

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:**

**“АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕСИПАННЯ ЗЕРНА НА
БАЗІ КОНТРОЛЕРА SIEMENS LOGO ”**

**Студент групи АКТ 22-сп
Сіверський Назарій Сергійович**

Керівник роботи _____ (к.т.н., доц. Запорожцев С.Ю.)

Консультант _____ (к.т.н., доц. Городецький І.М.)

Завідувач кафедри _____ (проф., д.т.н. Тригуба А.М.)

“ ___ ” _____ 2023р.

ДУБЛЯНИ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –
 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
 д.т.н., проф. А.М. Тригуба
 “ ____ ” _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
 Сіверському Назарію Сергійовичу

1. Тема роботи

«Автоматизація процесу пересипання зерна на базі контролера Siemens LOGO»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “ ____ ” лютого 2023р., № ____ /к-с.

2. Строк подання студентом роботи: 02.06.2023р.

3. Початкові дані до роботи:

1. Технологічна карта процесу пересипання зерна; 2. ДСТи, СНіПи; 3. Документація виробника до контролерів Siemens LOGO

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз способів транспортування зерна

1.2 Огляд пристроїв автоматики в транспортерах зерна

1.3 Огляд пристроїв відображення стану процесів

2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РОЗРОБКИ

2.1 Вибір способу транспортування зерна в розробці

2.2 Вибір силових елементів

2.3 Вибір контролера

2.4 Вибір засобів автоматики

3 ПРОЕКТ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ

3.1 Розробка системи збору необхідної інформації

3.2 Розробка програми керування пневмотранспортером

3.3 Налаштування витратоміра

3.4 Електрична схема системи автоматичного навантаження зерна

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Функціональні ознаки автоматизації процесу пересипання зерна. Спрощена схема автоматизації процесу пересипання зерна. Специфікація засобів автоматизації процесу пересипання зерна.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 19 лютого 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	19.02 - 21.03.23	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.23	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.23	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.23	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.23	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 02.06.23	

Студент _____ Сіверський Н.С.
(підпис)

Керівник роботи _____ Запорожцев С.Ю.
(підпис)

УДК 65.011.5:633.1

Автоматизація процесу пересипання зерна на базі контролера Siemens LOGO
Сіверський Н.С. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних
технологій – Дубляни, ЛНУП, 2023.

62 ст. текст. част., 48 рис., 3 табл., 31 літ. джерел.

Текстова частина включає список скорочень, вступ, п'ять розділів, висновки,
список використаних джерел.

В першому розділі подано опис технологічних процесів, типових пристроїв
автоматики і відображення.

В другому розділі вибрано конкретний тип технологічного процесу,
електродвигун, контролер, засоби автоматики.

В третьому розділі виконано розробку програми керування, складено
електричну схему, показано процес налаштування витратоміра в потоці.

В четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього
середовища.

В п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження
запропонованої схеми автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, контролер, витратомір, пристрій плавного
пуску, Siemens LOGO.

Keywords: automation, controller, flow meter, soft starter, Siemens LOGO.

Анотація

Дипломний проект на тему «Автоматизація процесу пересипання зерна на базі контролера Siemens LOGO».

В дипломному проекті проведено: аналіз технологічних процесів, розглянуто методи перевантаження зерна, проведено вибір та обґрунтування силових агрегатів, витратомірів, комутаційної апаратури та контролерів, розроблено проект керування перевантаження зерна та програмне забезпечення, в роботі розроблено заходи з охорони праці та навколишнього середовища, розраховано економічну доцільність.

Abstract

Diploma project on the topic "Automation of the grain transfer process at the base Siemens LOGO controller".

The diploma project carried out: analysis of technological processes, considered methods of grain overloading, the selection and justification of power units was carried out, flowmeters, switching equipment and controllers, a control project has been developed grain overloading software, labor and environmental protection measures have been developed in the work, calculated economic expediency.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	11
1.1 Аналіз способів транспортування зерна.....	11
1.2 Огляд пристроїв автоматики в транспортерах зерна	18
1.3 Огляд пристроїв відображення стану процесів	19
2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РОЗРОБКИ	21
2.1 Вибір способу транспортування зерна в розробці	21
2.2 Вибір силових елементів	22
2.3 Вибір контролера.....	23
2.4 Вибір засобів автоматики	26
3 ПРОЕКТ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ.....	32
3.1 Розробка системи збору необхідної інформації.....	32
3.2 Розробка програми керування пневмотранспортером	33
3.3 Налаштування витратоміра	51
3.4 Електрична схема системи автоматичного навантаження зерна	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

AC (англ. Alternating current) – змінний струм.

DC (англ. Direct current) – постійний струм.

DFU (англ. Device Firmware Update) – скидання до заводських налаштувань.

FBD (англ. Functional Block Diagram) – мова програмування за допомогою логічних елементів і релейної логіки.

HMI (англ. Human-Machine Interface) – людинно-машинний інтерфейс

HTML (англ. HyperText Markup Language) – мова розмітки документів для перегляду вебсторінок

SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition) — диспетчерське управління і збір даних

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

АСУ – автоматизована система управління

КВПіА – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика

ПЛК – програмований логічний контролер

РК – рідко-кристалічний

СУМ (рос. Сигнализатор уровня мембранный) – давач підпору мембранний

ТЗ – технічна задача

ТП – технологічний процес

ВСТУП

Сучасний світ диктує свої вимоги та норми виробництва. Ті компанії, які не займаються автоматизацією технологічних процесів та внесенням вдосконалень залишаються в аутсайдерах. Одним із елементів, що призвів до технологічного стрибка в промисловості, стало зменшення людського фактору та введення в користування автоматизованих систем управління. З їх появою знизилася собівартість продукції, значно зросли об'єми та якість вироблених деталей, і відповідно - прибуток.

Автоматизована система управління (АСУ) - система управління, що зменшує потребу втручатись в процес, використовує релейну логіку та/або використовує команди, які написані на спеціалізованій мові програмування і керує виконавчими механізмами.

Але не тільки один прибуток рухає зараз нашим суспільством. Зараз ми живемо в час війни. Найкращим способом транспортування зерна закордон є транспортування морем. Зараз в нас ця можливість є обмежена, а як ми ще недавно бачили: цієї можливості може взагалі не бути. Тому зараз все більшу роль грають перевезення зерна річками на малих суднах, перевезення залізною дорогою, а також автотранспортом. Але при навантаженні існує суттєва проблема – це перенавантаження. Особливо гостро ця проблема стосується автоперевезень, так як навіть за невелике перевантаження слідує штраф. Тому, для прикладу на елеваторах, якщо на вагах виявляється, що автомобіль перевантажений, його відправляють на авторозвантаження, а потім знову на завантаження, а це все означає дарма спалене паливо і втрачений час, який зараз дуже цінний.

Отже, мені прийшла ідея зробити мобільний перевантажувач зерна, який з одної сторони може точно завантажити той же автомобіль чи вагон, а з другої сторони щоб він міг завантажити зерно із насипних силосів зберігання а також із сховищ середніх і дрібних фермерів.

Мета роботи:

Метою даної роботи є створення системи автоматичного навантаження потрібної кількості зерна для забезпечення швидшого навантаження, а також знизити до мінімуму випадки перевантажень або недовантажень.

Об'єкт дослідження:

Процес управління навантаженням зерна.

Предмет дослідження:

Автоматизація процесу управління навантаження зерна на базі існуючих контролерів.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз способів транспортування зерна

Є три основні пристрої транспортування зерна на короткі відстанні: конвеєр, елеватор (далі норія), та пневматичний навантажувач. Для початку варто розібратися з кожним з них, розібратись в видах кожного, визначити переваги і недоліки. Розпочну із конвеєрів. Конвеєри бувають гвинтові (шнекові), роликові, стрічкові, скребкові, вібраційні та пластинчасті.

Гвинтові конвеєри (шнеки) — транспортери, призначені для закритого переміщення зернових культур в горизонтальному і нахиленому (до 60°) положеннях. Такі конвеєри застосовують там, де є необхідність транспортувати великі обсяги сипучих вантажів у межах одного технологічного циклу [1]. Гвинтові конвеєри використовуються для транспортування сипких, дрібнокускових, пилоподібних, порошкових матеріалів (зазвичай на відстань до 60 м по горизонталі і до 15 м — по вертикалі і з продуктивністю — до 200 т/год). Діаметр шнека 100...600 мм, частота обертання 10...120 об/хв. Недоцільно за допомогою шнеків переміщати липкі, високоабразивні, а також речовини, що схильні до ущільнення [2].

Гвинтові конвеєри можуть додатково використовуватись як живильники, дозатори чи змішувачі. Для змішування матеріалів використовують так звані диференційні шнеки, в яких гвинти двох суміжних шнеків обертаються у протилежних напрямках [2].

У сільському господарстві гвинтовий конвеєр використовується для переміщення зерна з вантажівок і зерновозів у бункери для зберігання зерна. Шнек для транспортування зерна може бути приведений в дію електродвигуном або двигуном трактора, через механізм відбору потужності, а іноді і власним двигуном внутрішнього згоряння. Спеціалізована форма гвинтового конвеєра використовується для передачі зерна в сівалки. Такі шнеки з малим діаметром, незалежно від використання часто називають «олівцевими шнеками» [2].

До позитивних властивостей шнеків відносяться:

- простота конструкції і нескладність технічного обслуговування;
- невеликі габаритні розміри у порівнянні з іншими транспортувальними пристроями (стрічковими і пластинчастими конвеєрами) однакової продуктивності;
- герметичність та здатність транспортування гарячих, пилоутворювальних та токсичних матеріалів);
- зручність проміжного розвантаження.

Негативними особливостями шнеків є значне стирання і подрібнення вантажу, висока питома витрата енергії, підвищене зношування жолобу і гвинта [2].

Приклад шнекового конвеєру [3] наведено на рис.1.1.

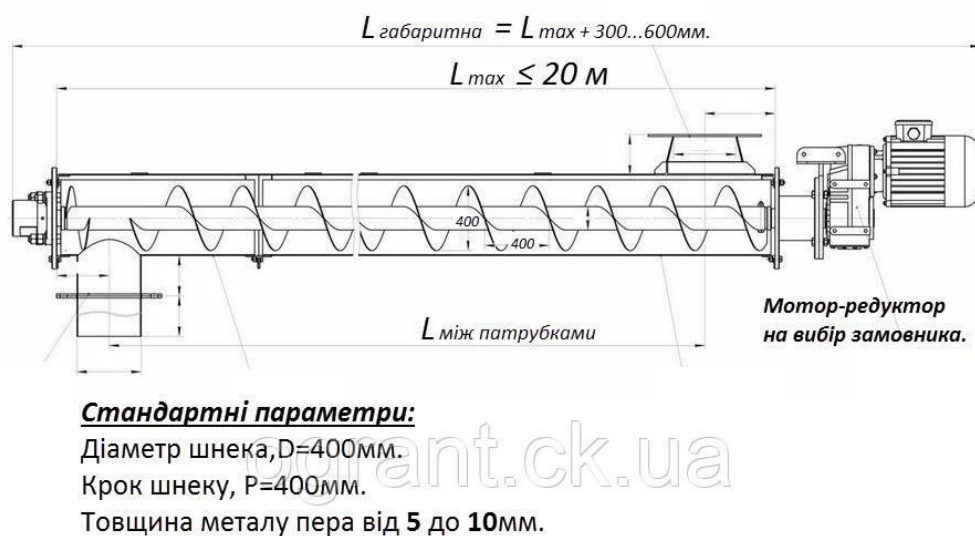


Рисунок 1.1 - Шнековий конвеєр

Роликовий конвеєр — конвеєр, роликами якого, закріпленими на невеликій відстані один від одного, переміщуються вантажі (поштучні або у тарі) [4]. Цей конвеєр не переміщує саме зерно без тари, тому розглядати його детальніше немає сенсу.

Стрічковий конвеєр — пристрій безперервної дії з об'єднаним вантажонесучим та тяговим органом у вигляді замкнутої стрічки. Стрічка

приводиться у рух силою тертя між нею та приводним барабаном, опирається по всій довжині на стаціонарні роликові опори. Основні елементи конструкції стрічкового конвеєра: конвеєрна стрічка, привод, постав з роликоопорами, завантажувальний і натяжний пристрій. Крім того, на стрічкові конвеєри встановлюють вловлювачі стрічки, механізми для її очищення, завантаження тощо. Привод складається з електродвигуна, редуктора, з'єднувальних муфт, гальма і приводного барабана (барабанів). Розрізняють декілька схем приводів за числом і місцем встановлення барабанів. Постав конвеєра робиться з «жорстким» і шарнірно-підвісними роликоопорами. Завантажувальний пристрій стрічкового конвеєра має вигляд приймальної воронки з бортами, що направляють вантажопотік. Натяжний пристрій — барабанна електролебідка з системою канатних блоків. У гірничорудній промисловості на підйомах крупнодробленої руди з кар'єрів продуктивність К.с. становить до 6000 т/год, ширина стрічки 1600—2000 мм, потужність електродвигунів привода 1200-3000 кВт. Загалом К.с. мають високу продуктивність, яка досягає 30 тис.т/год. Довжина К.с. в одному поставі від декількох метрів до 10-15 тис. метрів, кут нахилу не перевищує 16-18 [5].

Скребковий конвеєр — спеціальний скребковий транспортер, створений для переміщення різної продукції (зерно, насіння, продукти їхньої переробки) за допомогою скребоків. Потужний електричний мотор-редуктор приводить ланцюга в рух.

Подібний конвеєр може експлуатуватися в будь-яких умовах. Скребковий конвеєр зроблений зі зносостійких, довговічних матеріалів. Тому забезпечується планова, безперебійна робота конвеєра протягом тривалого проміжку часу [6].

Вібраційний конвеєр — різновид конвеєра, принцип дії якого побудований на коливальному русі (вібрації) робочого вантажонесучого органу.

Вібраційний конвеєр призначений для транспортування тонкодисперсних (від десятків мікрон), зернистих і грудкуватих матеріалів (до 1000 мм і більше) з температурою до 1000–1200 С в горизонтальному, похилому або вертикальному

напрямах. Вібраційний конвеєр широко використовуються в гірничій промисловості [7].

Пластинчатий конвеєр — транспортний пристрій з вантажонесучим полотном зі сталевих пластин, прикріпленим до ланцюгового тягового органу. На пластинах закріплені ходові ролики, які в процесі роботи К.п. котяться по напрямних. Осн. елементи К.п.: пластинчатое полотно, ходові ролики, тяговий орган, привідна і натяжна станції. Переваги К.п.: можливість транспортування абразивної гірн. маси криволінійною трасою з малими радіусами закруглень; менші, ніж у конвеєрах скребкових, опори переміщення і витрата енергії; можливість установа проміжних приводів, що дозволяє збільшити довжину конвеєра в одному ставі. Недоліки: висока металоємкість, складна конструкція пластинчатого полотна і трудність його очищення від залишків вологої і липкої гірн. маси, деформація пластин у процесі експлуатації, що спричиняє прокидання дрібних фракцій [8].

Приклад пластинчастого конвеєра [8] наведений на рис. 1.2.

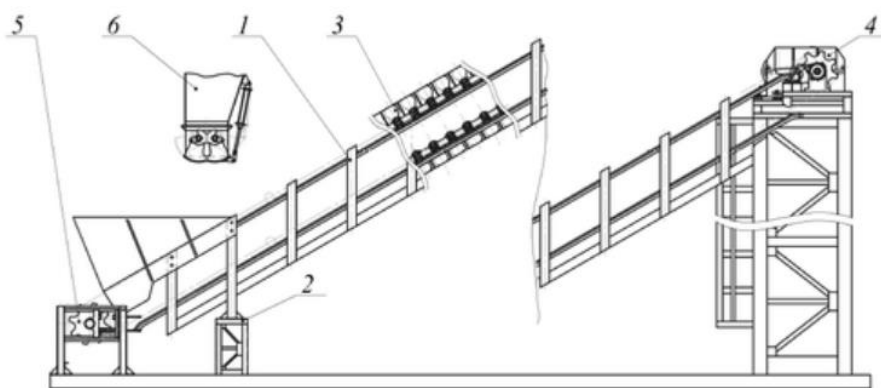


Рисунок 1.2 - Пластинчатий конвеєр: 1 — похила секція; 2 — проміжна опора; 3 — настил; 4 — привідна станція; 5 — натяжна станція; 6 — бункер

Елеватор — машина для безперервного переміщення сипких вантажів у вертикальній або крутопохилій (понад 60°) до горизонту площині у ковшах, що закріплені з певним кроком на закільцьованих ланцюгах або стрічці.

Розрізняють елеватори ковшові, поличні, люлькові. Конструкція елеватора включає тяговий орган (два ланцюги або стрічка), до яких прикріплені транспортної

посудини. Нескінченний тяговий орган огинає укріплені на металоконструкції приводні і натяжні зірочки або барабани. Завантаження посудин елеватора здійснюється в його нижній частині — черевіку, в який вантаж подається живильником або по похилому лотку. Розвантажуються посудини при переході через верхньої зірочки або барабан. При цьому вантаж направляється в розвантажувальний патрубок і далі йде в бункер або інші транспортні засоби. Знаходять застосування збездонюючі елеватори, в процесі підйому якими зволожених вантажів відбувається видалення води через отвори в ковшах.

Ковшові елеватори призначені для підйому по вертикалі або крутому нахилу (більш 60°) насипних вантажів (пилоподібних, зернистих, шматкових), поличні і люлькові елеватори — для вертикального підйому штучних вантажів (деталей, мішків, ящиків тощо) з проміжним вантаженням-розвантаженням. Ковшові елеватори, а поличні і люлькові — на підприємствах різних галузей промисловості, базах, в магазинах, а також на складах, зокрема у вигляді рухомих стелажів для зберігання і видачі виробів.

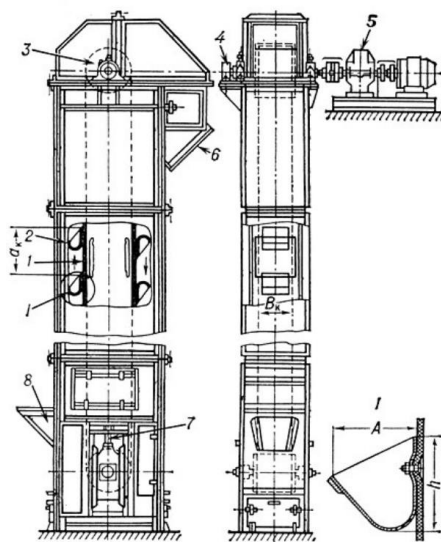


Рисунок 1.3 - Вертикальний стрічковий ковшовий елеватор: 1 — тяговий орган; 2 — ківш; 3 — приводний барабан; 4 — гальмо; 5 — привод; 6 — розвантажувальний патрубок; 7 — шпindel натягача; 8 — завантажувальний патрубок.

Поличний елеватор (рис. 1.4, а) має 2 вертикальні пластинчасті втулкові ланцюги, що огинають верхні тягові і нижні натяжні зірочки. До ланцюгів жорстко прикріплені захоплення-полиці, відповідні формі і розмірам вантажу. Завантаження полиць проводиться уручну або автоматично з гребінчастого столу, а розвантаження у верхній частині низхідної гілки — при перекиданні полиць. Швидкість руху ланцюгів поличного елеватора 0,2—0,3 м/сек. люлькові — штучних вантажів.

Люльковий елеватор (рис. 1.4, б) відрізняється від поличного способом кріплення робочого органу — люльки, яка завдяки шарнірному підвісу на всіх ділянках траси зберігає горизонтальне положення днища. Завантаження люлькових елеваторів проводиться на висхідній, а розвантаження — на низхідній гілці. Швидкість руху полотна 0,2-0,3 м/сек. Схеми вертикальних двохланцюгових елеваторів для штучних вантажів [9] наведено на рис. 1.4.

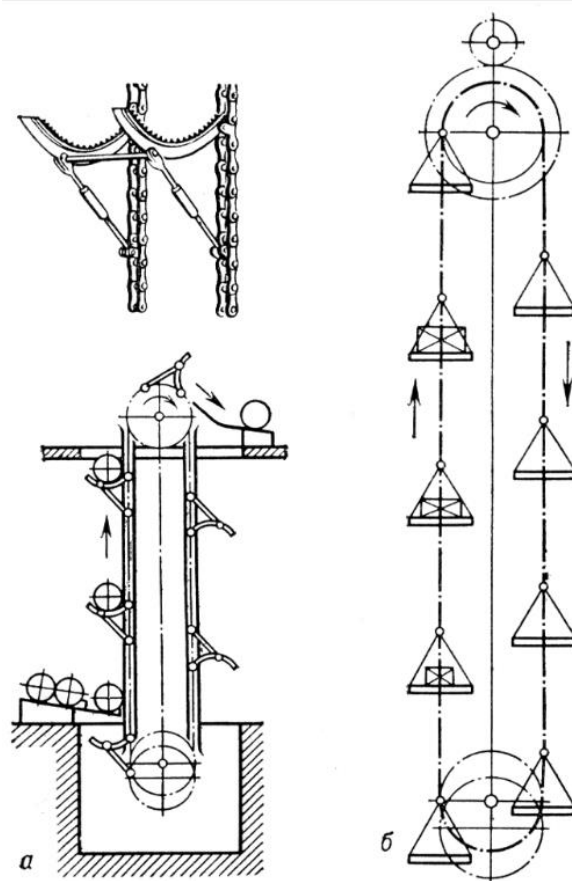


Рисунок 1.4 - Схеми вертикальних двохланцюгових елеваторів для штучних вантажів: а — поличного; б — люльчого

Пневматичний навантажувач (пневмотранспортер, пневмоперевантажувач, пневмоконвеєр) – один із найбільш універсальних типів обладнання, що дає можливість дуже гнучко реагувати на зміни умов перевантаження та оперативно організувати різні технологічні лінії. Одна й та ж машина, може, з однаковим успіхом розвантажувати вагони та автомобілі, завантажувати судна та контейнери, працювати на складах та причалах тощо.

У різних сферах світової економіки навантажувачі пневматичного типу набули широкого поширення. Оцінивши економічність та продуктивність різних видів механізмів транспортування, вітчизняні підприємці все частіше ухвалюють рішення купити пневмонавантажувач для оптимізації діяльності сільськогосподарських та вантажоперевальних підприємств.

Є два типи виробів, що відрізняються за принципом формування спрямованого повітряного потоку:

- Всмоктувально-нагнітальні агрегати виконують два завдання: всмоктування вантажу на початку транспортувальної траси та виштовхування на певну дистанцію на фініші. Завдяки комплексному підходу часто використовують на великих перевантажувальних станціях.

- Нагнітальні моделі виконують тільки виштовхувальну функцію. Вони відрізняються високою продуктивністю, можуть працювати від електроприводу або валу відбору потужності, підключеного до трактора. Набуло поширеного застосування у фермерських господарствах.

За методом встановлення пневмонавантажувачі ділять на дві групи.

- Стационарні моделі монтують на великих зерносховищах та зернових терміналах. Їх оснащують спеціальними модулями приймання та виходу зерна, що дає можливість поєднувати агрегат зі стандартними видами транспортних засобів.

- Мобільні моделі, що дає можливість швидко змінювати схеми навантаження, заведено використовувати в багатопрофільних агропромислових комплексах, на вантажних майданчиках мультимодальних транспортних вузлів.

Пневматичний навантажувач зерна є спеціально розробленим агрегатом для перевантаження зернових. У його конструкції реалізовані інженерні рішення, що орієнтовані на оптимізацію всіх аспектів процесу перевалки.

- Пневмонавантажувачі дають змогу найбільш ефективно здійснювати розвантаження силосів, складів підлогового зберігання, глибоких трюмів. Вони спроможні переміщати великі обсяги зернових, у тому числі у вертикальному напрямку, на дистанцію до 100 м.

- Він забезпечує максимальне збереження сировини. Вантаж не контактує з лопатями вентилятора, переміщення відбувається дбайливо, без руйнування насіння. У процесі транспортування можна проводити додаткове очищення збіжжя від сторонніх домішок.

- Якщо під час транспортування використовується пневмонавантажувач, ціна швидко окупається завдяки високій продуктивності автоматизованого процесу перевалки, мінімізації кількості персоналу, що обслуговує обладнання.

- Пристрій має замкнену трасу для вантажу, що дає змогу мінімізувати втрати від просипу, майже повністю унеможливити забруднення докільця дрібнодисперсним пилом. Модульна конструкція дозволяє варіювати довжину транспортної труби [10].

1.2 Огляд пристроїв автоматики в транспортерах зерна

Зазвичай в елеваторах (норіях) встановлюються ті ж давачі, що і на конвеєрах, за винятком додаткового давача сходу стрічки. Отож, а на конвеєри встановлюються давачі обертів, обриву ланцюга, підпору, аварійна кнопка Стоп. На норіях замість давача обриву стоїть давач сходу. Додатково можуть доставлятися кінцевики на відкривання кришок.

Давачем швидкості зазвичай являється звичайний індуктивний давач, встановлений на натяжній станції, для того, щоб розуміти, що ланцюг не обірваний,

та/або стежити за швидкістю обертання, якщо конвеєр керується частотним перетворювачем.

Давач обриву ланцюга встановлюється додатково, щоб мати перестраховання на випадок неспрацювання датчика швидкості. Зазвичай в ньому є механічна частина, яка переходить лопаткою саме перед таким самим індуктивним, або ємнісним давачем.

Давач підпору може бути виконаний по типу як давач обриву із використанням індуктивного або ємнісного давача, або як мембранний давач. Найпопулярнішим мембранним є СУМ-1 [11], який зображений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 - Давач СУМ-1

По своїй суті СУМ є звичайною кнопкою, але покритою зверху мембраною. Зерно своєю масою натискає на мембрану, а мембрана розмикає чи замикає (відповідно до ТЗ) контакти.

Давач сходу стрічки являє собою простий індуктивний або ємнісний давач, котрий реагує на зближення стрічки до корпусу.

1.3 Огляд пристроїв відображення стану процесів

Пристрої відображення стану процесів можуть бути вкрай різноманітними. Для простих задач їх взагалі може не бути. Пристроєм відображення інформації

може бути звичайна лампочка, яка або сигналізує про наявність напруги, або її відсутність. В складніших системах вже краще було б використовувати РК-дисплеї, виносні або вмонтовані в контролер. В ще складніших системах може використовуватись SCADA.

SCADA – це програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA може бути частиною АСУ ТП, АСКОЕ, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі тощо.

SCADA-системи використовують у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери введення-виведення або OPC/DDE сервери. Програмний код може бути як написаний на одній з мов програмування, так і згенерований в середовищі проектування.

Термін «SCADA» має двояке тлумачення. Найбільш широко поширене розуміння SCADA як програмного комплексу, що забезпечує виконання зазначених функцій, а також інструментальних засобів для розробки цього програмного забезпечення. Однак часто під SCADA-системою мають на увазі програмно-апаратний комплекс. Подібне розуміння терміна SCADA більш характерно для телеметрії.

2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РОЗРОБКИ

2.1 Вибір способу транспортування зерна в розробці

З усіх вищезгаданих способів транспортування зерна, мною було обрано пневматичне транспортування зерна, так як воно дозволяє системі бути більш гнучкою і забирати зерно з найбільш важкодоступних місць, що якраз і потрібно по поставленій задачі. Саме пневматичне транспортування дозволяє зробити максимально просту по автоматизації мобільну установку по перевантаженню зерна. Тим паче, що такі мобільні установки існують, але із дизельними двигунами, і без автоматизованого насипу. Приклад такої установки [12] поданий на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Пневмонавантажувач зерна BGSD 130

Схематичний принцип роботи потрібної мені архітектури пневмонавантажувача зерна [13] показано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Схема роботи всмоктуючо-нагнітального пневмотранспортера

Прийомним пристроєм пневмонавантажувача є сопло. Завдяки силі, що створюється вентилятором, зерно потрапляє в середину всмоктуючого циклону, звідки зерно під дією сили тяжіння падає вниз до дозатора, а повітря піднімається ввверх до вентилятора. Дозатор повинен крутитись із швидкістю меншою ніж вентилятор, і його роль заключається в тому, щоб не засипати трубопровід. Після дозатора на зерно знову починає діяти сила, що створюється вентилятором, і воно нагнітається в циклон-заспокоювач. Його роль заключається в тому, щоб зерно не розсипалося на різні сторони, а сипалось рівномірно і тільки вниз. Саме після циклона заспокоювача на мою думку варто поставити витратомір.

2.2 Вибір силових елементів

Дослідивши різні пневмотранспортери, я дійшов висновку, що відношення продуктивності т/год і потужності двигуна коливається в межах від 1:1 до 1,5:1. Отже, з цього я зробив висновок, що для того, щоб спокійно завантажити одну вантажівку за пів години потрібен двигун потужністю 30 кВт. Існують двигуни і на 27 і на 28 кВт, але в силу своєї популярності вважаю краще обрати такий двигун, який буде можливість швидко замінити.

Однією з найкращих фірм виготовників електродвигунів є АВВ. Отож, задля надійності, вважаю за краще розглянути саме 30 кВт двигуни АВВ. Для задачі потрібно щоб двигун був високообертним. Тому, звіривши всі моделі, було прийняте рішення використовувати електродвигун моделі АВВ 3GBP201410-BDK [14], зображений на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 - Електродвигун АВВ 3GBP201410-BDK

Характеристики електродвигуна АВВ 3GBP201410-BDK [14] наведені в табл.

2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристики двигуна АВВ 3GBP201410-BDK

З'єднання	Частота Hz	Напруга V	Потужність kW	Швидкість r/min	Сила струму А.	Cos μ	Крутний момент Nm
Y	50	690	30	2962	30,7	0,87	97,76
D	50	400	30	2962	53,2	0,87	96,76
Y	50	660	30	2956	32	0,88	96,95
D	50	380	30	2956	55,5	0,88	96,95
D	50	415	30	2965	51,8	0,86	96,66
D	60	460	30	3567	46,1	0,87	80,32

2.3 Вибір контролера

Для керування процесу вантаження зерна був обраний контролер Siemens LOGO [15] (рис. 2.4), так як це досить популярний, надійний, простий в експлуатації, а також нескладний в програмуванні. Також він ще й має вбудований екран.



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд контролера Siemens LOGO! з екраном (зліва) та без екрану (справа)

В асортименті продукції LOGO! представлені рішення на будь-який смак: з дисплеєм і без нього, з підтримкою обміну даними через Ethernet і інтегрованим веб-сервером, що не вимагає від користувача знання мови HTML [16].

Переваги контролера Siemens Logo:

- "Все в одному": вбудовані канали введення та виведення, інтегрований дисплей та клавіатура, бібліотеки вбудованих функцій, вбудований інтерфейс Ethernet та веб-сервер.
- Висока універсальність: модульна конструкція та програмна реалізація алгоритмів управління.
- Широка гама модулів розширення, гнучкі можливості адаптації до вимог розв'язуваних завдань.
- Застосування у всіх секторах промислового виробництва та системах автоматизації будівель.
- Наявність модифікацій для експлуатації у стандартних та важких промислових умовах [17].





			
			
Питание: =12 В или =24 В 8x DI =12 В или =24 В До 4x AI 0 ... 10 В До 4 импульсных входов 5 кГц 4x DO, реле, до 10 А на контакт	Питание: =24 В 8x DI =24 В До 4x AI 0 ... 10 В До 4 импульсных входов 5 кГц 4x DO, транзисторы, =24 В/0.3 А	Питание: =24 В 8x DI =24 В - - 4x DO, реле, до 10 А на контакт	Питание: ≅115 ... 240 В 8x DI ≅115 ... 240 В - - 4x DO, реле, до 10 А на контакт

Рисунок 2.5 - Типи контролерів Siemens LOGO та їх основні характеристики

Виходячи з моїх задач, найкраще підійде контролер LOGO! 24CE [17]. Детальніше про нього описано на рис.2.6 і 2.7.



Рисунок 2.6 - Розміщення клем та слотів на контролері Siemens LOGO!

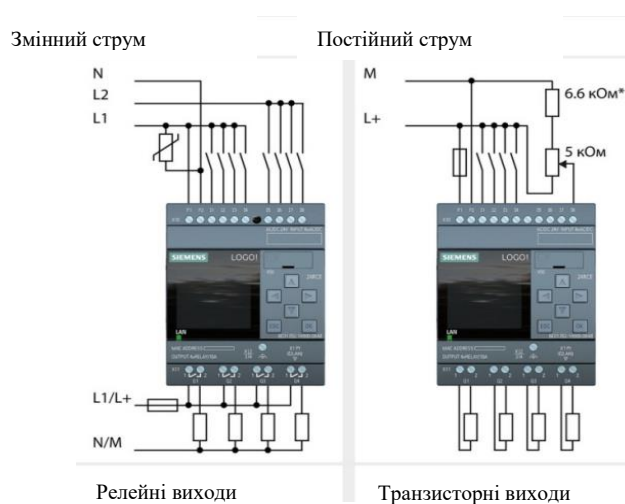


Рисунок 2.7 - Підключення входів і виходів для Siemens LOGO!

Основні характеристики Siemens LOGO 24CE [17] зображені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Основні характеристики Siemens LOGO 24CE:

Кількість дискретних входів:	8
Кількість аналогових входів:	4
Кількість імпульсних входів:	4
Кількість виходів:	4
Діапазон робочих температур:	-20...+50°C
Відносна вологість:	10...95%
Атмосферний тиск:	1080...795 гПа
Ступінь захисту:	IP20

2.4 Вибір засобів автоматики

Для електродвигуна такої потужності, для його нормального розгону, потрібно також поставити пристрій плавного пуску, який буде також виконувати роль пускача. Для такого двигуна, який був описаний мною раніше, підійде пристрій плавного пуску Siemens Sirius 3RW4425-1BC44 [18], зображений на рис. 2.8.

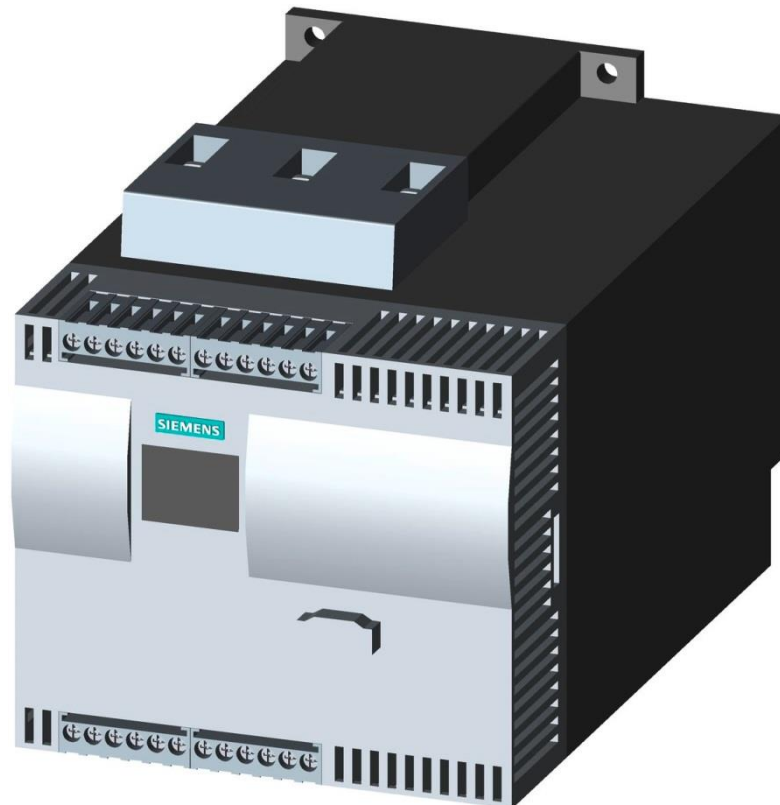


Рисунок 2.8 - Пристрій плавного пуску Siemens Sirius 3RW4425-1BC44

Для того, щоб надалі правильно створити схему, потрібно знати куди під'єднуються ті чи інші елементи, тобто мати розпіновку плавного пуску Siemens Sirius 3RW4425-1BC44 (рис.2.9) [19]. Як видно з схеми, Siemens Sirius 3RW4425-1BC44 має можливість використовувати захист від перевантажень а також захист за температурою по термістору.

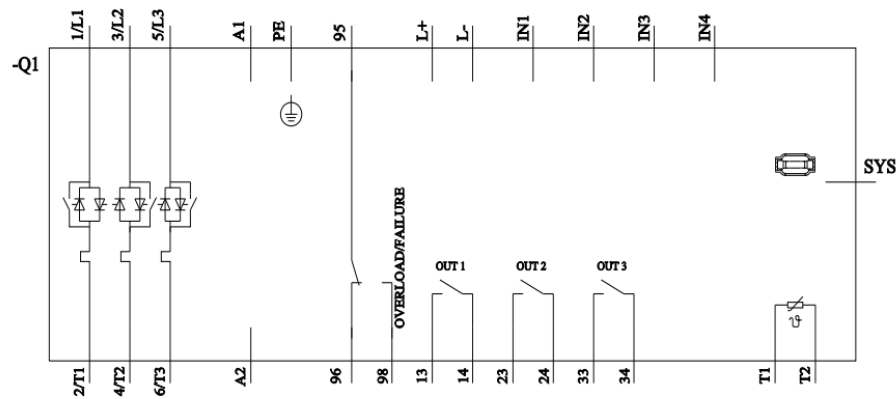


Рисунок 2.9 - Розпіновка плавного пуску Siemens Sirius 3RW4425-1BC44

Робоча сила струму при температурі 40°C у цього плавного пуску становить 57 А, що, як видно із таблиці 2.1, ідеально підходить до вибраного електродвигуна.

Як видно зі схеми підключення пристрою плавного пуску, для пуску двигуна потрібно подати фазу на вхід А1. Але тут виникає проблема, так як вихід контролера має 24 В постійного струму, а потрібно 220 В змінного струму. Для цього потрібно використати реле, керуюча напруга якого буде 24 DC, а керована 220 AC. Тут мій вибір впав на проміжне реле PLC-RSC- 24DC / 21 2966171 Phoenix Contact [20].



Рисунок 2.10 - Проміжне реле PLC-RSC- 24DC / 21 2966171 Phoenix Contact

Також для проекту потрібно поставити кнопки. Кнопки будуть двох типів: зелені (рис.2.11) [21] і червоні (рис.2.12) [22].



Рисунок 2.11 - Зелена кнопка 16К-Р11D



Рисунок 2.12 - Зелена кнопка 16К-Р11D

Для аварійної кнопки стоп потрібно використати інакшу кнопку, а саме кнопку грибкового типу, з двома контактами: одним постійно замкнутим і одним постійно розімкнутим. Для таких цілей підійде стопова кнопка Schneider XB4BS8442 [23], зображена на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 - Стопова кнопка Schneider XB4BS8442

На дозаторі, який приводиться в дію цепом, потрібно встановити давач обертів, який буде сигналізувати, що цеп не порвався. Для цієї цілі можна використати звичайний індуктивний давач [24], як на конвеєрі або норії.



Рисунок 2.14 - Індуктивний давач M18

Тепер потрібно перейти власне до витратоміра. В принципі, для цієї задачі підійде будь-який масовий витратомір сипучих продуктів із виходом 4-20 мА. Але я вирішив обрати той витратомір, з яким мені вже доводилось працювати, а саме Rembe C-LEVER [25], який є зображений на рис. 2.15.



Рисунок 2.15 - Витратоміри Rembe C-LEVER

Принцип роботи C-LEVER® - базується на законі відцентрової сили. Це дає змогу зважувати в потоці з високою точністю продукти різних властивостей, компенсуючи сили тертя. Навіть при зважуванні продуктів різної густини досягається точність 0,2%.

Продукт подається за допомогою спеціальної вирви на радіальний вимірювальний лоток. По Ньютону під час руху по дузі відцентрова сила спрямована від центру і тримає продукт на лотку. Оптимальне розташування датчика дозволяє з мінімальними похибками внаслідок сил тертя враховувати пряму залежність маси продукту від відцентрової сили [26].

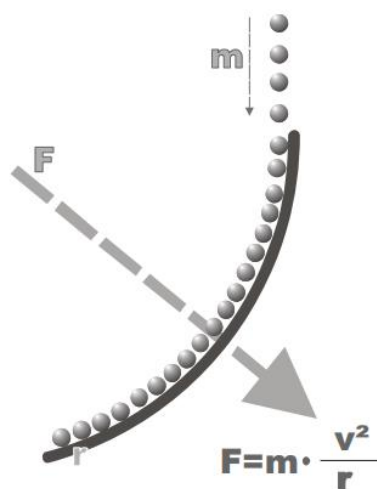


Рисунок 2.16 - Принцип роботи витратоміра в потоці

Типи витратомірів Rembe C-LEVER [26] наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Типи витратомірів Rembe C-LEVER

Тип	Мінімальне навантаження	Максимальне навантаження	Вимірювальна одиниця	Маса кг.
CL 12	50 кг/год	12 м ³ /год	5 до 15 кг	20
CL 24	300 кг/год	24 м ³ /год	10 до 20 кг	30
CL 50	500 кг/год	50 м ³ /год	2x10 до 30 кг	50
CL 400	5000 кг/год	400 м ³ /год	2x20 до 100 кг	80
CL 600	8000 кг/год	600 м ³ /год	2x20 до 100 кг	120

Скориставшись пошуковим сервісом, я дізнався, що об'єм напівпричепа вантажівки становить 82м³. Отже, щоб навантажувати хоча б два напівпричепа за годину підійде модель CL 400, максимальна продуктивність якої становить майже 5 напівпричепів за годину.

Оскільки контролер має живлення 24 В потрібно використати ще й блок живлення. Найкраще використати той блок живлення, який рекомендує виробник за замовчуванням, а саме LOGO!Power [17].



Рисунок 2.17 - Блоки живлення LOGO!Power

Блок живлення на 24 В буває двох типів: 6EP1 332-1SH43 24 В/ 2.5 А а також 6EP1 332-1SH52 24 В/ 4 А. Мною був вибраний блок на 4А, по тій причині, що в контролері будуть задіяні всі входи і 75% виходів.

3 ПРОЕКТ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ

3.1 Розробка системи збору необхідної інформації

Отже, для збору інформації, тобто входи, в проєкті буде використовуватись витратомір, давач швидкості та кнопки. Витратомір, як було сказано вище, дає вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА, який подається на НМІ та на аналоговий вхід контролера. Давач швидкості слугує для того, щоб розуміти чи крутиться двигун, чи немає аварійних ситуацій по типу вибитого автоматичного вимикача. Також потрібно встановити кнопки для наступних цілей:

- Пуск – для запуску вентилятора
- Пауза – для запуску вентилятора
- Скидання – для обнулення лічильника
- Збільшити – для збільшення уставки, коли вентилятор вимкнеться
- Зменшити – для зменшення уставки, коли вентилятор вимкнеться
- Ручне управління – для роботи без витратоміра
- Аварійний стоп – вимикач в разі аварії

Після натискання кнопки пуск подасться живлення на пускач електродвигуна вентилятора, а також підсвітиться білим кольором екран контролера.

Після натискання кнопки «Пауза» зупинеться подача живлення на котушку пускача електродвигуна вентилятора, але не скинеться лічильник процесу завантаження. Також після натискання цієї кнопки екран контролера просвітиться білим ще 10 секунд. Кнопка «Скидання» працює тільки тоді, коли роботу зупинено. Її задача проста: обнулити лічильник.

Кнопки «Збільшити» і «Зменшити» повинні змінювати уставку на 10 кг. кожного натискання, а при довгому натисканні швидко змінювати уставку, щоб оператору не потрібно було постійно клацати на кнопки. Також при їх натисканні екран на контролері повинен підсвічуватись білим кольором, підсвітка світитиметься 10 секунд.

«Ручне управління» зроблено за допомогою кнопки «Пауза», при натисканні якої 3 секунди ввімкнеться ручний режим, про що просигналізує лампочка-індикатор. А при натисканні 6 секунд ручний режим вимкнеться. Після натискання кнопки «Аварійний стоп» перестане подаватись живлення на котушку пускача електродвигуна вентилятора, разом з тим на екрані контролера з'явиться окремим написом сигнал про аварію на червоному фоні. Це повідомлення можна буде скинути натисканням кнопки «Пауза», але все ж поки стопова кнопка натиснута, запустити електродвигун не вийде. Перед використанням витратомір Rembe потрібно налаштувати за допомогою НМІ. Потрібно вказати одиниці виміру, границі вимірювання, тарування (тобто визначення нульовго положення).

3.2 Розробка програми керування пневмотранспортером

Контролер Siemens LOGO програмується за допомогою середовища програмування Siemens LOGO! Soft Comfort (рис.3.1).

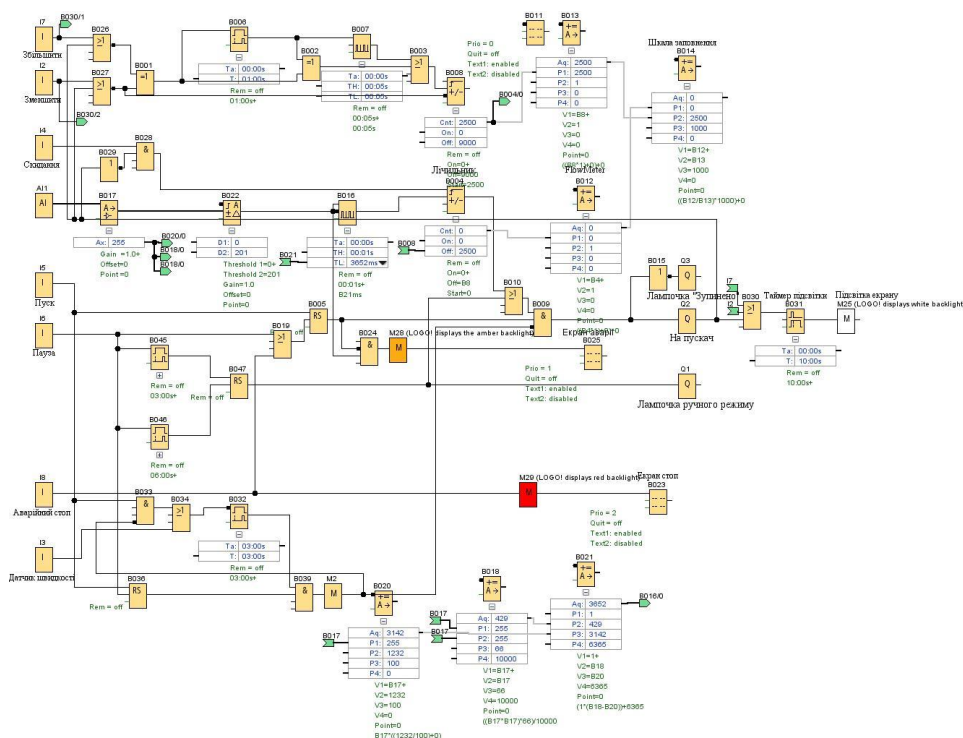


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд програми

В цьому середовищі можна програмувати трьома мовами програмування на вибір: Ladder, FBD і UDF. Для свого проекту я вибрав мову FBD, так як вона простіша як для самого програміста, так і для користувача, і навіть для звичайної людини.

Тепер розглянемо програму по частинах. Розпочну із простого, реалізації пуску-паузи (рис.3.2).

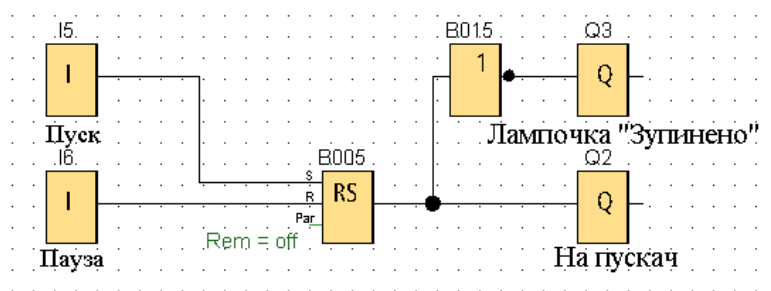


Рисунок 3.2 - Реалізація пуск-пауза

Поставив два цифрових входи на кнопки «Пуск» I5 і «Пауза» I6. Так як кнопки зазвичай виготовляються з нормально відкритим контактом, то в проекті так само потрібно в параметрах входу зазначити «Momentary pushbutton (make)». Після кнопок я поставив блок «Latching relay» B005, і на його входи Set і Reset підключив «Пуск» і «Пауза» відповідно. При натисканні кнопки «Пуск», чи її утриманні, на виході реле завжди є логічна 1, яка залишається після відпускання кнопки. При натисканні «Пауза», чи її утриманні, чи натисканні двох кнопок разом на виході буде логічний 0, який залишається після відпускання кнопки. Далі йде власне вихід на блок-контакт пускача Q2. Перед виходом на лампочку «Зупинено» Q3 встановлений елемент «NOT» B015, який змінює 0 на 1, і навпаки 1 на 0.

Додав ще один цифровий вхід для кнопки аварійного стопу I8. В налаштуваннях вибираю пункт «Swich», так як стопова кнопка або постійно натиснута або відтиснута, не змінює стану після використання (рис.3.3). Перед блоком B015 додаю блок «OR» B019. До Reset на B005 замість I6 під'єдную вихід із B019. До одного з входів B019 під'єдную I6, а до другого I8. Потрібно ще зробити

аварійний екран. Для цього спочатку додаю «Flag» M29, щоб підсвітка екрану світилась черваним кольором. Вхід M29 з'єднується із I8. Додаю блок «Message texts» B023. В налаштуваннях блоку по середині екрану пишу слово STOPED (рис. 3.4). Цей екран з'являтиметься тільки тоді, коли на вхід блоку B023 буде подана логічна одиниця, тобто тоді коли кнопка натиснута.

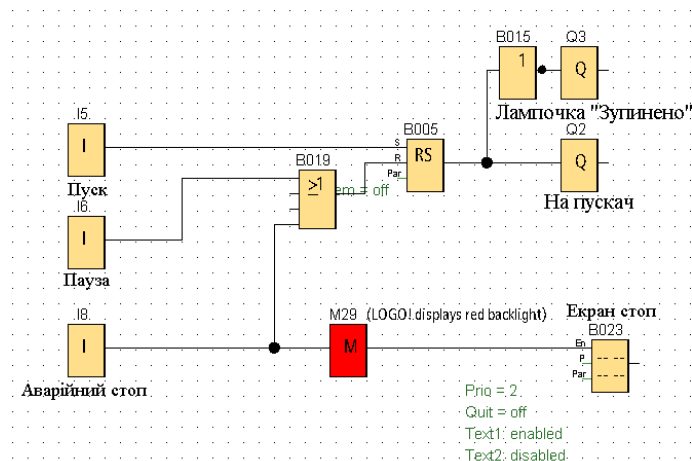


Рисунок 3.3 - Реалізація аварійного стопу

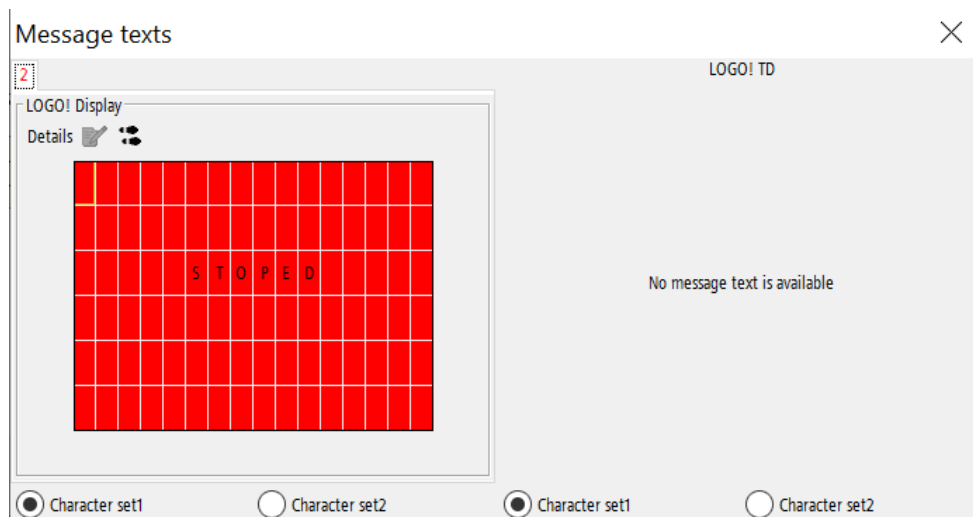


Рисунок 3.4 - Видяг стопового екрану B023

Для початку додав блок «Up/Down counter» B004 (рис.3.5). Саме з його допомогою вдасться зупинити навантаження по досягненні уставленої маси. Також додаю блок «AND» B009, для того щоб лічильник міг зупинити роботу Q2. Так як на

виході V009 по замовчуванню логічна одиниця, То Q2 буде працювати тоді коли на обох входах V009 є одиниця.

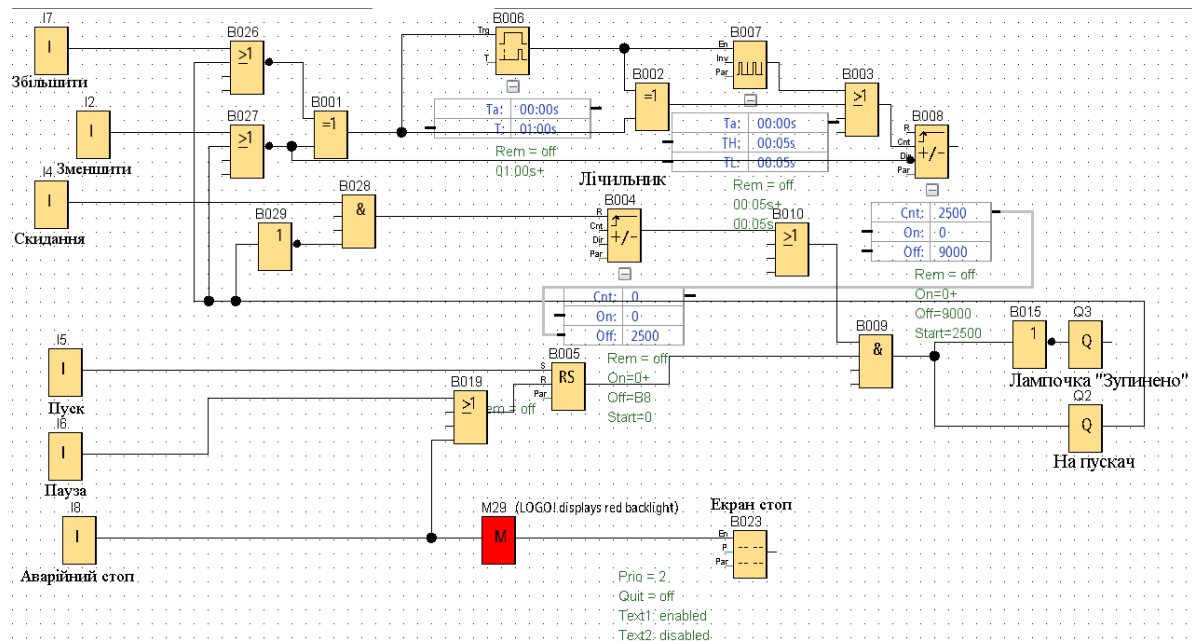


Рисунок 3.5 - Реалізація лічильника, кнопок скидання та збільшення уставки

Додав два входи для кнопок «Збільшити» I7 і «Зменшити» I2. Додав ще два блоки «NOR», V026 для кнопки «Збільшити» і V027 для кнопки «Зменшити». До входу V026 під'єднуються виходи I7 та Q2. До входу V027 під'єднуються виходи I2 та Q2. Основна ціль цих блоків у тому, щоб унеможливити випадкову зміну уставки під час роботи.

Додав блок «XOR» V001, і до його входів під'єднав виходи V026 і V027. Отже, якщо з'явиться якась різниця в виходах на V026 і V027, то на виході V001 з'явиться логічна одиниця, яка і буде означати зміну уставки. Але не все так просто, потрібно ще знати в котру сторону змінювати уставку, а також додати можливість оператору натиснути клавішу, і довгим утриманням змінювати уставку швидше. Для цього додав наступні блоки: «On-Delay» V006, «XOR» V002, «Asynchronous pulse generator» V007, «OR» V003, «Up/Down counter» V008. Вихід V001 з'єдную як із V002 так і з V006. Вихід V006 підводжу до входу того ж V002 і до V007. Виходи V002 і V007 підводяться до V003, а вихід V003 з'єднується з входом V008. На

контакт Dig на B008 потрібно кляцнути двічі, щоб тим самим створити елемент NOT, але не додавати окремих блоків і тим самим зробити програму простішою для читання. На контакт Dig підводжу вихід блоку B027, щоб коли натискається кнопка «Зменшити», лічильник рахував в протилежну сторону.

Отже, як було сказано раніше, при натисненні «Збільшити» чи «Зменшити» на виході блоку B001 буде з'являтися логічна одиниця. Якщо просто кляцнути по котрісь кнопки, тоді спрацює перший маршрут: на виході B006 не з'являється нічого, і через це на вході B002 є 0 і 1. Тому на виході B002 буде одиниця, яка подається на B003, і вже з B003 подається на лічильник B008, і в залежності від кнопки, збільшується чи зменшується разово Cnt. Якщо ж затиснути котрусь кнопку довше 1с., то на виході B006 теж з'явиться одиниця, і тоді на вході B002 буде вже дві одиниці, що означає, що на виході буде 0. Але одиниця подається на генератор імпульсів B007, і вже з нього імпульси підуть на B003, і з B003 на лічильник.

Далі із додаткового контакту Cnt B008 ведуть з'єднання із додатковим контактом Off блоку B004, щоб B004 розумів, коли на вихід перестати подавати одиницю.

Додав вхід I4 «Скинути», блок NOT B029 та AND B028. I4 з'єднав із входом B028. Вхід блоку B029 з'єднує із виходом Q2, а вихід B029 із входом B028. Вихід B028 подається на контакт Reset на блоку B004. Для того, щоб на виході B028 з'явилась одиниця, потрібно щоб одиниці були на обох входах. Стан Q2 інвертується в B029, щоб унеможливити зміну уставки, поки мотор в роботі.

Додав блоки On-Delay B045 і B046, Latching Relay B047, OR B010 і вихід Q1 (рис.3.6). Вихід Лічильника B004 перепід'єднав до входу B010, а вихід B010 на вхід B009. Це зроблено для того, щоб коли ввімкнеться ручний режим, двигун не зупинявся по уставці. На B045 виставив час спрацювання 3 секунди, а на B046 6 секунд. З'єднав входи B045 і B046 із виходом кнопки «Пауза» I6. Вихід B045 підвів до контакту Set блоку B047, а вихід B046 до контакту Reset B047. Коли тиснути кнопку «Пауза» протягом трьох секунд, на виході B045 з'являється одиниця, яка подається на Set блоку B047, а отже одиниця з'являється і на виході B047. Але якщо тиснути далі протягом 6 секунд і більше, одиниця з'явиться і на виході B046, тобто і

на контакті Reset V047, тим самим перервавши подачу одиниці на вихід V047. Вихід V047 під'єднав до входу V010. Для того, щоб на виході V010 була одиниця, потрібно щоб хоча б на одному з входів була одиниця. Коли увімкнений ручний режим, то на вході V010 одиниця буде завжди. Тим самим V009 буде керуватись виключно кнопками «Пауза» і «Пуск».

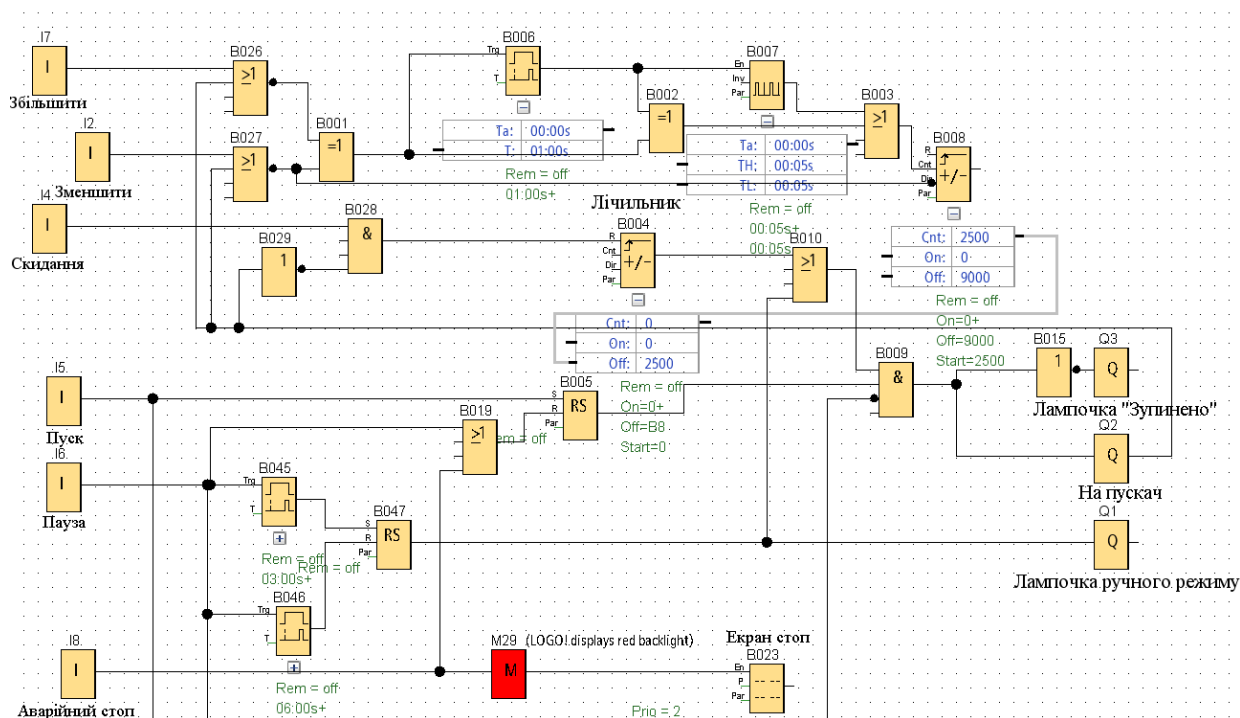


Рисунок 3.6 - Реалізація ручного управління

Додав вхід I3 (рис.3.7). Так як давач швидкості є індуктивним давачем, він має два стани: в спрацюванні і в стані спокою. Тому звичайний вхід з налаштуванням Momentary pushbutton (Make) буде достатнім. Додав також ще наступні блоки: AND V033 і V039, Latching Relay V036, OR V034, On-Delay V032, Flag M2. З'єднав I3 із входом V034. Також на вхід V034 підключив вихід V033. На вхід V033 подав «Пуск» I5. Вихід V034 з'єднав з інвертованим входом V032. На блокові V032 виставив час спрацювання 3 секунди. До входів блоку V039 підвів виходи V032 і V036. На вхід Set V036 підвів «Пуск» I5, а на Reset «Пауза» I6. До виходу V039 додаю прапорець M2, для можливості в подальшому вивести інформацію про стан давача на екран. Вихід M2 з'єдную із V033 і інвертованим входом V009.

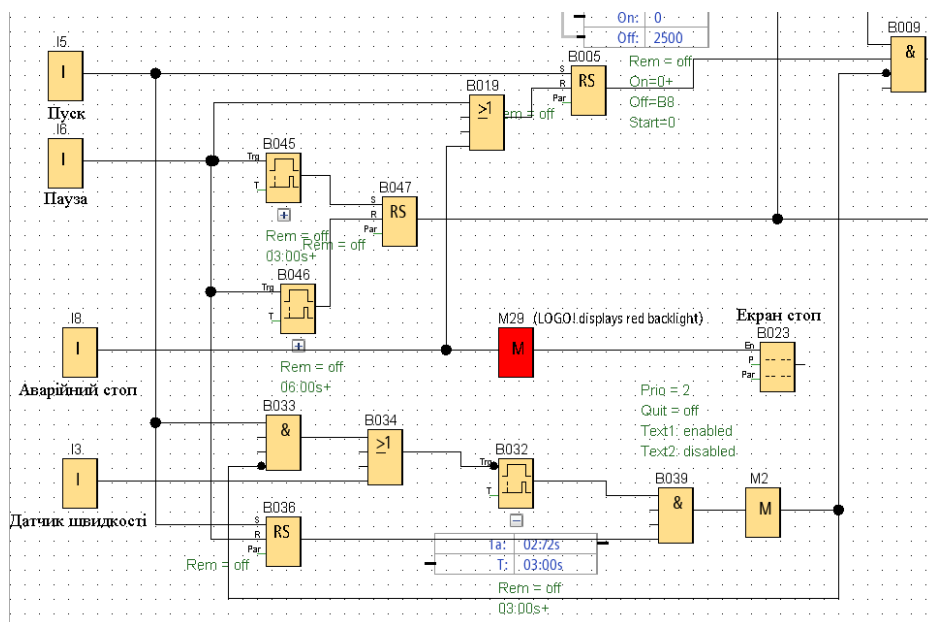


Рисунок 3.7 - Реалізація захисту по давачу швидкості

Натискаючи кнопку «Пуск», спрацьовує реле, яке дає одиницю на вхід V039. Це дає те, що для того, щоб V39 міг зупинити роботу і вивести на екран помилку по давачу швидкості, потрібно щоб перед тим була натиснута кнопка «Пуск» без наступного натискання кнопки «Пауза». V033 на вихід подасть одиницю тоді, коли на вході всі одиниці. Так як на виході M2 за нормальних умов 0, по одному контакті V033 потрібно двічі клацнути кнопкою миші, щоб інвертувати 0 в 1, і навпаки 1 в 0. Отож, на одному з входів за нормальних умов є одиниця. Натиснувши кнопку «Пуск», на обох входах V033 буде одиниця, що дасть змогу таймеру рахувати 3 секунди не з моменту подачі живлення на контролер, а з моменту натиснення кнопки «Пуск». Блок V034 дає змогу обнуляти таймер і при натисканні кнопки «Пуск», і при спрацьованні давача швидкості. Якщо 3 секунди немає ніяких збурень, то на виході V032 з'являється одиниця, яка прямує до V039. І якщо була перед тим натиснута кнопка «Пуск», на вході V039 всі контакти із одиницями, що дозволяє і на вхід подати одиницю. Одиниця, за допомогою інвертованого контакту на V009 перетвориться в 0, і так як на входах V009 при такій ситуації не буде всіх одиниць,

на виході одиниці також не буде, тобто мотор зупиниться. Помилка збивається натисканням кнопки «Пауза».

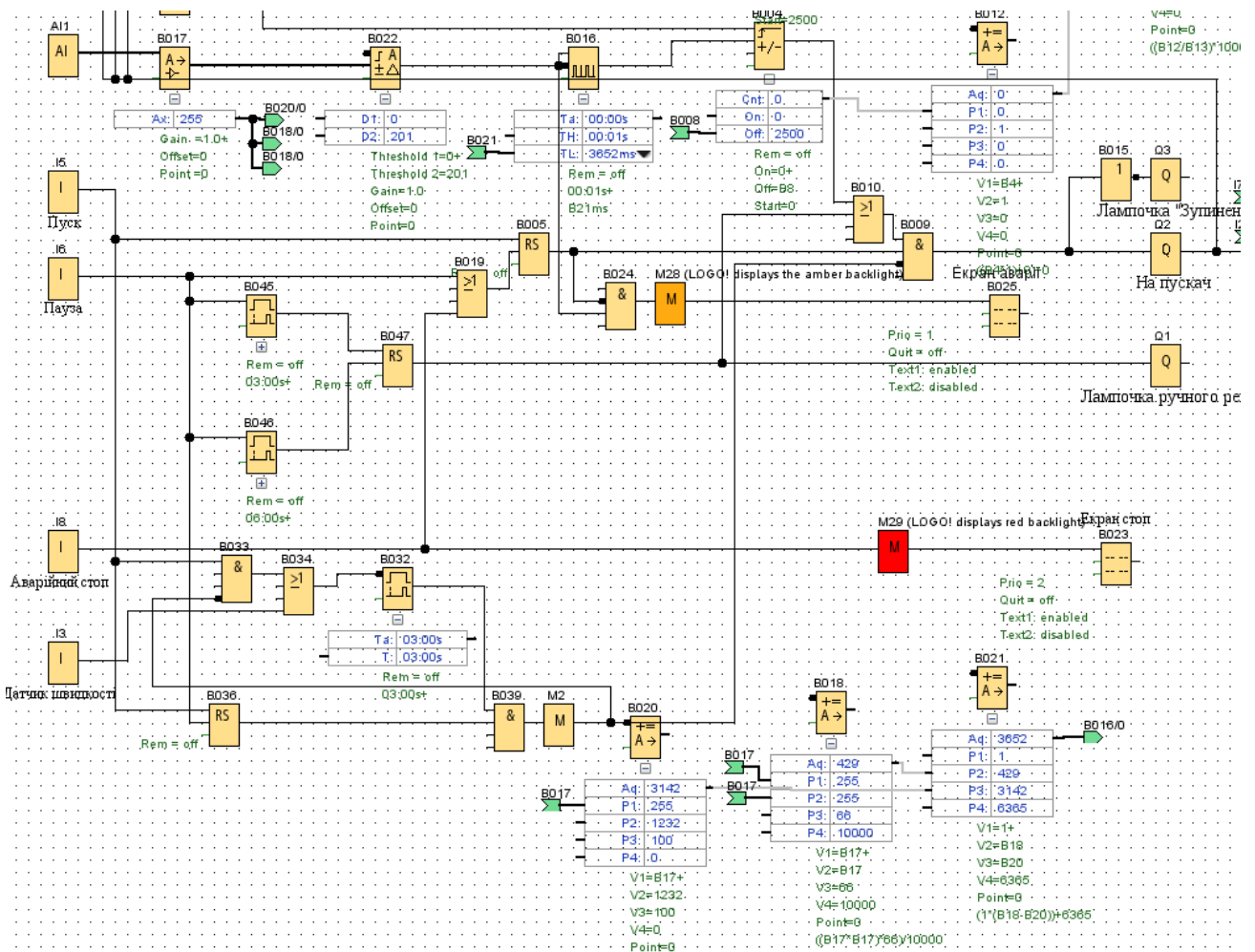


Рисунок 3.8 - Реалізація аналогового входу витратоміра

Додаю блоки Analog Input (витратомір) AI1, Analog Amplifier B017, Analog Watchdog B022, Asynchronous Pulse Generator B016, AND B024, Flag M28, екран аварії B025, Mathematic instruction B020, B018, B021. На AI1 виставив такі параметри, як на рис. 3.9, для кращої точності.

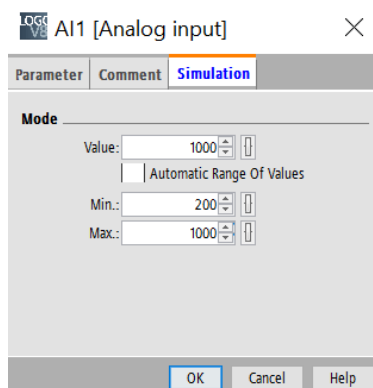


Рисунок 3.9 - Налаштування AI1

AI1 з'єднав із входом V017. Блок V017 налаштував так, як зображено на рис.3.10. Вихід V017 з'єднав із входом V022. Контакт Еп блоку V022 роблю інвертованим, для того щоб при досягненні мінімального порогу, який зараз буде показано у налаштуваннях на рис. 3.11, на виході з'являтиметься одиниця.

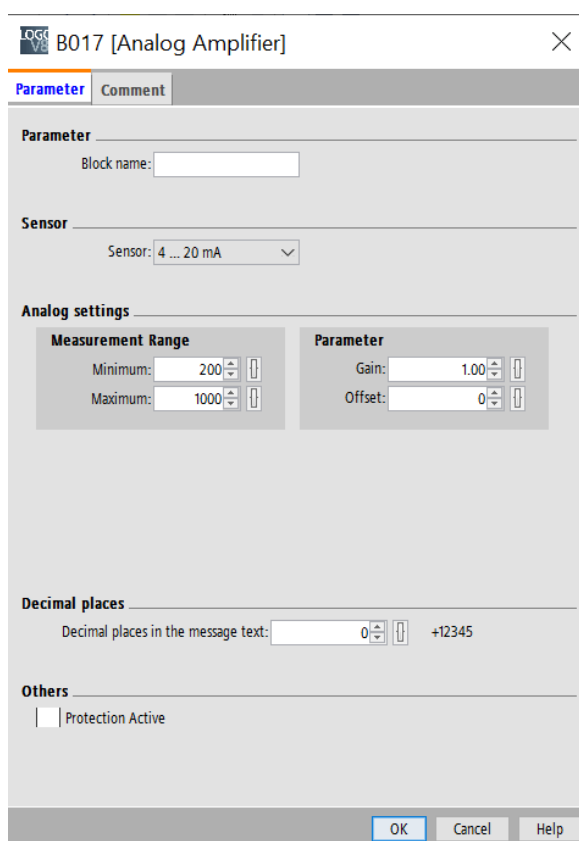


Рисунок 3.10 - Налаштування блоку V017

Рисунок 3.11 - Налаштування блоку B022

Вихід B022 підключив до входу генератора B016. Контакт Inv зробив інвертованим. Генератор буде виробляти імпульси, в залежності від сигналу 4-20 мА буде змінюватись час затримки між імпульсами. Сам імпульс триватиме 0,01 секунди.

Вибраний мною витратомір має особливість, що якщо налаштувати його для прикладу на максимальну продуктивність 100 тон/год, то 20 мА буде досягатись не при 100 тон/год, а при приблизно 113,5 тон/год. Потрібна мені максимальна швидкість завантаження 50 тон/год, тобто 20 мА буде при $113,5 / 2 = 56,75$ тон/год. Але тут виникає проблема, так як значення від 4 до 20 змінюються лінійно, і при 4 мА, коли по ідеї витратомір мав би показувати 0 тон/год, він покаже наступне:

$$\frac{4 \times 56,75}{20} = 11,35 \text{ (тон/год)}$$

Отже, тут потрібно вивести формулу, за якою б найбільш ідеально працював би витратомір. При кожному імпульсі значення на екрані змінюватиметься на 10 кг. Замість 4-20 мА буде правильніше використати 200-1000 із Рис 3.9 і 3.10. Отож, для знаходження графіку і функції я вирішив скористатись онлайн-калькулятором [27], який би побудував його по точках. Тепер потрібно знайти ці точки. Одиниці із 200 по 1000 будуть на осі X, а час між імпульсами буде на осі Y. Отже, першою точкою буде точка з максимальною продуктивністю, тобто 1000 по X.

Щоб вирахувати час між імпульсами потрібно виконати наступні підрахунки:

$$\frac{1}{5675:3600} \times 1000 - 10 = 624,36 \text{ мс.}$$

Отже, є перша точка: (1000;624,36). Наступною точкою буде половина завантаження, тобто 600 одиниць, або 28,375тон/год.

$$\frac{1}{2837,5:3600} \times 1000 - 10 = 1258,72 \text{ мс.}$$

Є ще одна точка (600;1258,72). Ще одною точкою буде 75% завантаження, або ж 800 одиниць, або ж 42,5625тон/год.

$$\frac{1}{4256,25:3600} \times 1000 - 10 = 835,81 \text{ мс.}$$

Є ще одна точка (800;835,81). І ще одною точкою стане 25% завантаження, тобто 400 одиниць, тобто 14,1875тон/год.

$$\frac{1}{1418,75:3600} \times 1000 - 10 = 2527,44 \text{ мс.}$$

Є ще одна точка (400;2527,44).

Використавши для наглядності онлайн-калькулятор [27], я вибрав два найбільш точних рівняння для задачі і простих для реалізації на LOGO, а саме квадратичну регресію і гіперболічну регресію. Їх порівняння зображено на рис. 3.12.

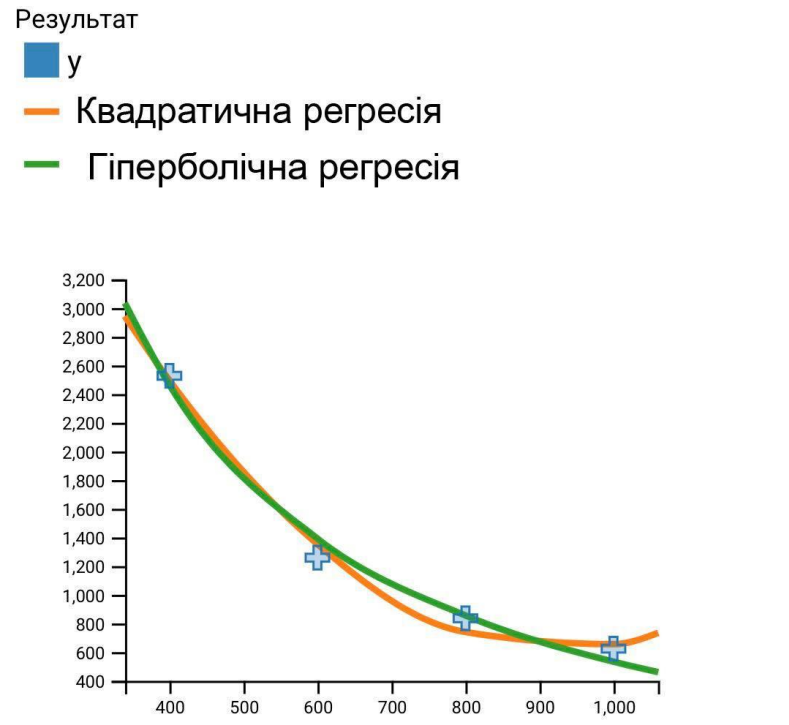


Рисунок 3.12 - Графіки для кубічної і гіперболічної регресії

Як видно із графіку, квадратична регресія підходить краще. Також вона простіше реалізується. Рівняння цього графіку наступне:

$$y = 0,0066x^2 - 12,3172x + 6365,3275$$

Так як Siemens LOGO не працює з дробовими числами, то вирішення я знайшов у тому, щоб те чи інше дробове число записувати як ціле число, що ділиться на 10, 100, 1000 тощо. Саме тому мені знадобилось аж три блоки Mathematic instruction B020, B018, B021. Блок B018 буде відповідати за створення першого доданку, B020 за створення другого доданку, а B021 за додавання всіх доданків. В блоку B018 вказую наступні параметри, як на рис. 3.13:

LOGO V3 B018 [Mathematic instruction]

Parameter Comment

Parameter

Block name:

Instruction

V1

B017 [Analog Amplifier] ...

Operator 1: x Priority 1: H

V2

B017 [Analog Amplifier] ...

Operator 2: x Priority 2: M

V3

66

Operator 3: ÷ Priority 3: L

V4

10000

Decimal places

Decimal places in the message text: 0 +12345

Output

When En="0", output is:

0 Last Value

Others

Protection Active

OK Cancel Help

Рисунок 3.13 - Налаштування математичних операцій блоку B018

Як видно із рис. 3.13, для підняття до квадрату на входи V1 і V2 подаю вихід Ax. блоку B017, і перемножую їх між собою. V3 і V4 будуть сталими числами 66 і 10000 відповідно. Квадрат входу множиться на 66 і ділиться на 10000. Одержалась формула $((B017 * B017) * 66) / 10000$.

Далі потрібно створити другий доданок в блоці B020. Вибрав параметри як на рис. 3.14.

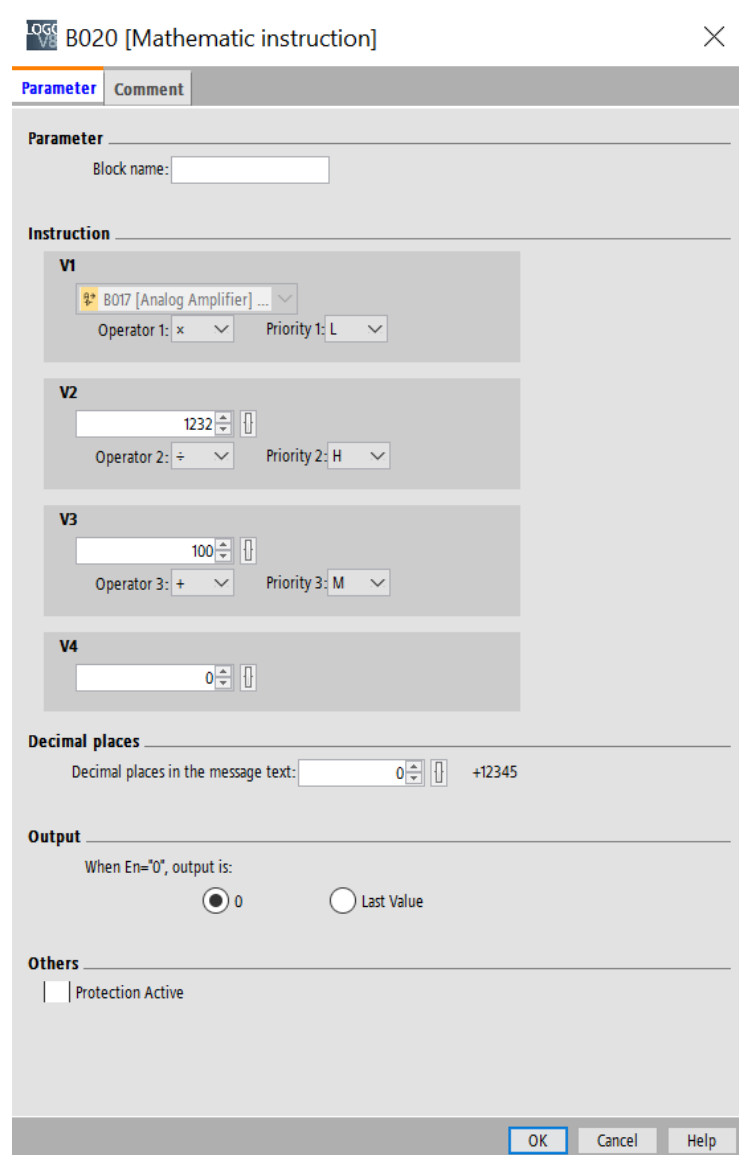


Рисунок 3.14 - Налаштування математичних операцій блоку B020

На V1 підводиться вихід Ах. блоку B017. V2, V3 і V4 є сталими числами 1232, 100 і 0 відповідно. Вхід із B017 множиться на 12,3172, заокруглене до двох знаків після коми, тобто $1232/100$. Рівняння має вигляд: $B017 * ((1232/100) + 0)$.

Далі потрібно створити суму всіх доданків в блоці B021. Вибрав параметри як на рис. 3.15.

Рисунок 3.15 - Налаштування математичних операцій блоку B021

На V2 і V3 підключаю B018 і B020, і віднімаю один від іншого. V1 і V4 є сталими числами 1 і 6365 відповідно. V1 множу на V2, далі ділю V3, і додаю V4. Формула має вигляд: $(1*(B018-B020))+6365$.

Далі вихід Aq блоку B021 під'єдную до входу TL блоку B016.

На блокові B024 один із входів зробив інвертованим, і на нього під'єднав вихід B005. На інший вхід B024 підключив вихід B022. В результаті вийде, що якщо на аналоговому вході буде більш ніж 4 мА, але кнопка «Пуск» не була натиснута, то на виході B024 буде одиниця, яку можна подати на M28, і зразу на B025. M28 відповідає за оранжеву підсвітку аварійного екрану, а B025 за власне екран. Повідомлення екрану B025 зображено на рис. 3.16.

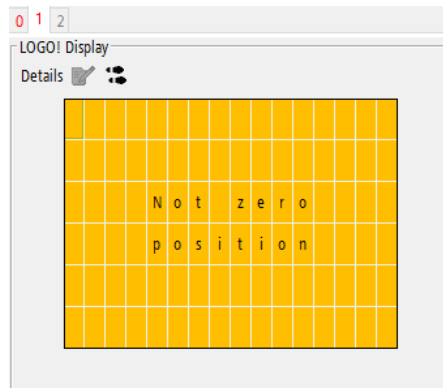


Рисунок 3.16 - Аварійний екран

На завершення потрібно додати інформаційний екран.

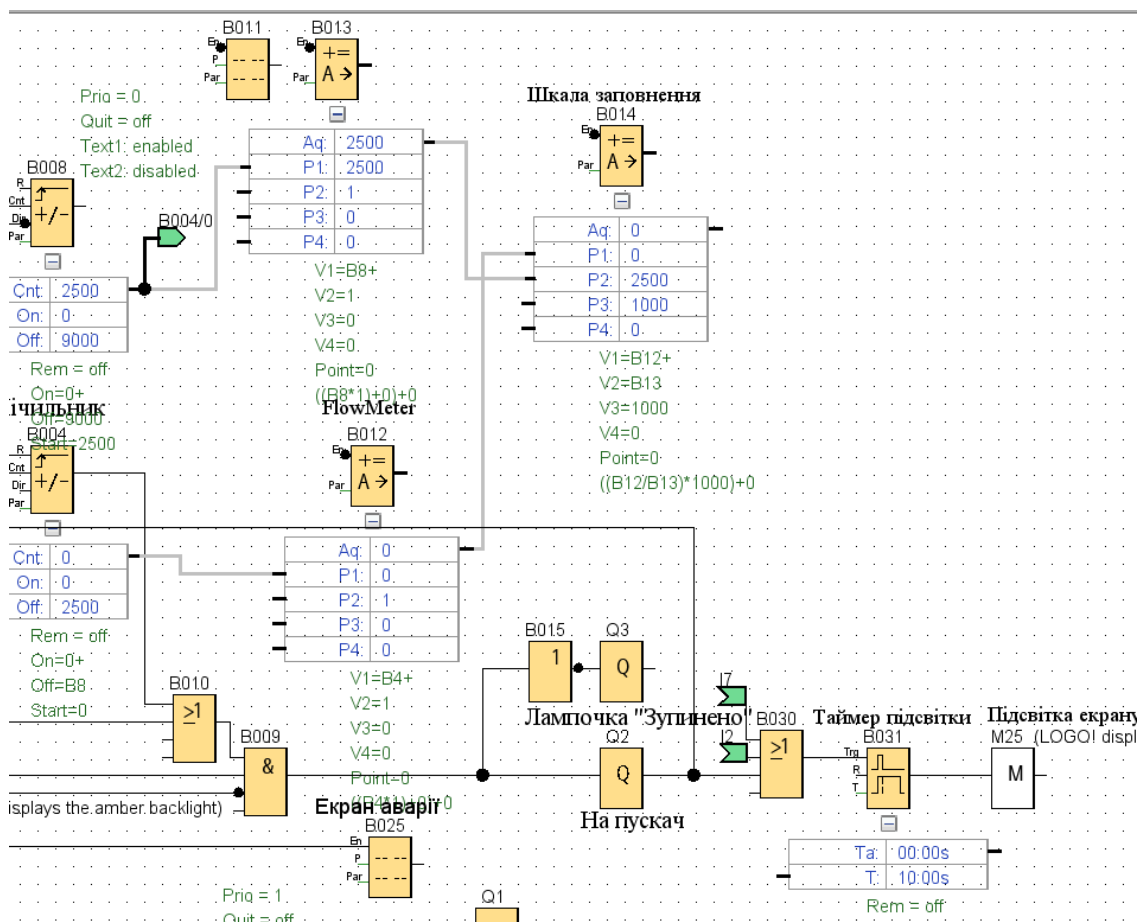


Рисунок 3.17 - Реалізація екрану і його підсвітки

Додав блоки OR B030, Off-Delay B031, Flag M25, Message text B011 (рис.3.18), Mathematic instruction B012, B013, B014.

Для того, щоб екран підсвічувався білим 10 секунд після запуску, або нажаття кнопок «Збільшити» або «Зменшити», до входів блоку V030 під'єднав виходи I2, I7 та Q2. Якщо на будь якому із входів V030 з'являється одиниця, то одиниця з'явиться і на виході V030, після чого подасться на вхід V031, і після припинення подачі одиниці на вхід, на виході одиниця все це буде протягом 10 секунд, і буде подаватись на прапорець M25.

Додав блок екрану V011. Вхід En роблю інвертованим, щоб екран завжди працював.

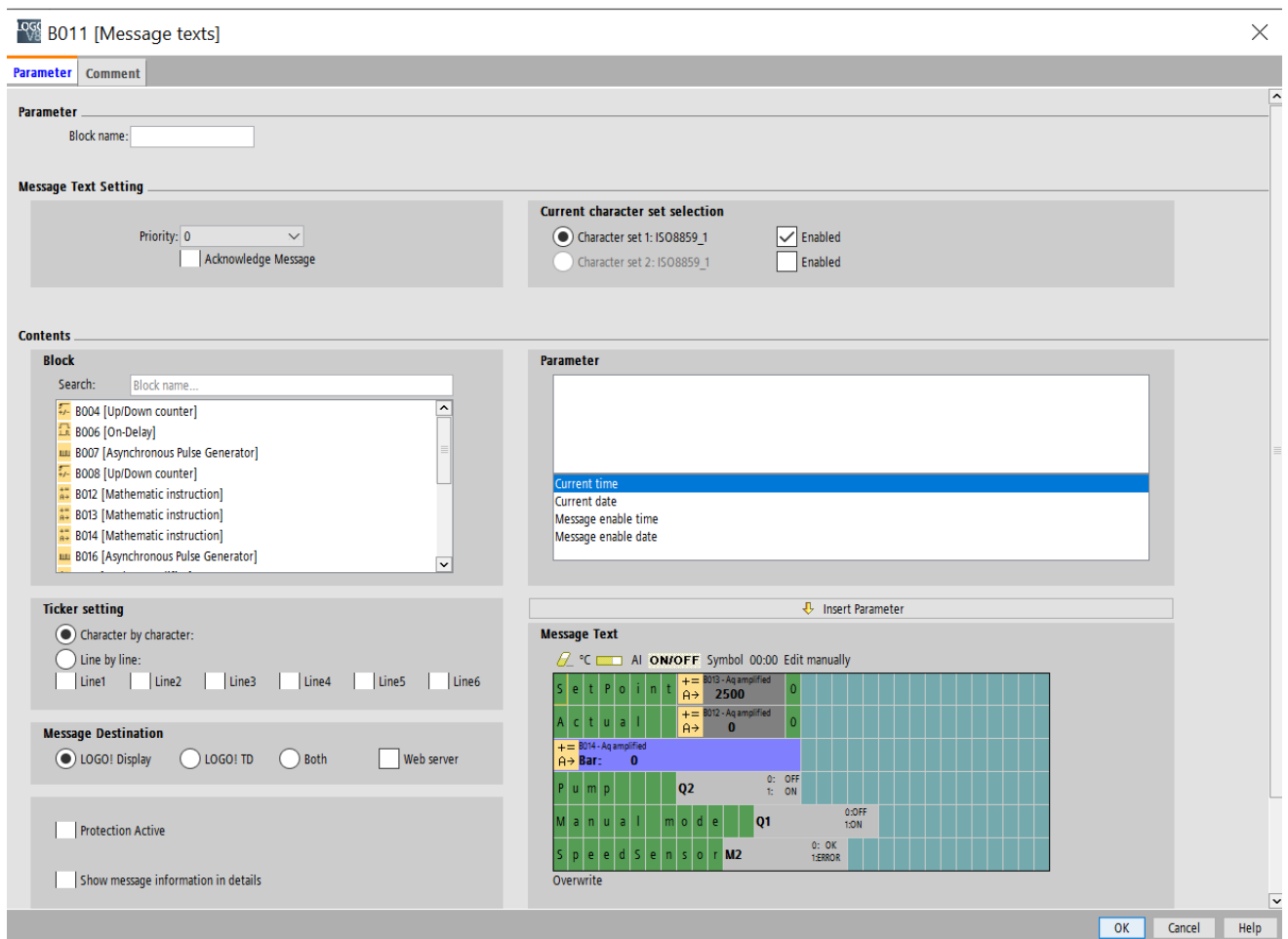


Рисунок 3.18 - Меню блоку екрану V011

На основному екрані я зобразив наступні параметри:

- SetPoint – уставка.
- Actual – означає скільки зерна вже перекачано від пуску.

- Шкала заповнення відносно уставки.
- Pump – показує чи подається сигнал про початок роботи на реле.
- Manual mode – показує чи ввімкнено чи вимкнено ручне управління.
- SpeedSensor – показує стан давача швидкості.

Siemens LOGO працює тільки з числами типу short, тобто цілі числа від -32768 до 32768. Тому якщо захотіти навантажувати, для прикладу, вагони, то 32768 кг буде мало. Тому я прийняв рішення, що вага буде рахуватись десятками кілограм, а щоб на екрані для користувача все було зрозуміло, просто подописувати статичні цифри 0. Отже, максимальна уставка і завантаження буде вже 327680 кг, що більш ніж достатньо. Щоб показати на екрані уставку, вставляю на екран дані з блоку V013. Щоб показати на екрані кількість вже завантаженого зерна, вставляю на екран дані з блоку V012. Щоб показати на екрані шкалу прогресу, вставляю дані з блоку V014. Блоки V012, V013 та V014 мають інвертований вхід En, щоб вони завжди були в роботі. В блоків V012 і V013 є дві функції: передача даних із блоків V004 і V008 на блок V014, а також можливість виводити дані на екран. Тому математичних операцій в них немає. На вхід V1 блоку V014 приходять дані про блок V012, а на вхід V2 – дані про блок V013. V3 є сталим числом 1000. V1 ділиться на V2, а їх частка множиться на V3. Формула має вигляд: $((V012/V013)*1000)+0$.

Навпроти Pump вставляю дані про вивід Q2, і в залежності чи на ньому логічний нуль чи логічна одиниця, буде виводитись «OFF» або «ON» відповідно (рис. 3.19).

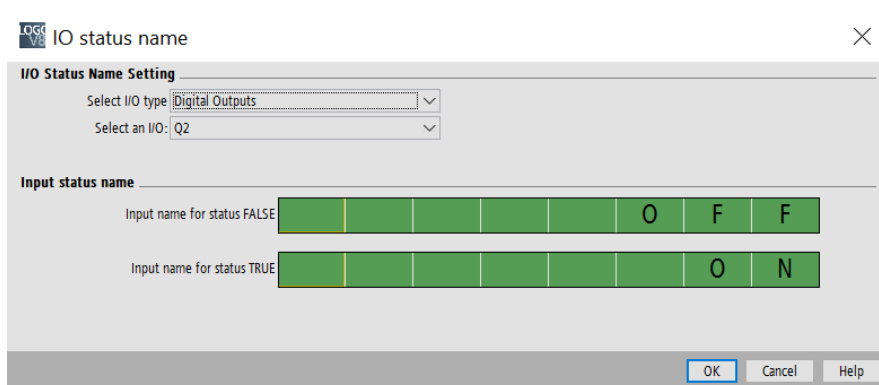


Рисунок 3.19 - Налаштування виводу на екран інформації про статус виводу Q2

Приблизно те саме проводиться і з виводом Q1, але з різницею у тому, що вирівнювання запису ведеться по лівій стороні запису, щоб було місце для напису Manual mode.

Для виведення статусу давача швидкості виводжу дані про блок M2. В ньому залежно від того, чи його статус TRUE чи FALSE, Виводяться написи ERROR або ОК відповідно. Реалізація зображена на рис. 3.20.

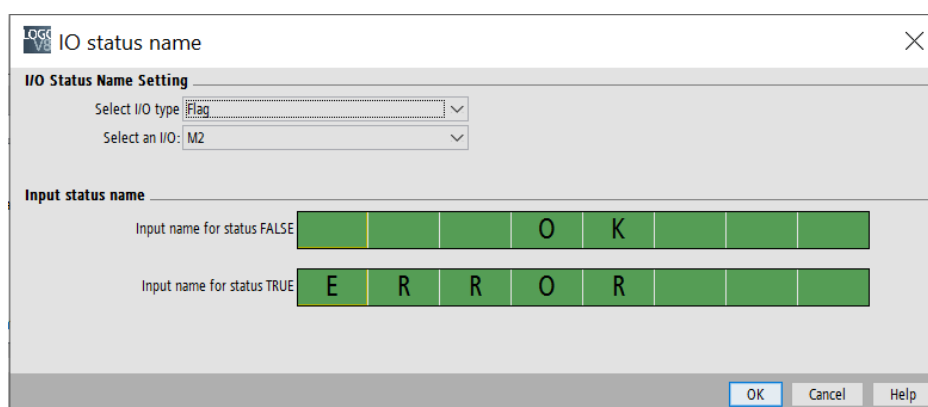


Рисунок 3.20 - Реалізація виводу статусу блоку M2

3.3 Налаштування витратоміра

При ввімкненні витратоміра у ньому вже буде певний заводський коефіцієнт. Потрібно впевнитись, що на лопатку витратоміра не діють ніякі сторонні сили. Впевнившись, потрібно натиснути кнопку «Tare», котра знаходиться внизу зліва на основному вікні витратоміра (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 - Основне вікно витратоміра

Зачекавши 10 секунд, витратомір видасть нову точку нуля (рис. 3.22).



Рисунок 3.22 - Повідомлення про встановлення нового нуля

Далі потрібно завантажити одну вантажівку, і дізнатись її масу нетто. Наступним кроком буде калібрування витратоміра. Для цього на головному вікні треба натиснути «Menu».

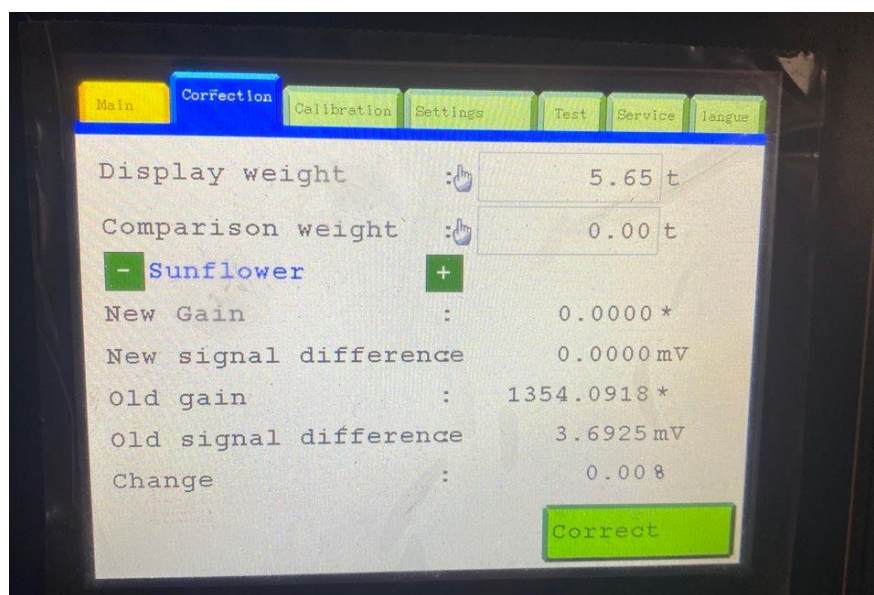


Рисунок 3.23 - Меню витратоміра, підменю Correction

Першим рядком є Display weight, тобто ця вага, яку показав витратомір після завершення навантаження. Другим рядком є Comparison weight. Потрібно натиснути на нього.

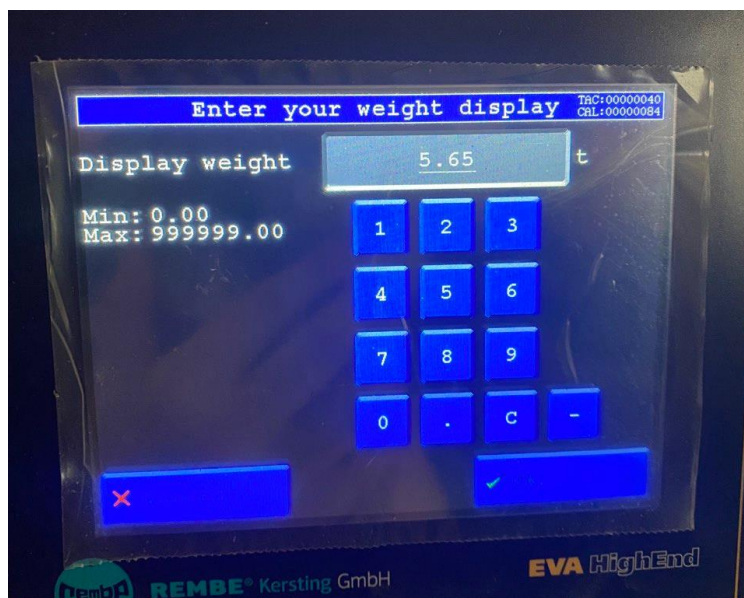


Рисунок 3.24 - Підпункт Comparison weight

В підпункті Comparison weight рис. 3.24 потрібно ввести масу нетто, яка надана з вагової, і натиснути зелену галочку внизу справа. Після цього в меню витратоміра, підменю Correction потрібно натиснути кнопку «Correct», і підтвердити дію натисканням на кнопку «Yes». Наступним кроком є натискання кнопки «Main» зверху зліва. Після повернення на головний екран потрібно обнулити лічильник. Для цього потрібно натиснути на вагу навпроти напису «Counter 1» (рис. 3.19). Підтвердити дію натисканням на кнопку «OK».

3.4 Електрична схема системи автоматичного навантаження зерна

На ввідний автоматичний вимикач приходять 3 фази змінного струму, після чого приходять на контакти 1/L1, 3/L2 і 5/L3 пристрою плавного пуску (рис.3.25). Із виходів пристрою плавного пуску 2/T1, 4/T2 і 6/T3 подається живлення на електродвигун. Електродвигун заземлюється. Також в вибраного електродвигуна є

вбудований термістор, який можна підключити до контактів T1 і T2, щоб був додатковий захист. Пристрій плавного пуску заземлюється через контакт PE.

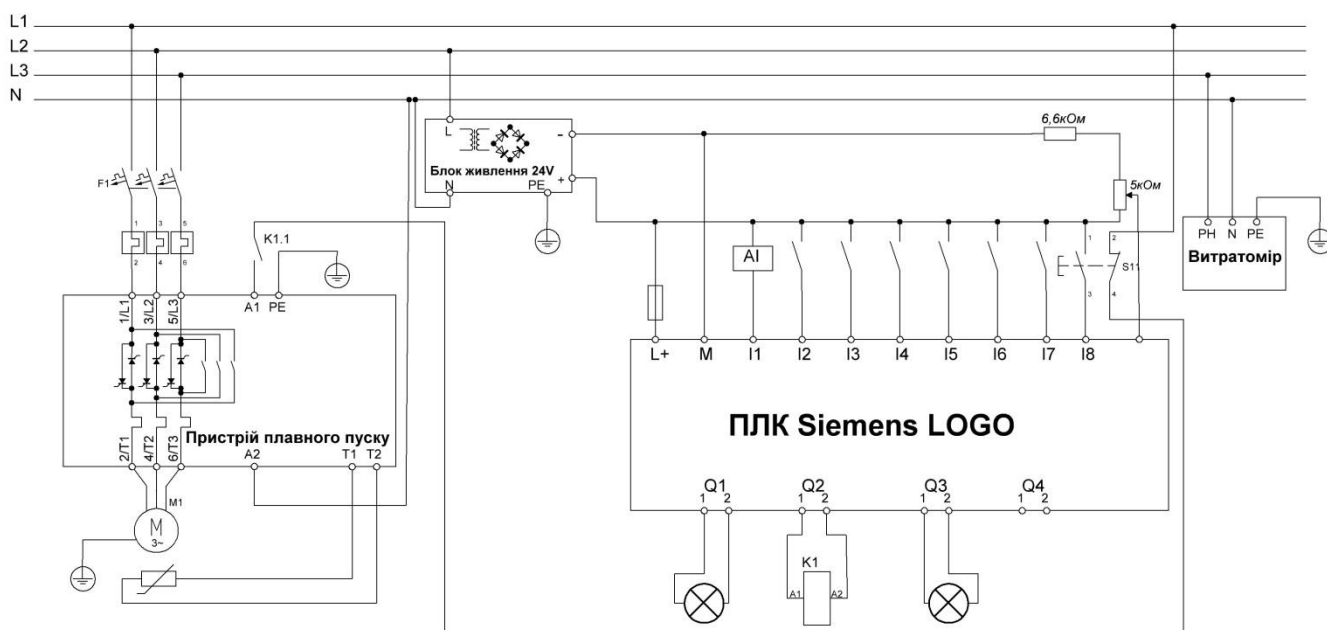


Рисунок 3.25 - Силовая электрическая схема системы автоматического навантаження зерна

Також потрібно було зробити керування плавним пуском. Керування здійснюється подачею фази L1 на клему A1, і подальшим поверненням в нейтраль клемою A2. подача фази керується контактом реле K1.1. Контакт замикається, як тільки на котушку K1 подається 24 В постійного струму з виходу Q2 ПЛК. Світлові сигнали Q1 і Q3 відображають ввімкнення ручного режиму керування і стан «Зупинено». Для живлення ПЛК використовується блок живлення, на котрий подається фаза L2. Для живлення витратоміра використовується фаза L3 (рис.3.26).

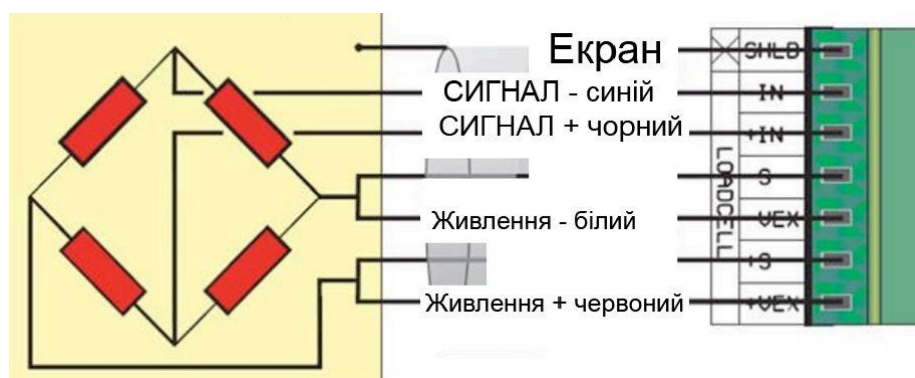


Рисунок 3.26 - Схема підключення сигнальних проводів до витратоміра

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [28].

Надзвичайна ситуація – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, яка призвела (може призвести) до загибелі людей та / або значних матеріальних втрат [29].

Шкідливі виробничі фактори — це фактори середовища і трудового процесу, що можуть спричинити професійну патологію, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищити частоту захворювань, призвести до порушення здоров'я потомства [30].

В розробленій системі можуть виникнути наступні шкідливі виробничі фактори:

- Фізичні
- Біологічні

Фізичні фактори в свою чергу поділяються на:

- Ураження електричним струмом
- Вплив пилу
- Потрапляння кінцівок в рухомі частини
- Шум
- Можливість пожежі

До біологічних факторів я хочу віднести вплив пилу на організм людини, яка має алергію на пил. Для уникнення цього ризику працівники планово проходять медичний огляд.

Для запобігання фізичних факторів потрібно вжити певних заходів. Почну із першого пункту.

Для мінімізації ризику ураження електричним струмом електрощит повинен бути заземлений, замкнений, ключ від замка повинен бути в чергових слюсарів КВПіА підприємства. Приєднання в мережу повинен виконувати електротехнічні працівники, які склали іспит з правил безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів і мають групу з електробезпеки. Заземлення потрібно встановлювати безпосередньо після перевірки відсутності напруги в електроустановці [31, п. 4.5.1.]. Встановлення і зняття заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках [31, п. 4.5.3.]

Для мінімізації ризику надихатись пилом персоналу рекомендується використовувати засоби індивідуального захисту, такі як респіратори, маски.

Для зменшення ризику потрапляння кінцівок в рухомі частини, механічній службі потрібно зробити щитки, які унеможливають випадкові потрапляння кінцівок в рухомі частини.

Для зменшення впливу шуму на людину потрібно вентилятор, дозатор, а також вищезгадані щитки покрити шумопоглинаючим матеріалом. Окрім цього, персоналу потрібно використовувати засоби індивідуального захисту, наприклад такі як навушники або бірюші.

Так як при роботі установки може вироблятися хмара із пилу, потенційно з'являється ризик вибуху із подальшою пожежою. Тому, під час роботи установки забороняється виконувати підключення/відключення під напругою, виконувати ремонт електроустаткування. Окрім цього, на установці повинно бути передбачене місце для вогнегасника. Так як при пожежі на електроустановку все ще може бути подана напруга, тому потрібно використовувати вогнегасники або вуглекислотні, або порошкові.

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

У зв'язку з тим, що спектр застосувань такої установки досить широкий, то прорахувати окупність проекту дуже і дуже складно. Що варто сказати, так це те, що суттєво зменшиться час завантаження транспортного або плавального засобу, а звідси і зменшиться час простою, зменшаться затрати на зарплату одного оператора, зменшаться загальні витрати палива вантажівок. Тому можна сказати, що економічна доцільність системи є, але термін окупності може бути дуже різний: від кількох тижнів до року в залежності від користувача.

Можна приблизно порахувати собівартість системи автоматизації.

Електродвигун ABB 3GBP201410-BDK – \approx 85 000 грн.

Контролер Siemens LOGO! - \approx 5700 грн.

Пристрій плавного пуску Siemens Sirius 3RW4425-1BC44 \approx 80 000 грн.

Проміжне реле PLC-RSC- 24DC / 21 2966171 Phoenix Contact - \approx 200 грн.

Зелена кнопка 16K-P11D 2шт. – 270 грн.

Червона кнопка 16K-P11D 3шт. – 405 грн.

Стопова кнопка Schneider XB4BS8442 - \approx 600 грн.

Індуктивний давач M18 - \approx 1500 грн.

Витратомір Rembe C-LEVER CL 400 – 600 000 грн.

LOGO!Power 6EP1 332-1SH52 24 В/ 4 А - \approx 3800 грн.

Отже, приблизна собівартість становить 777 475 грн. без врахування кабелів.

Тепер варто порахувати через скільки окупить себе така система. Але варто пам'ятати, що розрахунки є дуже приблизними і можуть суттєво відрізнятись в залежності від ситуацій і умов експлуатації.

Отже, розхід палива вантажівки з навантаженням і при низькій швидкості для зручності розрахунків будемо вважати 100л/100км. Будемо вважати, що в середньому вантажівка без цієї системи завантажується три рази, і двічі при цьому розвантажується, а відстань між завантаженням, розвантаженням і вагами 500 метрів. Тобто, загальна відстань в такому разі збільшується на 2 кілометра, а це є 2

літри дизпалива, або для простоти наступних розрахунків 100 грн. При цьому всьому двічі доведеться запускати на пів години маршрут із авторозвантаження до місця зберігання зерна. Маршрут складається мінімум із одного транспортера і норії по 30 кВт. Тобто, за процес навантаження однієї вантажівки використовується електроенергії 60 кВт*год. При ціні на електроенергію по 2,64 за 1 кВт*год, виходить 158,4 грн.

Отже, сумарні витрати, які можна скоротити з одного автомобіля становлять:

$$100 + 158,4 = 258,4 \text{ грн}$$

Так як завантаження одного автомобіля триває приблизно пів години, то за 12-годинну зміну теоретично можна завантажити 24 автомобіля. Звідси:

$$258,4 \cdot 24 = 6201,6 \text{ грн}$$

Поділивши собівартість системи автоматизації на суму, яку можна зекономити за робочу зміну, можна дізнатись, за скільки змін система окупиться.

$$\frac{777475}{6201,6} = 125,37 \text{ змін}$$

Отож, система окупить себе за 126 повних робочих змін за максимального використання.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було проведено: аналіз пристроїв, способів, особливостей транспортування зерна; актуальності такої системи. Було обрано приводний двигун, контролер, засоби автоматики.

На основі усієї інформації було проведено розробку системи автоматизації пневматичного пересипання зерна на основі Siemens LOGO. Була створена схема підключення елементів. Було продемонстровано процес налаштування витратоміра Rembe C-LEVER.

Був проведений аналіз економічної доцільності системи, прорахована приблизна собівартість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конвеєри гвинтові КГ. URL: <https://kmzindustries.ua/product/konveyery-vintovye-kg> (дата звернення 23.03.23).
2. Шнековий конвеєр. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шнековий_конвеєр (дата звернення 23.03.23).
3. Шнековий транспортер KB-400 (Ø 400мм.) URL: <https://ogrant.ck.ua/ua/p907719561-shnekovij-transporter-400.html> (дата звернення 23.03.23).
4. Рольганг URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Рольганг> (дата звернення 23.03.23).
5. Стрічковий конвеєр URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стрічковий_конвеєр (дата звернення 23.03.23).
6. Скребковий конвеєр URL: <https://agrokit.com.ua/ua/p694113067-skrebkovuj-konvejjer.html> (дата звернення 23.03.23).
7. Вібраційний конвеєр URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вібраційний_конвеєр (дата звернення 23.03.23).
8. Пластинчастий конвеєр URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Пластинчастий_конвеєр (дата звернення 23.03.23).
9. Елеватор (вантажопіднімальний пристрій) URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Елеватор_\(вантажопіднімальний_пристрій\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Елеватор_(вантажопіднімальний_пристрій)) (дата звернення 24.03.23).
10. Пневмонавантажувачі зерна URL: <https://www.mhm-ukraine.com/produksiya/tekhnika-dlya-perevalki-zernovykh/mobilnye-pnevmonkonvejery/prim#:~:text=Пневматичний%20навантажувач%20зерна%20є%20спеціально,оптимізацію%20всіх%20аспектів%20процесу%20перевалки.> (дата звернення 25.03.23).
11. Сигналізатор рівня мембранний URL: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdeal.by%2Fp35569309-signalizator-urovnya-membrannyj.html> (дата звернення 09.04.23).
12. Пневмонавантажувач зерна BGSD 130 URL: <https://neuego-ukraina.com.ua/goods/pnevmonavantazhuvach-zerna-bgsd-130/> (дата звернення 09.04.23).

13. Принцип роботи пневмотранспортера URL: <https://dozameh.com/stati/pnevmotransportery-princip-raboty.html> (дата звернення 09.04.23).
14. Детальна інформація по: 3GBP201410-BDK URL: <https://new.abb.com/products/ru/3GBP201410-BDK/3gbp201410-bdk> (дата звернення 11.04.23).
15. Siemens LOGO! 12/24RCE & LOGO! Power PLC управліаьки modul 12 V/DC, 24 V/DC URL: <https://www.conrad.hr/p/siemens-logo-1224rce-logo-power-plc-upravljacki-modul-12-vdc-24-vdc-1764127> (дата звернення 14.04.23).
16. LOGO! - краса в деталях. URL: <https://new.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/lohichnyu-modul-logo.html> (дата звернення 14.04.23).
17. Логические модули LOGO! URL: https://prongroup.com.ua/wp-content/uploads/PDF_catalog/LOGO!_catalog.pdfhtml (дата звернення 14.04.23).
18. Плавний пуск Siemens Sirius 3RW44 30 kW, 57A, 230В, АС, гвинтові клемми (3RW4425-1BC44) URL: <https://luxelectro.com.ua/ru/plavnyj-pusk-siemens-sirius-3rw44-30-kw-57a-230v-ac-vintovye-klemmy-detail.html> (дата звернення 15.04.23).
19. 3RW4425-1BC44 URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D3RW4425-1BC44%26language%3Dru> (дата звернення 15.04.23).
20. Модуль реле PLC-RSC- 24DC / 21 2966171 Phoenix Contact URL: https://electrocontact.com.ua/modul-rele-plc-rsc-24dc-21-2966171-phoenix-contact/?gclid=EAIaIQobChMI6YmYhKfW_gIVltZ3Ch0N9wWnEAQYAiABEGIhiPD_BwE (дата звернення 17.04.23).
21. Кнопка 16мм, 12-24В, зелений LED, 5pin, 16К-Р11D URL: https://techfactory.com.ua/p1719848614-knopka-16mm-vozvratnaya.html?source=merchant_center&gad=1&gclid=EAIaIQobChMIoefi8KnW_gIVQQmLCh1ORwkkEAQYFSABEGIBZ_D_BwE (дата звернення 17.04.23).

22. Кнопка 16мм, 12-24В, червоний LED, 5pin, 16К-Р11D URL: <https://techfactory.com.ua/p1719848620-knopka-16mm-vozvratnaya.html> (дата звернення 17.04.23).
23. Кнопка грибок Schneider Electric XB4, ø22, 1NC, IP66, червона (XB4BS8442) URL: https://luxelectro.com.ua/ru/knopka-gribok-schneider-electric-harmony-xb4-22-1nc-ip66-krasnyj-2-detail.html?gclid=EAIaIQobChMIosqOoq_W_gIVefZ3Ch3mpAkWEAQYBSABEGKe6fD_BwE (дата звернення 17.04.23).
24. Індуктивний датчик M18, Sn=8mm, NO/NPN, кабель 2m, AK1/AN-2A M. D. Micro Detectors URL: <https://shop.nbksensor.com.ua/product/induktyvnyj-datchyk-m18-sn8mm-no-npn-kabel-2m-ak1-an-2a-m-d-micro-detectors/> (дата звернення 17.04.23).
25. Витратомір для сипучих продуктів фірми REMBE. URL: <https://esit.prom.ua/ua/p1344904084-massovij-rashodomer-dlya.html> (дата звернення 23.04.23).
26. Nickel IB C-LEVER® - 4с.: інструкція з експлуатації (дата звернення 23.04.23).
27. Апроксимація функції одною змінною URL: <https://planetcalc.ru/5992/> (дата звернення 10.05.23).
28. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-12. (дата звернення 17.05.23).
29. Що таке надзвичайна ситуація і як діяти в її умовах URL: <https://andrushkivska-gromada.gov.ua/scho-take-nadzvichajna-situaciya-09-09-43-13-07-2017/> (дата звернення 17.05.23).
30. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори URL: <https://pro-op.com.ua/article/206-qqq-16-m6-13-06-2016-nebezpechn-ta-shkdliv-virobnich-faktori> (дата звернення 17.05.23).
31. Наказ 09 січня 1998 року №4 про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (дата звернення 17.05.23).