Q_n} \right), \quad (1.5)$$

де Q_n – номінальна продуктивність норії у т/год ($Q_n=175$ т/год);

R_6 - радіус барабана головки норії, м; $R_6 = 0,56$ м;

i – передатне відношення редуктора; $i = 23$;

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД передачі (редуктора); $\eta_{\text{пер}}=0,97$;

v – швидкість руху стрічки, м/с; $v=2,5$ м/с;

H - висота підняття зерна, м; $H=40$ м;

Q – поточна продуктивність норії, т/год; прийmemo $Q = Q_n = 175$ т/год.

$$M_{\text{тр}} = \frac{175 \cdot 40 \cdot 0,56}{3,6 \cdot 2,5 \cdot 23 \cdot 0,97} \cdot \left(0,06 + 1,29 \cdot \frac{175}{175} \right) = 258,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Перевіримо нерівність (1.4):

$$0,81 \cdot 361 \cdot 2,3 \geq 1,3 \cdot 258,5; 673 \geq 336,$$

Отже, вибраний електродвигун проходить за умовами запуску.

1.5. Розробка вимог до системи автоматизованого керування елеватором

Дистанційне автоматизоване управління (ДАУ) дійсно має відповідати вимогам норм технологічного проектування для забезпечення надійності, безпеки та ефективності обладнання. Це передбачає наступні компоненти:

- Забезпечує централізоване керування для запуску і зупинки електродвигунів, що спрощує управління і контроль.
- Дає можливість швидко зупинити всі двигуни у разі аварії, що підвищує безпеку.
- Дозволяє локальне керування окремими машинами для гнучкішого та безпечного управління.
- Забезпечує правильну послідовність запуску та зупинки машин для запобігання аварійним ситуаціям, таким як завали або підпори.

- Гарантує, що обладнання запускається тільки після запуску аспіраційних установок, і автоматично зупиняє обладнання при аварійній зупинці аспіраційних установок.

- Забезпечує безпеку, зупиняючи електродвигуни у разі відсутності постійного струму.

- Дозволяє відстежувати рівень зерна віддалено, що сприяє ефективному управлінню запасами.

- Забезпечує правильну роботу системи засувки для запобігання аварійним ситуаціям.

- Дає можливість віддалено керувати засувками для зручності і безпеки.

- Контроль за роботою норій: Встановлення пристроїв для відстеження зміщення стрічки, контролю швидкості і датчиків підпору для запобігання аварійним ситуаціям.

- Встановлення реле контролю швидкості для забезпечення стабільної та безпечної роботи конвеєрів.

- Світлова та звукова сигналізація забезпечує інформування про пуск електродвигунів та контроль за їх роботою, що підвищує загальну безпеку.

- Контроль за завантаженням основних норій: Встановлення амперметрів на пульті управління для відстеження завантаження, що сприяє ефективному управлінню і попередженню перевантажень.

Цей проект з автоматизації охоплює широкий спектр функцій для забезпечення ефективного і безпечного управління. Ось його основні аспекти:

1. Звукова сигналізація: Попередження про запуск механізмів для підвищення безпеки.

2. Вибір та включення машин з пульта диспетчера: Централізоване управління для зручності та контролю.

3. Автоматичне керування перекидними клапанами та засувками: Оптимізація процесів і запобігання аварійним ситуаціям.

4. Контроль положення клапанів і засувки: Забезпечення правильного функціонування системи.
5. Контроль часу розгону маршруту: Відстеження часу для ефективного управління.
6. Контроль швидкості конвеєрів та норій: Підтримка безпеки та ефективності роботи.
7. Контроль завантаження норій: Запобігання перевантаженню і пошкодженням.
8. Технологічна зупинка маршруту в автоматичному режимі: Автоматизоване керування для забезпечення надійності.
9. Аварійна зупинка маршруту: Можливість негайної зупинки для забезпечення безпеки.
10. Аварійна зупинка будь-якого двигуна за місцем: Локальне управління для швидкого реагування.
11. Автоматичне припинення подачі зерна: Запобігання перевантаженню та аварійним ситуаціям.
12. Світлова сигналізація: Візуальне інформування про роботу машин.
13. Аварійна світлова та звукова сигналізація: Оповіщення про критичні ситуації для негайного реагування.
14. Миготлива сигналізація: Індикація аварійної зупинки.
15. Робота вентиляторів: Включаються раніше та вимикаються пізніше за транспортні машини для оптимізації процесу.
16. Місцеве управління: Можливість переведення системи на локальне керування для більшої гнучкості.

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕВАТОРА

2.1. Розробка структурної схеми системи

Автоматизована система управління (АСУ) елеватора призначена для реалізації комплексу функцій, що забезпечують оперативний контроль та управління технологічним процесом, збирання та зберігання інформації про перебіг технологічного процесу, діагностики роботи обладнання процесів приймання, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження [8].

АСУ елеватора, хлібоприймальних підприємств, комбікормових заводів охоплює:

- управління маршрутами (конвеєрно-транспортними лініями) переміщення сировини;
- система управління та контролю технологічним процесом сушіння зерна (автоматизація зерносушарки);
- системи термометрії та вимірювання рівня при зберіганні та переробленню зерна;
- автоматизована система управління обліку руху зерна (силосна дошка).

Цілі автоматизованої системи управління елеватором:

- забезпечити програмний захист від змішування культур;
- забезпечити облік продукції, відвантаженої на транспорт;
- зменшення матеріальних та енергетичних витрат;
- запобігання аварійним ситуаціям;
- підвищення якості та оперативності процесів управління технологічним процесом шляхом структурного та територіального розподілу обчислювальних та керуючих ресурсів;
- покращення умов роботи оперативного персоналу шляхом централізації контролю та управління технологічним процесом, забезпечення операторів достатньо повною, певною та своєчасною інформацією;

- підвищення технологічної дисципліни оперативного персоналу з допомогою протоколювання дій диспетчерів;
- забезпечення керівників та спеціалістів інструментальними засобами та необхідною інформацією для підтримки прийняття рішень;
- підвищення надійності систем контролю та управління шляхом застосування сучасних засобів розподіленого контролю, цифрових ліній зв'язку та наявності функцій самодіагностики.

Ключовим критерієм якості системи є стабільність заданих характеристик технологічного процесу.

Автоматизована система управління (АСУ) елеватора забезпечує:

- стабілізацію заданих режимів технологічного процесу шляхом контролю технологічних параметрів, візуального подання, та видачі керуючих впливів на виконавчі механізми, як у режимі налагодження, так і в автоматичному режимі;
- автоматизоване керування технологічними маршрутами переміщення зерна;
- виключення змішування культур зерна, що приймається (маршрутна карта елеватора);
- виключення можливості введення даних за межами їх допустимих значень;
- контроль стану технологічного обладнання елеватора із забезпеченням світлової та звукової сигналізації при спрацьовуванні аварійних захистів;
- формування повідомлень для диспетчера;
- візуалізацію стану обладнання у вигляді мнемосхем та трендів;
- надання інформації персоналу у вигляді звітів та діаграм за різні періоди часу;
- обмін даними із системами управління підприємством верхнього рівня.

Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління елеватором наведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Структурна схема автоматизованої системи управління елеватором

Автоматизована система управління (АСУ) елеватора має в своєму складі:

- Шафи с силовою апаратурою управління;
- Панель візуалізації технологічного процесу роботи;
- Шафа з контролерами;
- Автоматизоване робоче місце оператора, що складається з комп'ютера, на якому встановлено програмне забезпечення системи управління та візуалізації;
- Пристрої збору інформації про стан процесу (датчики і сигналізатори) та виконавчі механізми (реле, пускачі, контактори, електродвигуни).

Автоматизована система управління елеватора є дуже складною системою, тому у даному проекті розробимо її частину, а саме частину управління маршрутами.

Існує декілька варіантів побудова АСУ ТП – на основі плат введення/виведення (рис. 2.2.), на основі модулів віддаленого

введення/виведення (рис. 2.3.) і на основі промислового контролера (рис. 2.4).

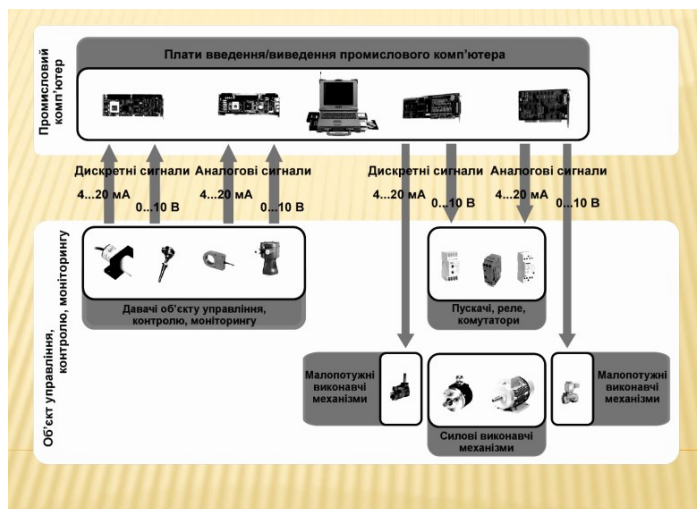


Рис. 2.2. Побудова АСУ ТП на основі плат введення/виведення

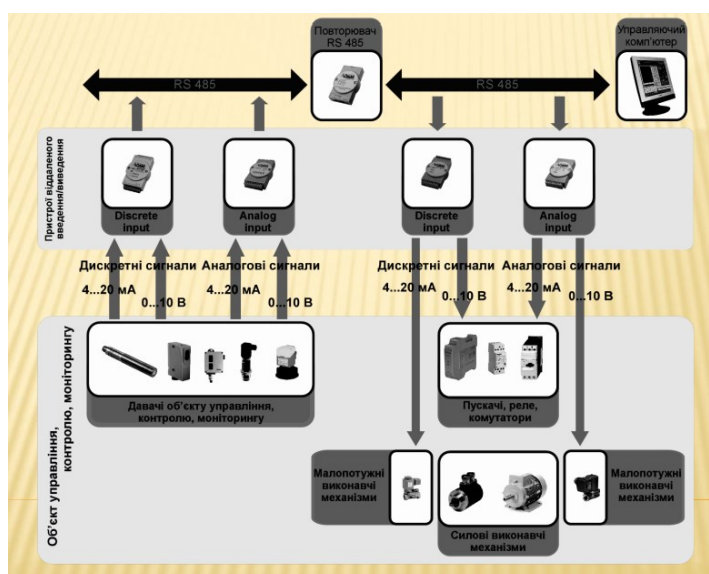


Рис. 2.3 Побудова АСУ ТП на основі модулів віддаленого введення/виведення

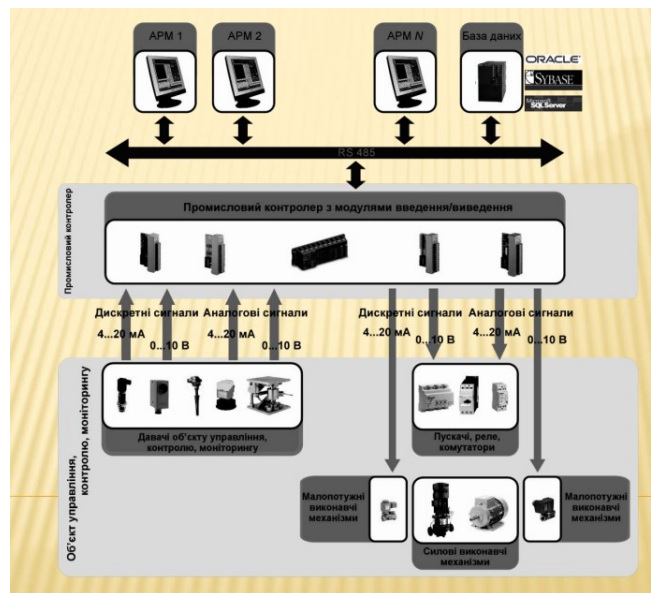


Рис. 2.4. Побудова АСУ ТП на основі промислового контролера

Вибираємо схему побудови АСУ маршрутами елеватора на основі промислового контролера

Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління маршрутами елеватора наведена на рис. 2.5.

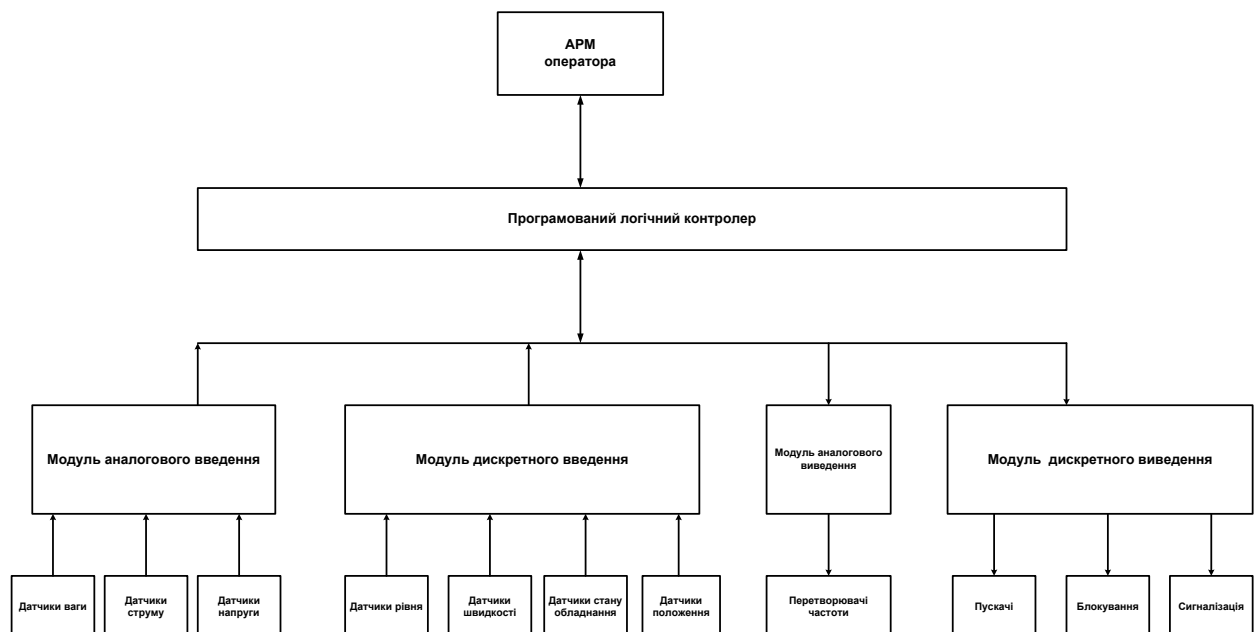


Рис. 2.5. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління маршрутами елеватора

Повна структурна схема управління елеватором наведена на рис. 2.6.

Програмований логічний контролер (ПЛК) виконує прийом, обробку та видачу сигналів керування обладнанням елеватора за заданою програмою. Призначення ПЛК:

- управління і контроль роботи двигунів зерноочищення (решітний стан, трієрний блок, аспірація, шлюзовий затвор, норії);
- блокування включення/вимикання обладнання, згідно технологічної схеми елеватора;
- обробка сигналів аварійних датчиків (швидкість, підпір, сходу стрічки, обрив ланцюга);
- обробка сигналів датчиків рівня продукту;
- обробка аварійних ситуацій;
- управління допоміжним (наприклад аспіраційним) обладнанням (попередній запуск при включенні аспірируємого технологічного обладнання, зупинка після його виключення);
- управління подачею зерна в зерносушарку по датчикам рівня;
- коректне виключення обладнання комплексу при виникненні нештатних ситуацій.

Проаналізувавши схему інформаційно-матеріальних потоків виділимо основні функціональні задачі керування, необхідні для забезпечення матеріальних потоків:

1. Завантаження та вивантаження зерна;
2. Підтримання відповідного значення температури зерна;
3. Забезпечення прийняттого значення вологості повітря.

Із основних функціональних завдань можна виділити під задачі:

1. Визначення рівня зерна в силосі;
2. Керування роботою двигуна конвеєра;
3. Контроль швидкості та положення стрічки конвеєра;
4. Контроль потоку матеріалу, що надходить на конвеєр;
5. Керування засувками подачі зерна;
6. Контроль і керування двигунами вентиляторів;

7. Контроль положення шиберних засувок витяжних вентиляторів;

2.2. Функціональна схема системи

На основі структурної схеми було розроблено функціональну схему автоматизованої системи управління маршрутами елеватора (рис. 2.7).

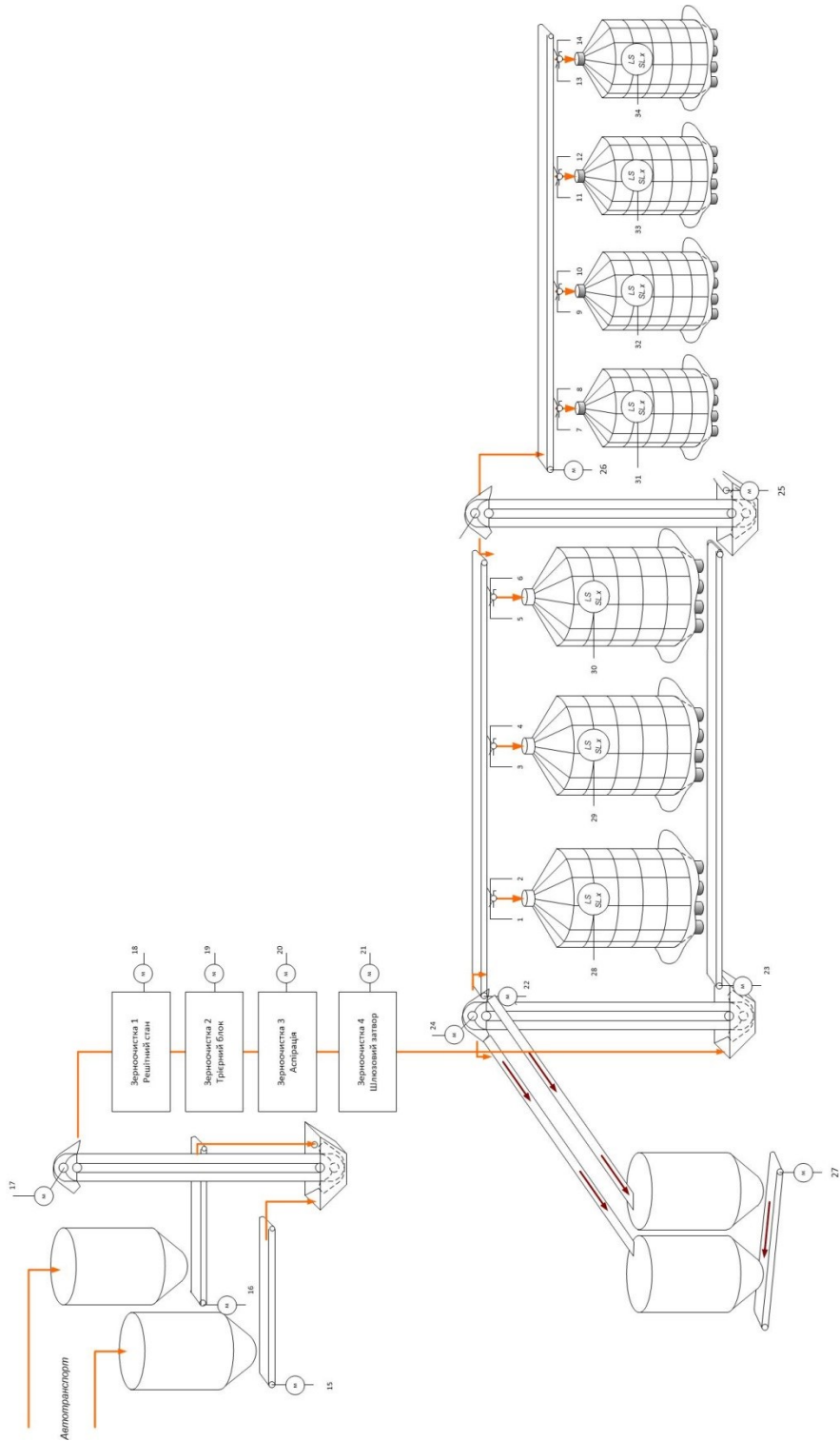
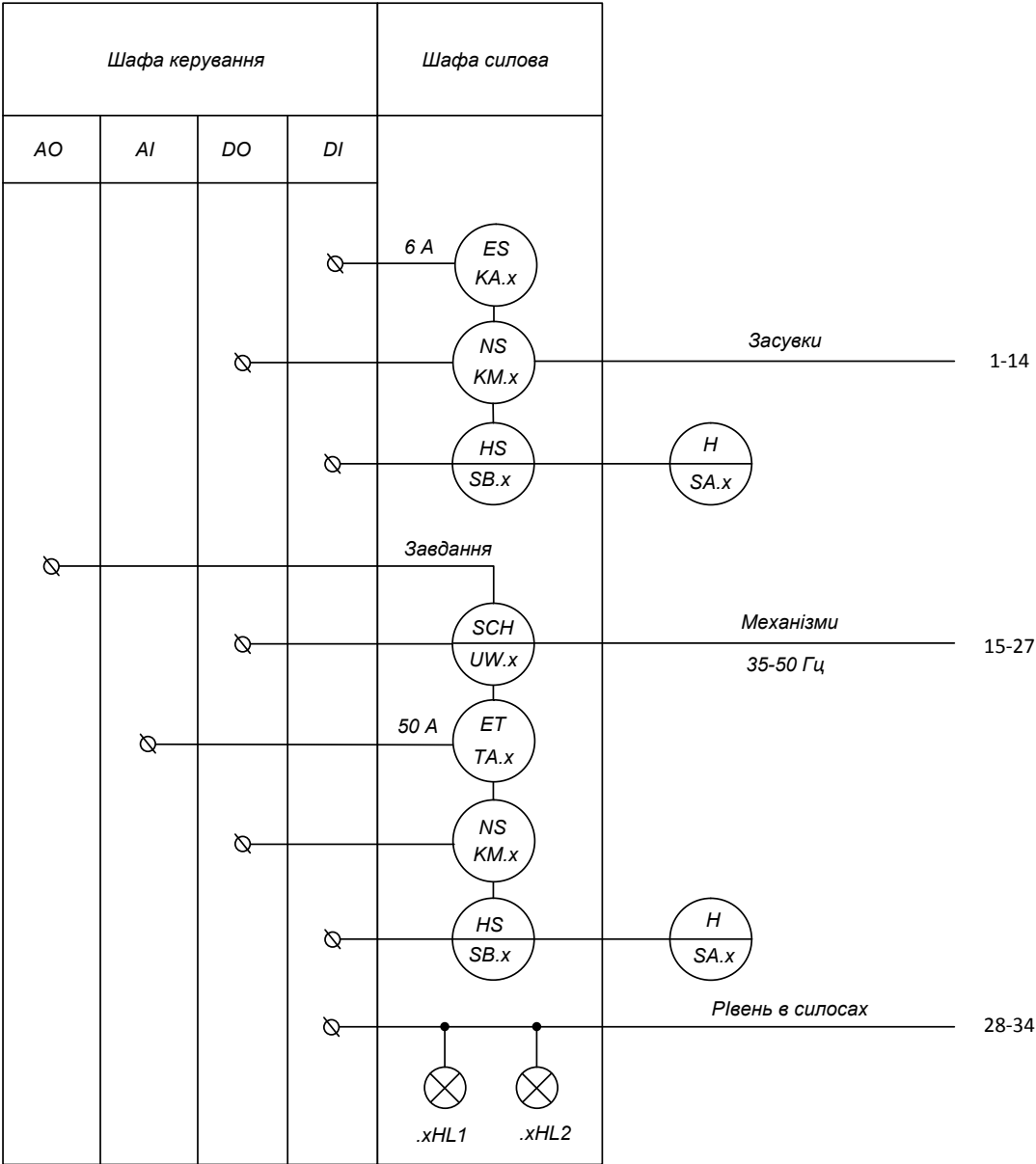


Рис. 2.7. Функціональна схема автоматизованої системи управління маршрутами елеватора



У таблиці 2.1. наведено позначення елементів функціональної схеми.

Таблица 2.1. Позначення елементів функціональної схеми

Позиція	Найменування	Кількість	Примітки
A1.1-2	Програмований логічний контролер	1	
UW _x	Перетворювач частоти	x	Р _{нд} =11 кВт
KM _x	Контактори	x	
SA _x	Перемикач	x	
UY _x	Датчик струму	x	

HL1,2	Лампи сигнальні	2	+ x
SB1,2	Кнопки натискні	2	+x
TAx	Трансформатор струму	x	
K1.x-2.x	Реле проміжне	2x	
K3.x	Реле проміжне	x	
SFx	Вимикач автоматичний однополюсний	x	
QFx	Вимикач автоматичний силовий	x	
QSx	Вимикач ремонтний	x	
FU	Запобіжники без інерційний	4	
SL.x	Датчик рівня	7	

Маркування входів-виходів з позицією «х» відповідають індексам механізмів.

2.3. Вимірювальні засоби системи

2.3.1. Датчик - рівня радарний VEGAPULS 67

Радарний рівнемір VEGAPULS 67 призначений для безперервного вимірювання рівня сипучих продуктів за нескладних умов процесу [13]. Рівномір застосовується в силосах та ємностях (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Датчик - рівня радарний VEGAPULS 67

Антенна система випромінює дуже радарні імпульси тривалістю приблизно 1 нс і приймає їх у вигляді луно-сигналів, відбитих від поверхні продукту. Час проходження радарного імпульсу від випромінювання до прийому пропорційно відстані поверхні продукту, тобто. рівнем. Визначений таким чином рівень перетворюється на відповідний вихідний сигнал і видається у вигляді виміряного значення. Спеціальний метод розширення часу дозволяє з високою точністю вимірювати гранично короткі часові відрізки. Радарні датчики працюють з малою випромінюваною потужністю в діапазонах частот С і К, що забезпечує можливість оптимального вибору різних умов вимірювання. Надійне впізнання луно-сигналу рівня серед множини відбитих сигналів забезпечується на основі перевіреної технології обробки сигналу ECHOFOX. Радарний датчик просто налаштовується на умови застосування шляхом вибору відповідних параметрів через операційне меню.

Для вимірювання рівня сипких продуктів застосовуються датчики VEGAPULS 67 та 68 (високочастотний діапазон К). Завдяки дуже хорошему

фокусуванню сигналу виключається вплив внутрішніх конструкцій або відкладень продукту на стінках ємності. Оптимізована для сипучих продуктів високочутлива електроніка забезпечує надійний вимір рівня різних сипучих продуктів в діапазоні до 75 м. Сильне пилеутворення, шум заповнення, повітряні потоки при пневматичному завантаженні, коливання температури не впливають на вимірювання за допомогою радара.

Вимірюваною величиною є відстань між приєднанням датчика та поверхнею продукту. Базовою площиною є поверхня ущільнювача фланця (рис. 2.9.)

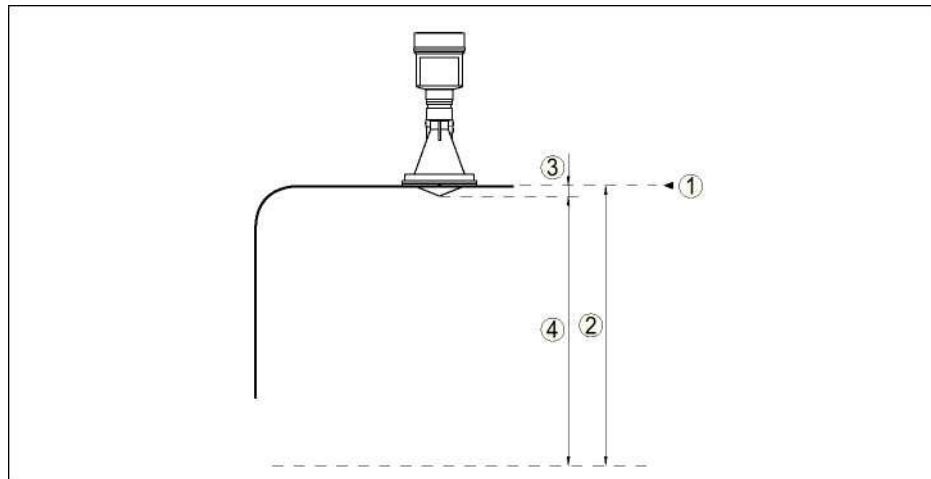


Рис. 2.9 Дані для вхідної величини:

- 1 Базова площа
- 2 Вимірювана величина, макс. діапазон вимірів
- 3 Довжина антени
- 4 Корисний діапазон вимірювання

Макс. діапазон виміру 45 м, рекомендований діапазон виміру до 45 м.

Технічні характеристики датчика рівня радарного VEGAPULS 67 наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Технічні характеристики датчика рівня радарного VEGAPULS 67

Характеристика	Опис
Вихідний сигнал	4 ... 20 mA/HART
Специфікація HART	7.0
Роздільна здатність сигналу	0,3 μ A
Сигнал несправності (струмовий вихід, що встановлюється)	Значення mA не змінюється, 20,5 mA, 22 mA, < 3,6 mA
Макс. вихідний струм	22 mA
Пусковий струм	$\leq 3,6$ mA; ≤ 10 mA для 5 мс після включення
Демпфування (63 % вхідний величезні), що встановлюється	0 ... 999 s
Вихідні значення HART	відповідають. HART 7.01
Відтворюваність	$\leq \pm 1$ mm
Похибка вимірювання на сипучих продуктах	Значення сильно залежать від умов застосування
Похибка вимірювання під впливом ЕМС	$\leq \pm 30$ mm
Температурний дрейф – цифровий вихід	± 3 мм/10 К щодо max. Діапазону виміру або max. 10 мм
Додаткова похибка внаслідок сильних високочастотних електромагнітних полів у межах EN 61326	$< \pm 50$ мм
Температурний дрейф (струмовий вихід)	$\pm 0,03$ %/10 К щодо інтервалу 16 mA або max. $\pm 0,3$ %

Похибка на струмовому виході внаслідок аналогово-цифрового перетворення	$\leq \pm 15 \mu\text{A}$
Похибка на струмовому виході внаслідок сильних високочастотних електромагнітних полів у межах EN 61326	$\leq \pm 150 \mu\text{A}$
Частота	Діапазон К (технологія 26 ГГц)
Час вимірювального циклу прибіл.	700 ms
Час реакції на стрибок (інтервал часу після стрибкоподібної зміни вимірюваного відстань на макс. 2 м при застосування на сипких продуктах до моменту, коли вихідний сигнал вперше досягне 90% своєї встановленої величини (IEC 61298-2))	$\leq 3 \text{ s}$
Швидкість супроводу вимірювального вікна, макс.	1 m/min
Ширина діаграми спрямованості (поза даною шириною діаграми спрямованості енергія радарного сигналу знижується на 50% (-3 dB))	10 °
Випромінювана ВЧ-потужність (залежно від параметрування) EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power (Еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність)	
Середня спектральна щільність випромінюваної потужності	-14 dBm/MHz EIRP

Максимальна спектральна щільність випромінюваної потужності	+43 dBm/50 MHz EIRP
Макс. щільність потужності на відстані 1 м	$< 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
Електромеханічні дані	
Кабельне введення	
Однокамерний корпус	1 x IP 68-кабельне введення M20 x 1,5; 1 x заглушка M20 x 1,5
Двокамерний корпус	1 x IP 68-кабельне введення M20 x 1,5; 1 x заглушка M20 x 1,5; 1 x заглушка M16 x 1,5
З'єднувальний кабель	
Перетин дроту	0,5 мм ² (AWG 20)
Опір дроту	$< 0,036 \text{ Ом/м}$
Міцність при розтягуванні	$< 1200 \text{ N (270 lbf)}$
Стандартна довжина	5 м
Макс. довжина	180 m
Мін. радіус вигину	25 мм при 25 °C
Діаметр прибл.	8 мм

Габаритні розміри датчика рівня радарного VEGAPULS 67 наведено на рис. 2.10.

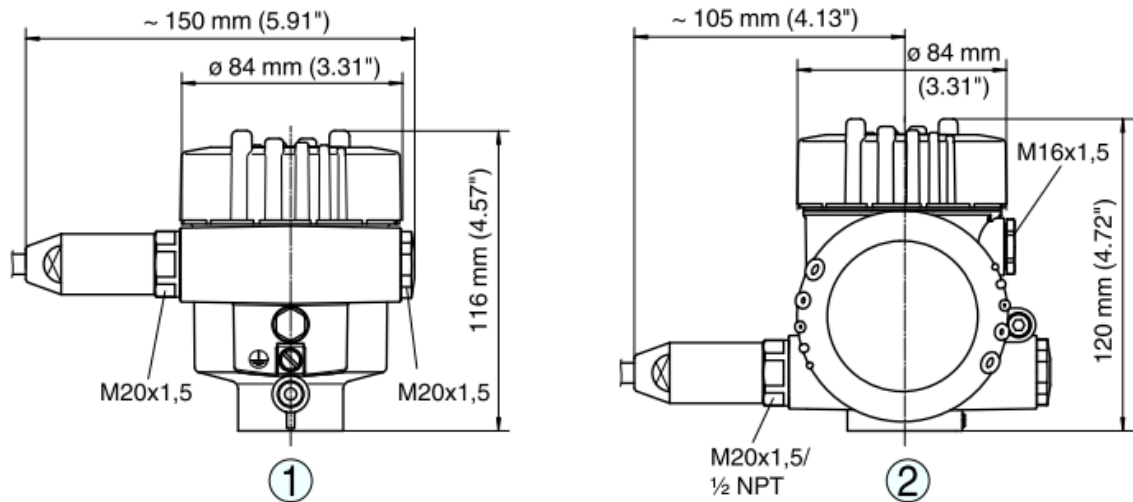


Рис. 2.10 Габаритні розміри датчика рівня радарного VEGAPULS 67

2.3.2. Трансформатор струму Т-0,66 50/5

Трансформатор струму Т-0,66 50/5 клас точності 0,5 Мегомметр - використовується для передання сигналу вимірювальної інформації на прилади вимірювання, автоматики, сигналізації і управління в електричних ланцюгах змінного струму частотою 50 -60 Гц (рис. 2.11).



Рис. 2.11 Трансформатор струму Т-0,66 50/5

Відповідає вимогам Тех. регламенту, затвердженого Кабміном України від 13.01.2016 № 94, ДСТУ EN 61869-1, ДСТУ EN 61869-2 (навантаження вторинної обмотки знаходиться у діапазоні від 25% до 100% значення номінального навантаження) [14]. Кріплення за допомогою пластин, які входять до комплекту поставки або DIN-рейки.

Трансформатор повинен використовуватися при номінальній лінійній напрузі 0,66 кВ, номінальній силі струму вторинної обмотки 5 А і номінальній силі струму первинної обмотки 50 А. Технічні характеристики трансформатора струму Т-0,66 50/5 наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Технічні характеристики трансформатора струму Т-0,66 50/5

Тип	Трансформатор струму Т-0,66 50/5 клас точності 0,5 Мегомметр
Номінальна напруга трансформатора	0,66 кВ
Первинний струм	50 А
Максимальний вихідний струм	5 А
Клас точності	0,5
Міжповірочний інтервал	5 років
Номінальна частота мережі	50/60 Гц
Розмір, мм	105 x 75 x 130 мм
Вага	до 1,3 кг
Температура експлуатації	-45 ... + 40 ° С
Номінальна вторинне навантаження	3 коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_2 = 0,85 \text{ V} \cdot \text{A}$.

2.3.3. Датчик струму Seneca T201

Перетворювач струму Seneca T201 використовується для вимірювання змінного струму в електричних системах (рис. 2.12). T201 - це безконтактний

датчик змінного струму з вихідним сигналом 4...20 мА, пропорційним вимірюваному значенню [15]. Перетворювач T201 використовується в системах контролю приводу змінного струму, системах контролю цілісності електричних ланцюгів, в системах моніторингу споживання струму та в інших застосуваннях, де необхідно вимірювати змінний струм до 40 А. Наявність DIP-перемикачів на корпусі дозволяє оперативно проводити налаштування на один з восьми заданих діапазонів виміру. Передбачено фільтрацію вимірюваних значень.

Кріплення A-DIN-T201 для установки поставляється в комплекті з датчиком, що забезпечує монтаж перетворювача на стандартну DIN-рейку. Тут двохпровідна схема підключення. Включається безпосередньо в ланцюг по схемі трансформатора. Вимірювальний перетворювач струму приладу задається перемикачами на корпусі перетворювача. Датчик живиться від струмової петлі.



Рис. 2.12 Датчик струму Seneca T201

Технічні характеристики датчика струму Seneca T201 наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Технічні характеристики датчика струму Seneca T201

Параметр	Значення
Діапазони	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 А (вибирається DIP-перемикачами)
Макс. миттєве навантаження	800 А
Частота	20...1000 Гц
Ізоляція	1 кВ під час вимірювання струму через провід без ізоляції
Споживання	< 50 мВт
Робоча напруга	5...28 В DC (живлення від струмової петлі)
Струмовий вихід	4...20 мА (2-х провідна схема підключення)
Максимальний струм	< 28 мА в умовах навантаження
Точність (1)	Частота: 40 ... 400 Гц: Діапазон 5 А: < 0,1 % о. + 0,1% від верхньої межі діапазону виміру Інші діапазони: < 0,2 % від виміряного значення + 0,1% від верхньої межі діапазону виміру Частота: 20...40 Гц, 400...1000 Гц: Діапазон 5 А: < 0,1 % о. + 0,3% від верхньої межі діапазону виміру Інші діапазони: < 0,2 % від виміряного значення + 0,3% від верхньої межі діапазону виміру
Емі перешкоди (2)	< 40 μ А

Робоча температура	-20...+60 °C
Температурна похибка	0,015 %/ °C
Час відгуку (10...90%)	< 100 мс (без фільтру) / $\approx 2,5$ с (з фільтром)

Габаритні розміри датчика струму Seneca T201 наведено на рис. 2.13.

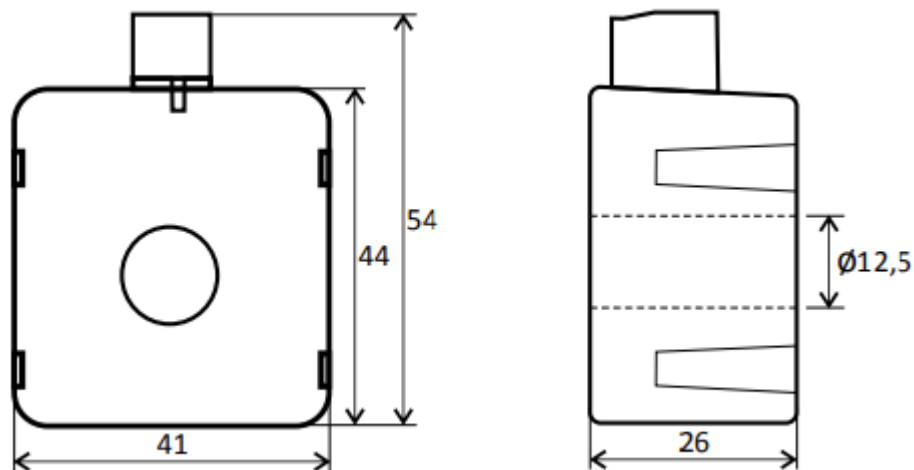


Рис. 2.13. Габаритні розміри датчика струму Seneca T201

2.4. Перетворювач частоти Moeller M-Max 740-230-SC

Перетворювачі частоти MOELLER M-MAX (рис. 2.14) призначені для перетворення однофазної або трифазної напруги змінного струму, з постійною частотою 50 Гц, в трифазну напругу з регульованою частотою [16].

Принцип роботи перетворювача частоти базується на основних особливостях роботи асинхронного двигуна. В асинхронному двигуні частота обертання магнітного поля n_1 залежить від частоти напруги живлення. При живленні обмотки статора асинхронного двигуна трифазною напругою з частотою f утворюється так зване «обертальне» магнітне поле.



Рис. 2.14. Перетворювач частоти Moeller M-Max 740-230-SC

Швидкість обертання цього магнітного поля визначається за відомою формулою:

$$\omega = \frac{2\pi f}{p},$$

де p – число пар полюсів статора.

Перехід від швидкості обертання поля ω_1 , що вимірюється в радіанах, до частоти обертання n_1 , вираженою в обертах за секунду, здійснюється за формулою:

$$n_1 = \frac{60\omega_1}{\pi},$$

де 60 – коефіцієнт перерахунку розмірності.

Підставивши в це рівняння швидкість обертання поля ω_1 , отримаємо, наступний математичний вираз:

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Таким чином, можна зробити висновок, що частота обертання ротора асинхронного двигуна залежить від частоти напруги живлення. Ця залежність є основою методу частотного керування.

Зміною частоти напруги живлення на вході двигуна за допомогою перетворювача регулюється частота обертання ротора. Вихідна частота в перетворювачах частоти може змінюватися в широкому діапазоні. Вона може бути як нижче, так і вище за частоту живлячої мережі.

Всі перетворювачі частоти компанії MOELLER побудовані за схемою з явно вираженою ланкою постійного струму (рис. 2.15). В перетворювачах цього класу використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга (L1, L2, L3) з постійною амплітудою і частотою випрямляється у випрямному блоці (BR) і фільтрується та згладжується у блоці фільтрації (BF), в результаті виходить постійна напруга. Цей вузол називається ланкою постійного струму.

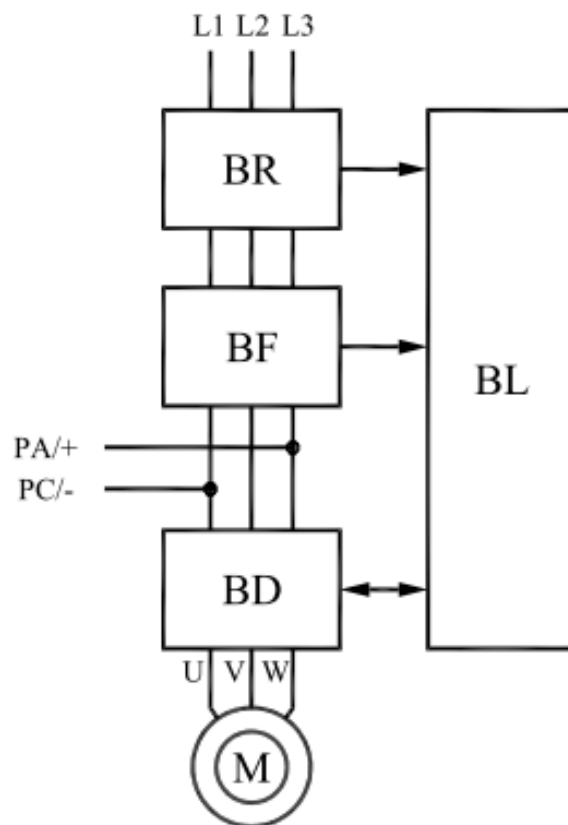


Рис. 2.15 Перетворювач MOELLER M-MAX з явно вираженою ланкою постійного струму

Загальні експлуатаційні дані перетворювачів частоти MOELLER M-MAX зведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 Експлуатаційні дані перетворювачів MOELLER M-MAX

Найменування	Пояснення
Основна потужність	11 кВт
Вихідний струм	Розрахунковий струм при макс. +50 °С; можливість перевантаження 150 % на 60 с кожні 600 с; пусковий струм 200 % на 2 с кожні 20 с
Вихідна частота	0-320 Гц; заводські налаштування 50 Гц з кроком 0,01 Гц
Тактова частота	1-16 кГц; заводська установка 6 кГц; крок прирощення 0,1 кГц
Кабель двигуна	Максимальна довжина – 30 м
Клас захисту	IP 20
Захисні функції	Перенапруження, реєстрація короткого замикання на землю в двигуні і кабелі двигуна при пуску, перевищення температури, струм перевантаження, перевантаження двигуна, недовантаження двигуна, блокування двигуна

2.5. Програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200 розроблені для реалізації невеликих автоматизаційних завдань. Вони універсальні і мають модульну конструкцію, здатні функціонувати в реальному масштабі часу і при побудові не складних вузлів локальної або комплексної системи автоматизації у форматі комунікаційного обміну даними за допомогою мережі Industrial Ethernet/PROFINET і PtP (Point-to-Point)-з'єднання [17].

Корпус ПК S7-1200 виконаний з пластику і відрізняється компактністю, він має ступінь захисту IP20, SIMATIC S7-1200 працює при мінімальній температурі 0C ° і максимальної 50C ° і кріпиться на звичайну 35-ти міліметрову профільну DIN-шину або монтажну плату.

ПК SIMATIC S7-1200 можуть обслуговувати від 10 до 248 дискретних та від 2 до 51 аналогових каналів вводу/виводу. Він займає на тридцять п'ять відсотків менше обсягу при монтажі на відміну від S7-200, з урахуванням однакової конфігурації по входам та виводам.

До ЦП (CPU) S7-1200 підключаються комутаційні модулі – CM, сигнальні модулі – SM, сигнальні плати – SB для введення та виведення аналогових та дискретних сигналів. З ним застосовується 4х-канальний комутатор Industrial Ethernet (CSM 1277) і модуль блоку живлення (PM 1207).

Контролер SIMATIC S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0 (рис. 2.16) призначений для вирішення різних завдань автоматизації малого рівня. Ці контролери мають модульну конструкцію та універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, можуть використовуватися для побудови щодо простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання. Програмовані контролери S7-1200 працюють у діапазоні температур від 0 до +50 °C і здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних та від 2 до 51 аналогового каналу введення-виведення.

Центральні процесори середнього рівня продуктивності для програмованих контролерів S7-1200.

Наявність модифікацій з різними варіантами напруги живлення та видом дискретних виходів.



Рис. 2.16 Контролер SIMATIC S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0

Вбудований інтерфейс PROFINET з підтримкою:

- PG/OP функцій зв'язку,
- S7 функцій зв'язку в режимі S7 клієнта або S7 сервера,
- відкритого обміну даними через Ethernet на основі транспортних протоколів TCP/IP, ISO на TCP та UDP;
- функцій контролера PROFINET IO;
- функцій інтелектуального приладу вводу-виводу PROFINET IO (в CPU від V4.0);
- функцій інтелектуального загального приладу введення-виведення (в CPU від V4.1) з підтримкою доступу з боку двох контролерів PROFINET IO;
- функцій клієнта чи сервера MODBUS TCP;
- функцій Web сервера.

Потужний набір вбудованих технологічних функцій: - Швидкісного рахунку, - Вимірювання частоти або тривалості періоду, - ПІД регулювання, - управління переміщенням.

Вбудовані канали введення-виведення: - чотирнадцять дискретних входів; - десять дискретних виходів; - два аналогові входи.

Розширення:

- до трьох комунікаційних модулів на процесор;
- до восьми сигнальних модулів на процесор;
- одна сигнальна/комунікаційна плата на процесор.

Відсік для встановлення картки пам'яті SIMATIC Memory Card.

Інтерфейси розширення.

Підтримка функцій оновлення вбудованого програмного забезпечення.

Технічні характеристики контролера SIMATIC S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0 наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 Технічні характеристики контролера SIMATIC S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0

Найменування	Опис
Позначення	S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0
Версія вбудованого програмного забезпечення	V4.4
Інженерне забезпечення з допомогою пакету програмного забезпечення для програмування	Не нижче STEP 7 V16
Напруга живлення	Номінальне значення 24 В пост. струму
Допустимий діапазон, нижня межа (пост. струм)	20,4 V
Допустимий діапазон, верхня межа (пост. струм)	28,8 V
Захист від переплутування полярності	так
Напруга навантаження L+	
• Номінальне значення	24 V

(пост. струм)	
• Допустимий діапазон, нижня межа (пост. струм)	20,4 V
• Допустимий діапазон, верхня межа (пост. струм)	28,8 V
Вхідний струм	
Споживання струму (номінальна)	500 mA; тільки ЦП
Макс. споживання струму	1 500 mA; ЦП з усіма модулями розширювальними
Макс. струм включення	12 A; при 28,8 V
I^2t	0,8 A ² -s
Вихідний струм для шини на задній стійці (5 пост. струму), макс.	1 600 ма; макс. 5 V пост. струму для SM і CM
Живлення датчика 24 V	L+ мінус 4 пост. струму хв.
Нормальна потужність, що розсіюється	12 W
Оперативний запам'ятовуючий пристрій вбудований	100 kbyte
Пам'ять завантаження вбудована	4 Мбайт
Вставна (карта пам'яті SIMATIC), макс.	з картою пам'яті SIMATIC Memory Card

Габаритні розміри контролера SIMATIC S7-1200 наведено на рис. 2.7.

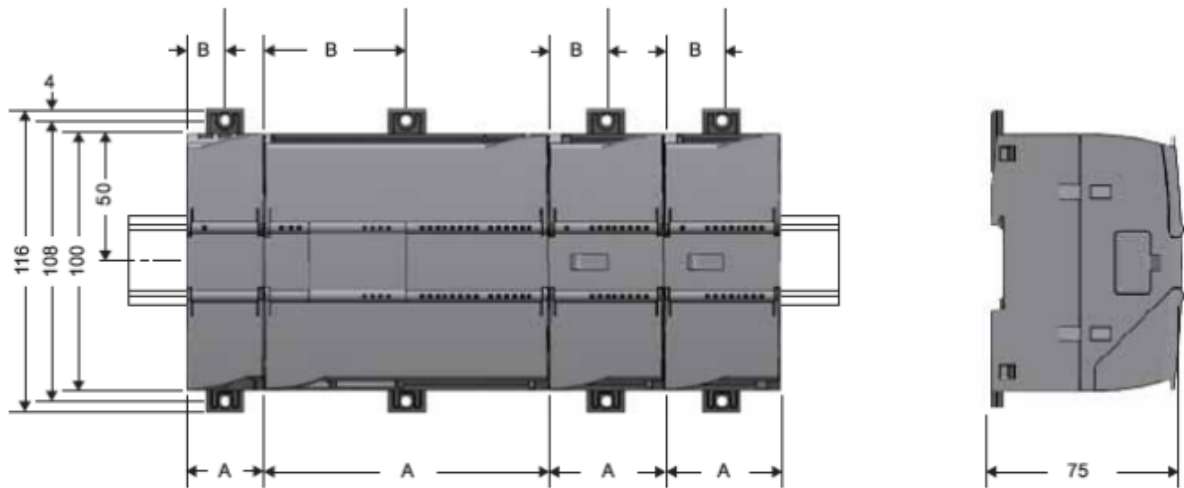


Рис. 2.7. Габаритні розміри контролера SIMATIC S7-1200

Тип	Назва модуля	Ширина А	Ширина Б
CPU	CPU 1214C	110 мм	55 мм
Сигнальні модулі	8 и 16 входів/виходів, пост. струму і релейних (8I, 16I, 8Q, 16Q, 8I/8Q)	45 мм	22,5 мм
Сигнальні модулі	аналогові (4AI, 8AI, 4AI/4AQ, 2AQ, 4AQ)	45 мм	22,5 мм
Сигнальні модулі	16I/16Q релейні (16I/16Q)	70 мм	35 мм
Комунікаційні модулі	CM 1241 RS232 и CM 1241 RS48	30 мм	15 мм

2.6. Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної та структурної було розроблено електричну принципову схему автоматизованої системи управління маршрутами елеватора, яка наведена у додатку.

Було обрано комунікаційне обладнання – реле, запобіжники, вимикачі.

В таблиці 2.7 наведено перелік елементів принципової схеми,

Таблиця 2.7 Перелік елементів принципової схеми

Позиція	Найменування	Кількість	Примітки
A1.1-2	Контролер SIMATIC S7-1200 6ES7214-1HG40-0XB0	1	
UW1... UW27	Перетворювач частоти Moeller M-Max 740-230-SC	27	Рнд=11 кВт
KM1- KM 34	Контактори Moeller DIR-40	34	
SA1... SA27	Перемикач ПМОФ-3-24 Аско	27	
UY1... UY1	Датчик струму Seneca T201	27	
HL1,2	Лампи сигнальні ЕАО -24-3(жовт)+ ЕАО -220-4(черв.)	2	+27
SB1,2	Кнопки натискні ЕАО-18-24-NO-3s + 3sf	2	+27
TA1... TA1	Трансформатор струму Т50/5	27	
K1.1-2.1... K1.27-2.27	Реле проміжне Relpol U24V/2NO	54	
K3.1... K3.27	Реле проміжне Relpol U220V/2NO	27	
SF1... SF1	Вимикач автом. однопол. ETI C1	27	
QF1... QF1	Вимикач автоматичн. силов. Moeller C32	27	
QS1....QS2 7	Вимикач ремонтний Moeller P3/I48	27	
FU	Запобіжники безінерц. Moeller K5-1A	4	
SL1... SL7	Датчик рівня радарний VEGAPULS 67	7	

3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕВАТОРА

3.1. Моделі управління зернопереробними підприємствами

На елеватор надходить сировина різної якості, а отже виникає потреба в різних операціях – фазах обробки сировини (рис. 3.1) Комплекс математичних моделей має враховувати такі системні характеристики роботи підприємства, як адаптивність, гнучкість, маневреність, ризик [18].

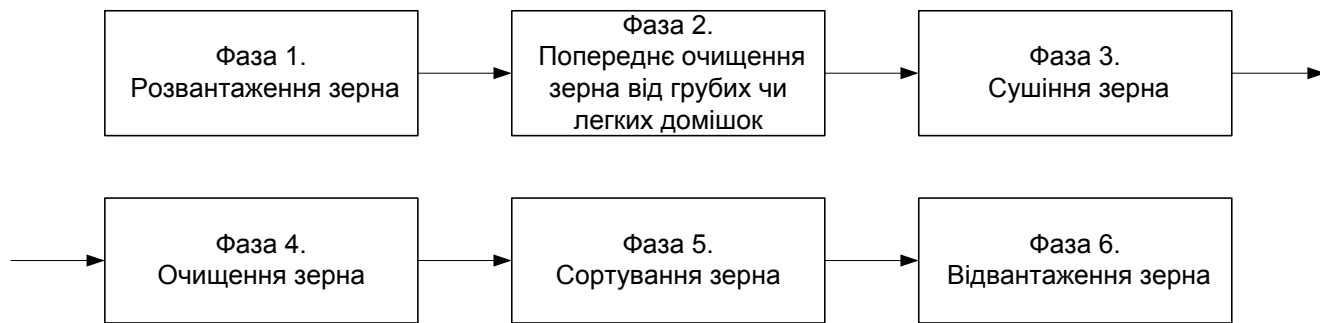


Рис. 3.1 Узагальнена схема технологічного процесу прийому та обробки зерна на типовому елеваторі

З метою моделювання управління типовим зернопереробним підприємством, технологічні операції якого схематично представлені на рис. 3.1 запропоновано систему математичних монопотоккових мультифазових моделей:

1. Модель управління фазами попереднього очищення та сушіння зернових на елеваторі. Пропонується змоделювати процес роботи елеватора на зазначених фазах у вигляді системи масового обслуговування. На підставі даних лабораторного аналізу зерна має бути прийняте рішення, в залежності від якості зерна, про необхідність відповідної його обробки. Тому представимо роботу двох фаз, які займають центральне місце в роботі елеватора [18]:

– на першій фазі зерно очищується від сміттевої та зернової домішки. У тому випадку, якщо зерно задовольнило вимоги лабораторії щодо якості і не вимагає наступної обробки, воно може перенаправлятися на зберігання чи відвантаження споживачу. У разі, якщо зерно не відповідає умовам якості, тобто потребує обробки, воно проходить фазу попереднього очищення і переходить до другої фази – сушіння;

– на другій фазі відбувається сушіння вже очищеного збіжжя, після чого зерно покидає систему обробки і є готовим або для наступної фази обробки (рис. 3.1), або до зберігання чи відвантаження споживачу.

Схематично роботу елеватора представлено на рис. 3.2 [18].

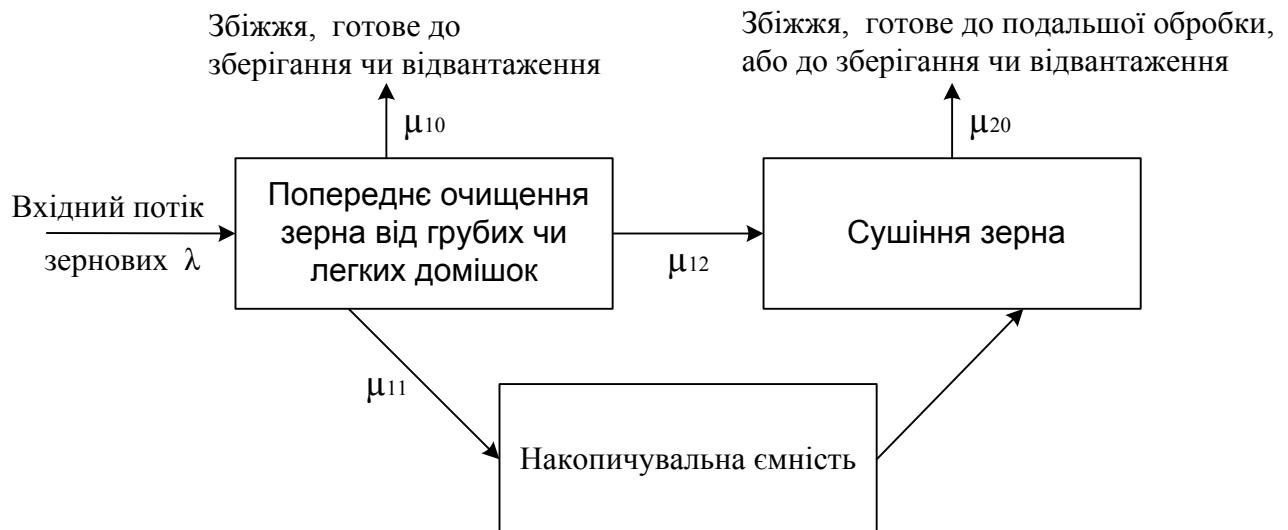


Рис. 3.2 Двофазова технологічна схема роботи елеватора

Стохастична модель, відповідно до представленої на рис. 3.1 схеми, розробляється відповідно до наступної системи гіпотез: система переробки є одним каналом, що має дві фази обслуговування, і при цьому дисципліна обслуговування є FIFO (перший прийшов – перший обслужився). Вимоги на обслуговування в систему надходять у вигляді партій зернових однорідної якості у випадкові моменти часу і утворюють пуассонівський потік з інтенсивністю λ партій зернових за годину. Кількість вимог у черзі

обмежується обсягом блоку очікування, в якому вони перебувають, чекаючи своєї черги до фази обслуговування. Число вимог у черзі, а також у блоці очікування не повинно перевищувати числа $N_1 = N + k$, де N – кількість партій зернових в черзі перед першою фазою обслуговування, $N = 1, 2, 3, \dots$, k – кількість партій зернових в накопичувальній ємності, де перебувають партії зерна, очікуючи, поки звільниться друга фаза обслуговування, $k = 1, 2, 3, \dots$. Час обслуговування на першій і на другій фазах має експоненціальний закон розподілу ймовірностей з параметрами μ_{10} , μ_{11} , μ_{12} , μ_{20} партій зернових за годину. Причому [18]:

- μ_{10} – інтенсивність обслуговування на першій фазі, при якому вимога задовольнила тест лабораторії щодо якості, не потребує подальшої обробки і, з імовірністю p_1 покидає систему;
- μ_{12} – інтенсивність обслуговування на першій фазі, при якому вимога не задовольнила вимог лабораторії, пройшла попереднє очищення і, з імовірністю p_2 переходить на фазу сушіння;
- μ_{11} – інтенсивність обслуговування на першій фазі вимоги, що пройшла попереднє очищення, необхідне за тестом лабораторії і, з імовірністю p_3 переходить в блок очікування, оскільки друга фаза є зайнятою;
- μ_{20} – інтенсивність обслуговування на другій фазі, при якому вимога, що потребувала обробки, пройшла фазу попереднього очищення, потім пройшла фазу сушіння і полишила систему.

Імовірності p_1, p_2, p_3 визначаються на основі статистичної інформації. Зазначимо p_1, p_2, p_3 , являють собою повну групу несумісних між собою подій і $p_1 + p_2 + p_3 = 1$.

Стохастична модель технологічного процесу елеватора на фазах попереднього очищення та сушіння зернових представлена як система диференціальних рівнянь, має вигляд [18]:

$$\begin{aligned}
P'_{0 \begin{smallmatrix} (0,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -\lambda P_{0 \begin{smallmatrix} (0,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + p_1 \mu_{10} P_{0 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
P'_{0 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_2 \mu_{12} + p_1 \mu_{10}) P_{0 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{0 \begin{smallmatrix} (0,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + p_1 \mu_{10} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
&\vdots \\
P'_{N \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_2 \mu_{12} + p_1 \mu_{10}) P_{N \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{N-1 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{N \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ p_1 \mu_{10} P_{N+1 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
P'_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + \mu_{20}) P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + p_1 \mu_{10} P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ p_2 \mu_{12} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
&\vdots \\
P'_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (k) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + \mu_{20}) P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (k) \end{smallmatrix}}(t) + p_3 \mu_{11} P_{0 \begin{smallmatrix} (1, 1) \\ (k-1) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (0, 1) \\ (k+1) \end{smallmatrix}}(t) \tag{3.1} \\
P'_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_3 \mu_{11} + p_1 \mu_{10} + \mu_{20}) P_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ \mu_{20} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + p_2 \mu_{12} P_{2 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
&\vdots \\
P'_{N \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_3 \mu_{11} + p_1 \mu_{10} + \mu_{20}) P_{N \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{N-1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ \mu_{20} P_{N \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + p_2 \mu_{12} P_{N+1 \begin{smallmatrix} (1,0) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) \\
P'_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_3 \mu_{11} + p_1 \mu_{10} + \mu_{20}) P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + p_1 \mu_{10} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ p_3 \mu_{11} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (0) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (2) \end{smallmatrix}}(t) \\
P'_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (k) \end{smallmatrix}}(t) &= -(\lambda + p_3 \mu_{11} + p_1 \mu_{10} + \mu_{20}) P_{0 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (1) \end{smallmatrix}}(t) + \lambda P_{0 \begin{smallmatrix} (0,1) \\ (k) \end{smallmatrix}}(t) + p_1 \mu_{10} P_{1 \begin{smallmatrix} (1,1) \\ (k) \end{smallmatrix}}(t) + \\
&+ p_3 \mu_{11} P_{1 \begin{smallmatrix} (1, 1) \\ (k-1) \end{smallmatrix}}(t) + \mu_{20} P_{0 \begin{smallmatrix} (1, 1) \\ (k+1) \end{smallmatrix}}(t)
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 P'_{1(1,1)(k)}(t) &= -(\lambda + p_3\mu_{11} + p_1\mu_{10} + \mu_{20})P_{1(1,1)(1)}(t) + \lambda P_{0(1,1)(k)}(t) + \\
 &+ p_1\mu_{10}P_{2(1,1)(k)}(t) + p_3\mu_{11}P_{2(1,1)(k-1)}(t) + \mu_{20}P_{1(1,1)(k+1)}(t) \\
 P'_{N(1,1)(k)}(t) &= -(p_1\mu_{10} + p_3\mu_{11} + \mu_{20})P_{N(1,1)(k)}(t) + \lambda P_{N-1(1,1)(k)}(t) + \\
 &+ p_3\mu_{11}P_{N+1(1,1)(k-1)}(t)
 \end{aligned}$$

де $P_{N(1,1)(k)}$ – імовірність того, що в момент часу t в системі перебуває N вимог, що чекають в черзі на обслуговування, одна вимога обслуговується на першій фазі обслуговування, k вимог чекають на обслуговування на другій фазі в накопичувальній ємності, одна вимога обслуговується на другій фазі.

Стохастичну модель (3.1), яка працює в реальному масштабі часу, можна представити у векторно-матричній формі: [18]

$$\frac{d\vec{P}(t)}{dt} = A\vec{P}(t) \quad (3.2)$$

де $\vec{P}(t)$ – вектор ймовірностей станів підприємства в момент часу t ;

A – квадратна матриця, елементи якої a_{ij} є сталими величинами, котрі визначаються параметрами системи λ , μ_{10} , μ_{11} , μ_{12} , μ_{20} .

При цьому виконується умова нормування

$$\sum_{N=0}^{N_1} P_{N(1,0)(0)}(t) + \sum_{k=0}^{N_1-N} \sum_{N=0}^{N_1} P_{N(1,1)(k)}(t) + \sum_{k=0}^{N_1} P_{0(0,1)(k)}(t) = 1 \quad (3.3)$$

Вся сукупність несумісних станів системи являє собою повну групу подій, тобто виконується умова (3.3). Оскільки $\det A = 0$, то модель

побудовано правильно. А отже, виконання умов локального балансу в усіх станах мережі є достатньою умовою існування глобального балансу в мережі.

Систему (3.2) розв'язано шляхом діагоналізації матриці A . В дослідженні також доведено, що розв'язки лінійної однорідної системи диференціальних рівнянь із сталими коефіцієнтами (3.2) є стійкими.

У стаціонарному режимі роботи елеватора ($t \rightarrow \infty$) система (3.1) переходить в однорідну систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка у векторно-матричній формі має вигляд

$$A\vec{P} = 0 \quad (3.4)$$

де $\det A = 0$, а тому (1.4) має безліч розв'язків. Якщо до (1.4) додамо умову нормування, то дістанемо лінійну систему неоднорідних рівнянь,

$$\begin{cases} A\vec{P} = 0 \\ \sum_{N=0}^{N_1} P_{N(1,0)}^{(0)} + \sum_{k=0}^{N_1-N} \sum_{N=0}^{N_1} P_{N(1,1)}^{(k)} + \sum_{k=0}^{N_1} P_{0(0,1)}^{(k)} = 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

яка має ненульові розв'язки.

Розв'язавши систему (1.5) відносно $\vec{P}$, отримаємо вектор стаціонарних ймовірностей станів роботи елеватора на фазах попереднього очищення та сушіння зернових, та на його основі показники системних характеристик роботи елеватора. Наведемо деякі з них [18]:

а) показник роботи зернопереробного підприємства – сподівана кількість партій зернових (шт.) перероблених елеватором на фазах попереднього очищення та сушіння, залежно від прогнозованої врожайності :

$$\begin{aligned} M_{заг} = & \sum_{k=0}^{N_1-N} \sum_{N=0}^{N_1} (N+k+1+1) P_{N(1,1)}^{(k)} + \sum_{k=0}^{N_1} (N+k+1) P_{0(0,1)}^{(k)} + \\ & + \sum_{N=0}^{N_1} (N+k+1) P_{N(1,0)}^{(0)} \end{aligned} \quad (3.6)$$

б) дисперсія кількості оброблених підприємством партій зернових:

$$D = \left(\sum_{k=0}^{N_1-N} \sum_{N=0}^{N_1} (N+k+1+1)^2 P_{N(1,1)}^{(k)} + \sum_{k=0}^{N_1} (N+k+1)^2 P_{0(0,1)}^{(k)} + \sum_{N=0}^{N_1} (N+k+1)^2 P_{N(1,0)}^{(0)} \right) - M_{\zeta\alpha\bar{\alpha}}^2 \quad (3.7)$$

Тоді $\sigma = \sqrt{D}$ – середньоквадратичне відхилення кількості вимог в системі (шт.). А отже, з рівнем довіри γ , використовуючи нерівність Чебишева, можемо встановити межі маневреності підприємства по обробці зернових

$$M_{\text{заг}} - \frac{\sigma}{\sqrt{1-\gamma}} \leq M \leq M_{\text{заг}} + \frac{\sigma}{\sqrt{1-\gamma}} \quad (3.8)$$

в) у якості одного з показників гнучкості роботи підприємства запропоновано використовувати середню тривалість обслуговування на відповідних фазах роботи (год.):

$$T = \frac{M_{\text{заг}}}{\lambda} \quad (3.9)$$

г) у якості одного з показників ризику – коефіцієнт асиметрії (As), який показує рівень ризику того, що клієнту може бути відмовлено в обслуговуванні, а отже і необхідність здійснити розшивку вузьких місць на відповідних фазах роботи елеватора [18]:

$$\begin{aligned} As = & \sum_{k=0}^{N_1-N} \sum_{N=0}^{N_1} P_{N(1,1)}^{(k)} \left(\frac{(N+k+1+1) - M_{\text{заг}}}{\sigma} \right)^3 + \\ & + \sum_{k=0}^{N_1} P_{0(0,1)}^{(k)} \left(\frac{(N+k+1) - M_{\text{заг}}}{\sigma} \right)^3 + \\ & + \sum_{N=0}^{N_1} (N+k+1) P_{N(1,0)}^{(0)} \left(\frac{(N+k+1) - M_{\text{заг}}}{\sigma} \right)^3 \end{aligned} \quad (3.10)$$

д) сподівана корисність від роботи зернопереробного підприємства з урахуванням ризику невикористаних можливостей, яка може бути розрахована за день, місяць, рік (грн):

$$U = E - G_{em} \quad (3.11)$$

де E – економічний ефект роботи підприємства (грн):

$$E = \lambda \cdot T \cdot P_{зав} C = M_{зав} P_{зав} C \quad (3.12)$$

Причому $P_{зав}$ – ймовірність того, що підприємство завантажене вимогами і не простоє, C – вартість обслуговування однієї вимоги (грн/шт.).

G_{em} – функція сподіваних втрат підприємства (грн):

$$G_{em} = (q_n + q_k M_{зав} P_{зав} + q_{оч} L \cdot P_{N+k} + C \cdot \bar{W}) \quad (3.13)$$

Причому q_n – умовно-постійні витрати пов'язані з утриманням виробничих приміщень (опалення, освітлення і т.п.), з виплатою заробітної плати тощо (грн.), q_k – умовно-змінні витрати на технологічні цілі, використання пального та електроенергії, заробітну плату на обробку партій зернових (грн/шт.), $q_{оч}$ – збитки пов'язані з очікуванням вимоги в черзі, наприклад штраф за простої одиниці транспорту в черзі, (грн/шт.), L – кількість партій зернових, що перебуває в черзі за певний період часу (шт.), $\bar{W}$ – середня кількість ймовірних втрачених вимог підприємством, внаслідок обмеженості черги за певний період часу (шт.), P_{N+k} – ймовірність втрат партій зернових, яким буде відмовлено переробці [18].

Економіко-математичні моделі (3.2), (3.5) дозволяють здійснювати адаптацію системи до наперед непередбачуваних змін оточуючого середовища. Важелями управління адаптацією системи до навколишнього середовища є: маневрування числом каналів на фазах обслуговування, зміна кількості фаз обслуговування шляхом встановлення значення μ_j , управління пороговим значенням черги N_1 , маневрування інтенсивністю обслуговування тощо.

3.2. Математична модель динаміки запасів зерна на хлібоприймальному підприємстві

Аналіз технологічних схем підприємств, робота яких пов'язана зі створенням, зберіганням та використанням запасів зерна, дозволив зробити висновок, що ефективність роботи таких підприємств суттєвим чином залежить від ефективності прийнятих та реалізованих рішень персоналу на різних етапах технологічного процесу. Тому підвищення ефективності керування такими процесами зводиться до підвищення ефективності підтримки прийняття рішень виробничого персоналу.

Основу підтримки прийняття рішень виробничого персоналу складає оцінка корисності можливих варіантів рішень, що ґрунтується на прогнозуванні стану об'єкту прийняття рішень. Для прогнозування стану будь-якого об'єкту і зберігання запасів зерна зокрема слід розробити математичну модель процесів. Для прогнозування стану запасів зерна слід розробити модель їх створення, зберігання та використання. Але модель має вирішувати не лише задачі прогнозування. Вона повинна стати базою для розробки нових алгоритмів керування, а значить повинна бути адаптована до проведення машинних експериментів для оцінки ефективності існуючих та пропонуєваних алгоритмів керування [19].

Метою керування зберіганням запасів зерна є підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок зменшення ненормативних витрат від простоювання транспортних засобів у черзі, за рахунок збільшення ефективності використання транспортуючих механізмів та ємностей, зменшення втрат в масі та якості зерна при зберіганні, підвищення ефективності обробки зерна. Одним з напрямків досягнення поставленої мети є підвищення ефективності керування рівнем запасів. Для вирішення задачі керування створенням та витрачанням запасів зерна слід розробити модель динаміки рівню запасів.

Першим етапом створення моделі запасів зерна є створення концептуальної моделі, тобто моделі, що на структурному рівні відображає взаємозв'язок між параметрами стану об'єкту, потенційними керуючими діями та збуреннями. Другим етапом має стати отримання математичних моделей та ідентифікація їх параметрів. Для підготовки математичних моделей до машинних експериментів слід реалізувати математичні моделі у вигляді імітаційної моделі та провести з цією моделлю серію експериментів для оцінки відповідності її наявним експериментальним даним.

3.2.1. Концептуальна модель створення та витрачання запасів зерна

Для опису процесів динаміки запасів зерна зручно використовувати понятійний апарат теорії черг або теорії масового обслуговування [19]. У відповідності до цієї теорії (рис. 3.3) транспортні засоби, що поставляють зерно, будемо ототожнювати з поняттям «заявка». Основною характеристикою потоку заявок є його інтенсивність, тобто кількість заявок в одиницю часу. Цей параметр є випадковим. Після появи у системі кожна заявка розміщується в чергу. Надалі заявка надходить на обслуговування. На ХПП цей процес здійснює технологічна послідовність операцій: контроль якості – зважування – розвантаження – поточно-транспортна система елеватора, основною характеристикою якої є час обслуговування заявки. Цей параметр залежить не стільки від продуктивності ПТС та розміру заявки, що є величинами детермінованими, як від швидкості прийняття рішень обслуговуючим персоналом та практичних дій цього персоналу, конструктивних особливостей заявки. При цьому людський фактор є вирішальним у стохастичності часу обслуговування.



Рис. 3.3. Концептуальна модель системи масового обслуговування

Вихідний вантажопіток зерна з зерносховища є, в принципі, детермінованим. Хоча у випадку за хлібоприймальним підприємством, лінійними елеваторами, перевантажувальними терміналами він може носити і випадковий характер. Інтенсивність вихідного вантажопотоку також в значній мірі залежить від ефективності прийняття управлінських рішень.

Слід зазначити, що в класичній теорії управління запасами поповнення запасів та їх витрачання може бути миттєвим. У випадку ж з запасами зерна це неможливо і обмежено продуктивністю ПТС [19].

При керування запасами ключовим параметром є рівень запасів, тому в якості ключового параметру для запасів зерна у зерносховищах приймемо рівень запасів (H). Цей параметр визначається вхідними та вихідними вантажопотоками I та O [19].

Слід зазначити, що рівень запасів зерна у рамках підприємства не може бути перевищеним вище максимально припустимого значення або заниженим. Добиваються цього впливом на вхідні та вихідні вантажопотоки. Перевищення рівнем запасів максимально припустимого значення призводить до зупинки приймання зерна. Заниження рівню запасів зерна нижче гранично припустимого значення призведе до необхідності припинення відвантажування зерна. Все це може викликати накопичення черги транспортних засобів, штрафних санкцій із-за ненормативного простоювання транспорту, необхідності зупинки виробничих ліній та до недоотриманого прибутку підприємства.

Окрім рівню запасів важливими параметрами системи керування запасами зерна є довжина черги транспортних засобів L_q , кількість заявок,

що надійшли, L та кількість обслужених заявок L_O . Окрім вхідного потоку I ці параметри також визначатимуться розміром заявки (її тонажем) W_3 та часом обслуговування T_O однієї заявки.

Отже концептуальна модель рівню запасів зерна матиме вигляд, наведений на рис. 3.4 [19].

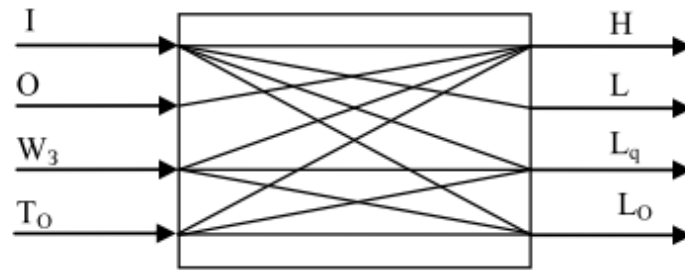


Рис. 3.4 Концептуальна модель рівню запасів зерна

Слід відзначити, що вищезначена концептуальна модель не є кінцевим варіантом, а лише етапом. Тому в майбутньому, при визначенні чергових важливих аспектів впливу на процеси, пов'язані з запасами зерна, концептуальна модель буде розвиватися та ускладнюватися.

3.2.2. Математична модель запасів зерна

В процесі приймання зерна на підприємство одним з вимірюваних параметрів для кожної партії зерна є її маса. Також для кожної партії зерна контролюють ряд показників якості і зокрема натуру, або насипну густину зерна. Прийнятую партію зерна розміщують в ємності і саме за ступенем наповненості цих ємностей і судять про такий параметр, як рівень запасів. Отже рівень запасів зерна доцільно розглядати в розмірності $[H] = \text{м}^3$. Тобто, під рівнем запасів зерна будемо розуміти об'єм зерна, розміщеного у зерносховищах підприємства [19].

З точки зору динаміки об'єкт керування за таким параметром, як об'єм, властивості самовирівнювання не має, тому у найпростішому випадку його можна описати інтегральним рівнянням виду:

$$H(t) = \int (k_1 \cdot I(t) - k_2 \cdot O(t)) dt \quad (3.14)$$

Слід зазначити, що вхідний та вихідний вантажопоток тісно зав'язаний на розмір заявки. При цьому швидкість зміни рівню запасів буде залежати від продуктивності поточно-транспортних ліній подачі та відбору зерна. Як правило, розмір заявок на відвантаження зерна значно перевищує розмір заявок на поповнення запасів. Наприклад, розмір партії зерна на переробку складає 600 т, розмір заявки з відвантаження зерна на судно – 20...50 тис. т. Тому вихідний вантажопоток $O(t)$ практично неперервним. Розмір заявок на поповнення запасів складає від 5...70 т (при поставках зерна автомобільним або залізничним транспортом). В моделі поповнення запасів зерна слід враховувати таке поняття, як час обслуговування заявки TO , який завжди перевищує час розвантаження TP . Слід враховувати що в час $TO - TP$ поповнення запасів не відбувається. Фізично цей інтервал часу може бути досить значним і головним чином визначається людським фактором.

Розмір заявок (тонаж транспортних засобів) слід вважати величиною випадковою. Він може змінюватися в певному діапазоні дискретним чином. Наприклад, очікуваними є автомобілі з вантажопідйомністю 5, 15, 25, 30 та 35 т. Закон розподілення розміру заявок – рівномірний.

Вхідний вантажопоток $I(t)$ спочатку є величиною постійною, що дорівнює продуктивності поточно-транспортної системи ГПТС (на час розвантаження TP), а потім має дорівнювати нулю (на час $TO - TP$). Надалі здійснюється перехід до нової заявки. Математичну модель цього процесу можна сформулювати наступним чином [19]:

$$I(t) = \begin{cases} G_{\text{ПТС}}, & t \leq T_p \\ 0, & T_p < t \leq T_o \end{cases} \quad (3.15)$$

Час розвантаження транспортного засобу залежить від розміру заявки W_3 та від продуктивності поточно-транспортної системи ГПТС і має визначатися наступним чином

$$T_p = W_3 / G_{\text{ПТС}} \quad (3.16)$$

Важливими параметрами моделі є час обслуговування та інтервал між заявками, що визначає інтенсивність вхідного вантажопотоку. Ці параметри є величинами випадковими та визначаються нормальним законом розподілення.

Для підготовки математичних моделей до проведення машинних експериментів слід отримані математичні моделі подати в формі імітаційної моделі.

3.2.3. Імітаційна модель створення та витрачання запасів зерна

Імітаційна модель включає модель черги заявок та модель динаміки рівню запасів зерна. Модель черги заявок включає модель надходження заявок *zayavka* з урахуванням моделі інтервалу між заявками, модель обслуговування заявок *zayavka1* з урахуванням моделі часу обслуговування та власне модель черги заявок *line*. Модель рівню запасів включає в себе модель поповнення запасів з урахуванням моделі тоннажу заявки, часу на розвантаження та часу обслуговування, а також модель витрачання запасів зерна. Структурна схема моделювання, що відповідає імітаційній моделі у середовищі імітаційного моделювання, наведена на рис. 3.5 [19].

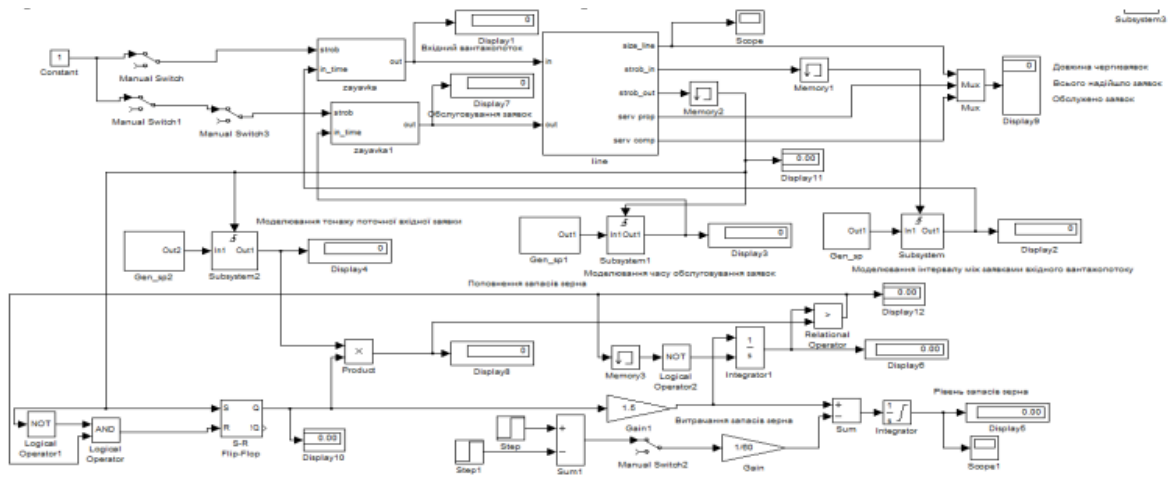


Рис. 3.5 Структурна схема моделювання динаміки запасів зерна

Отримана модель створення та витрачання запасів зерна є основою блоку прогнозування рівню запасів зерна та розміру черги заявок у системі підтримки прийняття рішень персоналу елеватора зернового, зернопереробного, харчового або хімічного підприємства, робота якого пов'язана зі створенням запасів зерна та насіння олійних культур.

3.3. Функції програмного забезпечення системи

Функціональні можливості програмного забезпечення системи керування елеватором:

- Візуалізація роботи системи: відображення стану обладнання, положення клапанів та засувки, а також стану датчиків рівня на мнемосхемі.
- Контроль струму: моніторинг електричного струму норій і транспортерів.
- Управління обладнанням: керування норіями, транспортерами, клапанами та засувками.
- Обробка аварійних сигналів: фіксація та обробка сигналів про аварії.
- Автоматична побудова маршрутів: автоматизація процесу створення маршрутів руху зерна.

- Пуск і зупинка обладнання: запуск і зупинка транспортного обладнання по команді оператора або за показниками датчиків рівня силосу.
- Плавний пуск: використання частотних перетворювачів для плавного запуску транспортного обладнання.
- Візуалізація маршрутів: відображення маршрутів на мнемосхемі елеватора.
- Сигналізація та повідомлення про помилки: видача аварійних повідомлень при збоях в роботі обладнання.
- Ведення архіву: зберігання даних про роботу системи.
- Контроль часу роботи: моніторинг часу роботи обладнання.

3.4. Алгоритм побудови маршруту

Внутрішня система керування транспортно-технологічними маршрутами на елеваторі складається з кількох підсистем, об'єднаних однією спільною метою. Функції цих підсистем включають:

- Автоматичний контроль стану обладнання: Безперервний моніторинг і оцінка стану всіх елементів системи.
- Автоматичний контроль безпеки транспортування зерна: Забезпечення безпеки під час транспортування зерна, враховуючи всі потенційні ризики та небезпеки.
- Контроль стану, функціонування, пуск та зупинка маршруту: Управління всіма аспектами роботи маршрутів, включаючи їх запуск і зупинку.
- Збір і аналіз інформації: Збір даних про роботу системи та їх аналіз для оптимізації процесів.
- Формування маршрутів: Побудова ефективних маршрутів для транспортування зерна.

Ці підсистеми разом утворюють ефективну систему керування транспортуванням продукції на елеваторі (рис. 3.6).

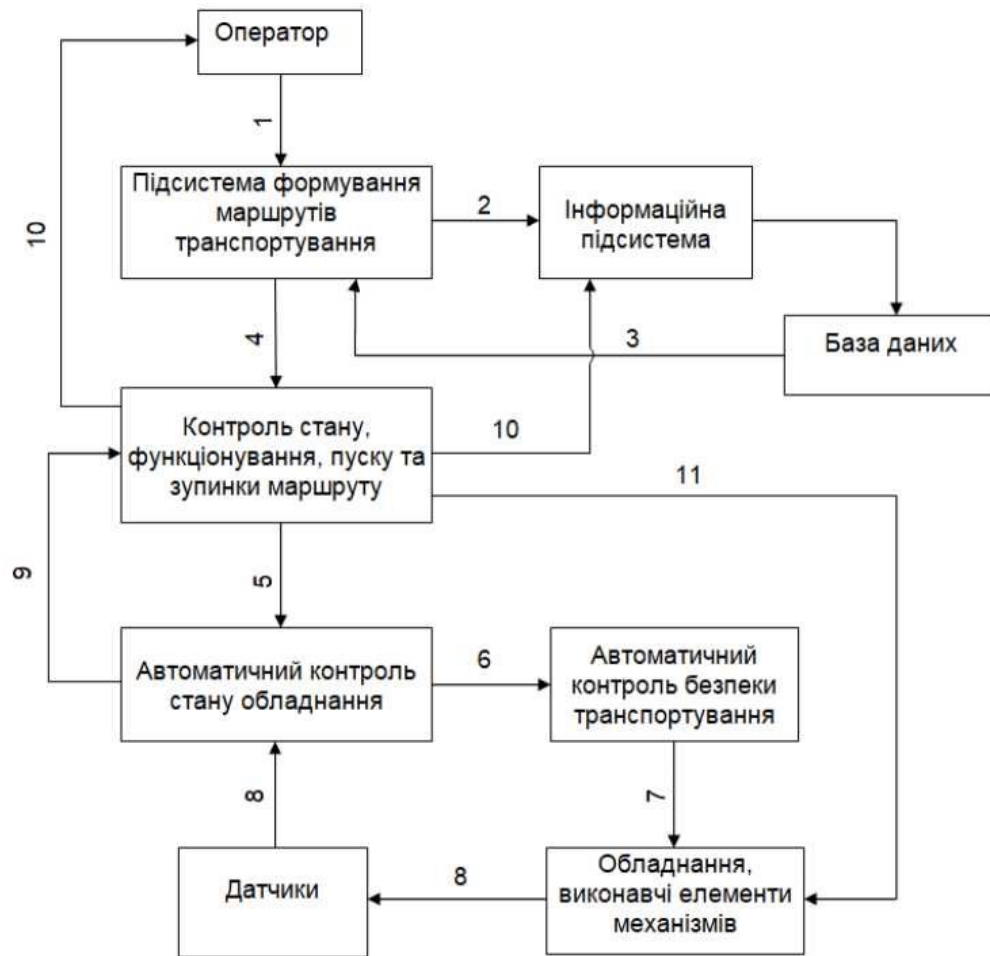


Рис. 3.6 Структурна схема керування транспортно - технологічними маршрутами

Розглянемо як відбувається автоматизований контроль процесу транспортування зернової продукції на елеваторі за кроками [9]:

1. Процес починається з команди оператора щодо формування маршруту, яка надходить до підсистеми формування маршрутів.
2. Підсистема формування маршрутів передає дані, отримані від оператора на панелі керування, до інформаційної підсистеми.
3. Інформаційна підсистема, використовуючи базу даних системи, обробляє дані та надає зворотну інформацію про обладнання, механізми та вже запрограмовані маршрути транспортування до підсистеми формування маршруту.

4. Підсистема формування маршруту надсилає дані для регулювання та керування маршрутом транспортування до підсистеми контролю стану, функціонування, пуску та зупинки маршруту.

5. Використовуючи цю інформацію, підсистема контролю маршруту надає інформацію для початку технологічного процесу транспортування, одночасно забезпечуючи стандартні функціональні значення для датчиків контролю обладнання в підсистемі автоматичного контролю стану обладнання.

6. Підсистема автоматичного контролю стану обладнання передає вхідні сигнали керування відповідним механізмам технологічної лінії та інформацію про стан обладнання до підсистеми контролю безпеки керуванням обладнанням.

7. Після перевірки стану робочого обладнання, підсистема автоматичної безпеки подає команди на пуск, а потім на зупинку виконавчих елементів механізмів.

8. Поточна інформація про стан механізмів та їхніх елементів, що беруть участь у транспортуванні, надходить від датчиків до підсистеми автоматичного контролю обладнання.

9. Підсистема автоматичного контролю обладнання передає дані про роботу транспортного обладнання до підсистеми контролю функціонування і стану маршруту транспортування.

10. Після отримання та обробки даних підсистема контролю маршруту надає оператору інформацію про перебіг процесу транспортування продукції та надсилає дані до інформаційної підсистеми.

11. Існує ручний режим керування маршрутом транспортування, який здійснюється за допомогою команд оператора.

12. Команди оператора надходять на блок формування маршруту, який за допомогою підсистеми стану, функціонування, пуску та зупинки маршруту керує обладнанням чи виконавчими механізмами залежно від

поставлених завдань.

Структуру керування транспортно-технологічними маршрутами на елеваторі можна умовно поділити на два основних фактори реалізації:

1. Персональний комп'ютер:

- Відображення інформації: показує інформацію про маршрут, включаючи процес формування і функціонування маршруту.

- Формування команд: здійснює створення команд за спеціальним алгоритмом.

- Формування уставок: задає параметри, які необхідно контролювати.

- Зберігання інформації: зберігає дані про хід технологічного процесу та дії оператора.

2. Мікропроцесорні контролери:

- Автоматичне виконання алгоритмів: обробка сигналів від датчиків та виконання алгоритмів.

- Видача команд: формує і надсилає команди на виконавчі механізми.

- Обробка уставок: здійснює необхідні налаштування.

- Аварійне відключення: забезпечує аварійне відключення обладнання у випадку надзвичайної ситуації.

Для оптимізації маршрутів транспортування важливо звернути увагу на структуру SCADA системи, зокрема на програмно-логічний контролер (PLC). PLC керує обладнанням силового щита через цифровий інтерфейс і відіграє ключову роль в автоматизації елеваторної системи. Він відповідає за реалізацію основних алгоритмів керування і захисту обладнання.

Алгоритми керування реалізуються за допомогою логічних рівнянь, які спрямовані на виконавчі механізми обладнання. Для досягнення універсальності ці алгоритми розподіляють виконавчі механізми на групи елементів [8].

Для ефективного керування обладнанням на елеваторі, всі виконавчі механізми поділяються на кілька основних груп:

- Транспортуючі механізми: конвеєри, транспортери, норії.

- Сховища: бункери, силоси.
- Направляючі механізми: поворотні круги та інші направляючі пристрої.
- Розвантажувальні механізми: розвантажувальні візки.

Для кожної з цих груп обладнання будується система логічних рівнянь, яка використовується для формування та управління сигналами керування. Це забезпечує точність та ефективність роботи всіх елементів системи [9].

1. Транспортні елементи технологічного маршруту керуються за наступною системою команд:

1. Запуск:

- Команда запуску транспортера: надсилається сигнал на старт конвеєра/норії для початку руху зерна.

- Перевірка стану: перевірка стану всіх датчиків і механізмів перед початком роботи.

2. Контроль під час транспортування:

- Моніторинг параметрів: постійний контроль струму, швидкості та навантаження на транспортер.

- Сигналізація відхилень: у разі виявлення відхилень від заданих параметрів система надсилає аварійні повідомлення.

3. Регулювання та корекція:

- Автоматичне регулювання: система автоматично регулює швидкість і навантаження на транспортер відповідно до заданих параметрів.

- Ручне втручання: оператор може вручну коригувати параметри роботи транспортера в разі потреби.

4. Зупинка:

- Команда зупинки: надсилається сигнал на зупинку транспортера після завершення транспортування або у разі аварійної ситуації.

- Перевірка стану: перевірка стану всіх датчиків і механізмів після зупинки.

Ці команди забезпечують ефективне та безпечне керування

транспортними елементами технологічного маршруту.

$$\begin{cases} Y1 = X7 \& X6 \& X5 \& X3 \& (X1 \& X2 \& X4 + \overline{X1} + X1 \& X2) \\ Y2 = X7 \& X6 \& X5 \& X3 \& (X1 \& X2 \& X4 + \overline{X1} + X1 \& X2) \end{cases}$$

де $X1, X2$ - контроль поточного стану об'єкту, $X3$ - задано напрям руху вперед, $X4$ - швидкість руху задовільна, $X5$ - рух відповідає заданому напрямку, $X6$ - перевантаження механізму, $X7$ - готовність наступного пристрою до прийому, $X8$ - живлення, $Y1$ - рух вперед, $Y2$ - рух назад;

2. Направляючі елементи технологічного процесу характеризуються системою команд, яка забезпечує точне та безперервне спрямування продукту в потрібному напрямку:

1. Встановлення напрямку:

- Команда на встановлення напрямку: відправляється сигнал для коригування положення поворотного круга або інших направляючих пристроїв.

- Перевірка положення: система перевіряє правильність встановлення напрямку та відсутність перешкод.

2. Моніторинг та корекція:

- Постійний контроль: моніторинг стану направляючих елементів під час процесу.

- Автоматична корекція: система вносить необхідні корективи для підтримання точного напрямку.

3. Контроль проходження продукту:

- Датчики проходження: контроль продукту на кожному етапі направляючого елемента.

- Сигналізація відхилень: у разі виявлення відхилень від заданого напрямку система надсилає аварійні повідомлення.

4. Зупинка та зміна напрямку:

- Команда на зупинку: у випадку необхідності змінити напрямок, система надсилає сигнал на зупинку направляючого елемента.

- Зміна напрямку: після зупинки, система встановлює новий напрямок

згідно з вимогами процесу.

Ці команди забезпечують точність та ефективність роботи направляючих елементів технологічного процесу.

$$\begin{cases} Y1 = X1 \& X2 \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \\ Y2 = X1 \& \overline{X2} \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \end{cases}$$

де X1 - контроль положення, X2 - напрямок повороту, X3 - контроль позиції, X4 - контроль підпору, X5 - живлення, X6 - відповідність заданому напрямку, Y1 - рух вперед, Y2 - рух назад;

3. для елементів розвантаження, керуючі команди діляться на дві системи логічних рівнянь:

перша група – команди руху візка:

$$\begin{cases} Y1 = \overline{X1} \& X2 \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \\ Y2 = \overline{X1} \& \overline{X2} \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \end{cases}$$

де X1 - відповідність номеру заданого силосу, X2 - заданий напрямок руху, X3 - контроль руху, X4 - відповідність напрямку руху, X5 - живлення, X6 - крайня позиція, Y1 - рух вперед, Y2 - рух назад;

друга група – команди руху клапанів:

$$\begin{cases} Y1 = \overline{X1} \& X2 \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \\ Y2 = X1 \& X2 \& X3 \& X4 \& X5 \& X6 \end{cases}$$

де X1 - заданий напрямок, X2 - візок на позиції, X3 - контроль руху, X4 - відповідність напрямку, X5 - живлення, X6 - дозвіл на відкриття клапанів, Y1 - рух клапана вправо, Y2 - рух клапана вліво.

Виходячи з вказаних рівнянь, основним елементом управління процесом транспортування є сигнал, що утворюється з алгоритму керування та логічних рівнянь. Зміна чи адаптація логічних рівнянь дозволяє розв'язувати питання оптимізації побудови транспортних маршрутів. Оптимальні маршрути визначаються за допомогою програмно-логічного контролера, який прокладає маршрути транспортування з урахуванням

певних критеріїв, таких як мінімізація енергії, довжини маршруту та втрат зерна.

Задача оптимізації маршруту вирішується програмно-логічним контролером, який враховує стан технологічного обладнання та можливість розгалуження. Всі можливі на даний момент маршрути переміщення зерна з початкового до кінцевого пункту аналізуються. З урахуванням принципу оптимальності, потужності приводів транспортного обладнання та їх впливу на якість зерна, контролер формує команди для налаштування клапанів і засувок, забезпечуючи мінімальні механічні пошкодження зерна та мінімальне електро споживання під час транспортування.

Після команди на запуск, лінія включається автоматично, працюючи з урахуванням програмно-логічних блокувань, що забезпечують оптимальність роботи. Система споживає мінімальну кількість електроенергії та завдає мінімальних пошкоджень зерну під час транспортування.

Для автоматизації роботи силосних засувок пропонується алгоритм на основі часових інтервалів закриття та відкриття. Розрахунок необхідного часу руху засувки виконується залежно від заданого оператором відсотка відкриття, загального часу відкриття/закриття та поточного положення засувки.

Для відкриття засувки на заданий оператором відсоток необхідно розрахувати час її руху. Якщо засувка знаходиться в закритому положенні, вона буде рухатися у напрямку відкриття, і час руху буде наступним:

$$Time_work = (Time_Test / 100SV),$$

де $Time_Test$ – середній час руху засувки в одному напрямку;
 $Time_work$ – розрахунковий час руху засувки; SV – заданий оператором відсоток відкриття засувки.

Ця формула допоможе визначити необхідний час руху засувки, щоб досягти потрібного рівня відкриття, виходячи з повного часу відкриття засувки.

Якщо засувка не закрита, напрям її руху залежатиме від фактичного положення. Якщо значення встановленого положення (SV) більше фактичного положення (PV), засувка рухатиметься у напрямку відкриття. Час руху в цьому випадку розраховується за наступною формулою:

$$Time_work = (Time_Test/100SV - (Time_Test/100PV)),$$

де PV - фактичне положення засувки у відсотках відкриття.

Ця формула дозволяє визначити необхідний час руху засувки для досягнення потрібного положення, виходячи з різниці між встановленим і поточним положеннями.

Якщо значення встановленого положення (SV) менше фактичного положення (PV), засувка рухатиметься у напрямку закриття. Час руху в цьому випадку розраховується так:

$$Time_work = (Time_Test/100PV - (Time_Test/100SV)).$$

Ця формула дозволяє визначити необхідний час руху засувки для досягнення потрібного рівня закриття, виходячи з різниці між поточним і заданим положеннями.

Щоб забезпечити стабільну та надійну роботу засувки, важливо реалізувати алгоритм автотестування для перевірки часу її відкриття і закриття. Це необхідно через те, що з часом окремі частини можуть зношуватись, і це впливатиме на час руху засувки. Також час руху може змінюватися після змазування або заміни засувки.

Алгоритм автотестування засувки включає наступні етапи:

1. Ініціалізація тесту: Запуск процесу автотестування за встановленим графіком або після певної кількості циклів роботи.

2. Вимірювання часу відкриття: Вимірювання фактичного часу, потрібного для повного відкриття засувки від закритого положення.

3. Вимірювання часу закриття: Вимірювання фактичного часу, потрібного для повного закриття засувки від відкритого положення.

4. Аналіз отриманих даних: Порівняння виміряного часу відкриття/закриття із встановленими допустимими значеннями.

5. Оновлення параметрів: Коригування часу відкриття/закриття в алгоритмі керування на основі отриманих даних.

6. Повідомлення оператора: Надання оператору інформації про результати тесту, а також попередження у випадку виявлення аномалій.

Реалізація такого алгоритму дозволить підтримувати оптимальну роботу засувки та зменшити ризик аварійних ситуацій через некоректний час руху. Автоматичний контроль допоможе вчасно виявляти та реагувати на знос деталей, забезпечуючи стабільність та надійність всього комплексу.

Блок-схема алгоритму побудови маршруту наведена на рис. 3.7.

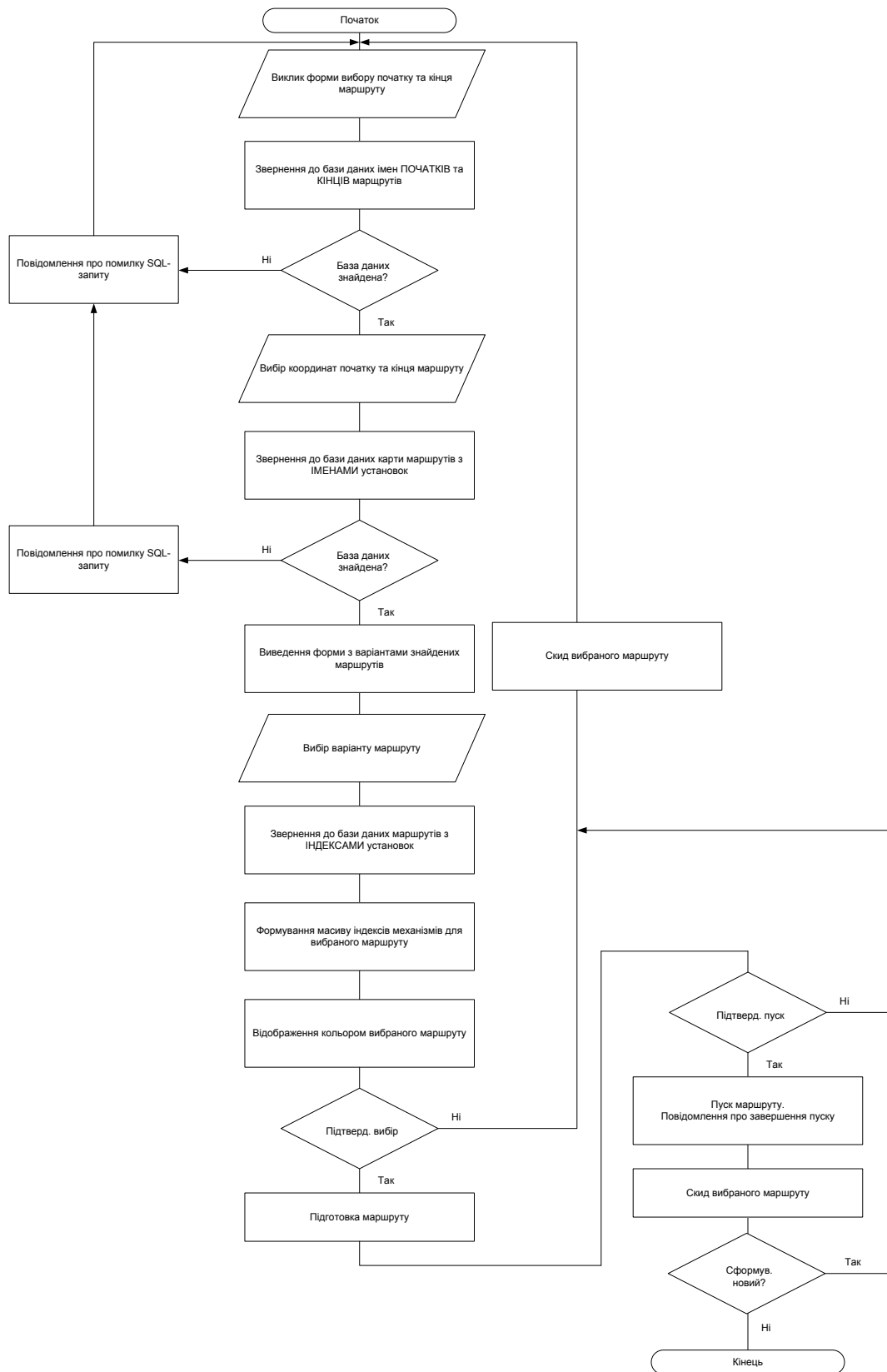


Рис. 3.4 Блок-схема алгоритму побудови маршруту

Блок-схема алгоритму завантаження автотранспорту наведена на рис. 3.8.

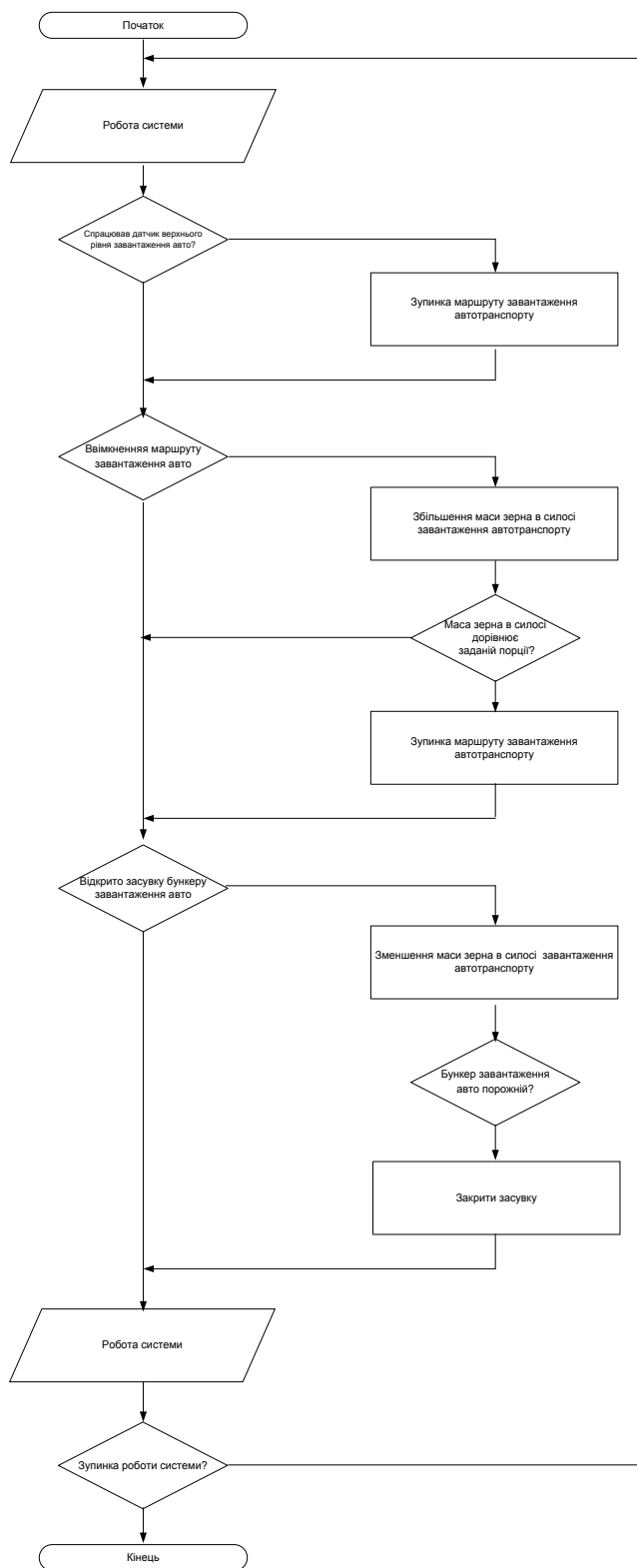


Рис. 3.8. Блок-схема алгоритму завантаження автотранспорту

Висновки

В ході виконання магістерської дипломної роботи була створена автоматизована система управління обладнанням елеватора, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання і протікання технологічного процесу зберігання і переробки зерна.

Для цього було проведено аналіз обладнанням елеватора як об'єкт автоматизації і управління. Обрані вхідні і вихідні параметри, розроблено технічну структуру АСУТП.

Виконано розробку структурної і функціональної схеми автоматизованої системи управління обладнанням елеватора.

Вибрано вимірювальні засоби та елементну базу автоматизованої системи управління обладнанням елеватора.

Виконано розробку математичної моделі елеватора як об'єкта регулювання.

Розроблено блок-схему алгоритму побудови маршруту зерна в елеваторі та блок-схему алгоритму завантаження автотранспорту

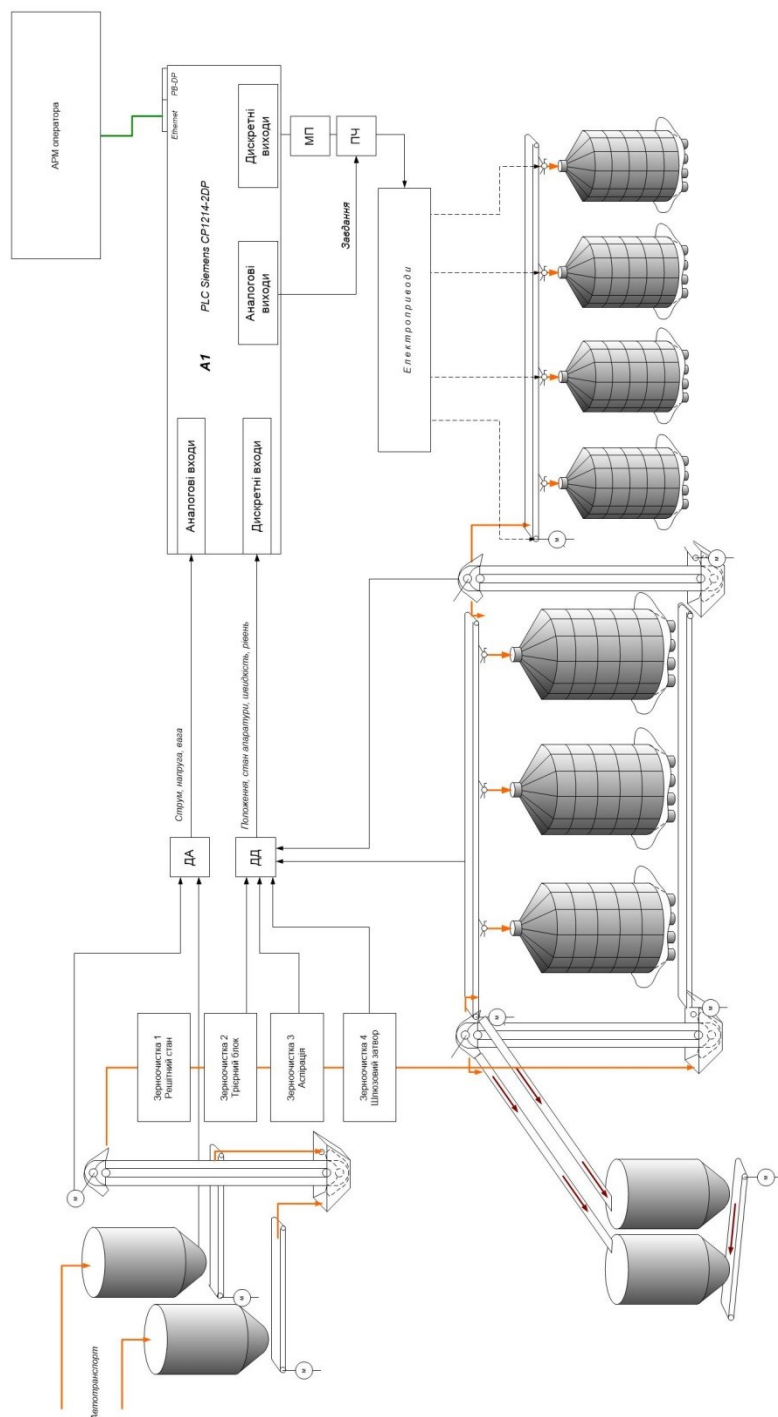
Застосування АСУ ТП дозволить виконати безперервний збір первинної інформації від пристроїв нижнього рівня; обробку первинної інформації; керування стадіями процесу в автоматичному режимі; реєстрацію спрацьовування сигналізації й історичних даних; зберігання інформації з можливістю її обробки; візуалізацію інформації у вигляді мнемосхем і графіків.

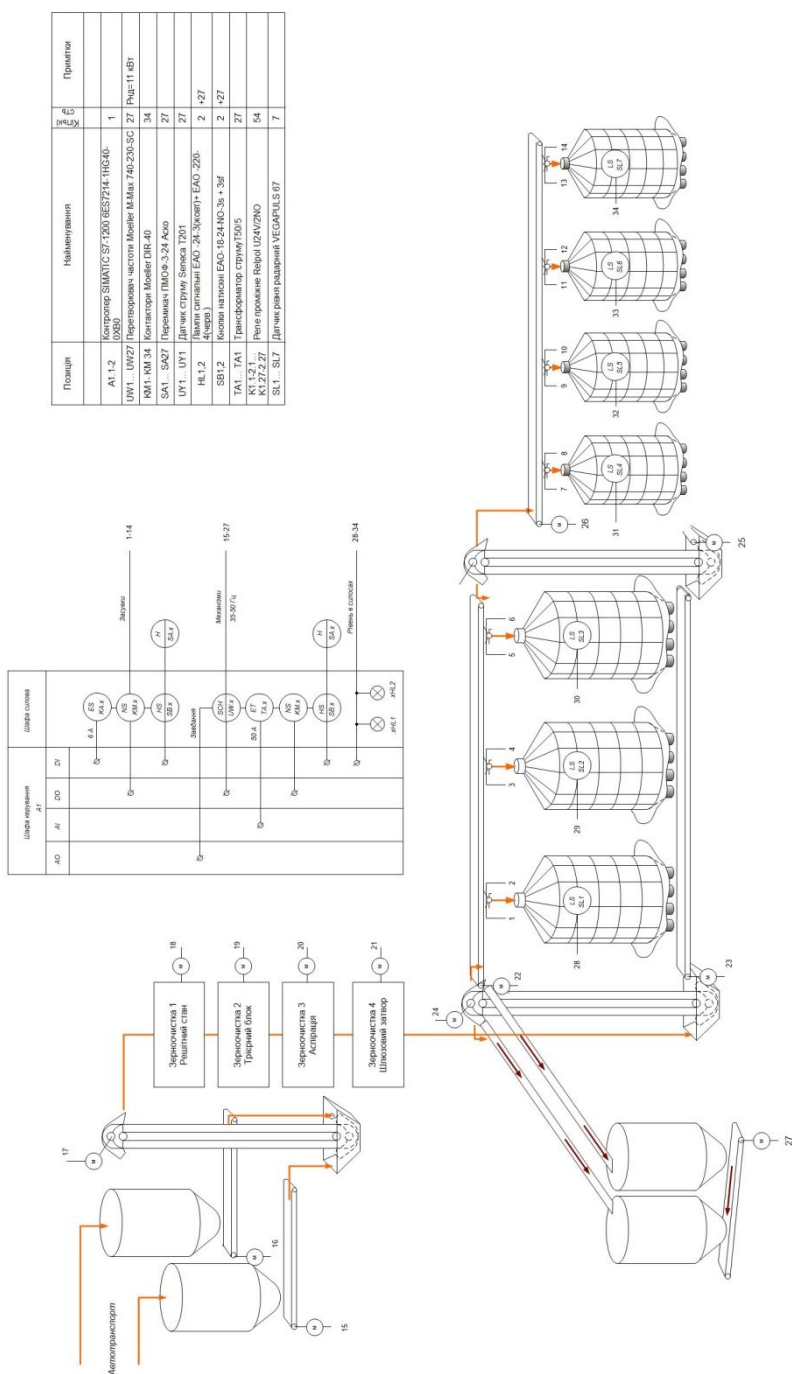
Список використаних літературних джерел

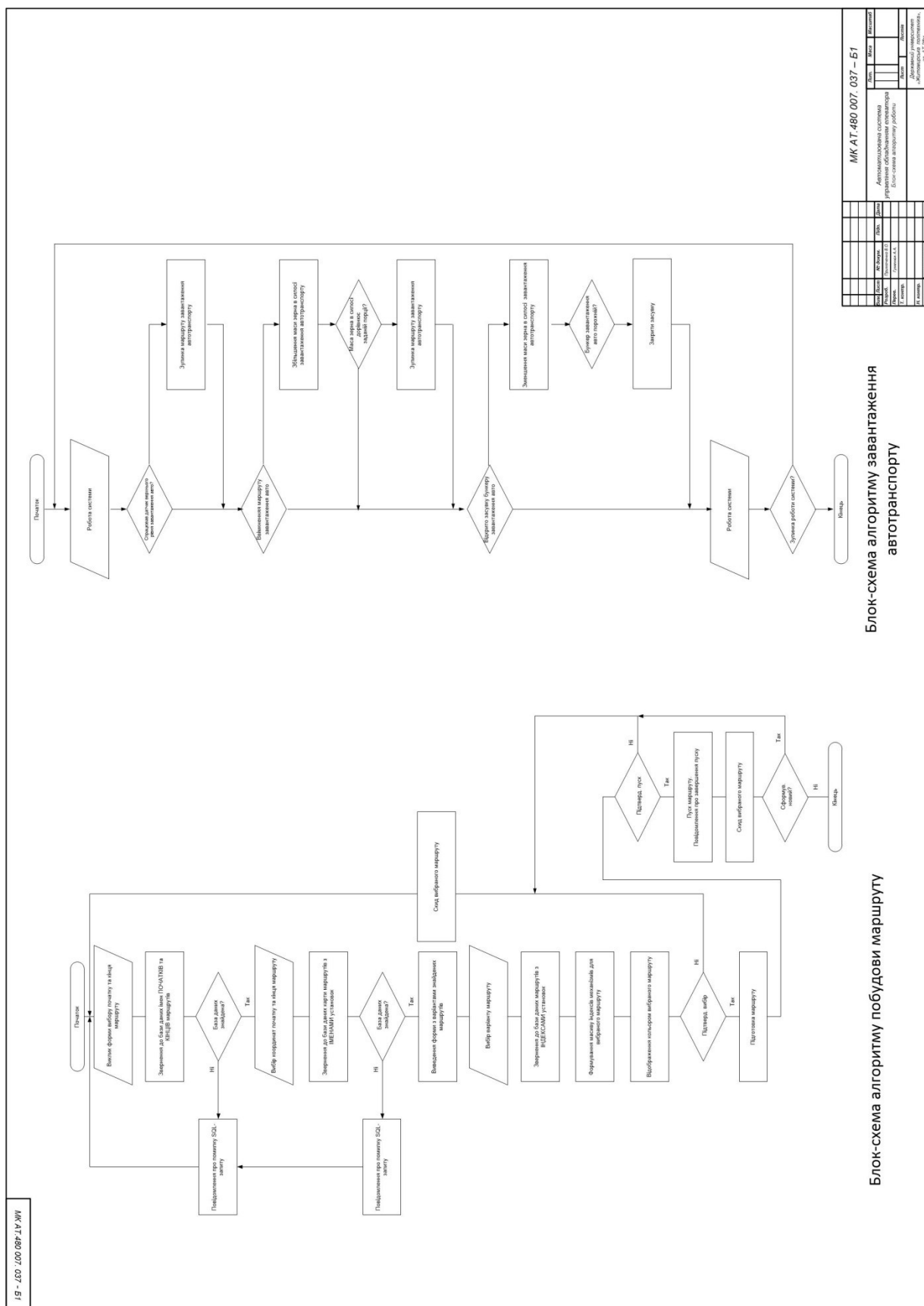
1. Подпрятков Г. І. Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К.: Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
2. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздєв; ред.. О.В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 488с.
3. Пузік Л. М. Технологія зберігання і переробки зерна. / Л. М. Пузік, В. К. Пузік. – Х.: Точка, 2013. – 311 с.
4. <https://agroelita.info/scho-take-suchasnyj-zernovyj-elevator/>
5. Технологія зберігання зерна з основами захисту від шкідників / Н. М. Осокіна, І. І. Мостов'як, О. П. Герасимчук, В. В. Любич та ін. – Умань; Київ : СІК ГРУП УКРАЇНА, 2016. – 248 с.
6. Автоматизація елеваторів та зерноскладищ [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.elevatorasu.com/asu_tp/automation.php.
7. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві /В.Ф.Гончар, Л.П.Тищенко. – К.: Вища шк., 1986. – 287 с.
8. <https://elaks.ua/solutions/elevator-sistema-upravlinnya>
9. Мардзявко В. А. Аналіз організації керування обладнанням для забезпечення транспортування зернової продукції на елеваторах / В. А. Мардзявко // Інженерія природокористування. – 2020. – Т. 4, № 18. – С. 35–41.
10. Просяник А. В. Актуальні задачі автоматизації підприємств зберігання і переробки зерна [Електронний ресурс] / А. В. Просяник, М. А. Просяник, С. М. Ткаченко // Зберігання та переробка зерна. – 2012. – Т. 8, № 158.
11. Автоматизація виробництва на елеваторах [Електронний ресурс] // ІННОВІННПРОМ. – Режим доступу: <https://innovinnprom.com/galuzevi->

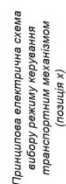
12. rishennya/avtomatyzaciya-vyrobnyctva-naelevatorah (дата звернення: 23.05.2023).
13. <http://www.koda.ua/download/36531-RU.PDF>
14. <https://elektrovoz.com.ua/ua/transformator-strumu-t-066-505-klas-tochnosti-05-megommetr.html>
15. <https://trade-control.com.ua/ua/t201>
16. <https://eleksun.com.ua/uk/121402-preobrazovatel-chastoty-moeller-22kvt-eaton.html>
17. https://ecshop.com.ua/ua/p108835-simatic_s7-1200_kompaktnoe_cpu_1214c_pitanie_dc_24_b
18. Ігнатова Ю.В. Стохастична модель функціонування сільськогосподарського підприємства на прикладі елеватора / Ю. В. Ігнатова // Економічний аналіз : Зб. наук. праць. – Тернопіль : Екон. думка, 2012. – Вип. 11: в 2 т. – Т. 2. – С. 261–271.
19. Світий І.М. Моделювання динаміки запасів зерна на хлібоприймальному підприємстві: концептуальна, математична та імітаційна моделі / Автоматизація технологічних і бізнес-процесів Volume 10, Issue 1 /2018 с/ 58-63,

Додатки



[illegible]



[illegible]