

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

к.т.н., доцент ОКУШКО О.В.

(підпис)

«_____» 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: "Проектні рішення з підвищення енергоефективності біогазової
установки"**

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Гарант освітньої програми

доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Синявський О.Ю.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Усенко С.М.

(підпис)

(ПІБ)

Нормоконтроль

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Богославець О.Р.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

К.Т.Н., доцент ОКУШКО О.В.
(підпис)

« _____ » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Богославцю Олександрю Руслановичу

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: “Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу” затверджена наказом ректора НУБіП України від "26" червня 2025 №2606 «С».

Термін подання завершеного проєкту на кафедру " " 202 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.
- 6) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у проєкті.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина проєкту.
- 4) Спеціальне завдання: «Розрахунок електричних навантажень елеваторного комплексу».
- 5) Обслуговування і ремонт енергетичного обладнання.
- 6) Охорона праці.
- 7) Висновки. Список використаних джерел.
- 8) Додатки.

Перелік графічних документів:

Лист 1. Принципова електрична схема керування освітленням у функції освітленості.

Лист 2. Схема підключення частотного перетворювача.

Дата видачі завдання _____ 31 жовтня 2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ **Усенко С.М.**
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Богославець О.Р.**
(підпис) (ПІБ)

№ ряд-ка	Формат	Позначення	Найменування	К-ть аркуші в	№ пр.	Прим.				
1	A4	02.02 БКР.2606«С».2025.10.3 0.002.ПЗ	Пояснювальна записка	72						
2	A4	02.02 БКР.2606«С».2025.10.30 .002.ЕЗ	Схема керування бункером активного вентилявання зерна	1						
3	A4	02.02 БКР.2606«С».2025.10.30 .002.ЕЗ	Схема автоматичного керування вентиляторами бункера	1						
4	A4	02.02 БКР.2606«С».2025.10.30 .002.ЕЗ	Схема керування електроприводом вентилятора ВЦ-4-75-4	1						
5	A4	02.02 БКР.2606«С».2025.10.30 .002.ТХ	Схема Технологічного процесу	1						
					02.02-БКР.2606«С».2025.10.3 0.002.ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Богославець О.Р.			Відомість бакалаврської кваліфікаційної роботи	Літера		Лист	Листів	
Перевірив		Усенко С.М.					Т		4	72
						НУБіП України, ННІ ЕАіЕ ЕЕЕ-220016				
Н.контр.										
Зав. каф.		Окушко О.В.								

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА В СИЛОСІ.....	9
2.ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ.....	15
2.1. Контури керування.....	15
2.2. Таблиця вхідних / вихідних сигналів.....	19
3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	23
3.1. Вибір та обґрунтування датчиків системи контролю.....	23
3.1.2. Ротаційні датчики рівня.....	25
3.1.3. Датчики контролю струму електродвигунів.....	26
3.1.4. Інфрачервоні датчики контролю сходу стрічки.....	27
3.1.5.1 Ємнісні датчики вологості.....	29
3.1.5.2. Техніко-економічні переваги чутливості та точності Cytron Maker Soil Moisture Sensor.....	30
3.1.6. Магнітні датчики підпору.....	33
3.1.7. Кінцеві вимикачі та контроль стану контакторів.....	34
3.1.8. Система живлення датчиків та ПЛК.....	35
3.2. Вибір виконавчих механізмів.....	35
3.2.1. Частотні перетворювачі для конвеєрних ліній.....	35
3.2.2. Пристрої плавного пуску для норій та аспіраційних двигунів.....	36
3.2.3. Контактори та проміжні реле для керування засувками і клапанами.....	37
4. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧОЇ МАШИНИ.....	39
4.1 Попередній вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання...40	
4.2. Розрахунок і побудова механічної характеристики електродвигуна.....	41

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Визначення тривалості пуску електродвигуна і побудова його навантажувальної діаграми.....	42
4.4. Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску.....	43
4.5. Перевірка вибраного електродвигуна на перевантажувальну.....	43
4.6. Розробка схеми керування електродвигуном установки.....	43
5. ВИБІР АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ, ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, А ТАКОЖ ВИБІР ЕЛЕКТРОПРОВОДІВ.....	44
5.1. Перелік вибраного електрообладнання.....	45
6. РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ.....	46
6.1. Вибір ПЛК та інтерфейсів.....	46
7. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	53
7.1. Опис роботи зворотньоходового блока живлення.....	53
7.2. Розрахунок елементів для блока живлення.....	54
8. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	58
8.1. Конструкція та зовнішній вигляд електротехнологічного обладнання.....	58
8.2. Компонування елементів та технічні характеристики.....	60
9. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	64
9.1. Захисне заземлення	64
9.2. Розрахунок захисного заземлення.....	66
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Елеваторні комплекси є невід'ємною складовою сучасного агропромислового сектору, забезпечуючи приймання, транспортування, обробку та зберігання зернових культур. Від ефективності функціонування таких об'єктів значною мірою залежить стабільність логістичних процесів у сільському господарстві, а також якість збереження продукції. Елеваторні лінії виконують ключову роль у технологічному циклі, починаючи від моменту надходження зерна після збирання врожаю і завершуючи його відвантаженням споживачам або на подальшу переробку.

Сучасні умови розвитку аграрної галузі висувають підвищені вимоги до технічного рівня елеваторного обладнання. Зокрема, особливої актуальності набувають питання підвищення надійності електроприводів, забезпечення безперервності технологічних процесів, а також зниження енерговитрат. Досягнення цих показників можливе лише за умови впровадження сучасних електротехнологічних рішень та використання ефективних систем керування.

Важливим напрямом удосконалення роботи елеваторних комплексів є автоматизація технологічних процесів. Використання програмованих логічних контролерів, зокрема Siemens S7-300, дозволяє реалізувати гнучкі та надійні системи керування, здатні працювати в умовах змінних навантажень і забезпечувати стабільну роботу обладнання. Такі системи дають змогу виконувати обробку сигналів у режимі реального часу, координувати роботу різних механізмів та оперативно реагувати на зміну технологічних параметрів.

Застосування автоматизованих систем керування у поєднанні з сучасними диспетчерськими системами, такими як SCADA, відкриває можливості для централізованого моніторингу та керування технологічними процесами. Це забезпечує підвищення рівня контролю за станом обладнання,

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

своєчасне виявлення несправностей та зменшення впливу людського фактора. У результаті підвищується безпека експлуатації, зменшуються експлуатаційні витрати та покращується загальна ефективність функціонування елеваторного комплексу.

Окрім автоматизації, важливе значення має правильний вибір та обґрунтування електротехнологічного обладнання, яке включає електродвигуни, пускову та захисну апаратуру, кабельні лінії та інші елементи системи електропостачання. Раціональне проєктування цих складових дозволяє забезпечити стабільну та енергоефективну роботу всіх технологічних вузлів елеватора.

Метою даного дипломного проєкту є розроблення та обґрунтування проєктних рішень щодо електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу з впровадженням системи автоматизованого керування елеваторною лінією. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі: провести аналіз технологічних процесів елеватора; виконати розрахунок електричних навантажень; здійснити вибір електротехнологічного обладнання; розробити структуру та алгоритми роботи системи керування; обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації; реалізувати систему моніторингу на базі SCADA; а також розглянути питання безпеки та охорони праці.

Об'єктом дослідження є електротехнологічні процеси елеваторного комплексу, а предметом – методи та засоби проєктування систем електропостачання і автоматизованого керування технологічним обладнанням.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

Технологічний аналіз процесу транспортування та зберігання зерна в силосі

Процес транспортування та зберігання зерна на елеваторному комплексі являє собою складну багаторівневу систему, що включає приймання сировини, її переміщення між технологічними вузлами та забезпечення необхідних умов зберігання. Узгоджена робота всіх елементів цієї системи є критично важливою для збереження якості продукції та безперебійного функціонування підприємства. Типова структура технологічного процесу елеватора наведена на рисунку 1.1.



Рис. 1.1. Загальна схема роботи більшості елеваторів

Початковим етапом є приймання зерна, яке надходить на елеватор переважно автомобільним або залізничним транспортом. На даній стадії здійснюється його розвантаження та первинна підготовка, що включає видалення сторонніх домішок. Це дозволяє запобігти пошкодженню технологічного обладнання та забезпечити стабільну роботу наступних ділянок. Після цього зернова маса спрямовується до транспортних систем,

що забезпечують її подачу до зон зберігання.

Переміщення зерна всередині елеваторного комплексу здійснюється за допомогою різних видів транспортного обладнання. Для горизонтального транспортування широко застосовуються стрічкові та ланцюгові конвеєри. Стрічкові конвеєри характеризуються простотою конструкції, надійністю та високою продуктивністю, тоді як ланцюгові конвеєри здатні ефективно працювати при значних навантаженнях і використовуються для переміщення великих обсягів зерна. Для транспортування під кутом або на невеликі відстані застосовуються шнекові механізми, що забезпечують компактність і гнучкість у компонованні системи. Вертикальне переміщення зерна здійснюється за допомогою норій, які являють собою стрічкові підйомники з ковшами, що подають зерно на задану висоту для подальшого розподілу по силосах. Приклад конструкції транспортного обладнання наведено на рисунку 1.2.

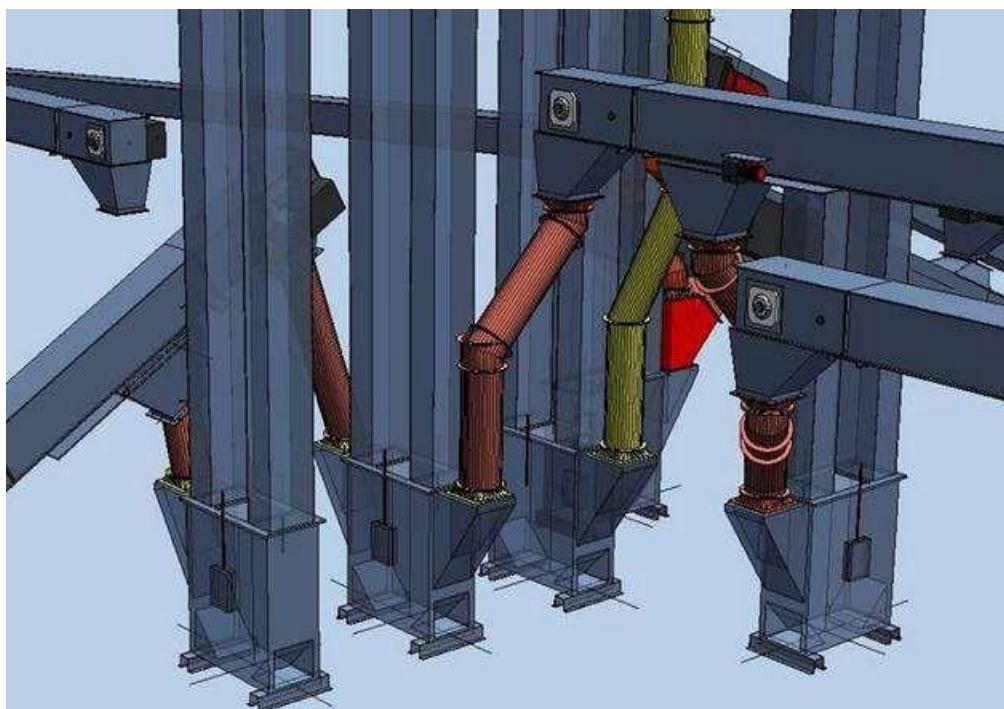


Рис. 1.2. Норії та транспортери

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

У процесі транспортування зерна утворюється значна кількість пилу та легких домішок, що потребує застосування систем аспірації. Аспіраційні установки забезпечують очищення повітря шляхом видалення з нього дрібнодисперсних частинок. До їх складу входять вентилятори, повітроводи та фільтрувальні елементи. Використання таких систем дозволяє не лише знизити рівень забруднення навколишнього середовища, але й мінімізувати ризик виникнення вибухонебезпечних ситуацій, пов'язаних із накопиченням пилу.

Електротехнологічне обладнання, що використовується на елеваторі, працює в умовах підвищеного пилового навантаження, механічних перевантажень та тривалих режимів експлуатації. Тому до нього висувуються підвищені вимоги щодо надійності, зносостійкості та енергоефективності. Основу такого обладнання складають електроприводи транспортних механізмів, системи керування та захисту, а також допоміжні пристрої.

Зберігання зерна здійснюється у спеціалізованих ємностях – силосах, які забезпечують захист продукції від зовнішніх впливів та дозволяють підтримувати необхідні параметри середовища. Одним із ключових факторів є контроль температури та вологості, оскільки внаслідок біологічних процесів зерно може самонагріватися, що призводить до його псування. Для моніторингу стану зерна в силосах встановлюються відповідні датчики, які забезпечують безперервне вимірювання параметрів. У разі відхилення від допустимих значень автоматично активуються системи вентиляції або охолодження, що сприяє стабілізації умов зберігання. Структурна схема силоса представлена на рисунку 1.3.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

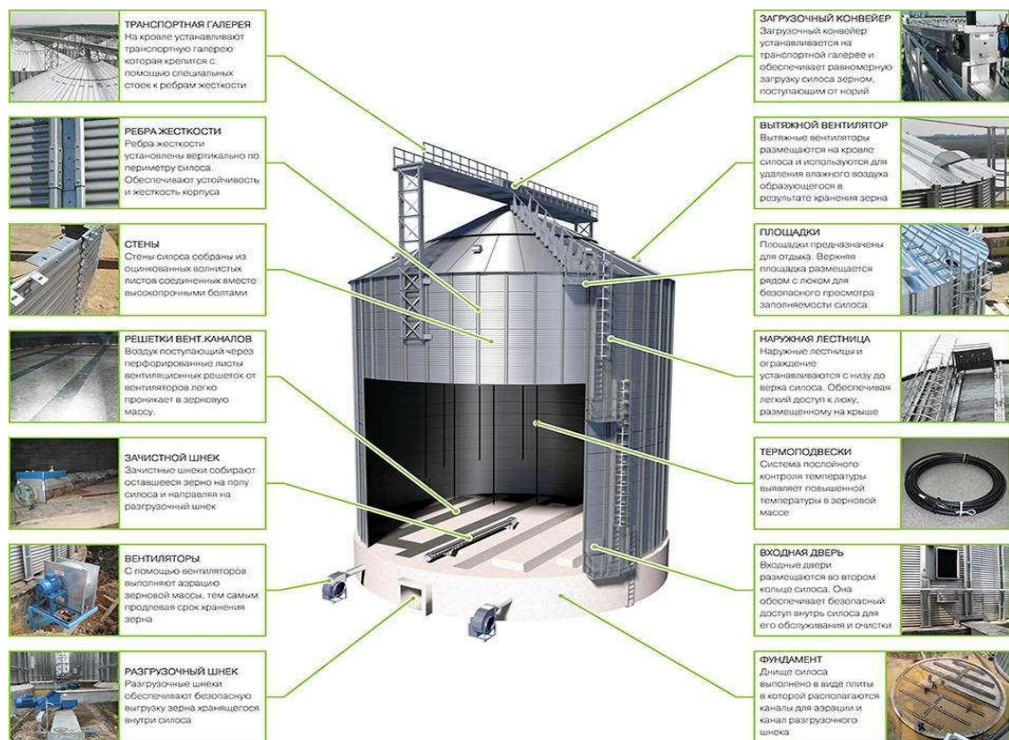


Рис. 1.3 Структурна схема силоса

Особливе значення в сучасних елеваторних комплексах має автоматизація технологічних процесів. Вона дозволяє своєчасно виявляти та попереджати аварійні ситуації, такі як перевантаження транспортного обладнання, засмічення систем або порушення режимів зберігання. Наприклад, перевищення допустимого навантаження на електродвигуни може призвести до їх виходу з ладу, що спричинить зупинку всієї технологічної лінії. Наявність пилу підвищує ризик виникнення вибухів, а порушення температурно-вологісного режиму – до втрати якості продукції. Основні небезпечні фактори та способи їх усунення наведені в таблиці 1.1.

Таблиця ризиків та методів їх запобігання

Ризик	Метод запобігання
Перевантаження обладнання	Встановлення датчиків навантаження для контролю параметрів
Пилові вибухи	Фільтрація та видалення пилу, вентиляція та аспірація
Псування зерна	Автоматичний контроль температури та вологості
Поломка конвеєрних стрічок	Регулярні перевірки та встановлення датчиків сходу стрічки
Перенапруга на двигунах	Встановлення датчиків перевищення струму
Закупорка засувки і клапанів	Системи моніторингу потоку матеріалу та аварійні зупинки
Помилки в управлінні	Впровадження програмованого контролю з ПЛК
Недостатня вентиляція	Системи автоматичної вентиляції

Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє значно підвищити надійність роботи обладнання та рівень безпеки. Завдяки використанню сучасних технічних засобів забезпечується постійний контроль стану технологічних процесів, що дає можливість оперативно реагувати на відхилення від нормальних режимів роботи. Це сприяє зниженню кількості аварійних зупинок та подовженню терміну служби обладнання.

Крім того, автоматизація забезпечує більш раціональне використання енергетичних ресурсів, що є важливим фактором в умовах зростання вартості

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроенергії. Оптимізація режимів роботи електроприводів і технологічного обладнання дозволяє зменшити енергоспоживання без зниження продуктивності.

Застосування сучасних систем керування також дає змогу здійснювати діагностику технічного стану обладнання та прогнозувати необхідність проведення технічного обслуговування. Це дозволяє перейти від аварійного ремонту до планово-попереджувального, що значно знижує експлуатаційні витрати та простої виробництва.

Таким чином, комплексна автоматизація та раціональне проєктування електротехнологічного обладнання є важливими чинниками підвищення ефективності функціонування елеваторних комплексів, забезпечення якості зберігання зерна та підвищення конкурентоспроможності підприємств агропромислового сектору.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ

2.1. Контури керування

Контури керування є основою функціонування автоматизованої системи елеваторного комплексу, оскільки саме вони забезпечують координацію роботи технологічного обладнання, обробку сигналів від датчиків та формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Завдяки їх реалізації досягається узгоджена робота всіх елементів системи, підвищується надійність та безпечність експлуатації обладнання.

У структурі системи керування елеваторною лінією можна виділити декілька основних контурів, кожен з яких виконує окремі функціональні задачі.

Контур керування транспортуванням зерна

Даний контур забезпечує керування роботою транспортного обладнання, до якого належать стрічкові та ланцюгові конвеєри, шнекові механізми, норії, а також запірно-регулююча арматура (засувки, клапани). Основні функції контуру полягають у наступному:

- автоматизований запуск і зупинка виконавчих механізмів залежно від технологічного режиму роботи та сигналів від датчиків положення;
- регулювання швидкості переміщення зерна шляхом зміни частоти обертання електродвигунів із використанням частотних перетворювачів;
- контроль технічного стану транспортних елементів, зокрема виявлення сходу стрічки за допомогою відповідних датчиків з подальшим аварійним відключенням обладнання;

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виявлення заторів або нерівномірної подачі матеріалу за допомогою датчиків потоку, що дозволяє уникнути перевантаження та пошкодження механізмів.

Перелік застосовуваних датчиків та їх функціональне призначення наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Типи датчиків для транспортування зерна

Тип датчика	Призначення	Місце встановлення
Датчик положення	Контроль початку/зупинки роботи ВМ	Кінцеві точки конвеєрів, норій
Датчик сходу стрічки	Виявлення аварійного сходу стрічки	Середина та кінці стрічкового конвеєра
Датчик потоку	Моніторинг блокування матеріалу	На виходах транспортувальних механізмів

Контур керування процесом зберігання зерна

Призначенням даного контуру є підтримання оптимальних умов у силосах для забезпечення збереження якості зерна протягом тривалого часу.

До основних функцій належать:

- безперервний контроль температурного режиму за допомогою датчиків температури з автоматичним запуском систем охолодження або вентиляції при перевищенні допустимих значень;
- контроль вологості зернової маси, що дозволяє своєчасно активувати вентиляційні системи для запобігання розвитку мікроорганізмів;

- керування аспіраційними установками для видалення пилу та легких домішок, що утворюються в процесі зберігання та переміщення зерна.

Інформація щодо типів датчиків, їх призначення та місця встановлення подана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Датчики для контролю умов зберігання

Тип датчика	Призначення	Місце встановлення
Температурний датчик	Контроль температури в силосі	Верхня частина та середина силосу
Датчик вологості	Контроль вологості зерна	Центральна частина силосу
Датчик пилу	Виявлення рівня пилу для аспірації	Біля аспіраційних систем

Контур забезпечення безпеки

Цей контур призначений для запобігання аварійним ситуаціям, захисту обладнання та забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. До його основних складових належать:

- пристрої контролю струму, які здійснюють моніторинг навантаження електродвигунів та забезпечують їх захист від перевантаження і перегріву;
- система аварійного вимкнення, що включає кнопки екстреної зупинки, розташовані в ключових точках технологічної лінії;
- аспіраційні системи, які, окрім очищення повітря, знижують ризик виникнення пожежо- та вибухонебезпечних ситуацій.

Контур керування виконавчими механізмами

Даний контур забезпечує керування допоміжними елементами технологічного процесу, зокрема клапанами, заслінками та засувками, які регулюють напрямок і інтенсивність руху зернової маси. Робота цих механізмів здійснюється відповідно до заданих алгоритмів та сигналів від системи керування.

Відповідні типи виконавчих механізмів та їх характеристики наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Опис виконавчих механізмів

Тип механізму	Операція	Спосіб контролю
Засувка	Регулювання подачі зерна	Кінцеві вимикачі
Клапан	Зміна напрямку потоку	Датчики положення
Електродвигун	Привід для механізмів транспортерів, норій, аспіраційних систем	Датчики струму та температури

Загальні принципи побудови контурів керування

Контури керування формують єдину інтегровану структуру автоматизованої системи елеваторного комплексу, яка реалізується на базі сучасних технічних засобів, зокрема програмованих логічних контролерів Siemens S7-300 та SCADA-систем. Такий підхід забезпечує централізоване керування технологічними процесами та об'єднання всіх елементів системи в єдине інформаційно-керуюче середовище.

Завдяки використанню ПЛК здійснюється обробка сигналів від датчиків, формування керуючих впливів та реалізація алгоритмів роботи

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання в режимі реального часу. SCADA-система, у свою чергу, виконує функції візуалізації, диспетчеризації та архівування даних, що дозволяє оператору отримувати повну інформацію про стан технологічного процесу.

Інтеграція контурів керування в єдину систему забезпечує можливість постійного контролю параметрів роботи обладнання, своєчасного виявлення відхилень від заданих режимів та оперативного реагування на аварійні або позаштатні ситуації. Це підвищує рівень надійності функціонування елеваторного комплексу, зменшує ймовірність простоїв та сприяє більш ефективному використанню енергетичних і технологічних ресурсів.

2.2. Таблиця вхідних / вихідних сигналів

У складі автоматизованої системи керування елеваторною лінією програмований логічний контролер Siemens S7-300 виконує центральну функцію збору, обробки інформації та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Саме ПЛК забезпечує узгоджену взаємодію між вимірювальними пристроями та силовим обладнанням, що дозволяє реалізувати ефективне та безпечне керування технологічними процесами.

Вхідна інформація надходить до контролера від різноманітних датчиків, які контролюють як стан обладнання, так і параметри технологічного процесу. До основних вхідних сигналів належать:

- сигнали від датчиків положення, що визначають стан засувки, клапанів та інших регулюючих елементів;
- сигнали від датчиків сходу стрічки, які забезпечують аварійний захист транспортних механізмів;
- дані від датчиків потоку, що дозволяють визначити наявність або відсутність зернової маси в транспортних лініях;
- показники температури та вологості, які характеризують стан зерна під час зберігання у силосах;

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сигнали від датчиків струму, що контролюють навантаження електродвигунів та запобігають їх перевантаженню.

Обробка цих сигналів дає можливість контролеру оцінювати поточний стан системи та приймати рішення відповідно до заданого алгоритму керування.

Вихідні сигнали ПЛК формуються на основі логіки роботи системи та використовуються для безпосереднього впливу на виконавчі механізми. Зокрема, дискретні виходи застосовуються для керування пуском і зупинкою електроприводів, відкриттям та закриттям засувки, а також активацією допоміжних систем. Це забезпечує своєчасне виконання технологічних операцій і підтримання необхідних режимів роботи обладнання.

З метою наочності та систематизації інформації вхідні та вихідні сигнали представлені у вигляді таблиць. У таблиці 2.4 наведено перелік вхідних сигналів із зазначенням їх типів, функціонального призначення та параметрів, які вони контролюють. Таблиця 2.5 містить інформацію щодо вихідних сигналів, які використовуються для керування електротехнологічним обладнанням елеваторного комплексу.

Таблиця 2.4.

Вхідні сигнали для ПЛК (датчики)

Назва датчика	Тип даних	Призначення
1	2	3
Датчик положення	Дискретний	Контроль відкриття/закриття засувки та клапанів
Датчик сходу стрічки	Дискретний	Виявлення аварійного сходу стрічки

1	2	3
Датчик потоку	Дискретний	Визначення наявності зерна у механізмах
Датчик температури	Аналоговий	Моніторинг температури зерна у силосах
Датчик вологості	Аналоговий	Контроль рівня вологості зерна
Датчик перевищення струму	Аналоговий	Виявлення перевантаження електродвигунів

Таблиця 2.5.

Вихідні сигнали для ПЛК (дискретні виходи)

Назва виходу	Тип сигналу	Призначення
Запуск конвеєра	Дискретний	Увімкнення електродвигуна для транспортування
Запуск шнека	Дискретний	Увімкнення шнекового механізму
Запуск норії	Дискретний	Увімкнення електродвигуна для норій
Управління засувками	Дискретний	Відкриття/закриття засувки для регулювання потоку зерна
Управління клапанами	Дискретний	Зміна напрямку потоку зерна
Активація аспіраційної системи	Дискретний	Увімкнення системи видалення пилу

Важливо зазначити, що вихідні сигнали контролера, як правило, не подаються безпосередньо на силові елементи, а передаються через проміжні релейні пристрої або інтерфейсні модулі. Це дозволяє забезпечити електричну розв'язку між системою керування та силовими колами, а також підвищити надійність роботи обладнання. Через ці елементи здійснюється керування магнітними пускатками, пристроями плавного пуску та частотними перетворювачами, які, у свою чергу, регулюють роботу електродвигунів.

Застосування сучасних засобів керування дозволяє реалізувати оптимальні режими пуску та регулювання швидкості обертання електроприводів, що сприяє зменшенню механічних навантажень, зниженню пускових струмів та підвищенню енергоефективності системи в цілому.

Взаємодія вхідних і вихідних сигналів формує замкнений цикл керування, який забезпечує безперервний контроль технологічного процесу та оперативне реагування на будь-які відхилення. Такий підхід дозволяє підвищити рівень автоматизації, мінімізувати вплив людського фактора та знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Таким чином, аналіз і правильна організація системи вхідних і вихідних сигналів є важливою складовою побудови ефективної автоматизованої системи керування, що забезпечує надійність, безпечність та економічну доцільність функціонування елеваторного комплексу.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

3.1. Вибір та обґрунтування датчиків системи контролю

Для забезпечення ефективної роботи автоматизованої системи керування елеваторним комплексом особливу увагу необхідно приділити правильному вибору та розміщенню вимірювальних пристроїв. Датчики є основними елементами системи збору інформації, оскільки саме вони забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів процесу транспортування та зберігання зерна.

Застосування сучасних датчиків дозволяє підвищити точність контролю, своєчасно виявляти відхилення від нормальних режимів роботи та оперативно передавати інформацію до програмованого логічного контролера Siemens S7-300. На основі отриманих сигналів система керування формує необхідні керуючі впливи для підтримання безпечних та оптимальних умов роботи елеваторного обладнання.

3.1.1. Датчики температури в силосах

Одним із найважливіших параметрів під час зберігання зерна є температура, оскільки її підвищення може свідчити про початок процесу самозігрівання, розвиток мікроорганізмів або підвищену вологість зернової маси.

Для контролю температурного режиму в силосах використовуються термopідвіски, конструкція яких представлена на рисунку 3.1. Термopідвіска являє собою міцний трос, уздовж якого на різних рівнях розташовані температурні датчики. Така конструкція дозволяє здійснювати вимірювання температури по всій висоті силоса та контролювати стан зерна в декількох контрольних точках.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.1. Термопідвіски в силосі

Отримані значення температури передаються до ПЛК через аналогові входи, що забезпечує безперервний моніторинг параметрів у режимі реального часу. У випадку перевищення допустимого температурного значення контролер автоматично формує команду на ввімкнення вентиляційної або охолоджувальної системи.

Основні технічні параметри датчиків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Основні параметри термопідвісок

Характеристика	Опис
Тип даних	Аналоговий
Інтерфейс підключення	Аналоговий вхід ПЛК
Діапазон вимірювань	Від -10°C до +70°C
Рівень точності	±0,5°C

3.1.2. Ротаційні датчики рівня

Для контролю рівня заповнення силосів і бункерів доцільно використовувати ротаційні датчики рівня, схема яких наведена на рисунку 3.2.

Принцип роботи такого датчика базується на обертанні контрольної штанги за допомогою вбудованого малопотужного електродвигуна. У нормальному режимі, коли рівень зерна нижчий за точку встановлення датчика, штанга вільно обертається.

Після досягнення зерною масою заданого рівня обертання штанги блокується, що призводить до спрацювання внутрішнього контактного механізму. У результаті формується **дискретний сигнал**, який передається на вхід ПЛК та свідчить про досягнення необхідного рівня заповнення.

Застосування такого типу датчиків дозволяє:

- контролювати максимальний рівень зерна;
- запобігати переповненню силосів;
- автоматизувати процес подачі та зупинки транспортувальних

механізмів.

Використання ротаційних датчиків є доцільним завдяки їх простоті конструкції, високій надійності та стійкості до роботи в умовах підвищеного пилового навантаження.



Рис. 3.2. Ротаційний датчик рівня

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3. Датчики контролю струму електродвигунів

Для забезпечення надійної та безпечної роботи електроприводів транспортних механізмів у системі керування передбачено використання датчиків струму, схема підключення яких наведена на рисунку 3.3.

Основним призначенням таких датчиків є безперервний контроль струму, що споживається електродвигунами виконавчих механізмів. Це дозволяє своєчасно виявляти режими перевантаження, заклинювання механізмів або інші аварійні стани, які можуть призвести до перегріву обмоток та виходу двигуна з ладу.

Підключення датчика здійснюється через трансформатор струму, встановлений в одній із фаз силового кола електродвигуна. Датчик зчитує поточне значення струму та передає його у вигляді аналогового сигналу на вхід ПЛК Siemens S7-300.

Після надходження сигналу контролер виконує його обробку та порівнює отримане значення із заданими порогами спрацювання. У випадку перевищення допустимого рівня струму система формує аварійне повідомлення для оператора або автоматично вимикає відповідний електропривід.

Використання такого способу контролю дозволяє:

- запобігти перегріву електродвигунів;
- зменшити ризик аварійних зупинок;
- підвищити термін служби силового обладнання;
- забезпечити додатковий рівень електричного захисту.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.3. Датчик струму (трансформатор току)

3.1.4. Інфрачервоні датчики контролю сходу стрічки

Для забезпечення безпечної роботи конвеєрних ліній у проєкті передбачено застосування інфрачервоних датчиків контролю положення стрічки.

Основною задачею цих датчиків є виявлення сходу стрічки конвеєра з робочої траєкторії, що може призвести до пошкодження обладнання, зупинки технологічного процесу або створення аварійної ситуації.

Датчики встановлюються в контрольних точках передньої та задньої частин стрічкового транспортера. Їх робота базується на принципі передачі та прийому інфрачервоного випромінювання.

Конструктивно система складається з двох основних елементів:

- випромінювача, який формує інфрачервоний промінь;
- приймача, який фіксує його наявність або відсутність.

У нормальному режимі роботи стрічка перекриває або стабільно утримує контрольну зону, що відповідає допустимому положенню. У випадку сходу стрічки промінь перестає надходити до приймача, внаслідок чого формується дискретний сигнал тривоги.

Цей сигнал надходить до ПЛК, який відповідно до алгоритму керування:

- активує аварійну сигналізацію;
- вимикає електропривід конвеєра;
- передає повідомлення до SCADA-системи.

Основні технічні характеристики інфрачервоного датчика наведені в таблиці 3.3.

Застосування таких датчиків суттєво підвищує експлуатаційну безпеку конвеєрної лінії та дозволяє мінімізувати ризики аварійних пошкоджень транспортного обладнання.

Таблиця 3.3.

Короткі характеристики в рамках проекту

Характеристика	Опис
Тип даних	Дискретний
Інтерфейс підключення	Дискретний вхід ПЛК
Робоча температура	Від -10°C до +60°C
Розмір сигналу	Високий/Низький (відповідно до наявності об'єкта)

3.1.5.1 Ємнісні датчики вологості

Для контролю стану зернової маси в силосах та на окремих ділянках транспортування доцільно використовувати ємнісні датчики вологості, схема яких наведена на рисунку 3.4.

Принцип роботи датчиків даного типу базується на зміні електричної ємності між двома електродами залежно від рівня вологості середовища. При збільшенні вологості зерна змінюються його діелектричні властивості, що, у свою чергу, призводить до зміни значення ємності, яке фіксується вимірювальним елементом. Сформований аналоговий сигнал передається на вхід ПЛК Siemens S7-300, де виконується його подальша обробка та перетворення у значення вологості у відсотках.

Датчик С

cytron Maker Soil Moisture Sensor є ємнісним (на відміну від дешевих резистивних). Це ключова перевага: він має антикорозійне покриття, високу лінійність вимірювання, миттєво реагує на мікрозміни діелектричної проникності зернової маси і не деградує від постійного контакту з вологим середовищем.

Застосування безконтактного принципу вимірювання зменшує механічний знос чутливих елементів та підвищує довговічність обладнання.



Рис. 3.4. Ємнісний датчик вологості Cytron Maker Soil Moisture Sensor

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3.1.5.2. Техніко-економічні переваги чутливості та точності Cytron Maker Soil Moisture Sensor

Для забезпечення високоточного контролю стану зернової маси в силосах та на ділянках транспортування у проєкті інтегровано сучасні ємнісні датчики вологості нового покоління (Cytron Maker Soil Moisture Sensor), які функціонують у безперервному режимі спільно з модулем аналогового введення ПЛК Siemens S7-300.

Техніко-економічні переваги чутливості та точності Вибір ємнісного датчика замість класичних резистивних аналогів зумовлений його фізико-технічними характеристиками:

- Мінімальна похибка та висока роздільна здатність: Датчик фіксує найменші перепади відносної вологості (з точністю до, $\pm 1,5\text{-}2\%$ що дозволяє виявляти локальні осередки зволоження на ранніх стадіях.
- Відсутність гальванічного контакту (антикорозійна стійкість): Електроди датчика покриті ізоляційним шаром (маскою), тому вимірювання відбувається за рахунок зміни ємності електричного поля, а не проходження струму через матеріал. Це виключає хімічне окиснення та дрейф показів (похибка не зростає з часом).
- Висока динамічна чутливість (S): Датчик миттєво реагує на зміну діелектричної проникності середовища при зміні вологості зерна, що описується залежністю:

$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

де:

- ϵ — діелектрична проникність зернової маси (прямо залежить від вмісту води);
- ϵ_0 — електрична стала;
- S — площа електродів датчика;
- d — відстань між електродами.

Для обґрунтування доцільності капіталовкладень у високоточне обладнання проведемо розрахунок для умовного силосу елеваторного комплексу місткістю 5000 тонн зерна.

Вихідні дані для розрахунку:

- Місткість силосу (М): 5000 т;
- Вартість 1 тонни продовольчого зерна (Ц): 8000 грн/т;
- Вартість комплексу новітнього прецизійного датчика з монтажем та налагодженням (К): 45 000 грн.

Загальна ринкова вартість маси продукції, що перебуває на зберіганні в одному силосі (В), становить:

$$B_{\text{заг}} = M \times \text{Ц}_z = 5000 \times 8000 = 40000000 \text{ грн.}$$

Розрахунок прямих збитків від низької чутливості вимірювання

При використанні застарілих датчиків із високою похибкою ($\pm 1,5\%$) система автоматизації несвоєчасно реагує на початкову стадію локального самозігрівання та утворення вогнищ підвищеної вологості («комірних шарів»).

Якщо через запізнення спрацювання підсистеми активного вентилявання псується або втрачає сортність (класність) мінімум 0,5% ($\Delta_{\text{псув}} = 0,005$) від загального об'єму зерна в силосі, прямі річні фінансові збитки (\$3\$) визначаються за формулою:

$$З = M \times \Delta_{\text{псув}} \times \text{Ц}_z$$

$$З = 5000 \times 0,005 \times 8000 = 200000 \text{ грн/рік.}$$

Економічний ефект від впровадження новітнього датчика

Завдяки високій динамічній чутливості (фіксація перепадів вологості в межах 0,1%), ПЛК Siemens S7-300 отримує сигнал про небезпеку на етапі

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зародження процесу зволоження. Система автоматично вмикає активне вентилування конкретної зони. Ризик псування зерна знижується на 95% (ККД= 0,95).

Чистий річний економічний ефект (E_p) за рахунок запобігання втратам якості продукції становить:

$$E_p = 3 \times \eta$$

$$E_p = 200000 \times 0,95 = 190000 \text{ грн/рік.}$$

Розрахунок терміну окупності:

Термін окупності додаткових капітальних вкладень ($T_{ок}$) у модернізацію вузла контролю вологості розраховується як відношення капітальних витрат на придбання та монтаж обладнання до річного економічного ефекту:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p}$$

$$T_{ок} = \frac{45000}{190000} \approx 0,24 \text{ року}$$

Застосування інноваційного ємнісного датчика вологості переводить підсистему технологічного моніторингу з категорії «пасивного спостереження» в категорію «активного попереджувального захисту». Це мінімізує вплив людського фактора, суттєво оптимізує енергоспоживання потужних вентиляційних установок елеватора та гарантує збереження класу якості сировини. Проведені розрахунки доводять високу техніко-економічну доцільність інтеграції даного сенсора в контур керування на базі ПЛК Siemens S7-300.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.6. Магнітні датчики підпору

Для контролю рівня заповнення транспортних ліній та запобігання переповненню окремих ділянок системи застосовуються магнітні датчики підпору.

Дані датчики встановлюються, як правило, у кінцевих точках транспортера або біля аварійних вивантажувальних заслінок. Їх основним завданням є своєчасне виявлення критичного накопичення зерна.

Принцип роботи базується на зміні магнітного поля під час переміщення контрольного механічного елемента. При досягненні зерном критичного рівня відбувається відкриття контрольної дверці або заслінки, у якій встановлений постійний магніт. Це призводить до спрацювання датчика та формування дискретного сигналу для ПЛК.

Після отримання сигналу система керування виконує необхідні дії:

- зупиняє подачу зерна;
- вимикає транспортер;
- активує аварійну сигналізацію;
- передає повідомлення в SCADA-систему.

Застосування таких датчиків дозволяє значно підвищити надійність транспортної лінії та запобігти механічним перевантаженням.

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

Основні характеристики датчику підпору

Характеристика	Опис
Тип даних	Дискретний
Інтерфейс підключення	Дискретний вхід ПЛК
Напруга живлення	12-24 В постійного струму
Робоча температура	Від -20°C до +70°

3.1.7. Кінцеві вимикачі та контроль стану контакторів

Важливим елементом системи автоматизації є кінцеві вимикачі, призначені для контролю положення рухомих механічних вузлів.

Кінцеві вимикачі використовуються для:

- контролю положення заслінок і засувок;
- обмеження ходу рухомих механізмів;
- сигналізації досягнення крайнього положення;
- блокування небезпечних режимів роботи.

Після спрацювання вимикача формується дискретний сигнал, який надходить до ПЛК та використовується для подальшого формування алгоритму керування.

У даному проєкті кінцеві вимикачі також застосовуються для відключення контакторів та підтвердження факту спрацювання виконавчих механізмів.

Додатково передбачено систему контролю стану контакторів за допомогою допоміжних блок-контактів NO (нормально відкритих). Після подачі команди з ПЛК на спрацювання контактора система виконує постійний моніторинг зворотного дискретного сигналу, який формується через допоміжний контакт.

Такий підхід дозволяє: підтвердити фактичне ввімкнення контактора, виявити відмову силового кола, підвищити надійність системи керування.



Рис. 3.5. Кінцевий вимикач з групами контактів

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.8. Система живлення датчиків та ПЛК

Для забезпечення стабільної роботи датчиків, модулів введення-виведення та ПЛК необхідне допоміжне джерело живлення постійного струму з напругою 12 В або 24 В.

З цією метою в проєкті передбачено використання імпульсного зворотноходового блока живлення, електрична схема якого наведена в додатку А, а перелік елементів — у додатку Б.

Застосування такого джерела живлення дозволяє забезпечити:

- стабільність вихідної напруги;
- захист від перенавантаження;
- високий ККД;
- компактність конструкції.

3.2. Вибір виконавчих механізмів

У структурі автоматизованої системи керування елеваторним комплексом особливе значення має правильний вибір виконавчих механізмів, оскільки саме вони забезпечують безпосереднє виконання технологічних операцій транспортування, подачі, розподілу та зберігання зерна.

До основних виконавчих механізмів системи належать електроприводи конвеєрів, норій, аспіраційних установок, а також приводи засувки, клапанів і допоміжного обладнання. Вибір конкретного типу керування здійснюється з урахуванням режимів роботи обладнання, вимог до плавності пуску, енергоефективності та можливості інтеграції з програмованим логічним контролером Siemens S7-300.

3.2.1. Частотні перетворювачі для конвеєрних ліній

Для керування електроприводами стрічкових та ланцюгових конвеєрів у проєкті доцільно застосувати частотні перетворювачі, які забезпечують регулювання швидкості обертання асинхронних електродвигунів.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною перевагою такого рішення є можливість плавної зміни частоти живлення двигуна, що дозволяє адаптувати швидкість транспортування зерна до фактичного технологічного навантаження.

Обмін даними між ПЛК та частотним перетворювачем реалізується за допомогою промислового протоколу Modbus, що забезпечує:

- дистанційний запуск і зупинку;
- зміну частоти обертання;
- контроль аварійних режимів;
- зчитування параметрів роботи приводу.

Застосування частотного регулювання дозволяє зменшити механічні навантаження на стрічку та редуктор, підвищити ресурс обладнання та знизити споживання електроенергії.

3.2.2. Пристрої плавного пуску для норій та аспіраційних двигунів

Для приводів норій та двигунів аспіраційної системи доцільним є використання пристроїв плавного пуску.

Дане обладнання дозволяє значно зменшити пускові струми та ударні механічні навантаження, які виникають під час прямого пуску асинхронних електродвигунів.

Керування плавними пускачами також здійснюється через протокол Modbus, що дозволяє ПЛК:

- задавати час розгону;
- задавати час зупинки;
- контролювати струм пуску;
- відстежувати аварійні режими.

Таке рішення є особливо важливим для норій, оскільки вертикальне транспортування зерна створює значне навантаження на привідну систему.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.3. Контактори та проміжні реле для керування засувками і клапанами

Для керування електромеханічними засувками, клапанами та допоміжними виконавчими пристроями в системі передбачено використання контакторів у поєднанні з проміжними реле.

Безпосереднє підключення виконавчих механізмів до виходів ПЛК є недоцільним через обмеження струмового навантаження вихідних модулів.

Тому ПЛК формує керуючий сигнал на котушку проміжного реле, після чого його контакти подають живлення на котушку контактора.

Такий принцип забезпечує:

- електричне розділення силового та керуючого кола;
- підвищення надійності системи;
- захист вихідних модулів ПЛК;
- зручність технічного обслуговування.

3.2.4. Загальна взаємодія ПЛК та виконавчих механізмів

Запропонована структура виконавчих механізмів забезпечує комплексне керування всіма основними технологічними процесами елеваторного комплексу.

Інтеграція виконавчих пристроїв із ПЛК дозволяє реалізувати:

- автоматичний режим роботи;
- аварійні блокування;
- дистанційний контроль;
- зворотний зв'язок від обладнання;
- моніторинг через SCADA.

Завдяки цьому досягається висока надійність системи, зменшується ризик аварійних ситуацій та підвищується ефективність роботи всього комплексу.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Взаємодію між ПЛК та виконавчими механізмами доцільно представити у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.

Таблиця з основними параметрами виконуючих механізмів

Механізм	Тип електродвигуна	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертів	ВМ
Привід конвеєра	Асинхронний з ЧП	3-11	380	3000	ЧП
Привід для асп систем	Асинхронний трифазний	10-30	380	3000	Плавний пуск
Привід засувки та клапанів	Асинхронний трифазний	0.75	380	1000	Контактор з проміжним реле
Привід норії	Асинхронний з ЧП	30-45	380	3000	Контактор з проміжним реле

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА

МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧОЇ МАШИНИ

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність моменту статичних опорів, які вона створює, від кутової швидкості приводного валу.

Механічна характеристика робочої машини описується рівнянням:

$$M_C = M_0 + (M_{CH} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^X, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де: M_0 - початковий момент;

M_{CH} - момент статичних опорів при номінальній швидкості;

$\omega; \omega_H$ - задане і номінальне значення кутової швидкості.

$$M_{CH} = 9550 \frac{P_{Н.Р.М}}{n_{Н.Р.М}} \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де: $P_{Н.Р.М}$ - номінальна потужність робочої машини, кВт;

$n_{Н.Р.М}$ - номінальна швидкість обертання робочої машини, об/хв.

Так як показник степеня $x=2$, то механічна характеристика робочої машини матиме вигляд:

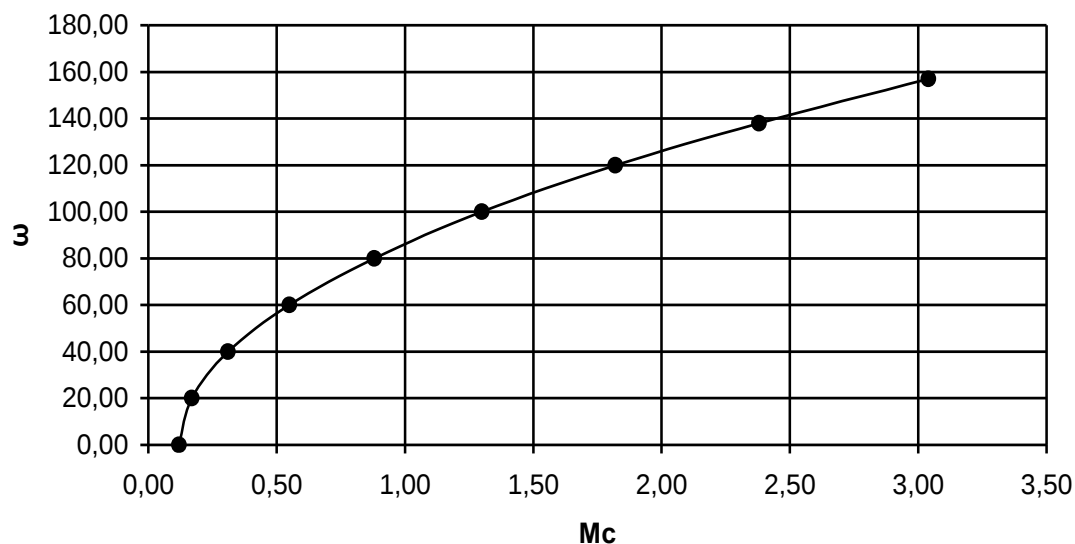


Рис. 3 Механічна характеристика робочої машини

4.1 Попередній вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання

Двигун вибираємо за умовами:

$$1. P_{\text{н.дв}} \geq P_{\text{в}}$$

Технічна характеристика двигуна АИР63В4У2:	Одиниці
Номінальна потужність, кВт	0,37
Номінальні оберти, об/хв	1320
Номінальний струм, А	1,18
ККД %	68
Cos φ	0,70
Кратність пускового моменту	2,1
Кратність мінімального моменту	1,8
Кратність максимального моменту	2,2
Кратність пускового струму	5
Момент інерції, $\cdot 10^{-3}$ кг·м ²	1,2

4.2. Вибір електродвигуна за електричними модифікаціями, конструктивним виконанням, кліматичним виконанням, ступенем захисту від дії оточуючого середовища

Вибираємо двигун основного виконання.

За конструктивним виконанням і способом монтажу ІМ1081-

де: 1 – машина на лапах і фланцем на підшипниковому щиті.;

08 – при будь-якому напрямі валу у просторі;

1 – з одним циліндричним кінцем вала.

За ступенем захисту ІР54

де: 5 – захищений від шкідливих відкладень пилю;

4 – захищений від бризок що попадають під будь-яким кутом.

За кліматичним виконанням і категорією розміщення У2: для роботи з помірним кліматом на відкритому повітрі.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4.2. Розрахунок і побудова механічної характеристики електродвигуна

Механічну характеристику двигуна будують за п'ятьма характерними точками:

1) $S=0$ $M=0$ Н·м

2) $S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1320}{1500} = 0,12$ $M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{0,37}{1320} = 2,67$ Н·м

3) $S_K = \frac{S_H + \sqrt{S_H \frac{\mu_K - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_H \frac{\mu_K - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,12 + \sqrt{0,12 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,05 - 1}}}{1 + \sqrt{0,12 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,05 - 1}}} = 0,68$ $\mu_1 = \frac{\mu_K}{\mu_{\Pi}} = \frac{2,2}{2,1} = 1,05$

$M_K = \mu_K \cdot M_H = 2,2 \cdot 2,67 = 5,874$ Н·м

4) S_{min} $M_{Hmin_{min}}$ Н·м

5) $S_{\Pi} = 1$ $M_{пуск} = \mu_{пуск} \cdot M_H = 2,1 \cdot 2,67 = 5,61$ Н·м

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень моментів:

1) $S = 0$ $M' = 0$ Н·м

2) $S_H = 0,12$ $M'_H = M_H = 2,67$ Н·м

3) $S_K = 0,68$ $M'_K = 0,9 M_K = 0,9 \cdot 5,874 = 5,28$ Н·м

4) S_{min} $M_{min}^{min'}$ Н·м

5) $S_{пуск} = 1$ $M'_{пуск} = 0,85 \cdot M_{пуск} = 0,85 \cdot 5,61 = 4,76$ Н·м

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень напруги:

1) $S = 0$ $M'' = 0$

2) $S_H = 0,07$ $M''_H = 0,95^2 M'_H = 0,95^2 \cdot 2,67 = 2,41$ Н·м

3) $S_K = 0,68$ $M''_K = 0,95^2 M'_K = 0,95^2 \cdot 5,28 = 4,76$ Н·м

4) S_{min} $M''_{2'2_{min_{min}}}$ Н·м

5) $S_{пуск} = 1$ $M''_{пуск} = 0,95^2 M'_{пуск} = 0,95^2 \cdot 4,76 = 4,29$ Н·м

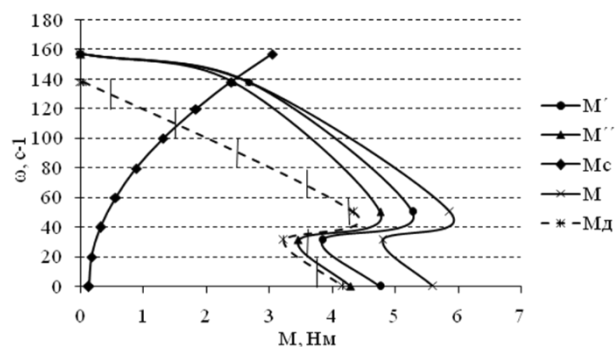
За розрахункову приймаємо механічну характеристику двигуна з урахуванням допустимих відхилень моменту при допустимих відхиленнях напруги .

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Рис.4 Криві перехідних процесів: МХ робочої машини, електродвигуна, динамічна характеристика

4.3. Визначення тривалості пуску електродвигуна і побудова його навантажувальної діаграми.

Час пуску електродвигуна визначається графоаналітичним методом. Для цього будуюмо механічну характеристику електродвигуна і робочої машини. Для побудови механічної характеристики електродвигуна за ковзанням розраховуємо кутову швидкість.



- 1) $S = 0$; $\omega_0 = 157 \text{ c}^{-1}$; $M_d'' = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- 2) $S_H = 0,12$ $\omega_H = 138,2 \text{ c}^{-1}$; $M_H'' = 2,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- 3) $S_K = 0,68$ $\omega_K = 50,24 \text{ c}^{-1}$; $M_K'' = 4,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- 4) S_{min} $\omega_{min} \text{ c}^{-1}$; $M''_{min} \text{ Н} \cdot \text{м}$
- 5) $S_{\text{пуск}} = 1$ $\omega_{\text{пуск}} = 0 \text{ c}^{-1}$; $M_{\text{пуск}}'' = 4,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Інтервал швидкостей ділимо на ділянки $\Delta\omega_i$ для кожної з яких визначаємо середнє значення динамічного моменту $M_{j.\text{cp}.i}$ і розраховується приріст часу.

$$J_{\text{зв}} = J_{\text{рот}} + J_{\text{рм.зв}} = 0,0012 + 0,0035 = 0,0047 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\Delta t_i = J_{\text{зв}} \frac{\Delta\omega_i}{M_{j.\text{cp}.i}}, \text{с}$$

$\Delta\omega$, рад/с	20	20	20	20	20	20	19
$M_{\text{дин.ср.}}$, Н·м	3,79	4,03	3,83	3,00	2,00	1,00	0,25
Δt , с	0,025	0,023	0,025	0,031	0,047	0,094	0,357
$\Delta t_{\text{пуску}}$, с	0,602						

Час пуску

$$t_{\text{пуск}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = 0,602 \text{с}$$

Для побудови кривої перехідного процесу $\omega=f(t)$ на осі абсцис послідовно відкладаємо прирости часу Δt_i і визначаємо відповідно кутову швидкість.

Маючи залежність $\omega=f(t)$, $\omega=f(M_d)$ будуємо залежність $M_d=f(t)$.

4.4. Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску

Перевірку вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час пуску виконуємо за умовою: $\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{пуск}}$

де: $\tau_{\text{доп}}$ – допустиме перевищення температури двигуна;

$\tau_{\text{пуск}}$ – перевищення температури двигуна під час пуску.

Для двигунів серії АИР $\tau_{\text{доп}}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{\text{пуск}}=V_t t_{\text{пуск}}=8,0 \cdot 0,602 = 4,816\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$80\text{ }^{\circ}\text{C} > 4,816\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Умова перевірки виконується.

4.5. Перевірка вибраного електродвигуна на перевантажувальну

Так як двигун працює в тривалому режимі з постійним навантаженням перевірку на перевантажувальну здатність виконувати непотрібно.

4.6. Розробка схеми керування електродвигуном установки

Схема керування електроприводом вентилятора ВЦ-4-75-4 зображена на рисунку 6. У схемі керування використовують перемикач режимів роботи SA на два положення (ручний та автоматичний режим роботи).

При ручному керуванні натискаючи на кнопку SB2 вмикається контакт КМ, який замикає котушку пускача КМ. Двигун починає працювати. При перевантаженні теплове реле КК розмикає свої контакти і двигун зупиняється.

В автоматичному режимі спрацьовує контакт терморегулятора і при підвищенні температури вмикає пускач КМ.

Таким чином забезпечується двопозиційне регулювання температури в приміщенні.

На основі принципіальної схеми розроблена схема з'єднань ящика керування. Рис. 7

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ВИБІР АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ, ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, А ТАКОЖ ВИБІР ЕЛЕКТРОПРОВОДОК

Автоматичний вимикач вибираємо за умовами:

$$1) U_{AB.H} \geq U_{\text{мережі}} \quad 380\text{В} = 380\text{В}$$

$$2) I_{AB.H} \geq I_{H.DB} \quad 25\text{А} > 1,18\text{А}$$

$$3) I_{H.T.P.} \geq I_{H.DB} \quad 5\text{А} > 1,18\text{А}$$

$$4) I_{BIDC} \geq K_3 K_{PY} K_{PC} K_I I_{H.DB}. \quad 70\text{А} > 9,74\text{А}$$

K_3 – Коефіцієнт запасу = 1,1;

K_{PY} – Коефіцієнт що враховує розкид уставки розчіплювача = 1,25;

K_{PC} – Коефіцієнт що враховує допустимі відхилення пускового струму = 1,2;

K_I – Кратність пускового струму.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА51Г25-340010 Р30 УХЛЗ.

Вимикач автоматичний триполюсний з номінальним струмом 25 А, тепловим розчіплювачем на 5 А з комбінованим розчіплювачем, без допоміжних контактів, з ручним приводом, з регулюванням струму теплового розчіплювача.

Умови перевірки виконуються.

Електромагнітний пускач вибираємо за умовами:

$$1) U_{H.M.P} \geq U_{\text{мережі}} \quad 380\text{В} = 380\text{В}$$

$$2) I_{H.M.P} \geq I_{H.DB} \quad 10\text{А} > 1,18\text{А}$$

$$3) I_{T.P.M} \geq I_{H.DB} \quad 6\text{А} > 1,18\text{А}$$

$$4) U_{\text{КОТ}} = U_{\text{КОЛА.КЕР.}} \quad 220\text{В} = 220\text{В}$$

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ 1200 – О4Б.

Електромагнітний пускач на 10 А триполюсний, реверсивний без теплових реле, ступінь захисту IP00.

Вибираємо реле РТЛ – 1010 – 04 $I_{уст} = 3,8 - 6 \text{ А}$.

Умови перевірки виконуються.

Вибір запобіжника.

$$1) U_{H.3AP} \geq U_{\text{мережі}} \quad 380\text{В} = 380\text{В}$$

$$2) I_{H.3AP} \geq I_{ПЛ.ВСТ} \quad 6\text{А} = 6\text{А}$$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$3) I_{\text{пл.зап}} \geq I_{\text{к.кер}}$$

$$6A > 4A$$

Низьковольтний комплектний пристрій для керування асинхронними двигунами, на струм A , з напругою кола керування 380 В.

Вибираємо НКП Я 5100-2774 У2.

Я – ящик;

5 – клас;

1 – прямий пуск двигуна без реверсування, без електричного гальмування;

00 – порядковий номер розробки;

27 – 5А;

7 – 380В напруга головного кола;

4 – 220В напруга кола керування;

У2 – кліматичне виконання та категорія розміщення.

Для живлення двигуна вибираємо провід АПВ(4х2,5): $I_{\text{доп}} = 19A$ прокладений в трубі.

Проводи і кабелі вибираємо за умовами:

1) $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{мах.трив.}}$ $19A > 1,18A$ **Умова перевірки виконується.**

5.1. Перелік вибраного електрообладнання

1	Найменування	К-сть	Примітки
QF	Вимикач автоматичний ВА51 Г25340010Р30УХЛ3 ТУ 16.522.157-83	1	$I_{\text{ав}} = 5A$
KM	Пускач електромагнітний ПМЛ 1200 – 04Б ТУ 16.644.001-83	4	$U_{\text{к}} = 220В$ $I_{\text{уст}} = 3,8-6 A$
FU	Запобіжник ПРС-6 ТУ 16.521.010 –75	1	$I_{\text{н.зап}} = 6 A$
SB1, SB2	Кнопковий пост ПКЕ 622-2У2 ТУ 16.642.006–83	1	$U_{\text{кот}} = 220В$
M1	Двигун АИР63В4У2 ГОСТ 2479 – 79	1	$I_{\text{н.дв}} = 1,18A$

РОЗДІЛ 6

РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ

6.1. Вибір ПЛК та інтерфейсів

Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) та засобів обміну даними є одним із визначальних етапів при розробці автоматизованої системи керування елеваторною лінією. Від правильності цього вибору залежить стабільність роботи всієї системи, швидкість обробки сигналів та можливість подальшого розширення функціоналу.

У даному проєкті як базовий контролер обрано Siemens S7-300, який повністю відповідає вимогам щодо надійності, продуктивності та можливості інтеграції з сучасними промисловими інтерфейсами зв'язку. Дана серія ПЛК забезпечує ефективну обробку великої кількості дискретних та аналогових сигналів, що є критично важливим для елеваторних систем з багаторівневим контролем технологічних процесів.

Окрім цього, контролер підтримує масштабування системи шляхом підключення додаткових модулів введення/виведення, а також інтеграцію з SCADA-системами та промисловими мережами, що дозволяє реалізувати централізоване керування та моніторинг обладнання. На рисунку 6.1. наведено загальний вигляд обраного програмованого логічного контролера.



Рис. 6.1. Siemens SIMATIC S7-300

Для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи автоматизації елеваторної лінії вибір програмованого логічного контролера здійснювався з урахуванням ряду технічних критеріїв, які визначають можливість реалізації всіх необхідних функцій керування.

Одним із основних критеріїв є кількість дискретних та аналогових входів/виходів (I/O), оскільки система елеватора включає велику кількість датчиків та виконавчих механізмів. Контролер повинен забезпечувати достатній резерв каналів для підключення обладнання та можливого розширення системи в майбутньому.

Другим важливим параметром є підтримка промислових протоколів зв'язку, зокрема Modbus RTU/TCP та Ethernet, що дозволяє інтегрувати ПЛК у єдину мережу керування та забезпечити взаємодію з SCADA-системою для моніторингу та диспетчеризації технологічних процесів.

У даному проєкті як основний контролер використовується Siemens S7-300 у поєднанні з модульною системою розширення Siemens ET 200M. Основний контролер виконує обробку сигналів та реалізацію алгоритмів керування, тоді як модулі розширення забезпечують підключення необхідної кількості датчиків та виконавчих пристроїв.

Склад системи введення/виведення включає наступні модулі:

- SM 321 DI 32×DC – модуль дискретних входів на 32 канали;
- SM 322 DO 32×DC – модуль дискретних виходів на 32 канали;
- SM 331 AI 8×13 bit – модуль аналогових входів на 8 каналів.

Дана конфігурація дозволяє реалізувати повноцінну систему збору та обробки сигналів від датчиків температури, рівня, струму та інших параметрів, а також керування виконавчими механізмами елеваторного комплексу.

Схему взаємодії компонентів системи наведено на рисунку 6.1., а перелік обладнання – у таблиці 6.1.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики ПЛК та модулів

Компонент	Тип	Кількість I/O	Протоколи зв'язку	Особливості
ПЛК Siemens S7-300	Центральний контролер	24	Ethernet, Modbus	Можливість розширення
ET 200M	Модуль розширення	8 аналогових	-	Інтеграція з S7-300
SM 321 Di 32xDC	Модуль дискретних входів	32	-	Висока щільність сигналів
SM 322 Do 32xDC	Модуль дискретних виходів	32	-	Висока щільність сигналів
AI 8 x 13 bit	Модуль аналогових входів	8	-	Висока точність сигналу

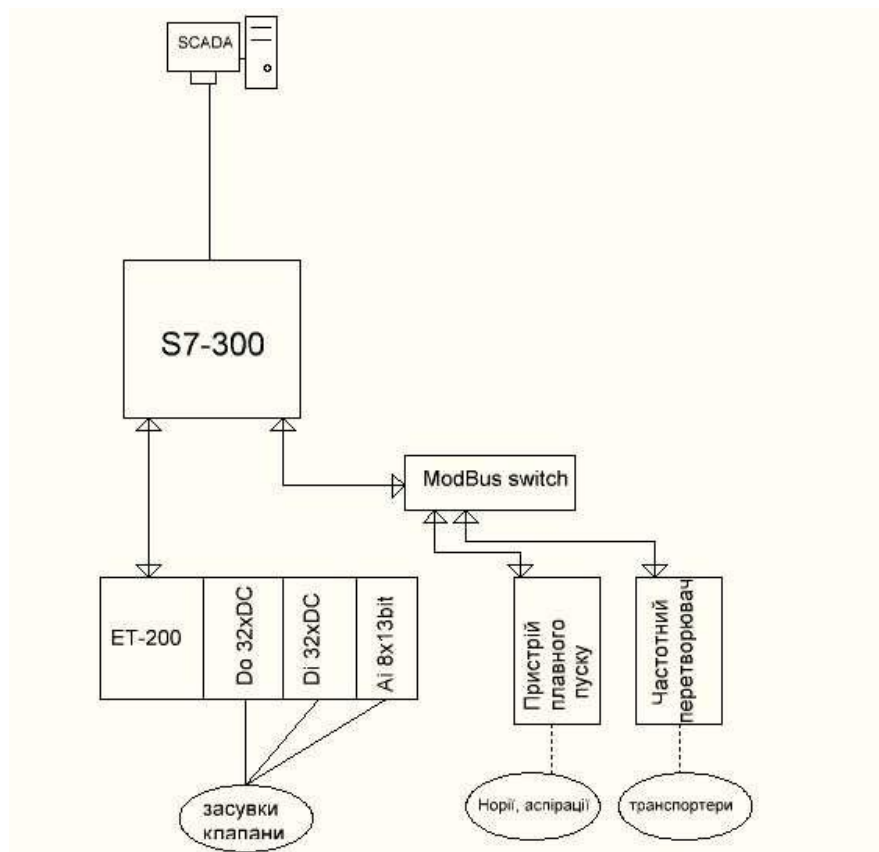


Рис. 6.2. Структурна схема взаємодії ПЛК з модульною системою розширення та SCADA-системою

Для організації обміну даними між програмованим логічним контролером, модулями розширення та виконавчими пристроями в системі автоматизації елеваторної лінії застосовується декілька типів інтерфейсів зв'язку, кожен з яких виконує свою функціональну роль.

Modbus RTU використовується для взаємодії ПЛК з силовим електрообладнанням, зокрема частотними перетворювачами та пристроями плавного пуску. Даний протокол забезпечує надійну передачу команд керування та параметрів роботи приводів, що дозволяє реалізувати плавне регулювання швидкості та оптимізацію режимів роботи електродвигунів.

Ethernet-з'єднання застосовується для інтеграції ПЛК із SCADA-системою. Через цей канал здійснюється передача оперативної інформації

про стан обладнання, аварійні сигнали та технологічні параметри, а також реалізується функція дистанційного моніторингу та керування всією елеваторною системою в режимі реального часу.

Релейні дискретні сигнали використовуються для безпосереднього керування виконавчими механізмами, такими як клапани, засувки та інші комутаційні пристрої. У цьому випадку ПЛК керує проміжними реле, які забезпечують комутацію силових кіл та захист вихідних модулів контролера від перевантаження.

Загальна структура взаємодії між усіма компонентами системи, а також особливості кожного типу зв'язку наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

Підключення інтерфейсів

Інтерфейс	Підключені пристрої	Особливості
Modbus RTU	Частотні перетворювачі, плавні пуски	Надійний протокол для промислових систем
Ethernet	SCADA-система	Висока швидкість передачі даних
Релейні сигнали	Контактори для клапанів і засувок	Висока швидкість передачі даних ВМ

Програмований логічний контролер Siemens S7-300 у межах даного проєкту виконує центральні функції збору інформації, обробки вхідних сигналів та формування керуючих команд для виконавчих механізмів елеваторного комплексу. Саме на базі цього контролера реалізується повний

алгоритм автоматизованого керування процесами транспортування, подачі та зберігання зерна.

Для розширення функціональних можливостей системи використовуються модулі Siemens ET 200M, які забезпечують підключення необхідної кількості дискретних та аналогових каналів. Дана модульна структура дозволяє гнучко адаптувати систему до реальних умов експлуатації та масштабувати її при необхідності.

Модуль SM 321 DI 32×DC призначений для приймання дискретних сигналів від польових датчиків, зокрема датчиків положення, кінцевих вимикачів, датчиків сходу стрічки, підпору та аварійних сигналів. Це дає змогу безперервно контролювати технічний стан транспортного обладнання та оперативно реагувати на відхилення від нормального режиму роботи.

Для обробки аналогових параметрів використовується модуль SM 331 AI 8×13 bit, до якого підключаються датчики температури, вологості та струму електродвигунів. Завдяки високій точності перетворення аналогових сигналів забезпечується достовірний контроль технологічних параметрів, що має особливе значення для підтримання належних умов зберігання зерна у силосах.

Взаємодія ПЛК з виконавчими механізмами реалізується залежно від типу обладнання. Для електроприводів конвеєрів, де необхідне регулювання швидкості, використовуються частотні перетворювачі, підключені через протокол Modbus RTU. Це дозволяє задавати необхідну частоту обертання двигунів, здійснювати плавний запуск та зупинку, а також оптимізувати енергоспоживання системи.

Пристрої плавного пуску, які застосовуються для норій та аспіраційних установок, також інтегруються в систему через Modbus RTU. Такий підхід дозволяє знизити пускові струми, мінімізувати механічні навантаження на привод та підвищити довговічність обладнання.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керування клапанами, засувками та контакторами реалізується через проміжні реле, що забезпечує електричну розв'язку між силовими колами та виходами контролера. Додатково для підвищення надійності системи передбачено контроль зворотного сигналу від блок-контактів контакторів. ПЛК постійно здійснює моніторинг стану цих контактів, що дозволяє підтвердити фактичне виконання команди на вмикання або вимикання виконавчого механізму.

Для зв'язку з SCADA-системою використовується мережевий інтерфейс Ethernet, через який передаються дані про стан обладнання, технологічні параметри та аварійні повідомлення. Це забезпечує можливість візуалізації процесів у режимі реального часу, архівування історичних даних та оперативного втручання оператора у роботу системи.

У разі виникнення аварійних режимів, таких як перевищення струму двигуна, перегрів зерна в силосі або сходження стрічки конвеєра, контролер автоматично формує команду на аварійну зупинку обладнання, реєструє подію в журналі системи та передає сигнал тривоги до SCADA-системи для інформування оператора.

Живлення ПЛК, модулів розширення, датчиків та допоміжних кіл керування здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги 24 В DC, що відповідає вимогам промислової автоматизації та забезпечує надійну роботу системи навіть за умов коливань напруги мережі.

Таким чином, запропонована структура системи керування забезпечує високу точність, надійність та безпечність функціонування електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7.1. Опис роботи зворотньоходового блока живлення

У системі автоматизації елеваторного комплексу одним із ключових елементів є джерело стабілізованого живлення, яке забезпечує безперебійну роботу програмованого логічного контролера Siemens S7-300, модулів введення-виведення, датчиків, проміжних реле та допоміжних кіл керування. Для реалізації даного завдання у проєкті застосовується імпульсний зворотньоходовий блок живлення, призначений для формування стабільних вихідних напруг 12 В та 24 В постійного струму.

Вибір саме зворотньоходової схеми обумовлений її високою ефективністю, компактністю, наявністю гальванічної розв'язки між мережею та навантаженням, а також можливістю одночасного формування декількох вихідних каналів живлення. Для автоматизованої системи елеватора це має особливе значення, оскільки різні елементи обладнання можуть потребувати різних рівнів напруги.

Основне призначення блока живлення полягає у забезпеченні стабільної напруги для систем автоматичного керування технологічними процесами транспортування та зберігання зерна. Контролер та датчики повинні працювати в умовах мінімальних пульсацій та відхилень напруги, оскільки навіть незначні коливання можуть впливати на точність вимірювання параметрів і коректність роботи алгоритмів керування.

У межах елеваторного комплексу до системи живлення підключаються датчики температури, вологості, рівня заповнення силосів, датчики струму електродвигунів, кінцеві вимикачі, датчики сходу стрічки та інші елементи контролю. Усі вони потребують надійного та стабілізованого живлення для безперервної передачі сигналів до ПЛК.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливістю промислового середовища елеватора є наявність значних електромагнітних завад, пускових струмів електродвигунів, а також можливих перепадів напруги в мережі. Саме тому блок живлення повинен забезпечувати високий рівень захисту від перенапруг, коротких замикань та нестабільності вхідної напруги.

Завдяки використанню ШІМ-контролера, силового MOSFET-транзистора, імпульсного трансформатора та кола зворотного зв'язку через оптопару забезпечується точне регулювання вихідної напруги. Така структура дозволяє системі швидко реагувати на зміну навантаження, наприклад, при одночасному спрацюванні декількох реле, підключенні датчиків або активації допоміжних виконавчих механізмів.

Наявність гальванічної розв'язки є особливо важливою для промислових об'єктів, оскільки вона забезпечує електробезпеку обладнання та захист ПЛК від високовольтних завад з боку силової мережі.

Для систем автоматизації елеваторного комплексу блок живлення повинен відповідати наступним вимогам:

- вихідна напруга 12 В та 24 В DC;
- висока стабільність вихідних параметрів;
- мінімальний рівень пульсацій;
- швидка реакція на зміну навантаження;
- захист від короткого замикання та перенапруг.

7.2. Розрахунок елементів для блока живлення

Вхідні данні:

$$U_{ВХ}=230В$$

$$U_{ВІХ1}=12В$$

$$U_{ВІХ2}=24В$$

$$I_{ВІХ1}=5А$$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{вих2}=4A$$

Живлення ШІМ контроллера = 12В

Частота ШІМ (F) = 132 кГц

Повна потужність трансформатора розраховується за формулою 7.1

$$P_{транс} = \frac{P_{вих 1} + P_{вих 2} + P_{вих 3}}{\eta} \quad (7.1)$$

η

$$P_{вих 1} = 12 V * 5 A = 60 W$$

$$P_{вих 2} = 24 V * 4 A = 96 W$$

$$P_{вих 3} = 12 V * 0.5 A = 6 W$$

$$P_{транс} = \frac{60 + 96 + 6}{0.85} = 190 W$$

0.85

Після діодного мосту постійна напруга буде на рівні розрахунку 7.2

—

$$U_{пост} = 230 \times \sqrt{2} = 235V \quad (7.2)$$

Розрахунок первинної обмотки трансформатора проводиться за формулами 7.3-7.6

$$N_{перв} = \frac{U_{пост} \times 10^8}{B_{max} \times A_e \times f} \quad (7.3)$$

$$N_{перв} = \frac{325 \times 10^8}{0,25 \times 1,25 \times 10^4 \times 132 \times 10^3} = \frac{325 \times 10^5}{32} = 985 \text{ витків}$$

$$I_{перв} = \frac{P_{транс}}{U_{пост}} = \frac{190}{235 \times 0,5} = 1,17A \quad (7.4)$$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{перв} = \frac{I_{перв}}{J} = \frac{1.17}{4} = 0,29 \text{ мм}^2 \quad (7.5)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times S_{перв}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,29}{3,14}} = 0.61 \text{ мм} \quad (7.6)$$

Таким чином для певинної обмотки ми будемо використовувати мідний провід діаметром 0.6мм 985 витків.

Розрахунок вторичних обмоток будемо проводити згідно з формулами 7.7-7.9

$$N_{втор} = \frac{U_{втор} * N_{перв}}{U_{пост}} \quad (7.7)$$

$$S_{втор} = \frac{I_{втор}}{J} \cdot \text{де } J = 4 \quad (7.8)$$

$$d_{втор} = \sqrt{\frac{4 * S_{втор}}{\pi}} \quad (7.9)$$

Для 12 вольтової лінії :

$$N_{12} = \frac{12 \times 985}{385} = 36 \text{ витків}$$

$$S_{12} = \frac{5}{4} = 1.25 \text{ мм}^2$$

$$d_{12} = \sqrt{\frac{4 \times 1.25}{3.14}} = 1.26 \text{ мм}$$

Для 24 вольтної лінії:

$$N_{24} = \frac{24 \times 985}{385} = 73 \text{ витків}$$

$$S_{24} = \frac{4}{4} = 1 \text{ мм}^2$$

$$d_{12} = \sqrt{\frac{4 \times 1}{3.14}} = 1.13 \text{ мм}$$

Для лінії живлення ШІМ контролера:

$$N_{\text{жив}} = \frac{12 \times 985}{385} = 36 \text{ витків}$$

$$S_{24} = \frac{0.5}{4} = 0.125 \text{ мм}^2$$

$$d_{12} = \sqrt{\frac{4 \times 0.125}{3.14}} = 0.4 \text{ мм}$$

Отже для 12 вольт ми берем 36 витків 1.26мм, для 24 вольт 73 витка 1.13 мм, для живлення ШІМ контроллера 36 витків 0.4 мм мідного дроту.

Транзистор VT1 має витримувати максимальний струм первинної обмотки з запасом, і по напрузі так само. В проєкті вибрали транзистор MOSFET FQF15N65C 15A650V, який розрахований на 15А та 650В.

Тепер розрахуємо резистори R15 та R16 для отримання 2.5 вольт на керуючий вхід на мікросхему TL431 використовуючи формулу 7.10

$$U_{24} = 2.5 + \frac{1+R1}{R2} \quad (7.10)$$

де $U_{24}=24\text{В}$

2,5В-опорна напруга для TL431

$$\frac{R1}{R2} = \frac{U_{24}}{2.5}$$

$$\frac{24}{2.5} - 1 = 8.6$$

Візьмемо для $R2=2.2\text{кОм}$:

$$R1 = R2 \times 8.6 = 2.2 \times 8.6 = 18.9 \text{ кОм}$$

$$I_{r1r2} = \frac{24\text{В}}{21.1\text{кОм}} = 1.14 \text{ мА}$$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 8

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

8.1. Конструкція та зовнішній вигляд електротехнологічного обладнання

Конструкторська частина дипломного проекту присвячена розробленню конструктивного виконання електротехнологічного обладнання, яке забезпечує надійну роботу автоматизованої системи керування елеваторним комплексом. Основну увагу приділено компоновці шафи керування, блоку живлення, елементів захисту, комутаційної апаратури, а також засобів підключення датчиків і виконавчих механізмів.

Конструкція обладнання розроблена з урахуванням умов промислової експлуатації, де присутні підвищена запиленість, вібрації, перепади температури та тривалий режим роботи. Саме тому всі елементи системи розміщуються у металевій шафі керування, виконаній зі сталевого листа з антикорозійним покриттям. Таке виконання забезпечує механічну міцність, захист від зовнішніх впливів та тривалий термін експлуатації.

Усередині шафи передбачено монтажну панель, на якій розташовані основні елементи системи:

- програмований логічний контролер Siemens S7-300;
- модулі дискретних та аналогових входів/виходів;
- частотні перетворювачі приводів конвеєрів;
- пристрої плавного пуску норій;
- контактори та проміжні реле;
- автоматичні вимикачі та запобіжні пристрої;
- імпульсний блок живлення 24 В DC;
- клемні колодки для зовнішніх підключень.

Особливе місце в конструкції займає блок живлення, який забезпечує стабілізовану напругу для ПЛК, датчиків та допоміжних кіл керування. Його

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корпус виконано з алюмінієвого сплаву з антикорозійним покриттям, що сприяє ефективному відведенню тепла та підвищує стійкість до зовнішніх факторів. Для покращення теплового режиму передбачено вентиляційні отвори та ребра охолодження, які забезпечують безпечну роботу пристрою при тривалому навантаженні.

На зовнішній частині шафи розміщено двері з ущільненням, що забезпечує ступінь захисту не нижче IP54. Це особливо важливо для умов елеваторного комплексу, де наявність пилу зернових культур є постійним фактором експлуатації.

На передній панелі шафи доцільно передбачити:

- кнопки «Пуск» та «Стоп»;
- кнопку аварійного відключення;
- світлову індикацію режимів роботи;
- сигнальні лампи аварій;
- панель оператора або НМІ-інтерфейс для локального керування.

Зовнішній вигляд обладнання виконано відповідно до сучасних вимог промислового дизайну: компактність, зручність обслуговування, чітке маркування та швидкий доступ до елементів.

Орієнтовні габаритні розміри шафи керування можуть становити:

800 × 600 × 250 мм

що дозволяє розмістити все необхідне обладнання з урахуванням запасу для вентиляції та подальшої модернізації.

Внутрішня компоновка виконана за модульним принципом, що значно спрощує ремонт, заміну елементів та технічне обслуговування.

Для забезпечення безпеки експлуатації в конструкції передбачено:

- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження;
- тепловий захист двигунів;
- автоматичне відключення при аварійних режимах;

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- систему заземлення шафи.

Таким чином, розроблена конструкція електротехнологічного обладнання повністю відповідає умовам експлуатації елеваторного комплексу та забезпечує надійне функціонування автоматизованої системи керування.

8.2. Компонування елементів та технічні характеристики

Компонування елементів системи керування електротехнологічним обладнанням елеваторного комплексу виконується з урахуванням вимог до надійності, електробезпеки, зручності обслуговування та безперервності технологічного процесу. Основним завданням даного етапу є раціональне розміщення силового, керуючого та допоміжного обладнання всередині шафи керування, а також визначення їх основних технічних характеристик.

Центральним елементом системи є програмований логічний контролер Siemens S7-300, який виконує функції збору інформації з датчиків, логічної обробки сигналів та формування команд керування виконавчими механізмами. Поруч із контролером розміщуються модулі дискретних та аналогових входів/виходів, що забезпечують підключення датчиків температури, вологості, рівня зерна, датчиків струму, кінцевих вимикачів, а також керування контакторами, засувками, частотними перетворювачами та пристроями плавного пуску.

Силова частина шафи включає автоматичні вимикачі, контактори, теплові реле, частотні перетворювачі приводів конвеєрів та пристрої плавного пуску електродвигунів норій і аспіраційних систем. Таке компонування дозволяє забезпечити розділення силових та сигнальних ланцюгів, що зменшує вплив електромагнітних завад на систему керування.

Окремим функціональним вузлом є імпульсний зворотньоходовий блок живлення, призначений для перетворення змінної напруги 220 В у стабілізовані вихідні напруги 12 В та 24 В постійного струму. Даний блок

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується для живлення контролера, модулів введення-виведення, датчиків та проміжних реле.

Принцип роботи блока живлення базується на імпульсному перетворенні енергії за допомогою високочастотного трансформатора та широтно-імпульсного модулятора (ШІМ-контролера). Вхідна напруга 220 В змінного струму спочатку проходить через випрямний міст, де перетворюється у постійну напругу. Далі напруга згладжується фільтрувальними конденсаторами, що дозволяє зменшити рівень пульсацій.

Після цього постійна напруга подається на силовий MOSFET-транзистор, роботою якого керує ШІМ-контролер. За рахунок високочастотного перемикавання транзистора формується змінний імпульсний сигнал, який надходить на первинну обмотку трансформатора.

Високочастотний трансформатор виконує одразу декілька функцій:

- зниження напруги;
- гальванічну розв'язку;
- формування декількох вихідних каналів живлення.

Одна з вторинних обмоток забезпечує формування стабільної напруги 24 В DC, яка використовується для живлення основного обладнання системи автоматизації. Інша вторинна обмотка формує напругу 12 В DC для допоміжних пристроїв та окремих електронних модулів.

Стабілізація напруги 24 В реалізується за допомогою вузла зворотного зв'язку на основі мікросхеми TL431 та оптопари. Такий підхід забезпечує високу точність підтримання вихідної напруги навіть при змінному навантаженні.

У разі відхилення вихідної напруги від номінального значення схема зворотного зв'язку формує коригуючий сигнал для ШІМ-контролера, який змінює тривалість імпульсів керування MOSFET-транзистором. Це дозволяє підтримувати стабільні параметри живлення всієї системи.

Для забезпечення надійної експлуатації передбачені такі види захисту:

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження;
- тепловий захист силових елементів;
- захист від перенапруги;
- автоматичне відключення при аварійному режимі.

Конструктивно блок живлення виконаний у корпусі, призначеному для монтажу на DIN-рейку, що повністю відповідає вимогам промислових шаф керування. Таке рішення значно спрощує монтаж, заміну та технічне обслуговування обладнання.

Основні технічні характеристики блока живлення доцільно подати у вигляді таблиці.

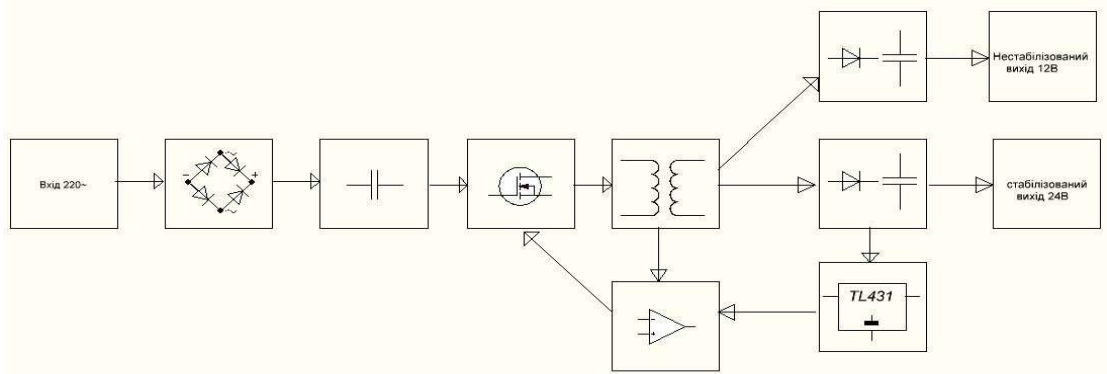
Таблиця 8.1.

Основні технічні характеристики блока живлення

Параметр	Значення
Вхідна напруга	220 В AC
Частота мережі	50 Гц
Вихідна напруга 1	12 В DC
Вихідна напруга 2	24 В DC
Максимальний струм 12 В	5 А
Максимальний струм 24 В	4 А
Частота ШІМ	132 кГц
Спосіб монтажу	DIN-рейка
Тип охолодження	природне
ККД	не менше 85 %

Таким чином, компоновання елементів та технічні характеристики системи повністю відповідають вимогам до сучасного електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу, забезпечуючи високу надійність, енергоефективність та безпечну експлуатацію.

Рис. 8.1. Структурна схема блока живлення



РОЗДІЛ 9

ОХОРОНА ПРАЦІ

9.1. Захисне заземлення

Охорона праці є обов'язковою складовою проєктування та експлуатації електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу. Умови роботи таких об'єктів характеризуються наявністю електроустановок, силових приводів, систем автоматизації, підвищеної запиленості та безперервного режиму роботи, що висуває підвищені вимоги до електробезпеки обслуговуючого персоналу.

Основною метою заходів з охорони праці є забезпечення безпечних умов роботи персоналу, запобігання ураженню електричним струмом, виникненню аварійних ситуацій, пошкодженню обладнання та негативному впливу виробничих факторів на здоров'я працівників.

Одним із найважливіших технічних заходів електробезпеки є захисне заземлення. Даний засіб призначений для зменшення ризику ураження людини електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції або пробоем напруги на металевий корпус обладнання.

Захисне заземлення являє собою навмисне електричне з'єднання металевих неструмовідних частин електрообладнання із заземлювальним пристроєм, який має безпосередній контакт із землею.

До таких частин відносяться:

- корпуси електродвигунів;
- шафи керування;
- корпуси ПЛК та модулів;
- металеві корпуси блоків живлення;
- щити автоматизації;
- корпуси частотних перетворювачів;
- металеві конструкції конвеєрів і норій.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основне призначення захисного заземлення полягає у відведенні струму пошкодження в землю через провідник з малим опором.

У випадку пробією фазного проводу на корпус обладнання виникає аварійний струм короткого замикання, який через заземлювальний контур спрямовується в землю. За рахунок малого опору контуру величина струму різко зростає, що забезпечує спрацювання автоматичного вимикача або запобіжного пристрою.

Таким чином, напруга на корпусі обладнання швидко зникає, що значно знижує небезпеку ураження працівника.

Система захисного заземлення складається з таких основних елементів:

- заземлювачі – металеві стрижні або смуги, що безпосередньо контактують із ґрунтом;
- заземлювальні провідники – провідники, які з'єднують обладнання із заземлювальним контуром;
- контур заземлення – сукупність усіх заземлювачів та з'єднувальних елементів.

Заземлювачі можуть виконуватись у вигляді сталевих вертикальних електродів, з'єднаних горизонтальною сталевою смугою.

Для електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу особливо важливо забезпечити якісне заземлення через наявність великої кількості електродвигунів, пускової апаратури та систем автоматизації.

Особливу небезпеку на таких об'єктах становить поєднання електрообладнання з пиловим середовищем, оскільки зерновий пил є не лише пожежонебезпечним, але й може погіршувати стан ізоляції обладнання.

Напруга дотику, яка може виникнути на корпусі у разі пошкодження, не повинна перевищувати допустиме значення 50 В, що відповідає вимогам електробезпеки.

Одним із ключових параметрів є опір заземлення, який характеризує ефективність розсіювання струму в землю.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для промислових електроустановок такого типу допустиме значення опору контуру заземлення, як правило, повинно бути:

$$R_z \leq 4 \text{ Ом}$$

При дотриманні даної умови забезпечується гарантоване спрацювання захисних автоматичних вимикачів у разі аварійного режиму.

Принцип роботи захисного заземлення полягає в наступному: при пошкодженні ізоляції фазна напруга потрапляє на металевий корпус обладнання, після чого струм короткого замикання протікає через заземлювальний контур у землю. Завдяки цьому автоматичний вимикач відключає аварійну ділянку мережі.

Таким чином, застосування захисного заземлення є обов'язковою умовою безпечної експлуатації електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу та забезпечує належний рівень захисту персоналу.

Схема заземлювального пристрою наведена на рисунку 9.1.



Рис. 9.1. Заземлюючий пристрій

9.2. Розрахунок захисного заземлення

Вхідні дані для розрахунку довжини штиря захисного заземлення в глинястому або вологому ґрунті:

Напруга мережі: $U=230 \text{ В}$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Допустима напруга дотику: $U_d=50 \text{ В}$

Опір людини: $R_L=1000 \text{ Ом}$

Допустимий струм через людину: $I_L=10 \text{ мА}$

Питомий опір ґрунту: $\rho=50 \text{ Ом}$

Діаметр заземлювача: $d=0.02 \text{ м}$

Допустимий опір заземлення визначається за формулою 9.1

$$R_z \leq \frac{U_d}{I_L} \quad (9.1)$$

Підставимо значення:

$$R_z = \frac{50}{0,01} = 5000 \text{ Ом} = 5 \text{ кОм}$$

У реальних умовах нормативи заземлення значно жорсткіші. Для розрахунку використовуємо $R_z=10 \text{ Ом}$. Формула 6.2 розрахунку опору вертикального заземлювача.

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi R_z} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (9.2)$$

де R_z - опір заземлення; ρ - питомий опір ґрунту;

L - довжина заземлювача; d - діаметр заземлювача.

Перетворюємо формулу для розрахунку L і вийде формула 9.3

$$L = \frac{\rho}{2\pi R_z} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (9.3)$$

Це рівняння є трансцендентним і вирішується чисельно. Початкові дані для розрахунку:

$$R_z = 10 \text{ Ом}$$

$$\rho = 50 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

$$d = 0.02 \text{ м.}$$

Розв'язуючи рівняння чисельно методом ітерацій, отримано: $L=5.59 \text{ м.}$

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки показали, що для забезпечення опору заземлення $R_z=10 \text{ Ом}$ ґрунті з питомим опором $\rho = 50 \frac{\text{Ом}}{\text{м}^3}$ необхідно використовувати заземлювач довжиною $L \geq 5.59 \text{ м}$.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту на тему «Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання елеваторного комплексу» було комплексно опрацьовано питання автоматизації технологічних процесів транспортування, зберігання та контролю зернової продукції на сучасному елеваторному підприємстві.

У процесі виконання роботи проведено детальний аналіз технологічної схеми елеваторного комплексу, визначено основні етапи переміщення зерна, особливості його зберігання в силосах, а також основні виробничі ризики, пов'язані з перевантаженням обладнання, підвищенням температури, вологості та утворенням пилу. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованої системи керування як основного засобу підвищення надійності, безпеки та ефективності роботи комплексу.

У роботі розроблено структуру контурів керування технологічними процесами, які забезпечують автоматичне керування транспортними механізмами, контроль стану силосів, роботу аспіраційних систем та безпечну експлуатацію обладнання. Визначено склад вхідних та вихідних сигналів системи, а також принципи взаємодії між датчиками, програмованим логічним контролером та виконавчими механізмами.

Особливу увагу приділено вибору електротехнологічного обладнання. Було обґрунтовано застосування датчиків температури, вологості, рівня, струму, кінцевих вимикачів та засобів контролю стану механізмів. Для керування виконавчими механізмами запропоновано використання частотних перетворювачів, пристроїв плавного пуску, контакторів та проміжних реле, що забезпечує точність керування, зменшення пускових струмів та підвищення енергоефективності системи.

У якості центрального елемента автоматизованої системи обрано програмований логічний контролер Siemens S7-300 з модулями розширення

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЕТ 200М, який повністю відповідає вимогам до промислової автоматизації об'єктів даного типу. Реалізовано можливість інтеграції з SCADA-системою через інтерфейси Modbus RTU та Ethernet, що забезпечує візуалізацію процесів, оперативний контроль, архівацію параметрів та швидке реагування на аварійні ситуації.

У розрахунковій частині виконано розроблення та обґрунтування параметрів імпульсного зворотньоходового блока живлення для забезпечення стабільного живлення системи автоматизації. Визначено основні параметри силових елементів, трансформатора, ШІМ-контролера та кола стабілізації, що дозволило отримати надійні вихідні напруги 12 В та 24 В постійного струму.

У конструкторській частині розроблено компоновку основних елементів шафи керування, блока живлення та допоміжного обладнання, що відповідає вимогам промислового монтажу та забезпечує зручність обслуговування, ремонтпридатність і безпечну експлуатацію.

У розділі з охорони праці розглянуто питання електробезпеки та виконано аналіз системи захисного заземлення електротехнологічного обладнання. Підтверджено відповідність параметрів контуру заземлення вимогам нормативних документів, що забезпечує безпечні умови роботи обслуговуючого персоналу.

Таким чином, розроблені проєктні рішення дозволяють підвищити надійність роботи елеваторного комплексу, зменшити ймовірність аварійних ситуацій, оптимізувати енергоспоживання та покращити якість зберігання зерна. Практичне впровадження запропонованої системи сприятиме підвищенню техніко-економічної ефективності підприємства та відповідатиме сучасним вимогам автоматизації агропромислових об'єктів.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів. Київ: Держспоживстандарт України, 2008.
2. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення. Міждержавний стандарт, 1981.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Електрообладнання промислових установок та систем автоматизації. Київ, чинна редакція.
4. ДСТУ EN 62305-1:2012. Захист від блискавки. Загальні принципи.
5. Siemens AG. SIMATIC S7-300 Programmable Controller. Technical Specifications and System Manual. Germany: Siemens, 2023.
6. Siemens AG. ET 200M Distributed I/O System. Hardware and Installation Manual. Germany: Siemens, 2023.
7. Siemens AG. STEP 7 Programming with SIMATIC Controllers. Germany: Siemens, 2023.
8. Schneider Electric. Altivar Variable Frequency Drives. Technical Documentation. France, 2023.
9. ABB. Softstarter PSR / PSE Series. Technical Catalogue. Switzerland, 2023.
10. Кравченко А. І. Автоматизація технологічних процесів: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2020.
11. Мельник М. В. Проектування автоматизованих систем керування промисловими об'єктами. Київ: Либідь, 2021.
12. Якубович В. Л. Автоматизація елеваторних та зернопереробних комплексів. Київ: Техніка, 2019.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Сидоренко К. О. Основи електробезпеки та охорони праці. Київ: Центр учбової літератури, 2020.
14. Кукленко К. В. Електротехніка та основи електроніки. Київ: Каравела, 2021.
15. ДСТУ 4091:2002. Системи автоматизації. Основи проектування.
16. Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. 2023.
17. IEC 61131-3. Programmable controllers – Programming languages. International Electrotechnical Commission, 2022.
18. Журнал «Промислова автоматизація та електропривод», № 2, 2024.
19. Журнал «Елеваторна промисловість та зернозберігання», № 1, 2024.
20. Офіційна технічна документація виробників датчиків температури, вологості, рівня та струму, використаних у проекті.

					02.02-БКР.2606«С».2025.10.30.002.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		