

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра автоматизації та приладобудування  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Голубніченка Андрія Сергійовича  
(П.І.Б.)

академічної групи 151м-20  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи керування завантаженням та розвантаженням автоматизованого складу.  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	проф.Ткачов В.В.			
Провідний консультант	проф. Ткачов В.В.			
Синтез системи керування	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**завідувач кафедри  
автоматизації та  
приладобудування  
(повна назва)\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня магістр**студенту Голубніченку Андрію Сергійовичу академічної групи 151м-20  
(прізвище та ініціали) (шифр)спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технологіїза освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи керування завантаженням та розвантаженням  
автоматизованого складу.затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	11.11.2021
Теоретичний розділ	Опис моделі об'єкта керування та формулювання критерії якості його функціонування.	18.11.2021
Синтез системи керування	Синтез системи керування, перевірка відповідності її функціонування до висунутих вимог та формування наукового положення	15.12.2021
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування та людино-машинного інтерфейсу	25.11.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	01.12.2021
Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	08.11.2021

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис п.конс.)

проф. Ткачов В.В  
(прізвище, ініціали)Дата видачі 04.09.2021Дата подання до екзаменаційної комісії 18.01.22

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Голубніченко А.С.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 89 сторінок, 49 рисунки, 10 таблиць, 15 джерел.

Об'єкт розробки: процес автоматичного керування переміщенням мобільної платформи автоматизованого складу високої щільності.

Мета розробки: підвищення якості процесу завантаження автоматизованого складу за рахунок вдосконалення автоматичного керування переміщенням мобільної платформи.

У роботі магістра об'єктом розробки є процес керування мобільною платформою. Об'єктом керування є двигун, який рухає саму платформу. Під час ідентифікації об'єкта були визначенні основні коефіцієнти переданої функції. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування переміщенням мобільної платформи є точність відпрацювання нової заданої позиції платформи, а також швидкодія процесу переміщення.

У результаті проведеного дослідження та після отримання моделі системи керування були визначені параметри PID регулятора та проведена оцінка того наскільки отримані результати задовольняють критерії якості, які були висунуті. У подальшому була отримана цифрова модель на базі безперервної. Було розроблене програмне забезпечення регулятора розроблене для програмованого логічного контролера zenon Logic. Розроблений людино-машинний інтерфейс для контролю технологічного процесу.

У подальшому планується створити шафу керування, робоче місце оператора, та після проходження сертифікації впровадити дану систему на складі високої щільності.

Ключові слова: АВТОМАТИЗОВАНИЙ СКЛАД, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ПЛАТФОРМА, РЕГУЛЯТОР.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 89 pages, 49 figures, 10 tables, 15 sources.

Development object: the process of automatic control of the movement of the mobile platform of the automated high-density warehouse.

The purpose of development: to improve the quality of the process of loading the automated warehouse by improving the automatic control of the movement of the mobile platform.

In the work of the master, the object of development is the process of managing the mobile platform. The object of control is the engine that drives the platform itself. When identifying the object, the main coefficients of the transmitted function were determined (gain -  $K$ , and time constant -  $T$ ). The main criteria for the quality of the automatic movement control system of the mobile platform are the accuracy of the new set position of the platform, as well as the speed of the movement process.

As a result of the study and after obtaining the model of the control system, the parameters of the PID of the controller were determined and an assessment was made of how well the obtained results meet the quality criteria that were put forward. Subsequently, a digital model based on the continuous was obtained. Regulator software has been developed for the zenon Logic programmable logic controller. Developed human-machine interface for process control.

In the future it is planned to create a control cabinet, operator's workplace, and after certification to implement this system in a high-density warehouse.

Keywords: AUTOMATED WAREHOUSE, CONTROL FACILITY, SOFTWARE, PLATFORM, REGULATOR.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ .....	9
1.1 Галузь промисловості .....	9
1.2 Технологічний процес .....	10
1.3 Об'єкт керування.....	12
1.3.1. Загальна характеристика об'єкта керування .....	12
1.3.2 Структура об'єкта керування.....	13
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування.....	14
1.4 Формулювання задачі дослідження .....	15
1.5 Висновки до розділу .....	15
2 ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	17
2.1 Підготовка даних.....	17
2.2 Структурна ідентифікація .....	17
2.3 Параметрична ідентифікація.....	19
2.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink.....	22
2.5 Перевірка моделі на адекватність.....	23
2.6 Висновки до розділу .....	24
3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	25
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	39
4.1 Цифрова модель об'єкта керування .....	39
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	44
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	46
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	50
4.5 Висновки до розділу .....	51
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	52
5.1 Обґрунтування доцільності впровадження автоматизації у виробничий процес .....	52
5.2 Розрахунок капітальних інвестицій .....	52
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	54

5.3.1	Експлуатаційні витрати до впровадження .....	54
5.3.2	Експлуатаційні витрати після впровадження .....	56
5.4	Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування.....	60
5.5	Оцінка економічної ефективності оптимізації.....	62
5.5.1	Прибуток від підвищення продуктивності виробництва.....	62
5.5.2	Рентабельність оптимізаційних заходів .....	63
5.5.3	Приведені витрати $V$ .....	63
5.5.4	Період повернення капіталу (термін окупності) $T$ .....	64
5.6	Висновки по розділу .....	64
6	<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>65</b>
6.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів процесу .....	65
6.2	Інженерно-технічні засоби з охорони праці.....	67
6.2.1	Електробезпека.....	67
6.2.2	Заходи щодо боротьби з вібрацією .....	67
6.2.3	Заходи для комфортної роботи оператора .....	68
6.3	Розрахункова частина .....	68
6.4	Пожежна профілактика .....	70
6.5	Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	71
6.6	Висновки до розділу .....	73
	Висновки .....	74
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>75</b>
	<b>Додаток А - Програмні модулі системи керування .....</b>	<b>77</b>
A.1	Модуль об'єкта керування.....	77
A.2	Модуль регулятора .....	79
	<b>Додаток Б - Програмне забезпечення системи керування.....</b>	<b>83</b>
B.1	Програмне забезпечення об'єкта .....	83
B.1.1	Список програм .....	83
B.1.2	Основна програма.....	83
B.1.3	Користувальницький функціональний блок .....	83
B.1.4	Перелік змінних .....	83
B.2	Програмне забезпечення регулятора .....	84
B.2.1	Список програм .....	84

Б.2.2	Основна програма.....	84
Б.2.3	Користувальницький функціональний блок .....	84
Б.2.4	Перелік змінних .....	86
Додаток В - Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу.....		87
В.1	Драйвера .....	87
В.2	Перелік змінних .....	87
В.3	Шаблони зображень .....	87
В.4	Функції.....	87
В.5	Зображення.....	88

## ВСТУП

На сьогодні в Україні спостерігається зростання кількості готової продукції через що є різка необхідність у їх збереженні. Для цього існують склади, кількість яких постійно збільшується. В залежності від місткості та щільності склади поділяють на кілька видів.

При тому що кількість складів зростає, досить велика кількість залишається неавтоматизованими. На таких складах початкові операції по транспортуванню виконується людиною і перевірка правильності розташування товарів також за людиною. Через це основною метою розробки є підвищення якості процесу завантаження автоматизованого складу за рахунок вдосконалення автоматичного керування переміщенням мобільної платформи. Об'єктом розробки є процес автоматичного керування переміщенням мобільної платформи автоматизованого складу високої щільності. При проектуванні складів основними критеріями якості системи будуть точність позиції візка та максимальна швидкість доставки одиниці товару.



# 1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Галузь промисловості

Хімічна промисловість — це галузь промисловості, що займається виготовленням продукції органічного синтезу (азот, кисень, солі, кислоти), неорганічного синтезу (пластмас, каучуків, резини), сільського господарства (добрива, пестициди, гербіциди), ліки та медикаменти, лакофарбова продукція, гірничо-хімічна продукція.

Хімічна промисловість має дуже широкий вибір сировини. Це можуть бути: нафтогазова сировина, промислові відходи, дерево, продукти чорної та кольорової металургії. Оскільки сировина дуже різноманітна, тому підприємства розташовані по всій Україні в залежності від розташування сировини. Хімія органічного синтезу використовує вуглеводневу сировину (Запоріжжя, Кам'янське, Луцьк, Сєвєродонецьк), гірничо-хімічна використовує мінеральну сировину (Новий Розділ, Немиров, Калуш), азотна промисловість базується біля коксохімічних заводів (Сєвєродонецьк, Кам'янське, Рівне, Черкаси).

На сьогодні в Україні існує десяток підприємств, які займаються виготовленням хімічної продукції серед яких ЧАО «Сєвєродонецьке об'єднання Азот», Кременчуцький, Херсонський нафтопереробні заводи, ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Отже, хімічна промисловість є дуже розвиненою і в той же час дуже перспективною галуззю в Україні, завдяки технічному прогресу. Також оскільки підприємства розміщені по всій Україні це дозволить підняти економіку регіонів.

Впровадження автоматичних систем керування дозволить спростити облік продукції на складі і пришвидшити доставку товару за рахунок пришвидшення пошуку необхідного товару, при цьому зменшивши собівартість продукції.

## 1.2 Технологічний процес

У роботі магістра буде розглядатися частина транспортування готової продукції хімічної промисловості до автоматизованого складу за допомогою шатлу. Загальний план складу приведений на рис. 1.1.

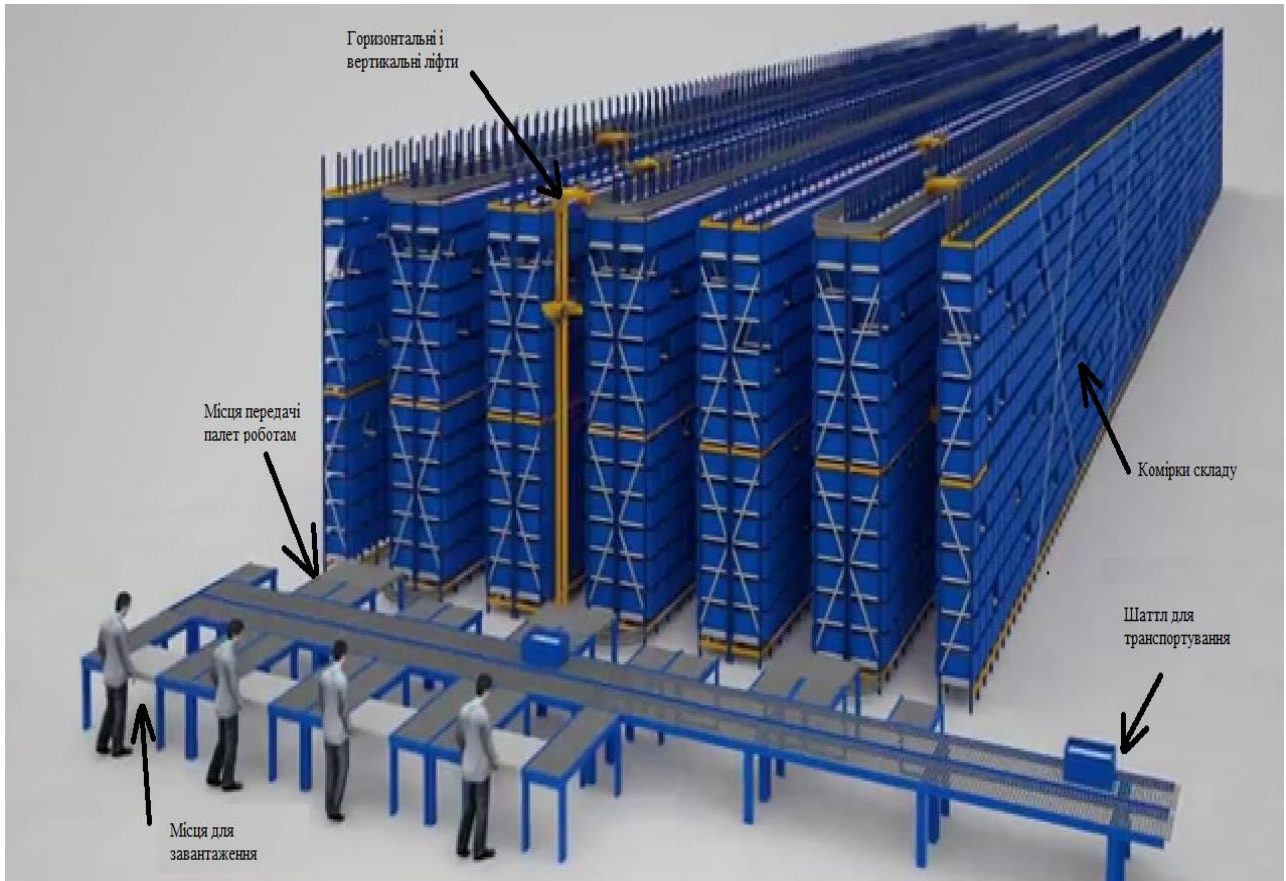


Рисунок 1.1 — Схема автоматизованого складу

На більшості підприємств використовуються два невеликих шатли, що рухаються однією рейковою колією в автоматичному режимі. Однак для безпеки транспортування слід вирішити кілька моментів.

Слід вирішити питання безпечного та плавного транспортування продукції по шатлу. Сьогодні на складах широко використовують доставщики блоків товарів з кабіною для сидячого/стоячого оператора (ритчаки), які мають середню швидкість руху 2 м/с при 80% номінальної ваги. Оскільки місце для завантаження має довжину близько 4.5м і, враховуючи час на відвантаження палет (біля 10 секунд), то для однієї машини час транспортування та час завантаження блоків на шатл буде займати приблизно 20 секунд. Також перед стартом слід впевнитися, що палета надійно закріплена.



Рисунок 1.2 — Палета для транспортування

Такий тип палет найчастіше використовується для транспортування товарів всередині складу, вони виготовленні із металу, що дозволяє використовувати їх довше, ніж дерев'яні або пластикові, також вони мають більшу вантажопідйомність (близько 1800кг). Така вантажопідйомність дозволяє транспортувати одразу 2 блоки товару. Як ми вже визначили для транспортування блоку до шатлу необхідно 20 секунд, оскільки можна завантажити одразу два блоки с різних місць, слід зачекати поки шатл переїде від одного місця до іншого. При швидкості шатлу 0.5 м/с і дистанції між місцями для завантаження 12 метрів, додатково слід буде чекати 24 секунди. Сам час на транспортування від місця завантаження до місця передачі блоку товарів роботу може різнитися в залежності від дистанції між цими об'єктами. Мінімальна коротка відстань від 12 метрів до 120 метрів, тобто від 24 секунд до 4 хвилин. Далі кожний блок забирається спеціальним роботом на місці відвантаження за 15 секунд. Також для попередження аварій та несправності робиться пауза між робочими операціями у 15 секунд. Повернення шатлу займає приблизно скільки ж часу стільки і транспортування палети (24-240 секунд).

Загальний час циклу буде від 122 секунд до 554 секунд. Цикл складається з транспортування доставщиком блоків товару до шатлу, перевезення між місцями для завантаження (якщо необхідно), повернення шатлу на місце завантаження, відгрузки роботом та затримку для попередження аварій. При цьому слід враховувати прискорення шатлу, яке має бути не більше ніж  $0.4 \text{ м/с}^2$ , а гальмування шатлу не швидше ніж  $0.6 \text{ м/с}^2$

### **1.3 Об'єкт керування**

Об'єктом керування у кваліфікаційній роботі магістра є механізм транспортування блоків, до якого входять шатл та двигун, який приводить шатл у дію.

#### **1.3.1. Загальна характеристика об'єкта керування**

Шатл представляє собою візок на чотирьох колесах або інших рухливих елементах, що рухається уздовж складу по рельсових коліях.

В механічній частині системи транспортування палет на основі шатлів, як правило, реалізовані наступні принципові рішення:

- для рушу шатлу використовується двигун постійного струму з дисковим штампованим якорем і збудженням від постійних магнітів (ДПУ 240–1100-3-Д41-09).

- для прийому буде використовуватися доставщики блоків товарів (ричтаки), а для відвантаження — роботи з механізованими руками.[7 С. 85]

Вигляд шатлу приведений на рисунку 1.3



Рисунок 1.3 Зовнішній вигляд шатлу для транспортування

### 1.3.2 Структура об'єкта керування

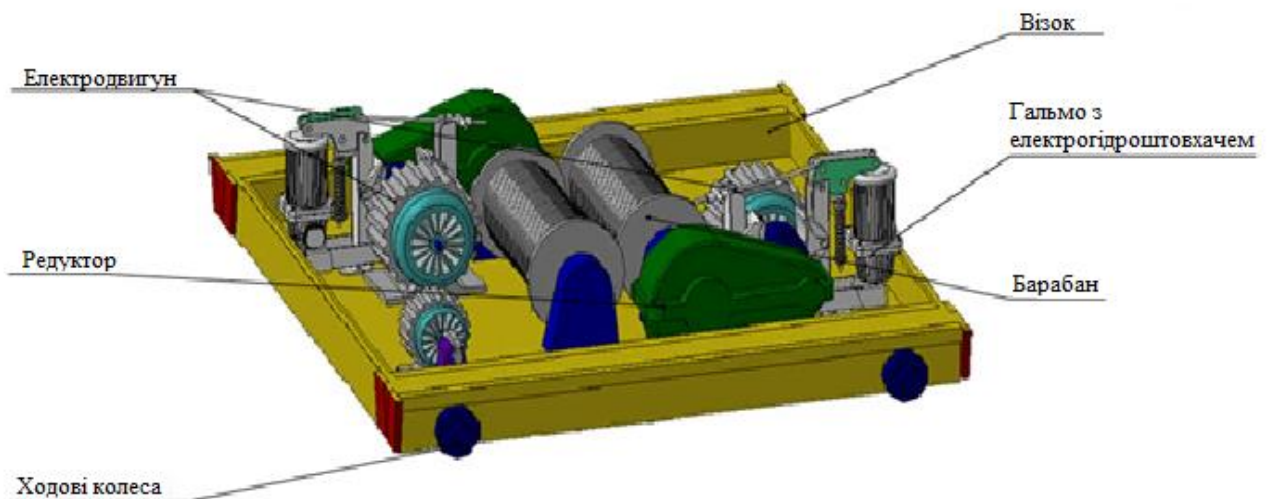


Рисунок 1.4 — Конструктивна схема шатлу.



При керуванні контролюється більшість показників, включаючи контроль положення візка на рейковій колії, швидкість руху по колії, вагу візка з заповненою платформою.

Також має бути передбачене ручне керування, яке буде здійснюватися за допомогою кнопок, перемикачів для всіх компонентів системи. Вони можуть бути розташовані на дверях шафи керування, яка знаходиться на території виробництва, наприклад на стіні.

У цій же шафі можуть бути розташовані логічний контролер і автомати захисту приводів від короткого замикання.

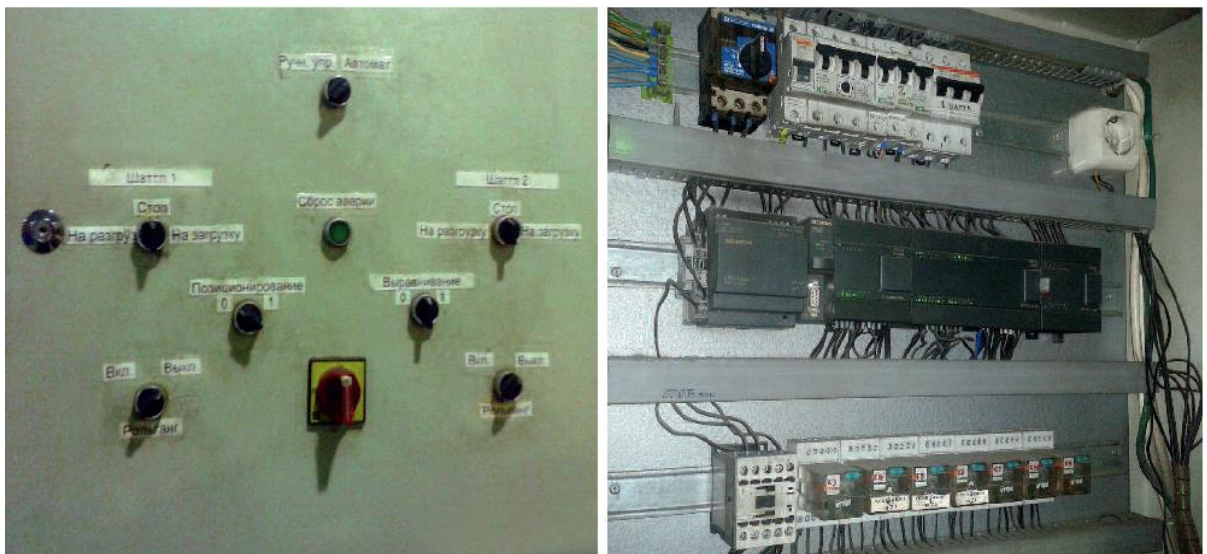


Рисунок 1.5 – Типова шафа керування

На рис.1.5 справа можна побачити сам контролер з блоками живлення та двома блоками розширення входів / виходів. Зверху розташовані автомати захисту перетворювачів частоти, а знизу – реле зворотного зв'язку.

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

При керуванні шатлом необхідно забезпечити точність у позиціонуванні на місцях завантаження і розвантаження. Для цього використаний зворотній зв'язок за такими параметрами як сила струму якоря, переміщення та швидкості, який допомагає вирішити кілька завдань:

- Виклик шатла для заповнення палети та доставки до місця призначення
- Подання команди готовності про можливість загрузки нової палети

- Подання команди про те, що палета заповнена і може починати рух до місця призначення.

Контролер повинен передбачити можливі ситуації при яких деякі шатли можуть бути вільні в той час як на інших може бути по 2 палети одночасно. В той же час контролер має передбачити відсутність зіткнень двох шатлів які прямують до різних місць для завантаження або зіткнення шатлу с перешкодою будь-якого типу, перегрівання двигуна, який керує шатлом або коротке замикання.

Сам об'єкт починає працювати при подачі першої палети на платформу, при цьому перед стартом має бути затримка та звуковий сигнал для відсутності біля лінії людей або машин. Також затримка необхідна для визначення можливої нештатної ситуації. Наприклад через потрапляння на колію предмету або перегрів двигуна. При цьому оператор може тимчасово зупинити процес для усунення таких ситуацій.

Швидкість пересування та прискорення шатлу не повинні бути більшими, ніж максимально допустимі з точки зору безпеки персоналу, апаратних складових, та транспортувальної продукції.

#### **1.4 Формулювання задачі дослідження**

У роботі магістра основними задачами дослідження для даного об'єкта можна вважати:

- Отримання моделі об'єкта за струмом якоря;
- Отримання моделі за швидкістю візка;
- Отримання моделі за переміщенням візкам;
- Перевірка кожної з моделі на адекватність;
- Виконання структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування за різними каналами.

#### **1.5 Висновки до розділу**

За результатами аналізу об'єкта керування, як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зроблено наступні висновки:

- Об'єктом керування є механізм переміщення шатлу автоматизованого складу з приводом на основі двигуна постійного струму;

- Об'єктом дослідження є процес автоматичного керування переміщенням шатлу;
- Вхідною величиною об'єкта керування є дані з вольтметра обмотки якоря двигуна, а вихідними — струм якоря, положення візка, вихідна напруга тахогенератора;
- Об'єкт керування відноситься до класу неперервних об'єктів керування;
- Для визначення статичних та динамічних характеристик моделей елементів об'єкта керування та оцінки їх адекватності будуть застосовані методи статистичної обробки даних та методи теорії автоматичного керування.
- Потрібно виконати дослідження об'єкта керування за обраним принципом дослідження.
- Виконати аналіз моделі об'єкта керування для подальшого дослідження.
- На основі аналізу розробити модель об'єкта керування в середовищі моделювання Simulink.
- На підставі створеної моделі створити програмне забезпечення як для моделі об'єкта керування, так і для регулятора.
- Для програмного забезпечення об'єкта додатково створити людино-машинний інтерфейс та перевірити правильність його функціонування.
- Розрахувати економічну доцільність впровадження даної системи.
- Необхідно створити безпечні умови праці для працівників, попередньо проаналізувавши і перевіривши всі небезпечні чинники на робочих місцях з ціллю їх максимального усунення.



## 2 ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Підготовка даних

Отримані дані були переміщені в пакет MATLAB для подальшої їх обробки (2.1) Змінні задані для динамічної характеристики: `Dynamic_Input` , `Dynamic_Output`; статичної — `Static_Input` , `Static_Output`; перевірочні данні — `Check_Input` , `Check Output`, де `Input` — керуючий вплив; `Output`— дійсні значення.

Name ▲	Value	Min	Max
Check_Input	1101x...	0	87.9500
Check_Output	1101x...	0	2477
Dynamic_Input	101x1...	120.7800	138
Dynamic_Output	101x1...	0	3.9078...
Static_Input	201x1...	18.7800	136.5600
Static_Output	201x1...	0	3953

Рисунок 2.1 — Імпортовані дані швидкості

Для подальшого аналізу усі дані будуть конвертовані до типу 'iddata':

```
>> Dynamic = iddata (Dynamic_Input, Dynamic_Output, 0.01);
>> Static = iddata (Static_Input, Static_Output, 0.01);
>> Check = iddata(Check_Input, Check_Output, 0.01);
```

Дані показали, що дійсні значення, які були отримані не мають статичного здвигу, тому підготовка даних завершена.

### 2.2 Структурна ідентифікація

Для оцінки структури моделі слід проаналізувати динамічну характеристику об'єкта (2.2). Після подачі керуючого впливу, швидкість збільшується майже одразу і тому можна зробити висновок, що запізнення  $\epsilon$ , але близьке до 0. Також на характеристиці немає інерції, а характер перехідного процесу — монотонний. Кількість перегинів дорівнює одному. Це означає, що модель об'єкта керування може бути описана аперіодичною ланкою першого порядку.

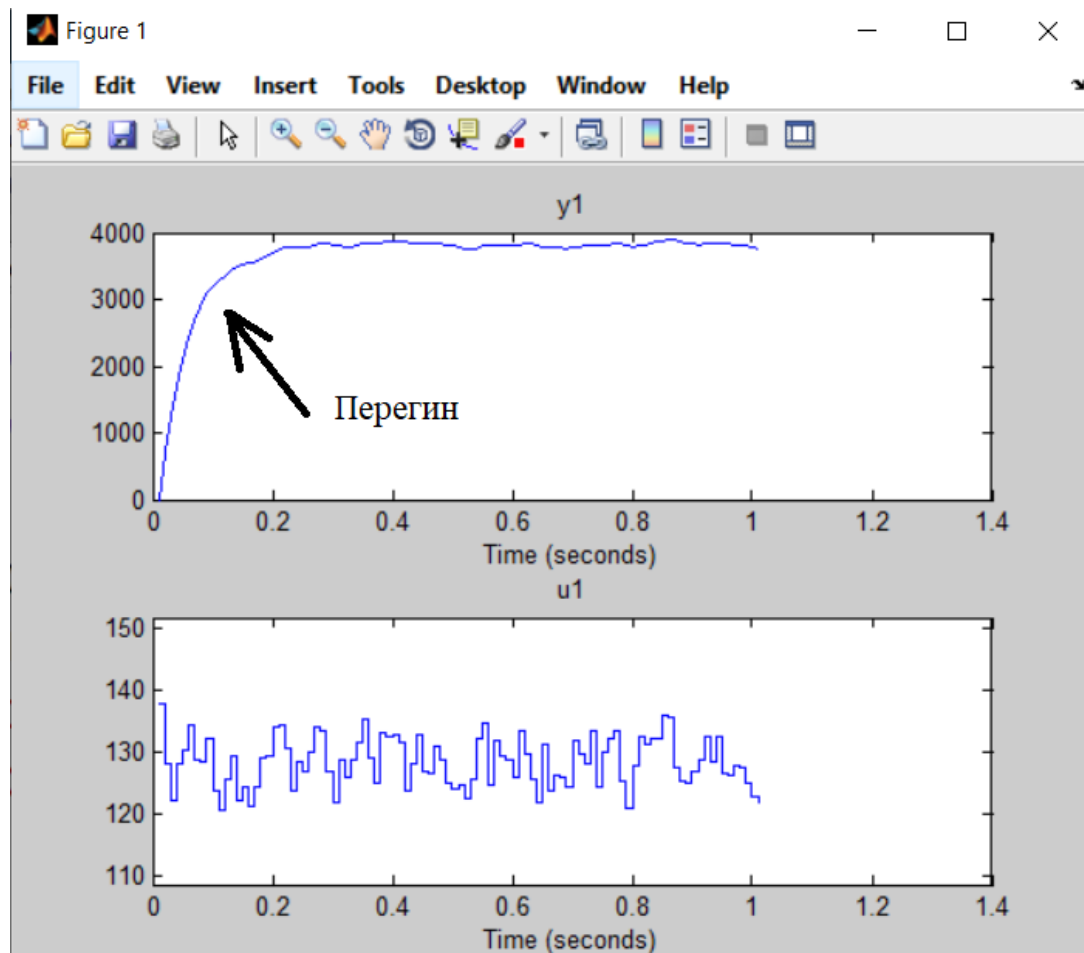


Рисунок 2.2 — Динамічна характеристика швидкості обороту двигуна

Далі проаналізуємо даний об'єкт на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (2.3), для цього у вікно команд MATLAB потрібно вписати наступні команди:

```
>>Static_Input_Vector = [0, 50, 100, 150, 200];
```

```
>> Static_Output_Vector = [0, 771.3, 1820, 2888, 3935];
```

```
>> plot(Static_Input_Vector,Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth',3);
```

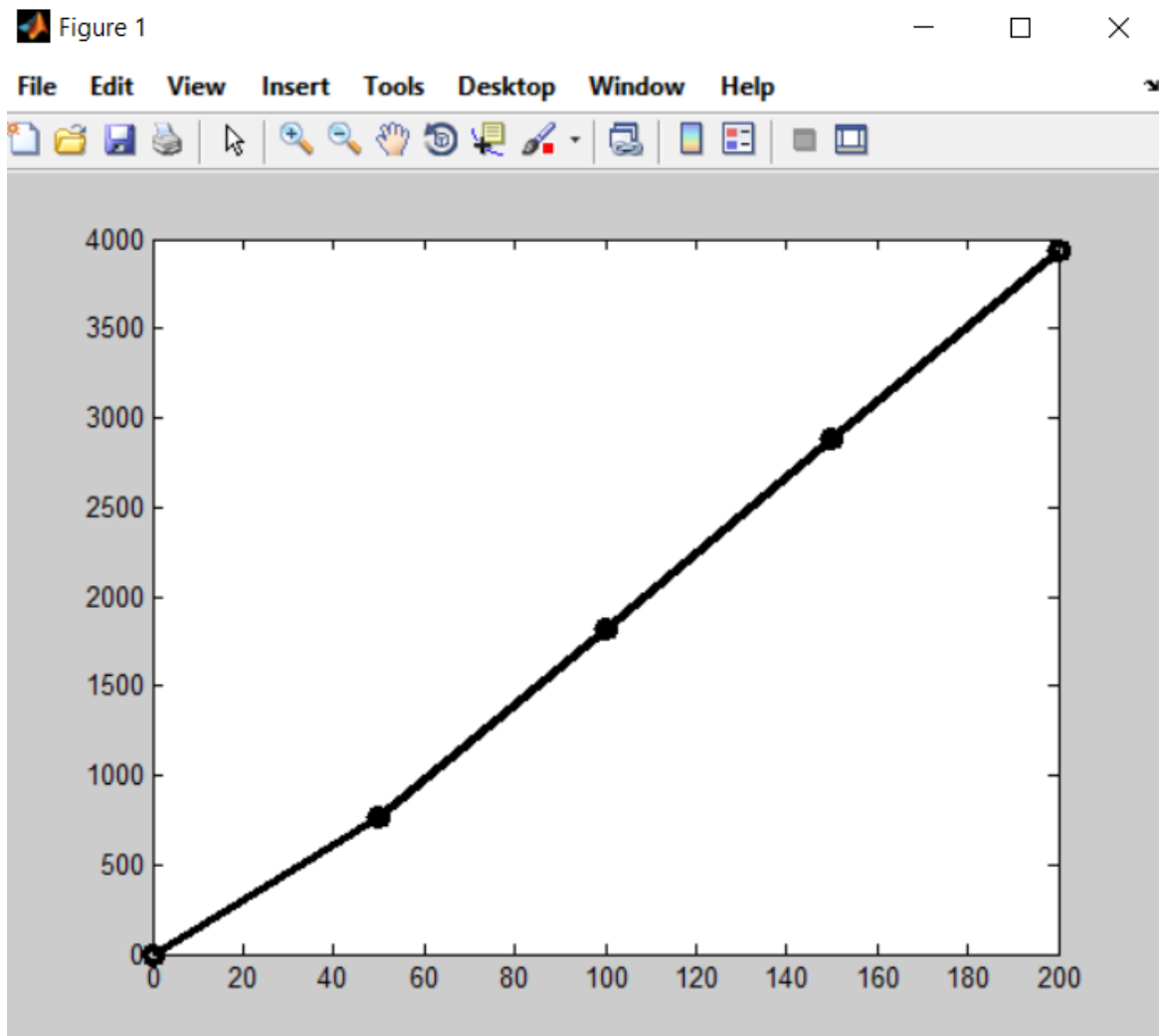


Рисунок 2.3 — Статична характеристика швидкості

Статична характеристика є досить лінійною, на основі чого можна зробити висновок, що об'єкт також лінійний у всьому діапазоні.

На основі того що динамічна характеристика має один перегин, а статична характеристика лінійна можна зробити висновок, що об'єкт керування може бути представлений у вигляді аперіодичної ланки першого порядку:

$$W(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts+1} \quad (2.1)$$

### 2.3 Параметрична ідентифікація

Визначення постійної часу об'єкта керування виконано за допомогою «System Identification Toolbox» в якому у якості основних даних

використовуються дані динамічної характеристики, а перевірочні дані будуть використовуватись для перевірки моделі (2.4).

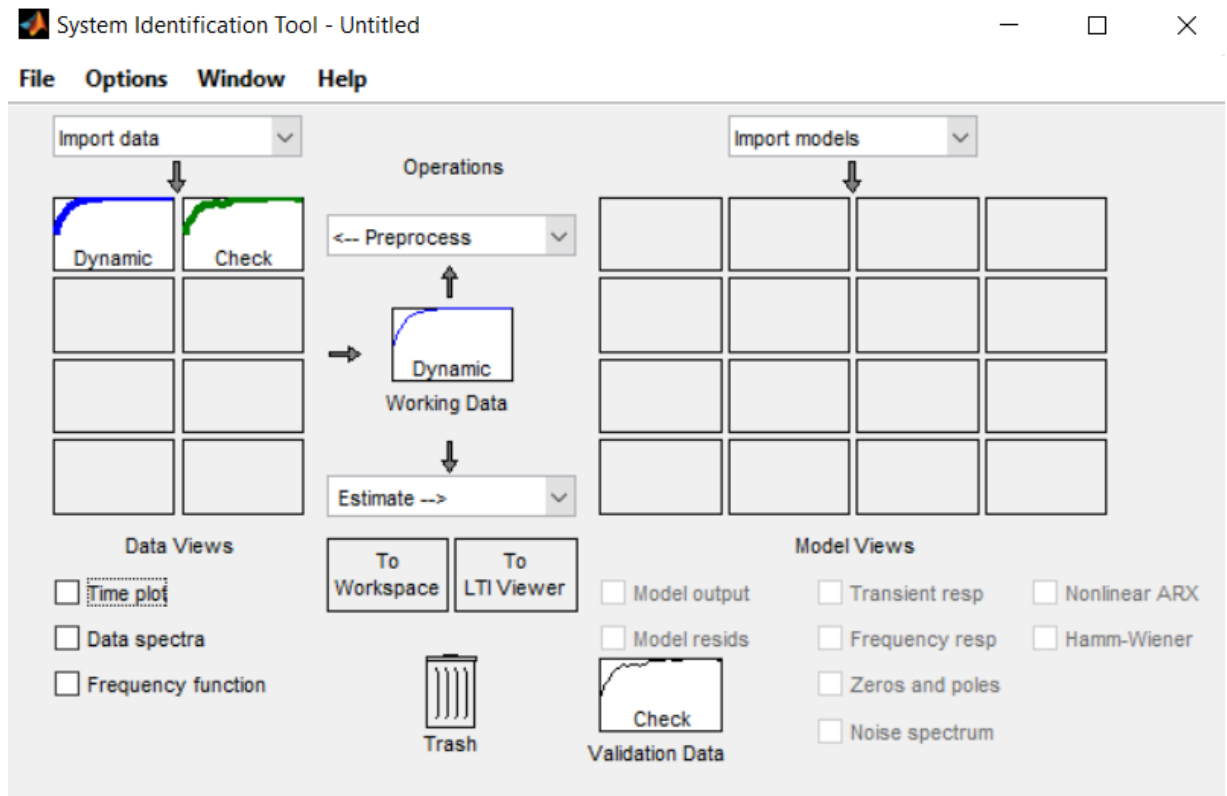


Рисунок 2.4 — Налаштування System Identification Toolbox

Визначення параметрів моделі буде здійснювати за допомогою методу «Process Model», результатом якої буде передаточна функція. Для цього необхідно в полі «Poles» слід обрати порядок об'єкта керування, при цьому прибрати мітки біля полів «Zero» і «Integrator» та встановити «Delay», що означає затримку, яка присутня у даному об'єкті. Після усіх налаштувань слід натиснути «Estimate». Налаштування параметрів на рисунку 2.5

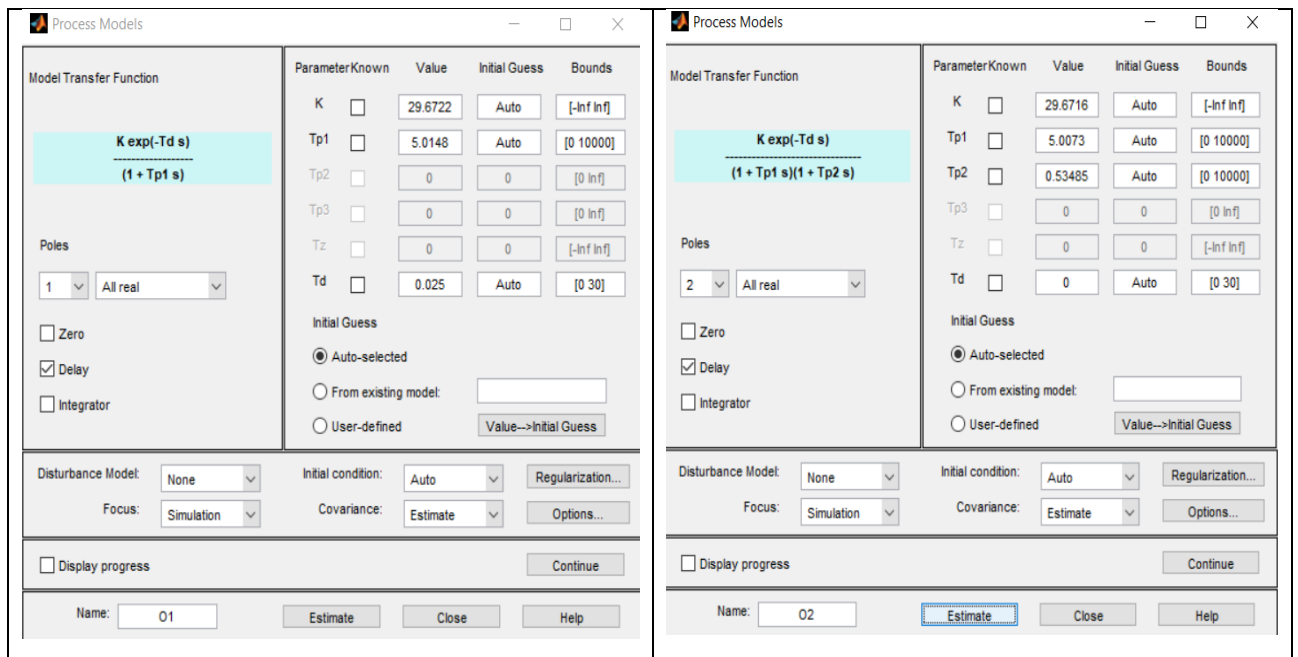


Рисунок 2.5 — Налаштування Process Model

Перевірка результатів наведена на рисунку 2.6 і в таблиці 2.1

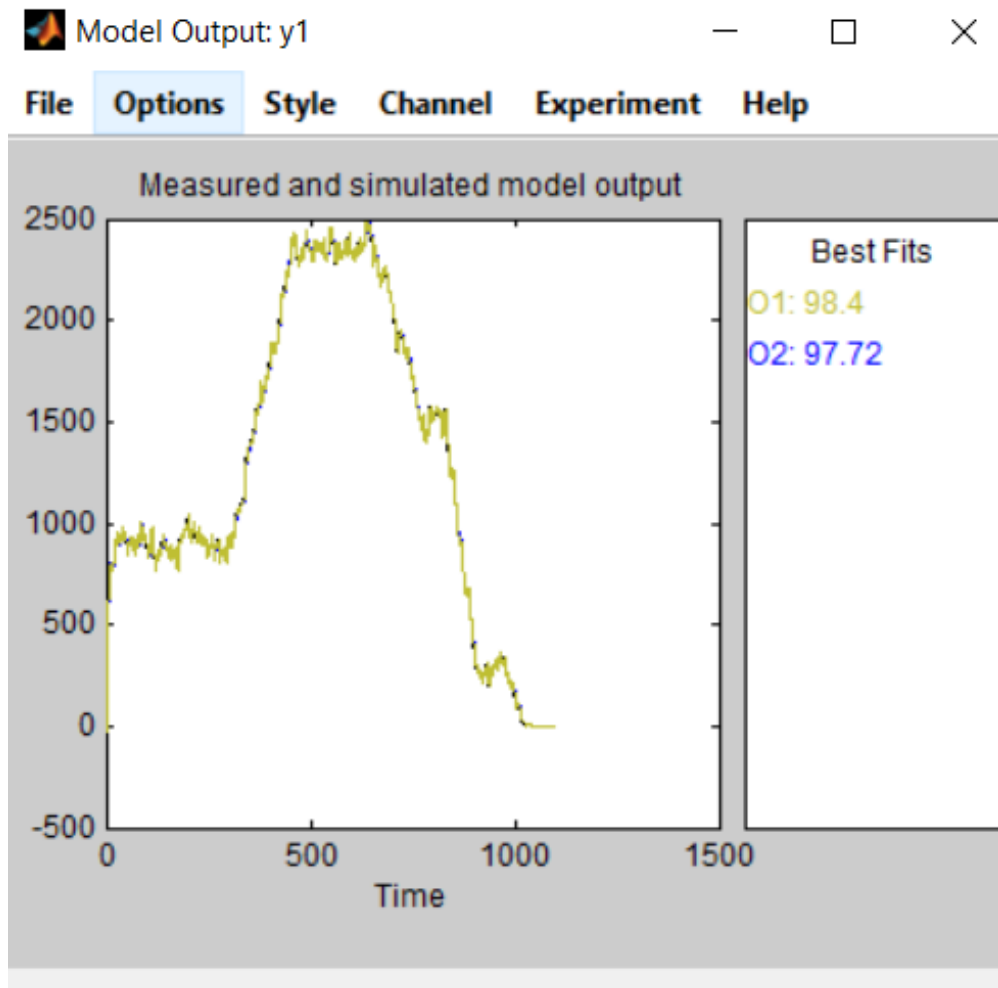


Рисунок 2.6 — Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 2.1 — Результати розрахунків

Название	O1	O2
K	29.672	0.028259
T1,c	0.050148	0.050018
T2,c	0	0.46922
$\tau$ ,c	0.025	0
<b>Dynamic — Динамическая характеристика</b>		
NRSME,%	97.95%	97.19%
FPE, %	180.4%	3954%
MSE, %	168.8%	316.5%
<b>Check — Проверочные данные</b>		
NRSME, %	98.4%	97.72%

На підставі результатів розрахунків, модель може бути представлений у вигляді передаточної функції:

$$W(s) = \frac{29.672 * e^{-0.025s}}{(0.05148s+1)} \quad (2.2)$$

#### 2.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

За результатами ідентифікації розроблена модель об'єкта керування в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink (рис. 2.7 ) у вигляді передавальної функції.

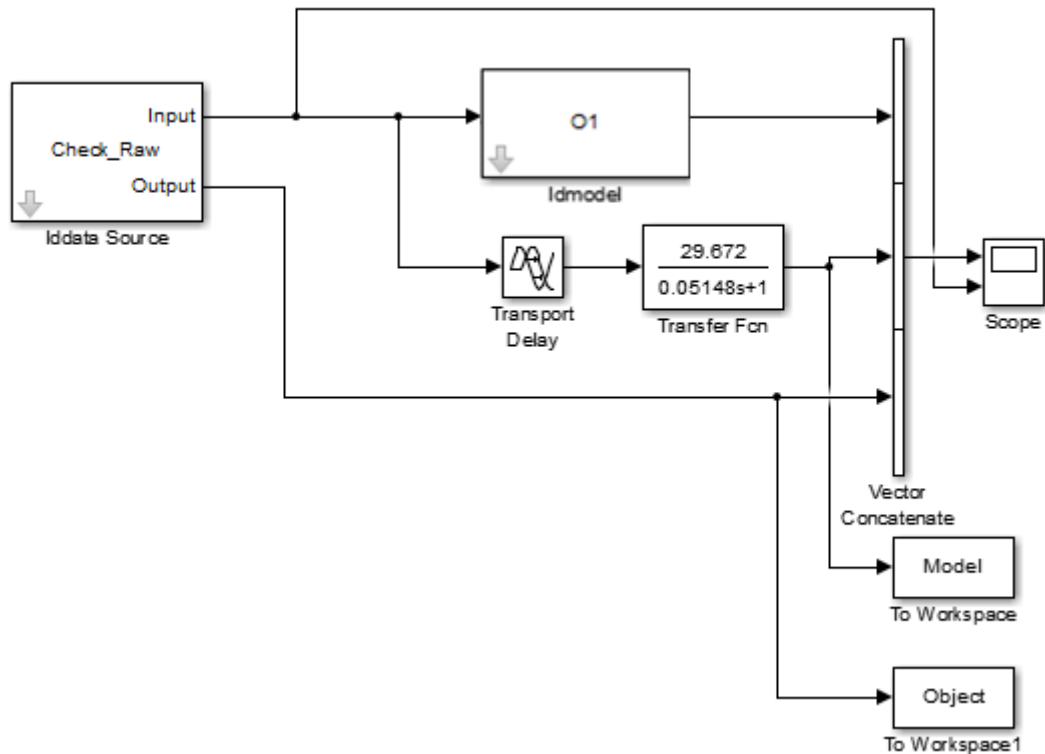


Рисунок 2.7 — Модель об'єкта в Simulink

## 2.5 Перевірка моделі на адекватність

На підставі результатів моделювання та перевірочних даних виконано аналіз адекватності моделі об'єкта керування за методом нормованого середнє квадратичного відхилення:

```
>> nrmse = goodnessOfFit(Model, Object, 'NRMSE') * 100.0
```

```
nrmse =
```

```
96.9810
```

Згідно з перевіркою модель відповідає до об'єкта керування на 96.9810 %, а тому є адекватною та може бути використана для моделювання об'єкта керування в подальших дослідженнях.

Остаточна модель об'єкта керування наведена на рисунку 2.8 , а результати моделювання на рисунку 2.9.



Рисунок 2.8 — Остаточна модель об'єкта

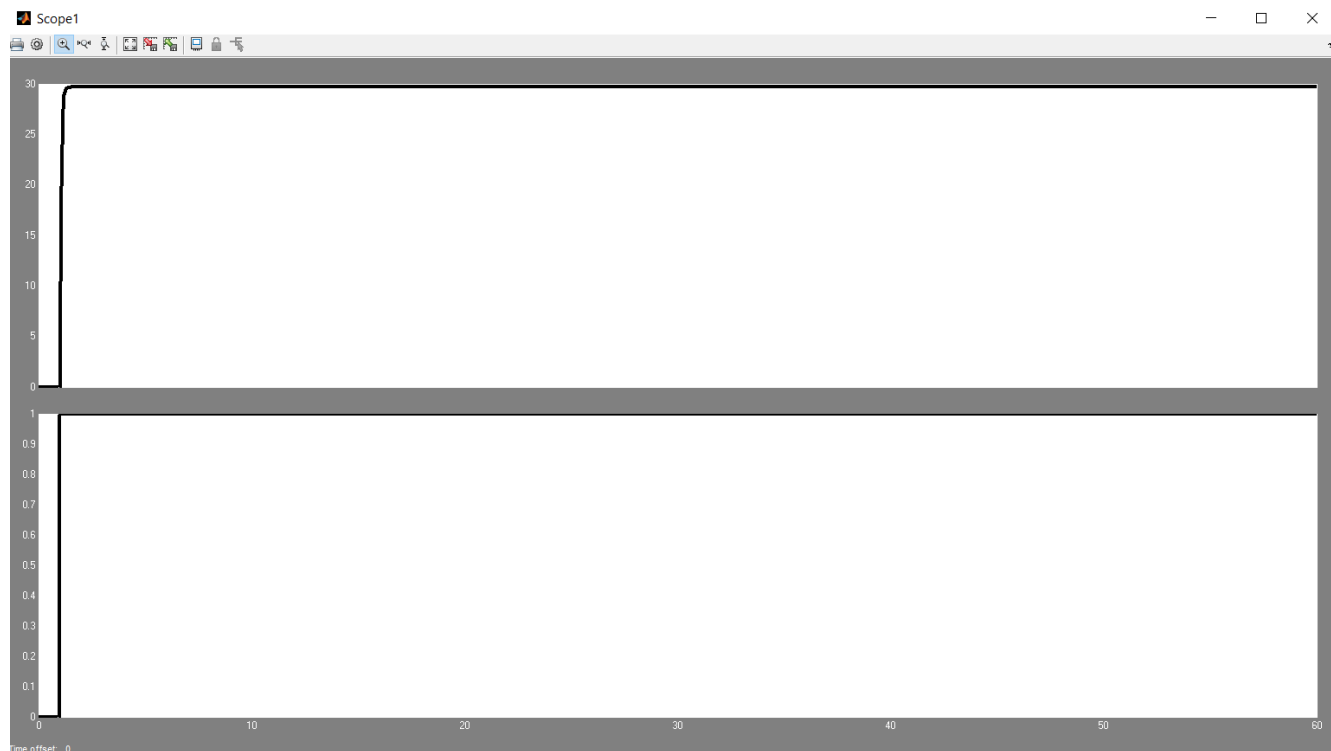


Рисунок 2.9 — Результат моделювання для кінцевої моделі

## 2.6 Висновки до розділу

При проведенні ідентифікації об'єкта керування була отримана його модель з відповідними коефіцієнтами:  $K$  – коефіцієнт підсилення та  $T$ - постійна часу. Також створена модель перевірена на адекватність, де видно що модель відповідає заданому завданню на 96.98%. Основними критеріями якості для подальшого аналізу можна вважати прискорення візка (має бути не більше заданого) та точність його позиціонування (для коректного вивантаження у соту складу).



### **3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

На процедуру обґрунтування методу синтезу системи автоматичного керування напряду впливають наступні особливості процесу керування мобільною платформою (шатлом) як об'єктом автоматизації:

1. Через закриту зону переміщення платформи, що є характерною особливістю складських приміщень високої щільності, її максимально допустима швидкість переміщення є настільки високою, що платформа за умови довжини стелажів до ста метрів просто не встигає її набрати.

2. Привод й рушій платформи мають дуже малу інерційність (постійна часу 0,05 с).

3. Конструктивне виконання рушія на основі жорсткого тягового органу забезпечують відсутність проковзувань та коливань при переміщенні платформи.

4. Відсутність закріплення вантажу на платформі.

На основі аналізу описаних особливостей об'єкта автоматизації можна зробити наступні висновки:

1. Незначна інерційність привода шатлу та особливості жорсткого рушія дозволяють практично без спотворень відтворити у реальності задану тахограму. Завдяки цьому можна проводити керування пройденою платформою відстанню через швидкість її переміщення.

2. За умови відносно невеликих довжин стелажів до 100 метрів з метою досягнення максимальної продуктивності на складі тахограма повинна бути трикутної форми.

Отже, синтез системи автоматичного керування пропонується здійснювати на основі наступного підходу:

- ввести замкнений контур керування за швидкістю переміщення платформи з настройкою ПІД-регулятора на максимальну швидкодію з урахуванням обмежень;

- переміщення платформи на задану величину забезпечити через завдання певних параметрів уставочного сигналу у вигляді трикутної тахограми.

Через відсутність закріплення вантажу на платформі за умови завдання певної динаміки її переміщення має обмеження на прискорення з метою забезпечення відсутності зміщення вантажу вздовж горизонтальної поверхні платформи. Саме це обмеження визначає кут нахилу трикутної уставочної тахограми. Для визначення допустимого максимального прискорення за умови запобігання зміщення вантажу по горизонтальній поверхні шатлу розроблена схема балансу сил, які прикладені до вантажу та платформи (рис.3.1).

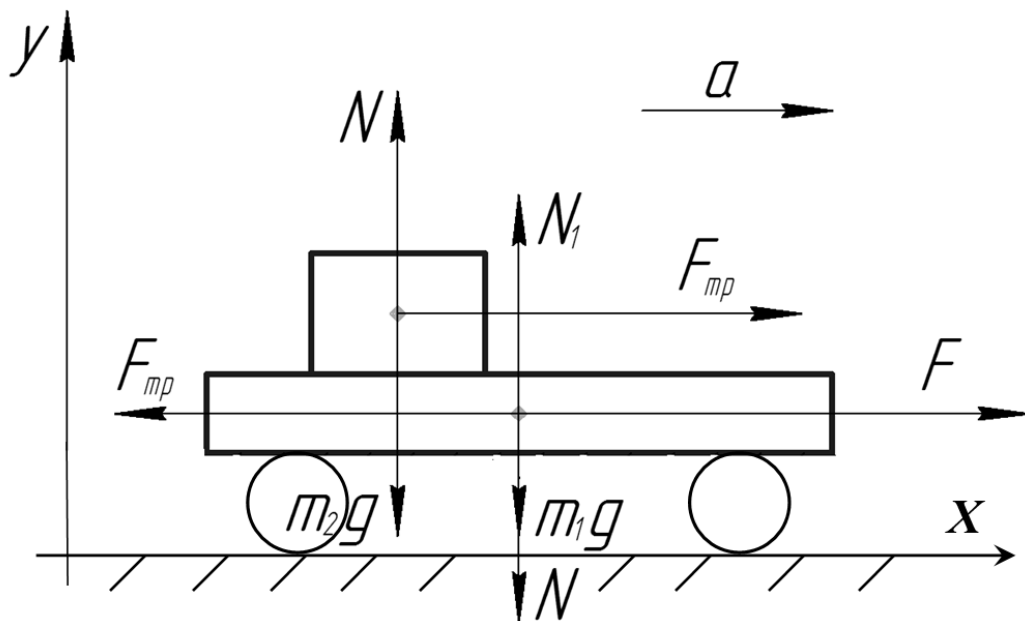


Рисунок 3.1 – Схема прикладених до платформи та вантажу сил

Згідно із схемою на рис.3.1 [2, с.1], за умови граничного значення прискорення, при перевищенні якого виконується вимога щодо зрушення вантажу, виконується рівність:

$$F_{тер} = m_2 \cdot a_{кр}$$

Сила тертя визначається як

$$F_{\text{тер}} = \mu \cdot N = \mu \cdot g \cdot m_2$$

Таким чином

$$a_{\text{кр}} = \frac{\mu \cdot g \cdot m_2}{m_2} = \mu \cdot g \quad (3.1)$$

Тобто, якщо нехтуємо впливом на вантаж повітря при його русі, то маємо однакове критичне прискорення для вантажу незалежно від його ваги, при перевищенні якого відбувається його зміщення на рухомій платформі.

Формула (3.1) закладемо в алгоритм формування заданої тахограми системою керування на основі заданої відстані переміщення шатлу, а також коефіцієнту тертя ковзання між матеріалом коробки вантажа і сталеву поверхнею шатлу [15 С.3]. Матеріал коробки вантажу, як варіант, зчитується системою з RFID позначки.

З урахуванням поставленої мети щодо формування для кожного вантажу й завдання переміщення індивідуальної тахограми у додатку Simulink пакету MATLAB розроблена модель пристрою завдання уставки за швидкістю руху шатлу (рис.3.2). Її основними складовими є функція визначення граничного прискорення «Acceleration», та функція побудови тахограми «Tahogramma».

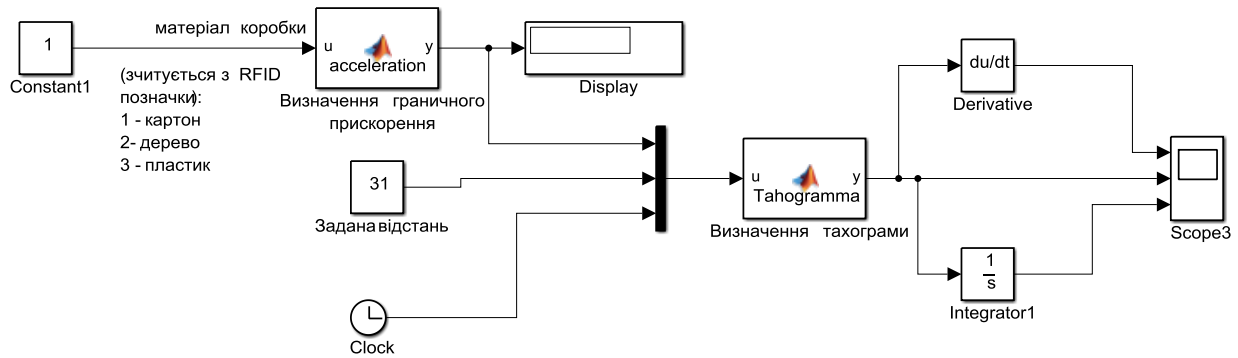


Рисунок 3.2 – Схема моделі пристрою завдання уставки швидкості переміщення платформи

Програма 3.1 – Визначення граничного прискорення

```
function y = acceleration(u)
```

```
%Визначення коефіцієнту тертя спокою
```

```
%u - тип матеріалу коробки вантажу
```

```
%Якщо тип матеріалу картон
```

```
y=1;
```

```
if(u==1)
```

```
    %Коефіцієнт тертя між картоном та сталлю 0,53
```

```
    %Розрахунок критичного прискорення (за умови якого відбувається зміщення вантажу)
```

```
    y = 0.53*9.8;
```

```
end
```

```
%Якщо тип матеріалу дерево
```

```
if(u==2)
```

```
    %Коефіцієнт тертя між деревом та сталлю 0,35
```

```
%Розрахунок критичного прискорення (за умови якого відбувається зміщення вантажу)
```

```
y = 0.35*9.8;
```

```
end
```

```
%Якщо тип матеріалу пластик
```

```
if(u==3)
```

```
    %Коефіцієнт тертя між пластиком та сталлю 0,01
```

```
    %Розрахунок критичного прискорення (за умови якого відбувається зміщення вантажу)
```

```
    y = 0.01*9.8;
```

```
end
```

### Програма 3.2 – Визначення тахограми

```
function y = Tahogramma(u)
```

```
%Визначення тахограми як трикутника, коли розгон змінюється на гальмування
```

```
%на середині шляху
```

```
if((u(1)*(u(3)^2))/2<u(2)*0.5)
```

```
    y=u(1)*u(3);
```

```
else
```

```
    y=((sqrt((2*u(2)*0.5)/u(1)))*u(1))-((u(3)-((sqrt((2*u(2)*0.5)/u(1)))))*u(1));
```

```
end
```

```
if(u(2)*0.5-(u(1)*((u(3)-((sqrt((2*u(2)*0.5)/u(1))))))^2*0.5)<=0)
```

```
    y=0;
```

end

Проведемо перевірку правильності роботи моделі пристрою завдання уставки швидкості переміщення платформи.

З результату перевірки роботи моделі пристрою завдання уставки на рис.3.3 бачимо, що за умови картонної коробки вантажу він переміщується на відстань 31 м за 4,65 с. При цьому максимальна швидкість становить 12,67 м/с, а прискорення не перевищує своє допустиме значення 5,194 м/с<sup>2</sup>.

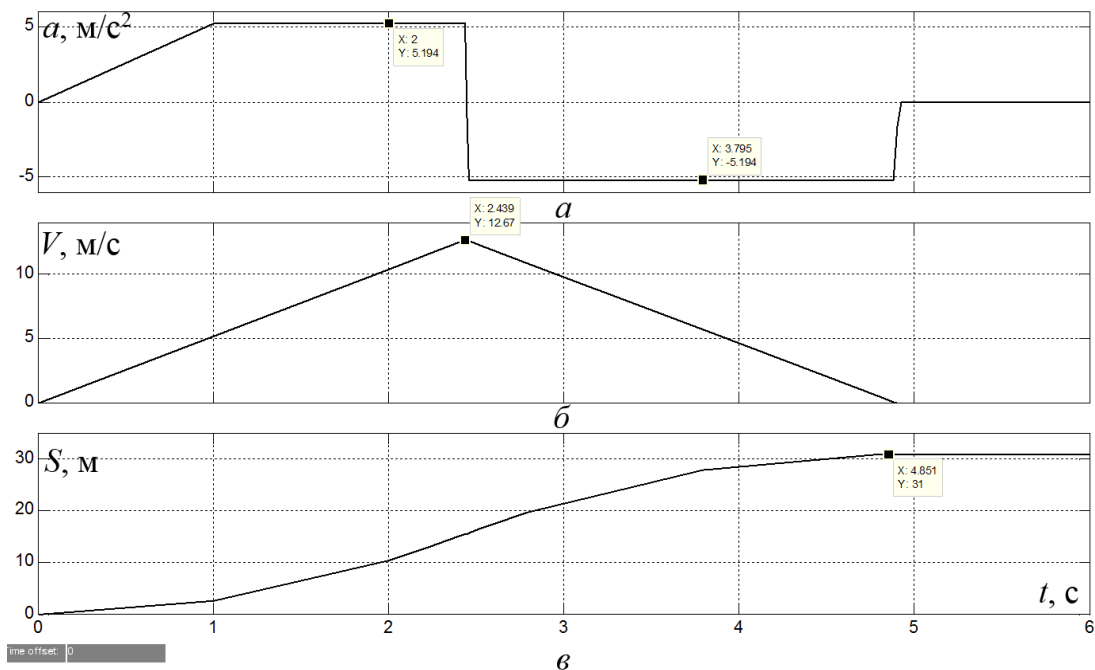


Рисунок 3.3 – Зміна у часі заданих прискорення (*a*), швидкості (*b*) руху платформи, та відстані, що вона проїхала (*в*) за умови розміщення на ній вантажу у картонній коробці

З результату перевірки роботи моделі пристрою завдання уставки на рис.3.4 бачимо, що за умови коробки вантажу з дерева за рахунок меншого коефіцієнта тертя ковзання між деревом та сталлю він переміщується на відстань

31 м повільніше – за 5,98 с. При цьому максимальна швидкість становить 10,26 м/с, а прискорення не перевищує своє допустиме значення 3,43 м/с<sup>2</sup>.

Якщо ж матеріал коробки вантажу з пластику (має набагато більш гладку поверхню), шатл переміститься на відстань 31 м за 35,26 с (рис.3.5). При цьому максимальна швидкість становить 1,74 м/с, а прискорення не перевищує своє допустиме значення 0,098 м/с<sup>2</sup>.

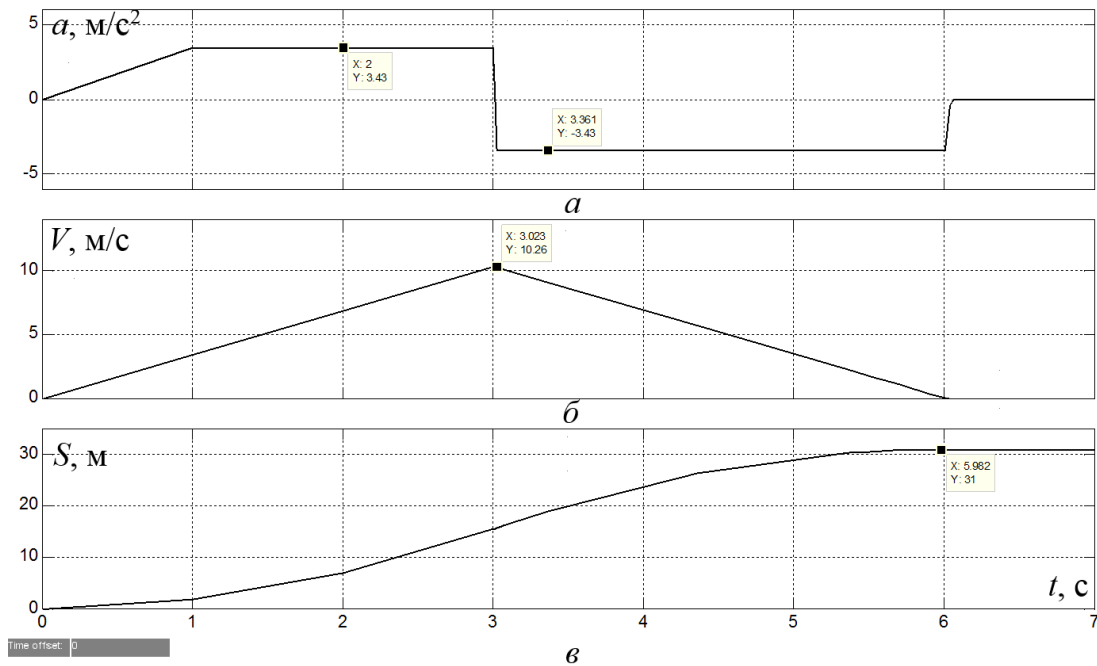


Рисунок 3.4 – Зміна у часі заданих прискорення ( $a$ ), швидкості ( $b$ ) руху платформи, та відстані, що вона проїхала ( $c$ ) за умови розміщення на ній вантажу у дерев'яній коробці

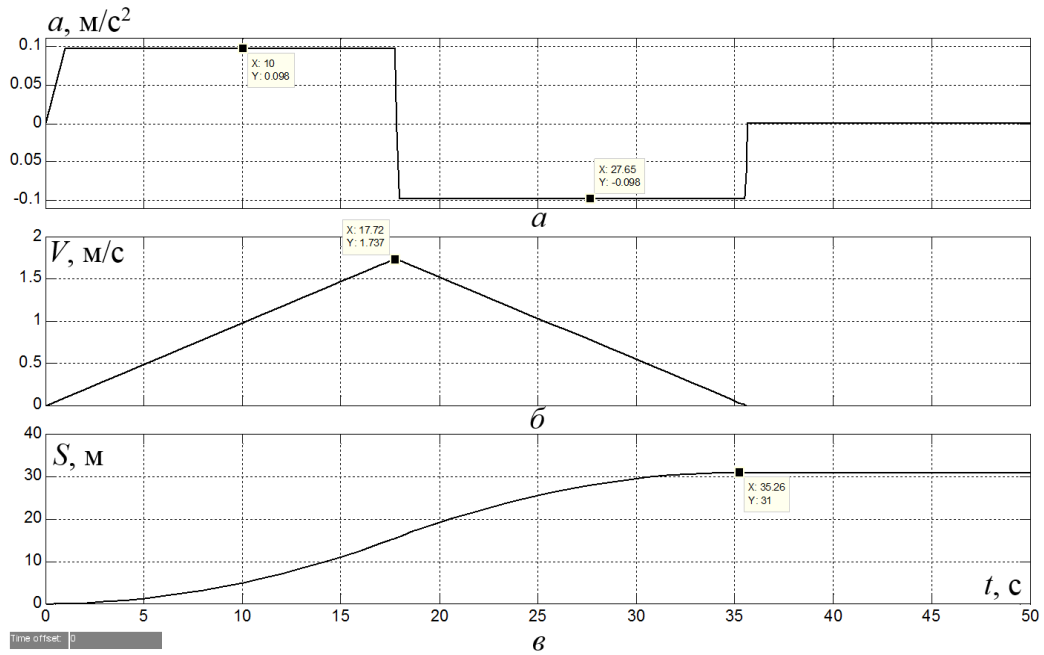


Рисунок 3.5 – Зміна у часі заданих прискорення (*a*), швидкості (*b*) руху платформи, та відстані, що вона проїхала (*в*) за умови розміщення на ній вантажу у пластиковій коробці

З урахуванням поставленого завдання керування розроблена модель системи автоматичного керування (рис.3.6).

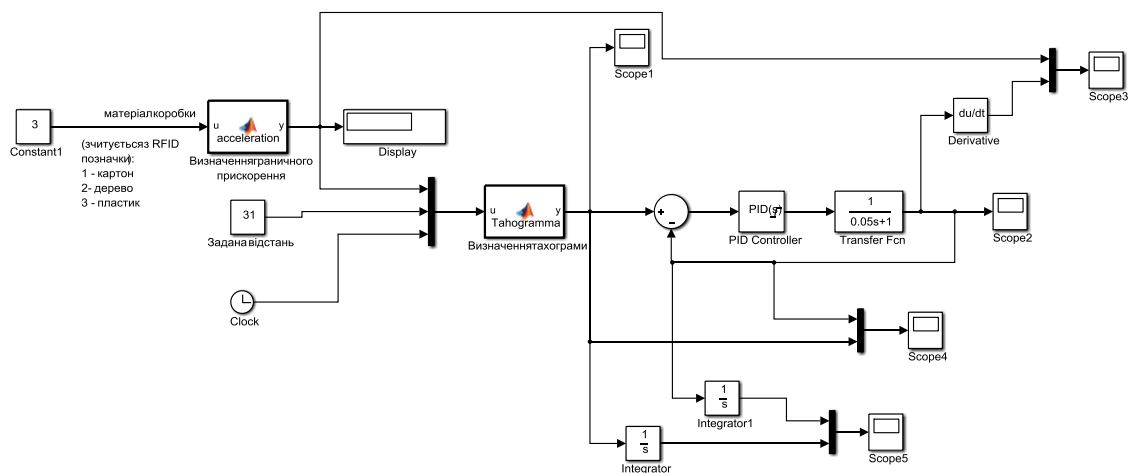


Рисунок 3.6 – Схема імітаційної моделі автоматичного керування переміщенням мобільної платформи автоматизованого складу високої щільності



Жорсткий тяговий орган рушія шатлу не деформується, також відсутні проковзування коліс шатлу. З урахуванням цього переміщення шатлу на задану відстань забезпечується не завданням уставки у вигляді цієї відстані, а завданням тахограми відповідної форми, при цьому керування здійснюється саме швидкістю переміщенням шатлу, а не пройденою ним відстанню. Контур керування за швидкістю реалізований на базі ПІД-регулятора (рис.3.6).

Для налаштування регулятора використаний спеціалізований інструмент додатку Simulink пакету MATLAB (рис.3.7). При цьому виявлено, що при завданні високого рівня швидкодії при синтезі системи керування маємо перевищення фактичним прискоренням свого граничного значення (рис.3.8), що є неприпустимим.

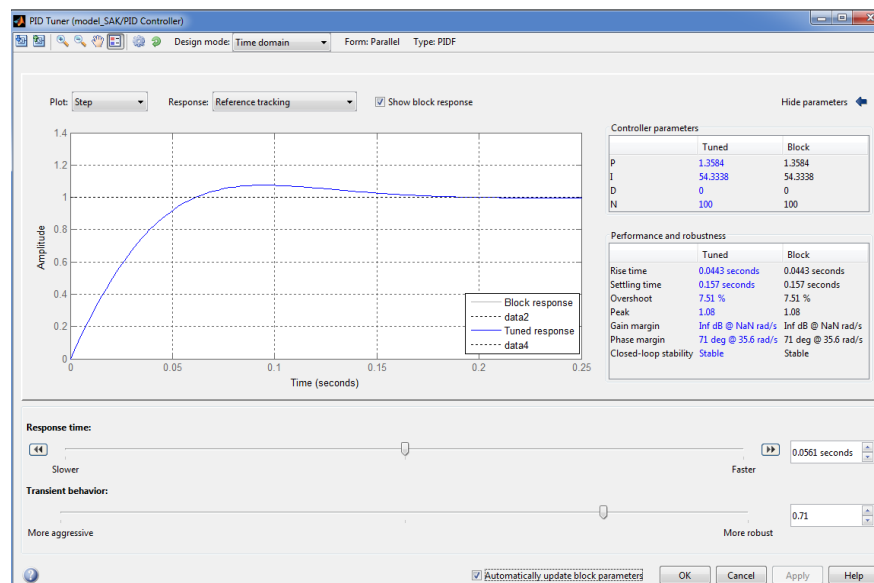


Рисунок 3.7 – Вікно налаштування регулятора швидкості руху мобільної платформи з використанням додатку «PID Tuner»

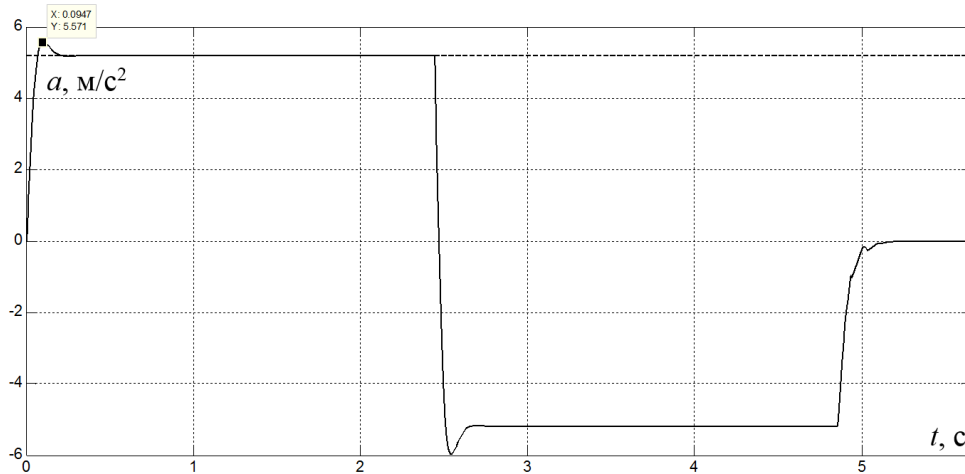


Рисунок 3.8 – Зміна у часі фактичного прискорення мобільної платформи за умови розміщення на ній вантажу у картонній коробці за умови настройки ПД-регулятора згідно рис.3.7

У зв'язку з цим проведено дослідження впливу на максимальне фактичне прискорення шатлу при його розгоні й гальмуванні заданого рівня швидкодії системи керування при налаштуванні регулятора (рис.3.9).

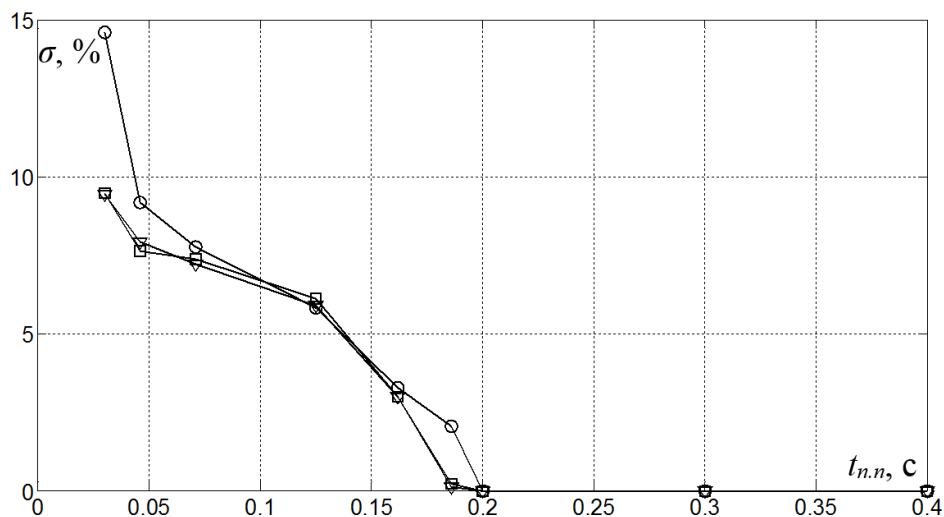


Рисунок 3.9 – Залежність відносного перевищення фактичного прискорення платформи свого допустимого значення від часу перехідного процесу при налаштуванні регулятора швидкості платформи (трикутні маркери – картон, квадратні маркери – дерево, круглі маркери – пластик)

У ході досліджень встановлено, що відносне перевищення фактичним прискоренням свого допустимого значення для різних типів матеріалу коробки вантажу (картон, дерево та пластик) має однаковий характер залежності від швидкодії синтезованої системи керування швидкістю шатлу – зворотний та нелінійний (рис.3.9). Визначено, що для усіх трьох типів матеріалу коробки вантажу час перехідного процесу на виході синтезованої системи керування не повинен перевищувати рівень 0,2 с, інакше відбувається перевищення допустимого прискорення за критерієм зміщення вантажу при розгоні та гальмуванні шатлу.

Для оптимальних налаштувань ПІД-регулятора швидкості руху шатлу проведено дослідження ефективності роботи системи керування переміщенням шатлу.

Встановлено, що через інерційність привода шатлу (постійна часу 0,05 с) маємо незначне спотворення заданої тахограми при її відпрацюванні (див. рис.3.10,б).

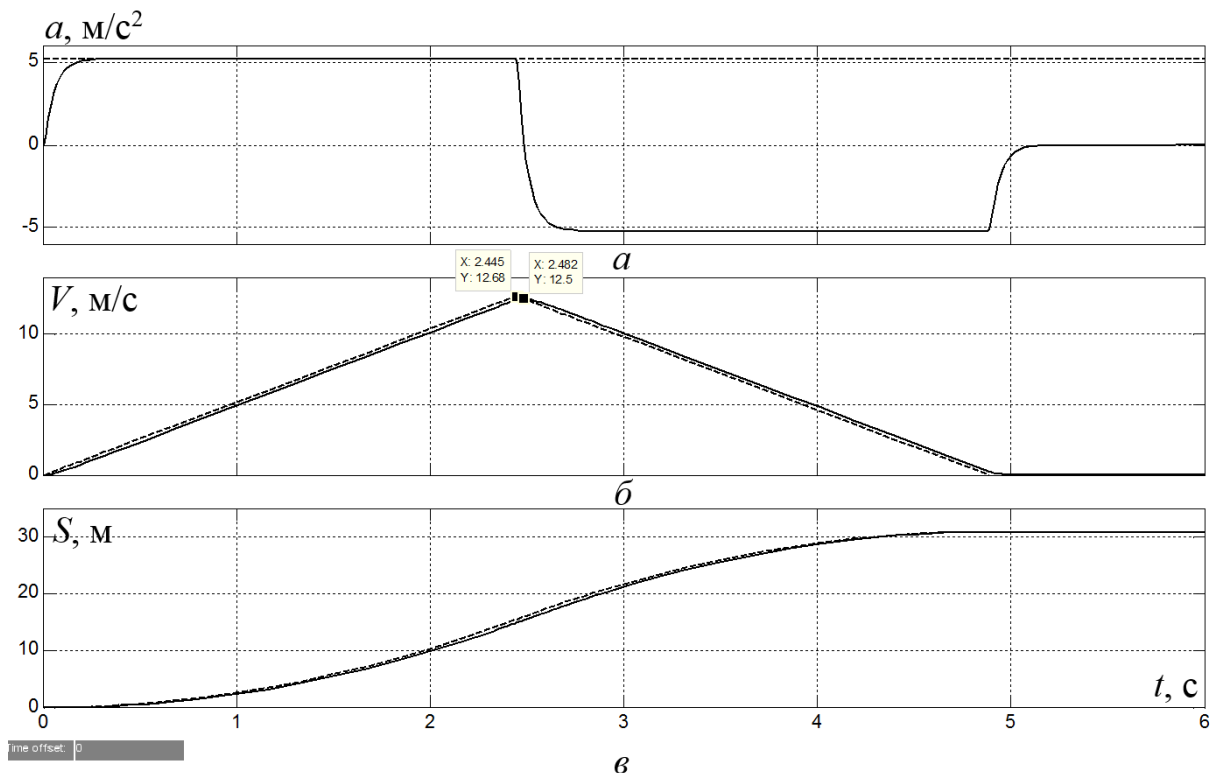


Рисунок 3.10 – Зміна у часі фактичних (суцільні лінії) та заданих (пунктирні лінії) прискорення ( $a$ ), швидкості ( $\dot{b}$ ) руху платформи, та відстані, що вона проїхала ( $s$ ) за умови розміщення на ній вантажу у картонній коробці

З рис.3.10,а ми бачимо, що перехідний процес за прискоренням є монотонним без перерегулювання, що забезпечує відсутність перевищення фактичним прискоренням платформи (суцільна лінія) свого допустимого значення (пунктирна лінія).

З рис.3.10,б ми бачимо, що через інерційність привода фактична швидкість переміщення (суцільна лінія) трохи відстає від заданої тахограми (пунктирна лінія), але це відставання не перевищує 0,18 с. Це на стільки мале відставання у порівнянні з часом переміщення платформи 4,85 с, що за графіком зміни у часі відстані, що проїхала платформа, практично не помітно, що час переміщення за заданою тахограмою відрізняється від фактичного часу переміщення платформи (графіки суцільною та пунктирною лінією на рис.3.10,в виходять на заданий рівень 31 м фактично одночасно).

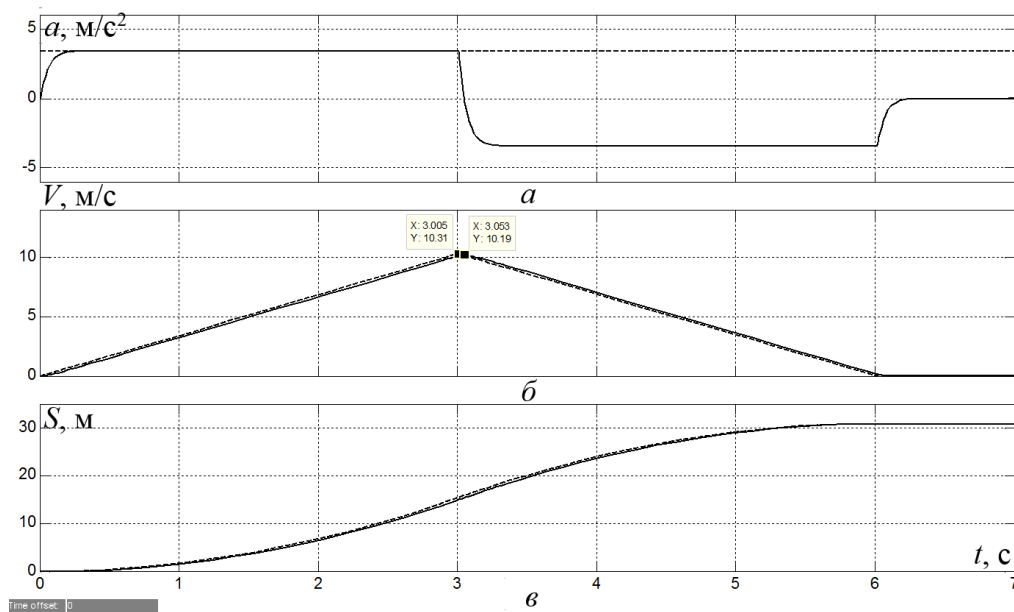


Рисунок 3.11 – Зміна у часі фактичних (суцільні лінії) та заданих (пунктирні лінії) прискорення ( $a$ ), швидкості ( $\bar{v}$ ) руху платформи, та відстані, що вона проїхала ( $s$ ) за умови розміщення на ній вантажу у дерев'яній коробці

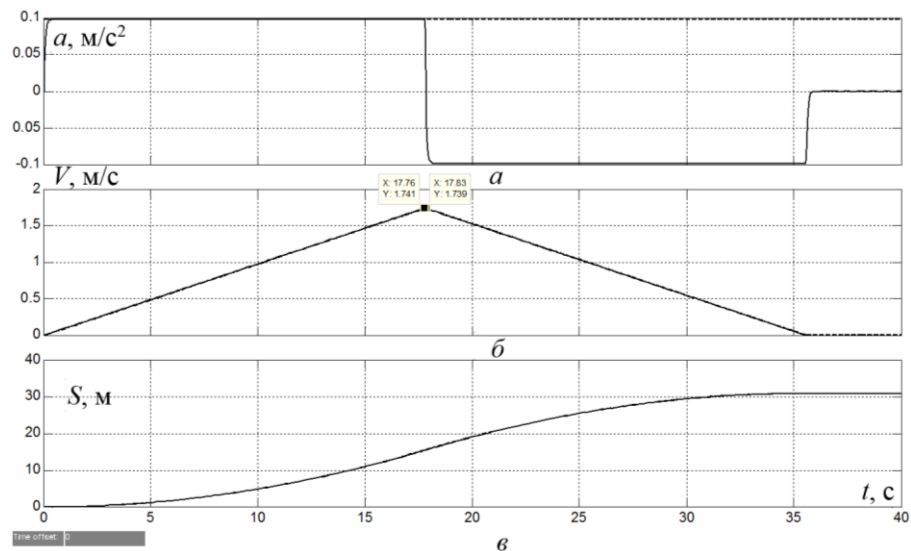


Рисунок 3.12 – Зміна у часі фактичних (суцільні лінії) та заданих (пунктирні лінії) прискорення ( $a$ ), швидкості ( $\bar{v}$ ) руху платформи, та відстані, що вона проїхала ( $s$ ) за умови розміщення на ній вантажу у пластиковій коробці

Аналогічні висновки можна зробити за результатами моделювання роботи системи керування переміщенням вантажу по відношенню до матеріалу коробки вантажу дерево (рис.3.11) й пластик (рис.3.12).

З аналізу рис.3.11 та 3.12 також можна зробити висновок, що незалежно від коефіцієнту тертя між поверхнями коробки та платформи й, відповідно, її граничного прискорення, задана тахограма відпрацьовується з високою точністю. З рис.3.11,б ми бачимо, що графік зміни фактичної швидкості платформи відстав від заданої тахограми лише на  $0,05$  с, а максимальні швидкості відрізняються на  $0,12$  м/с, що становить  $1,18\%$ .

У свою чергу на рис.3.12,б графік зміни фактичної швидкості платформи відстав від заданої тахограми лише на  $0,07$  с, а максимальні швидкості відрізняються на  $0,002$  м/с, що складає  $0,12\%$ .

## Висновки до розділу

Вперше для процесу переміщення вантажу на автоматизованих складах високої щільності використаний підхід, коли відпрацювання переміщення шатлу на задану відстань забезпечується завданням трикутної тахограми як уставки для системи автоматичного керування швидкістю руху шатлу, форма якої залежить від заданої відстані та типу матеріалу коробки вантажу. При цьому використовується контур керування за швидкістю переміщення платформи з ПІД-регулятором.

Встановлено, що відносне перевищення фактичним прискоренням свого допустимого значення для різних типів матеріалу коробки вантажу (картон, дерево та пластик) має однаковий характер залежності від швидкодії синтезованої системи автоматичного керування швидкістю шатлу – зворотний та нелінійний. Визначено, що для усіх трьох типів матеріалу коробки вантажу час перехідного процесу на виході синтезованої системи автоматичного керування за швидкістю платформи не повинен перевищувати рівень 0,2 с, інакше відбувається перевищення допустимого прискорення за критерієм зміщення вантажу при розгоні та гальмуванні шатлу.

Отримані результати досліджень дозволили впровадити ефективне автоматичне керування переміщенням шатлу на основі завдання певної форми тахограми, яка залежить від заданої відстані та типу матеріалу коробки вантажу. Дослідження показали високу точність відпрацювання системою керування заданої відстані переміщення шатлу з максимально можливою швидкістю, при якій не відбувається зміщення вантажу відносно горизонтальної поверхні шатлу.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для цього розділу є синтезована система автоматичного керування швидкістю мобільної платформи, що отримана у третьому розділі (рис.4.1).

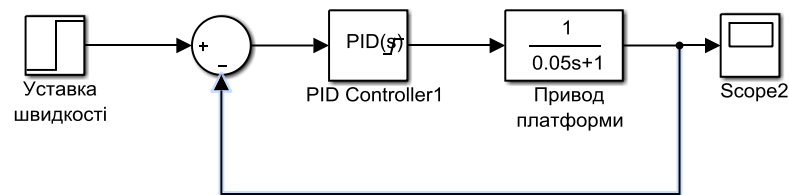


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного керування швидкістю платформи

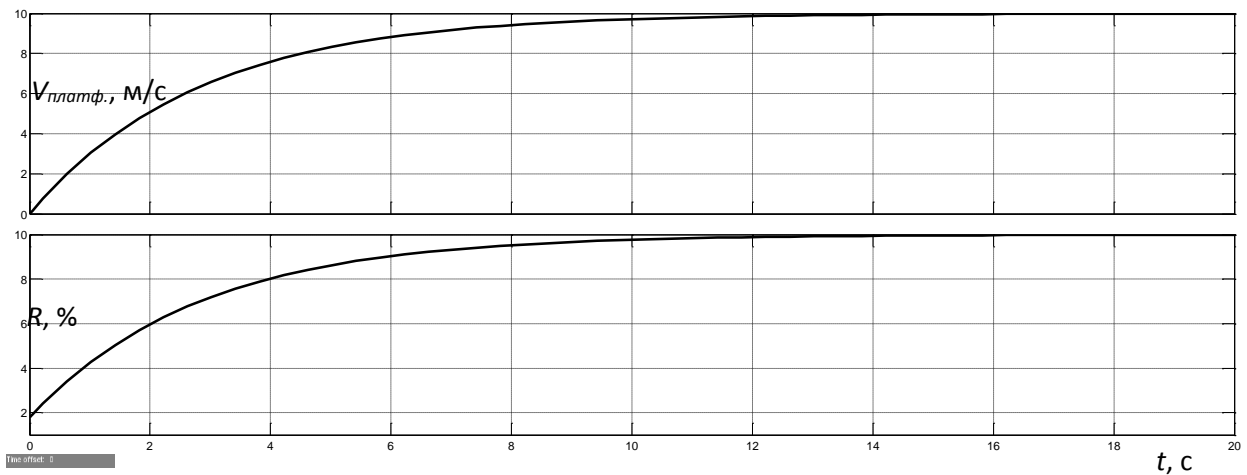


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного керування (верхній рис. – керована величина, нижній – керуюча)

Але, для створення програмного забезпечення для цієї системи необхідно перейти до цифрової моделі регулятора та об'єкта керування. Тож, виконаємо заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими.

Для перетворення інтегруючої (регулятор) та аперіодичної (об'єкт) ланок створена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервної моделі об'єкта керування на цифрову

**%Перетворення у цифрову форму аперіодичної ланки**

```
wa=tf([1], [0.5 1]);
```

```
wi=tf([1], [1 0]);
```

```
waz=c2d(wa, 0.1);
```

```
[a_a, b_a]=tfdata(waz);
```

```
a_a=cell2mat(a_a)
```

```
b_a=cell2mat(b_a)
```

**%Перетворення у цифрову форму інтегруючої ланки**

```
wiz=c2d(wi, 0.1);
```

```
[a_i, b_i]=tfdata(wiz);
```

```
a_i=cell2mat(a_i)
```

```
b_i=cell2mat(b_i)
```

Результат роботи програми 4.1:

```
>> transform
```

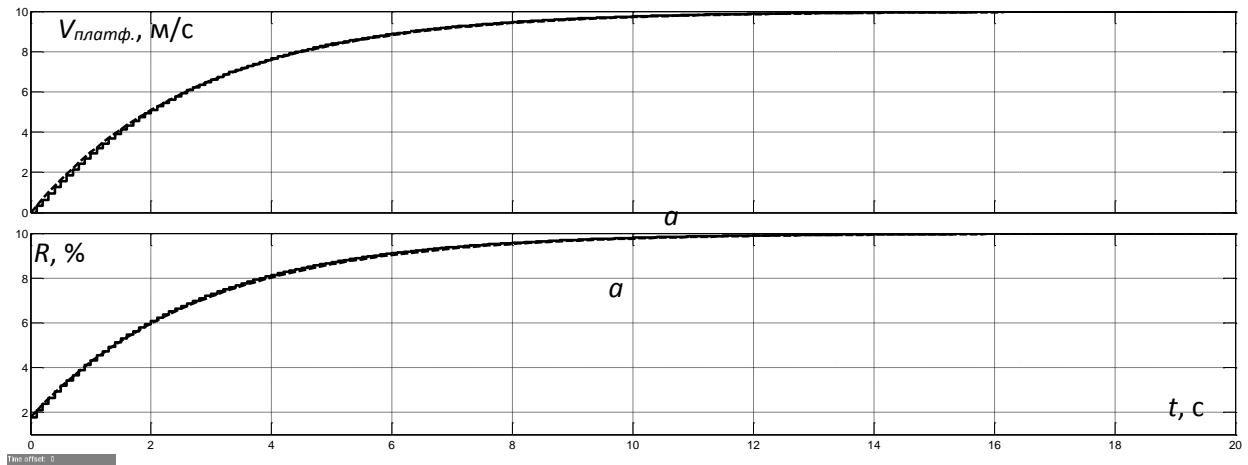
```
a_a =
```

```
0 0.181269246922018
```

```
b_a =
```







б

Рисунок 4.5 – Результати моделювання: *a* – керована величина; *б* – керуюча величина (пунктирна лінія – неперервна модель; суцільна – цифрова)

З рис.4.5 видно, що графіки як керованої величини, так і керуючої фактично збіглися. Оцінимо більш точно відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньоквадратичним відхиленням між точками графіків зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей.

```
>> goodnessOfFit(Model_C,Model_D, 'NRMSE')*100
```

```
ans = 98.176327810581128
```

Як видно за результатами перевірки, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі.

Згрупуємо модель цифрової САК за підсистемами, одною з яких є об'єкт керування, а іншою – регулятор (рис.4.6).

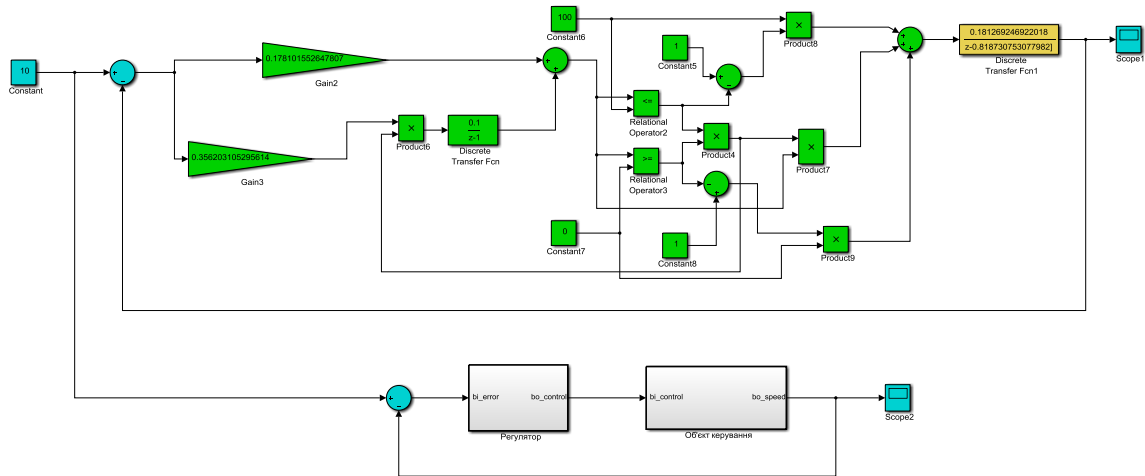


Рисунок 4.6 – Групування цифрової моделі системи автоматичного керування

Вміст підсистеми “Об’єкт керування” представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рис.4.7.

На рис.4.7 цифрова модель ПІД-регулятора представлена розкладеною на окремі компоненти згідно формулі ПІ-закону керування. Зазначимо, що окрім основних пропорційної й інтегруючої складових, реалізовані обмеження керуючого сигналу за діапазоном від 0 до 100% та захист від перенасичення інтегруючої складової регулятора.

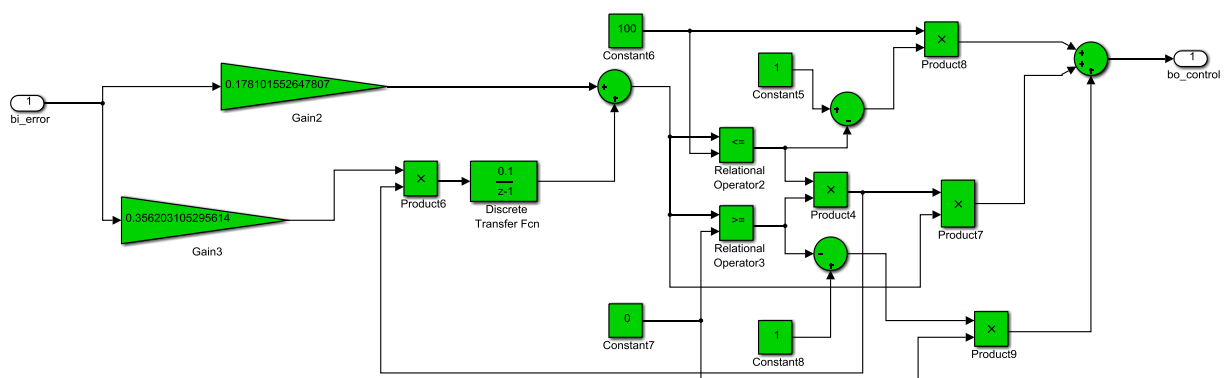


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На основі цифрової моделі САК згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно можна поділити на дві окремі частини (два окремих програмних блоки): регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкта керування був створений драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.8.

Для драйвера пристрою керування були створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів моделі об'єкта керування (див. рис. 4.9).

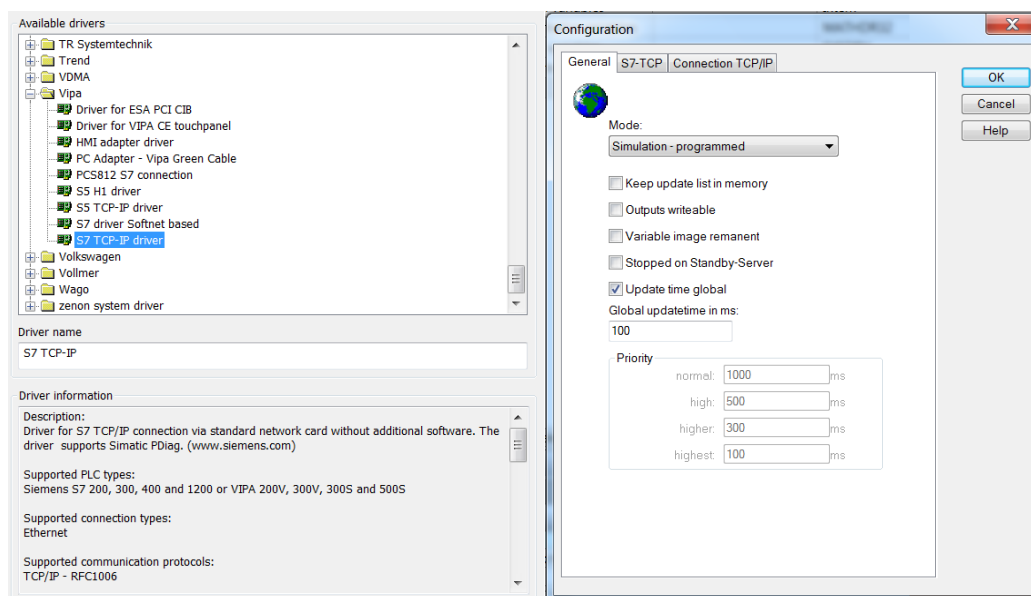


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Speed_			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	control_signal			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування реалізована модель об'єкту керування на основі раніше створеного програмного модуля. Далі, з використанням отриманого користувальницького функціонального блоку, розроблене програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення ОК наведені у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку створений проєкт регулятора (рис. 4.10).

State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проєкт регулятора

Також створені змінні регулятора, що відповідають значенню уставки швидкості платформи, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкту керування реалізований через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.11).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
zenon_to_PLC	Controller/Global/Control_Reg	control_signal	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Speed_	Controller/Global/Control_Spe...	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, створені два розподіли – перший, що копіює значення швидкості мобільної платформи до регулятора, та другий – для передачі керуючого сигналу на привод платформи з регулятора до об’єкту керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б2.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Одною з основних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування є людино-машинний інтерфейс.

Для забезпечення повноцінної функціональності системи автоматичного керування людино-машинний інтерфейс повинний забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об’єкта керування;
- можливість слідкувати за станом технологічного процесу, та сповіщати у разі виникнення аварійних подій.

Таким чином, можна сформувані основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.

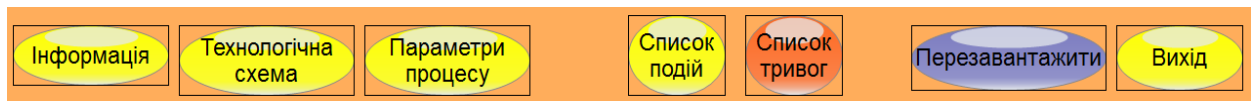


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 показано зображення кнопок що були реалізовані для ЛМІ. Кожна з кнопок має певну функцію:

- «Об'єкт керування» – при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.13). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення;



Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

- кнопки «Параметри процесу», «Список подій» та «Список тривоги» реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які показані на рис. 4.14, рис. 4.15 і рис. 4.16 відповідно.

Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.



Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Користувач - п...
10.12.2021 15:19:35	System was started				SYSTEM
10.12.2021 15:19:42	System was stopped				SYSTEM
10.12.2021 15:27:44	System was started				SYSTEM
10.12.2021 15:27:52	Modify spontaneous value: (51)	Controller/Global/Control_51			SYSTEM
10.12.2021 15:28:07	Modify spontaneous value: (83)	Controller/Global/Control_83			SYSTEM
10.12.2021 15:28:28	Modify spontaneous value: (14)	Controller/Global/Control_14			SYSTEM
10.12.2021 15:29:10	Modify spontaneous value: (93)	Controller/Global/Control_93			SYSTEM
10.12.2021 15:29:50	System was stopped				SYSTEM
10.12.2021 15:33:03	System was started				SYSTEM
10.12.2021 15:33:11	Modify spontaneous value: (40)	Controller/Global/Control_40			SYSTEM

Рисунок 4.15 – Зображення списку подій



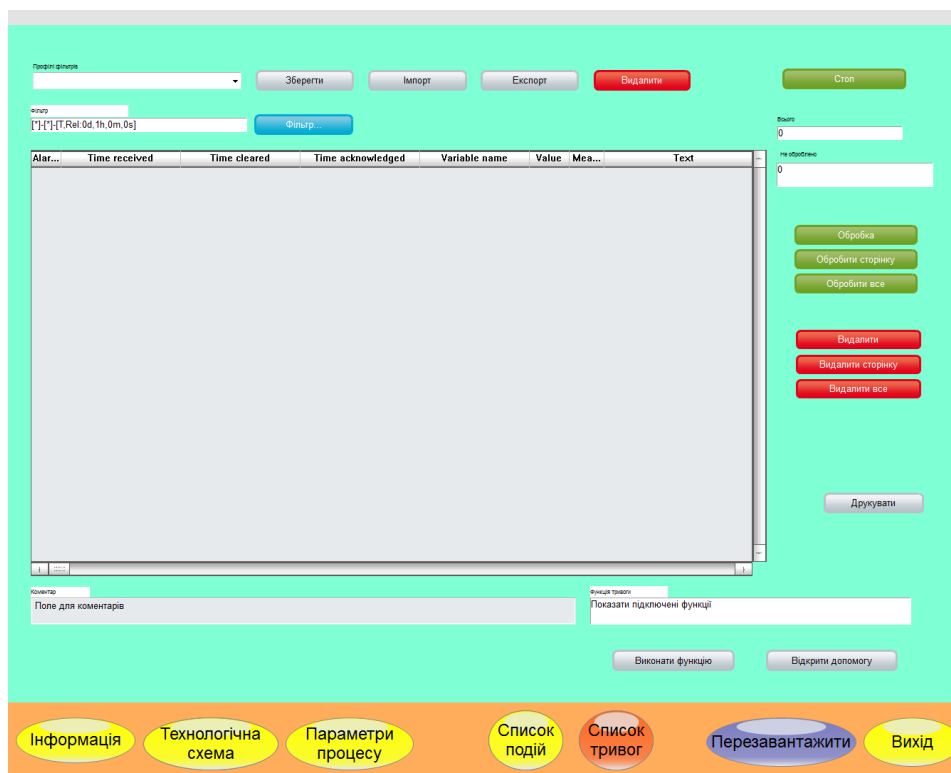


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.17.

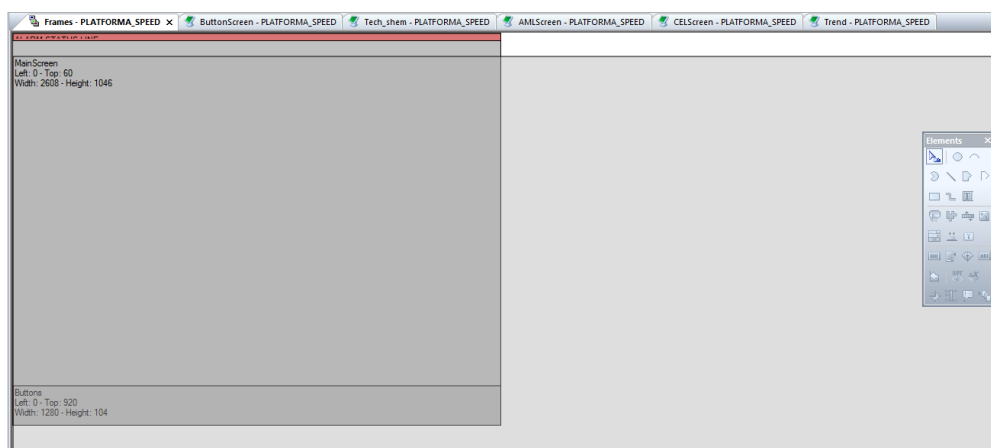


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, він є статичним та відображається постійно. Для





Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування ПЗ системи автоматичного керування

У ході перевірки роботи ЛМІ встановлено, що усі кнопки виконують свої функції коректно, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи автоматичного керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система автоматичного керування працює згідно з вимогами у нормальному режимі, список тривоги порожній.

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує коректно, згідно з вимогами до системи автоматичного керування та може бути використане на виробництві.

#### 4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування швидкістю переміщення мобільної платформи та ЛМІ, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування.

## **5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

### **5.1 Обґрунтування доцільності впровадження автоматизації у виробничий процес**

У роботі магістра розглядається процес переміщення готової продукції по коміркам автоматизованого складу високої щільності. Для прискорення транспортування та підвищення ефективності є необхідність у впровадженні сучасних технологій та модернізації старих комплектуючих. Розроблена у даній роботі система відповідає запитам сучасності. Переваги такого рішення у тому, що візок з продукцією не рухається рівномірно (втрачається час доставки одного товару до комірки), а рухається за принципом розгін-гальмування, що дозволяє пришвидшити транспортування одиниці товару і збільшити кількість продукції, що транспортується. Окрім цього економія йде на обслуговуванні обладнання та витратах електроенергії. При цьому нова система дозволяє контролювати кілька візків одночасно на невеликій відстані, що дозволяє збільшити кількість транспортованої продукції з меншими затратами на транспортування. Економічна ефективність буде розрахована у порівнянні з минулою системою, яка встановлена на ділянці.

### **5.2 Розрахунок капітальних інвестицій**

Дані про капітальні витрати на устаткування наведені у таблиці 5.1

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн}, \quad (5.1)$$

де  $K_{об}$  – витрати на придбання устаткування,

$K_{тр}$  – витрати на транспортування;

$K_{мн}$  – монтаж і налагодження системи

Таблиця 5.1 — Капітальні витрати

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	ПЛК ОВЕН-160 з входами та виходами	1	12 204,37	12 204,37
2	Двигун постійного струму ДПУ240-1100-3-Д41-09 разом з тахогенератором ТП-80-20-0,2	1	5 623	5 623
3	Блок живлення SPD24301	1	1 255	1 255
4	Датчик переміщення	1	4 381	4 381
5	Датчик струму Honeywell CSNE 381	1	933.19	933.19
6	Вольтметр DVM-56	1	59.70	59.70
Усього				24 456.26

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймається за договірними розцінками на монтаж і налагодження електротехнічного устаткування, що приблизно становить 8-10% від вартості устаткування. Оскільки обладнання має високу ціну, тому його налагодження дуже важливе, приймаємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт на рівні 10% від вартості устаткування:

$$K_{mn} = Q_y \times 0,1 \quad (5.2)$$

де  $Q_y$  – вартість устаткування, грн

$$K_{mn} = 24456.26 \times 0.1 = 2445.62 \text{ грн}$$

Транспортно-заготівельні витрати за спрощеним методом визначаються у відсотках від вартості устаткування, виробів, матеріалів (5-7%) або за фактичними витратами. Затверджуємо транспортно-заготівельні витрати на рівні 7% від вартості устаткування.

$$K_{tr} = Q_y \times 0.07 \quad (5.3)$$

$$K_{tr} = 24456.26 \times 0.07 = 1711.94 \text{ грн}$$

Капітальні витрати складуть:

$$K = 24456.26 + 1711.94 + 2445.62 = 28613.82 \text{ грн}$$

### 5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню та енергомережам відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткуванню та електромереж ( $C_{пр}$ );
- вартість витраченої електроенергії ( $C_e$ );
- інші витрати ( $C_{ін}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати будуть складати:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_{пр} + C_e + C_{ін}, \text{ тис грн} \quad (5.4)$$

#### 5.3.1 Експлуатаційні витрати до впровадження

Визначимо експлуатаційні витрати до впровадженні системи керування автоматизованого складу.

Обладнання використане до розробки системи керування автоматизованим складом належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачений термін експлуатації обладнання становить 5 років. При використанні прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визнається як:

$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

де  $H_a$  – норма амортизації,  $T$  – термін корисного використання об'єкту.

Норма автоматизації для розроблюваної системи керування складає:

$$H_a = (2/5) \cdot 100\% = 40 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_{a1} = (K_{np1} \cdot H_a) / 100\%, \quad (5.6)$$

де  $C_{a1}$  – амортизація основних фондів (річна),  $K_{np1}$  – первинна вартість обладнання, яка дорівнює капітальним витратам (35000грн).

Таким чином сума амортизації до впровадження системи керування становить:

$$C_{a1} = (35000 \cdot 40 \%) / 100\% = 14000 \text{ грн.}$$

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника з впровадженням нової системи керування залишається не змінним і складає:

$$T_{ном.рік} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840(\text{годин}).$$

Для керування технологічним процесом до впровадження системи керування автоматизованим складом задіяний 1 оператор процесу та 1 спеціаліст з електроустаткування.

Річний фонд заробітної плати виробничих робітників дорівнює:

$$C_z = 139\,931 \text{ (грн.)}$$

Відрахування на соціальні заходи складають:

$$C_c = 0,22 \cdot 139\,931 = 30\,784.82(\text{грн}).$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат до впровадження системи керування автоматизованим складом:

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot K_{ПП1}, \quad (5.7)$$

та складають:

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot 60000 = 3000(\text{грн}).$$

Вартість електроенергії, споживаної до розробки системи керування автоматизованим складом визначається як:

$$C_{ee1} = K_{e1} \cdot K_{dp} \cdot ds \cdot T, \quad (5.8)$$

де  $K_{e1}$  – кількість електроенергії, спожитої до системи керування автоматизованим складом (1 кВт·год),  $K_{dp}$  – кількість робочих днів у році (365 день),  $ds$  – тривалість зміни (24 годин),  $T$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ).

Таким чином витрати на електроенергію до розробки системи керування складають:

$$C_{ee1} = 1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 1.68 = 14\,716.8 \text{ грн.}$$

Інші витрати з експлуатації до розробки системи керування автоматизованим складом включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу, та складають:

$$C_{ини} = 0,04 \cdot 139\,931 = 5\,597.24 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати до впровадження системи керування наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Вартість експлуатаційних витрат до впровадження системи керування.

№	Назва показника	Експлуатаційний варіант
1	Амортизація, грн	14 000
2	Фонд заробітної плати, грн	139 931
3	Відрахування на соціальні виплати, грн	30 784.82
4	Ремонт та обслуговування, грн	1750
5	Електроенергія, грн	14 716.8
6	Інші витрати, грн	5 597.24
	Усього	206 779.86

### 5.3.2 Експлуатаційні витрати після впровадження

Обладнання, яке використовується у даному проекті належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Термін експлуатації такого обладнання складає 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації буде визначатися за формулою:



$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.9)$$

де  $H_a$  — норма амортизації,  $T$  — термін корисного використання обладнання.

Для даної системи норма амортизації складає:

$$H_a = (2/5) \cdot 100\% = 40 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_a = (ПВ \cdot H_a)/100\%, \quad (5.10)$$

де  $C_a$  — амортизація основних фондів,  $ПВ$  — первинна вартість, що дорівнює капітальним витратам.

Для даної системи сума амортизації становитиме:

$$C_a = \frac{28613.82 \cdot 40 \%}{100} \% = 11445.53 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \cdot T_{\text{зм}}, \text{ ГОДИН} \quad (5.11)$$

де,  $T_k$  — календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{\text{вих.св}}$  — вихідні дні та свята, 114 днів;

$T_{\text{відп}}$  — відпустка, 21 день;

$T_{\text{зм}}$  — тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840 \text{ годин}$$

У керуванні процесом задіяні дві персони: оператор та спеціаліст з устаткування.

Розрахунок заробітної плати персоналу наведено у таблиці 5.2

Таблиця 5.2 — Розрахунок заробітної плати персонал

№	Найменування професії	Число працюючих, чол		Годинна тарифна ставка, грн/год	Номінальний річний фонд робочого часу, год	Пряма заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата (10%), грн	Доплати (7%), грн	Загальна заробітна плата, грн
		яв.	сп.						
1	Оператор	1		30	1840	55200	5520	3864	64584
2	Спеціаліст з устаткування	1		35	1840	64400	6440	4508	75347
	Усього								139931

Розрахунок єдиного соціального внеску

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0.22 \times C_3 \quad (5.12)$$

$$C_c = 0.22 \times 139\,931 = 30\,784.82 \text{ грн}$$

Розрахунок річних витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування.

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат. Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання розраховуються за формулою (5.9).

$$C_{p.o.} = 0,05 \times K_{ПР}, \quad (5.13)$$

$$C_{p.o.} = 0.05 \times 28\,613.82 = 1430.69 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт складають 1430.69 грн.

Розрахунок вартості електроенергії

Система працює неперервно упродовж року

Вартість електроенергії, споживаної системою керування визначається як:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{др} \cdot ds \cdot T, \quad (5.14)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожитої системою керування за годину (0,1 кВт·год),  $K_{др}$  – кількість робочих днів у році (365 день),  $ds$  – тривалість зміни (24 годин),  $T$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ).

Для контролера компанії ОВЕН споживна потужність становить 0.75кВт, таким чином витрати на електроенергію складатимуть:

$$C_{ee} = 0.75 \times 365 \times 24 \times 1.68 = 11\,037.6 \text{ грн}$$

Визначення інших витрат

Інші витрати з експлуатації системи включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \times C_з, \quad (5.15)$$

$$C_{\text{інш}} = 0,04 \times 139\,931 = 5\,597.24 \text{ (грн.)}$$

Експлуатаційні витрати за рік наведені у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 — Вартість експлуатаційних витрат за рік

№	Назва показника	Проектний варіант витрат
1	Амортизація, грн	11445.53
2	Фонд заробітної плати, грн	139931
3	Відрахування соціальних виплат, грн	30 784.82
4	Ремонт і обслуговування, грн	1430.69
5	Електроенергія	11 037.6
6	Інші витрати	5 597.24
	Разом	200 226.88

#### 5.4 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування

Річна економія від впровадження системи керування автоматичним складом розраховується за формулою:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_\Pi + \mathcal{E}_K, \quad (5.16)$$

де  $\mathcal{E}_\Pi$  – підсумкова економія на електроенергії (грн),  $\mathcal{E}_K$  – підсумкова економія на заробітній платі (грн).

Економія пов'язана з зниженням витрат електроенергії у системі керування визначається за формулою (5.16).

$$\Delta W = C_{e1} - C_e, \quad (5.17)$$

де  $\Delta W$  – річна економія електроенергії в результаті впровадження об'єкту керування (кВт · годин);

$C_{e1}$  – витрати до впровадження системи

$C_e$  – витрати після впровадження системи

$$\Delta W = 14\,716.8 - 11\,037.6 = 3679.2 \text{ грн}$$

Економія на заробітній платі пов'язана зі зниженням втрат заробітної плати від проведення понаднормових робіт у зв'язку з специфікою роботи (час простою має бути відшкодований у вигляді понаднормових робіт з підвищеною оплатою):

$$\mathcal{E}_k = C_z \times \Delta t_{\text{про}} / T_r \times \beta_{\text{cy}} , \quad (5.18)$$

де  $C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$\Delta t_{\text{про}}$  – різниця часу простою до та після впровадження;

$T_r$  – понаднормовий час робіт;

$\beta_{\text{cy}}$  – коефіцієнт, що враховує підвищення оплати за понаднормовий час ( $\beta_{\text{cy}} = 1,625$ ).

$$\mathcal{E}_k = 139\,931 \times \frac{1200}{1500 \times 1.625} = 68\,889.11 \text{ грн}$$

Річна економія від впровадження системи керування автоматичним складом розраховується за формулою:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_\Pi + \mathcal{E}_k , \quad (5.19)$$

де  $\mathcal{E}_\Pi$  – підсумкова економія на електроенергії (грн),  $\mathcal{E}_k$  – підсумкова економія на заробітній платі (грн).

$$\mathcal{E}_r = 68889.11 + 3679.2 = 72568.31 \text{ грн}$$

## 5.5 Оцінка економічної ефективності оптимізації

### 5.5.1 Прибуток від підвищення продуктивності виробництва

Розрахуємо річний прибуток автоматизованого складу, який був розроблений у магістерській роботі. Відбуватися це буде за формулою (5.7):

$$\text{Пріч} = V_{\text{річ}} \times \text{Ц} - \text{Вре}, \quad (5.20)$$

де  $V_{\text{річ}}$  – річний обсяг виробленої продукції або послуг, отриманих завдяки введенню в експлуатацію нової установки або технології;

$\text{Ц}$  – тариф або ринкова ціна одиниці продукції.

Завдяки розробленій моделі складу вдалося підвищити ефективність складу на 5% порівняно з минулою системою. Виходячи з цього розрахуємо  $V_{\text{річ}}$ . До впровадження склад транспортував 6000 одиниць товару по складу. Завдяки впровадженню вдалося збільшити об'єм товару до 6300 одиниць. Виходячи з цього  $V_{\text{річ}} = 6300 \text{ одиниць} \times 250 \text{ днів} = 1575000$ . Вартість транспортування однієї одиниці 5 грн

$$\text{П}_{21} = 1575000 \times 4 - 206779 = 6093221 \text{ грн.}$$

$$\text{П}_{20} = 1500000 \times 4 - 210759 = 5789241 \text{ грн.}$$

Із загальної величини прибутку виділимо ту частину, зміна якої зумовлена впровадженням оптимізації:

$$\Delta \text{Пт} = \text{П}_{21} - \text{П}_{20} \quad (5.21)$$

$$\Delta \text{Пт} = 6093221 - 5789241 = 303980$$

де  $\Delta \text{Пт}$  – зміна прибутку, зумовлена впровадженням оптимізації;

$P_{21}$ ,  $P_{20}$  – показники прибутку в 2020-2021 роках з реалізацією та без реалізації оптимізації.

### 5.5.2 Рентабельність оптимізаційних заходів

Рентабельність  $R_i$  реалізації проекту розрахуємо за формулою простої норми прибутку:

$$R_i = \Delta Pt \times 100\% \div \Delta K \quad (5.24)$$

де  $\Delta K$  – капітальні вкладення на впровадження енергоощадних заходів, грн.

$$R_i = 303980 \div 206779 * 100\% = 147\%$$

Завдяки запропонованій системі керування та проведеним заходам з автоматизації показник рентабельності склав 147%.

### 5.5.3 Приведені витрати В

Розрахуємо приведені витрати В, що є сумою річних витрат (собівартості) та нормативного доходу від оптимізації технологічного процесу.

$$B = E_n \times K + B_{pe} \quad (5.22)$$

де  $K$  – капітальні вкладення;

$B_{pe}$  – поточні щорічні витрати (включаючи амортизаційні відрахування);

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності,  $E_n = 0,12$ .

$$B = 0,12 \times 206779 + 200226 = 255039 \text{ грн.}$$

### 5.5.4 Період повернення капіталу (термін окупності) T

Розрахуємо період окупності витрат T для приблизної оцінки терміну повернення капіталу.

$$T = K \div \Delta\Pi \quad (5.23)$$

$$T = 206779 \div 303980 = 0.68 \text{ рока} \approx 7 \text{ місяців}$$

Таким чином, були розраховані найважливіші критерії ефективності оптимізації процесу товарів, які надходять до автоматизованого складу. Отримані значення занесено до таблиці 5.5:

Таблиця 5.4 - Очікувані економічні показники від оптимізації

№	Перелік показників	Значення
1	Капітальні вкладення, грн	206779
2	Річні експлуатаційні витрати, грн	246163
3	Техніко-економічні показники	
3.1	Додаткова продукція на рік, шт.	300
3.2	Прибуток на одиницю продукції, грн	4
3.3	Додатковий прибуток, грн	303980
3.4	Рентабельність заходу, %	147
3.5	Приведені витрати, грн	255039
3.6	Термін окупності, років	0.7

### 5.6 Висновки по розділу

У розділі розраховано основні показники ефективності проекту з оптимізації транспортування готової продукції по складу.

Було отримано відсоток рентабельності проекту  $R=147\%$  що є високим показником для даної системи керування

Такий рівень рентабельності пов'язаний з тим, що реалізація прискорення транспортування зв'язаний з тим, що при підході до транспортування були використанні тахограми розгону-гальмування, що у свою чергу дозволили прискорити транспортування одиниці товару.



## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів процесу

У даній роботі розглядається автоматизація процесу завантаження и розвантаження автоматизованого складу. У якості об'єкта для якого будуть розглядатися шкідливі фактори й заходи щодо охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях будуть ті робочі місця, де розташовується виробниче обладнання, що забезпечує весь технологічний процес, та місце людини яка слідує за технологічним процесом.

Перелік небезпечних та шкідливих факторів наведено у таблиці 6.1

Таблиця 6.1 Характеристика шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Назва фактору	Джерела небезпечних факторів	Наслідки	Характеристика
Рухомі частини обладнання	Рейки, якими рухається візок	Травми	-
Рухомі механізми	Навантажений візок	Травми	-
Підвищений рівень шуму	Тертя колес візка об рейки	Погіршення слуху	70-80ДБ
Підвищена напруга	Двигун постійного струму	Електричні опіки або смерть	380В
Підвищена запиленість	Місця перевантаження	Захворювання легень	ПДК — 2мг/м <sup>3</sup>
Фізична і моральна втома	Робоче місце оператора	Емоційне вигорання, перевтома.	-

## Продовження таблиці 6.1

Сидячий тип роботи	Робоче місце оператор	Проблеми та порушення опорно-рухового апарату	-
--------------------	-----------------------	---	---

## 6.2 Інженерно-технічні засоби з охорони праці

### 6.2.1 Електробезпека

Для нормальної роботи усього персоналу та обладнання передбачені наступні заходи захисту від ураження струмом.

- До роботи мають бути допущені особи які пройшли навчання і мають відповідний документ про це.
- Для безпеки при роботі з струмом всі провідні елементи мають бути надійно заземленні на випадок порушення ізоляції.
- Працюючий персонал (в тому числі і ремонтний) повинен мати під час роботи засоби індивідуального захисту ( чоботи, рукавички гумові та килимки з непровідників струму).
- Для особливо небезпечних зон складу (вологих або з великою кількістю металу) має використовуватися переносне освітлення з напругою не більше 12В.
- Категорично забороняється проводити ремонт елементів без попереднього відключення напруги.
- Для кожного цеху має бути складена схема електропостачання.
- Безпечне розташування струмоведучих частин від джерел струму (повітряні ЛЕП, кабелі під землею, в трубах).

### 6.2.2 Заходи щодо боротьби з вібрацією

Для зменшення вібрацій слід дотримуватися простих правил: збірка деталей має відбуватися надійно для уникнення проміжку між ними, зміна

мастила не рiже нiж 2 рази на рiк, своєчасний ремонт зламаного або пошкодженого обладнання, по можливостi використання покриттiв якi зменшують вiбрацiю мiж деталями, рейки, якими рухається вiзок мають бути надiйно закрiпленi, та мiстити вiброiзолюючi крiплення на стиках.

### **6.2.3 Заходи для комфортної роботи оператора**

Для зручної роботи оператора за пультом керування необхідно ввести деякi правила пiд час його роботи: пiд час роботи забезпечити зручне робоче мiсце (офiсне крiсло, справний монiтор та iншi аксесуари до комп'ютера); робочий графiк згiдно стандартiв (мiж змiнами має бути не менше нiж 12 годин); по можливостi забезпечити спiвробiтникiв пульта керування окулярами для комп'ютерiв, якi зменшують шкiдливий вплив на зiр.

### **6.3 Розрахункова частина**

У даному пунктi буде розглянуто розрахунок освiтлення для дiлянки складу. Оскiльки даний склад має високу ступiнь автоматизацiї i вся iнформацiя чiтко вiдображається на людино-машинному iнтерфейсi, то стосовно освiтлення цiєї дiлянки розрахунок не потребує. Єдине мiсце де знаходиться людина, це кiмната керування, де буде розраховане освiтлення. Кiмната має площу 38м<sup>2</sup>, для зручної роботи необхідно щоб освiтлення у робочiй дiлянцi було не менше нiж 350 люкс. Для зручностi моделювання буде виконуватися в програмi DIALux. Для освiтлення даного примiщення буде обрано лампу потужностю 30Вт и широким кутом освiтлення (11520W-830H-030-075). Технiчнi характеристики наведенi в таблицi 6.2.

Таблиця 6.2 Технiчнi характеристики обраної лампи.

Назва параметру	Значення
Свiтловий потiк вiд свiтильника	1811 лм
Коефiцiєнт корисної дiї	74.8 %
Потужнiсть	30 Вт
Свiтловiддача	60.6 лм/Вт

Дана програма може розставити світильники автоматично. Результат такої розстановки зображено на рисунку 6.1.

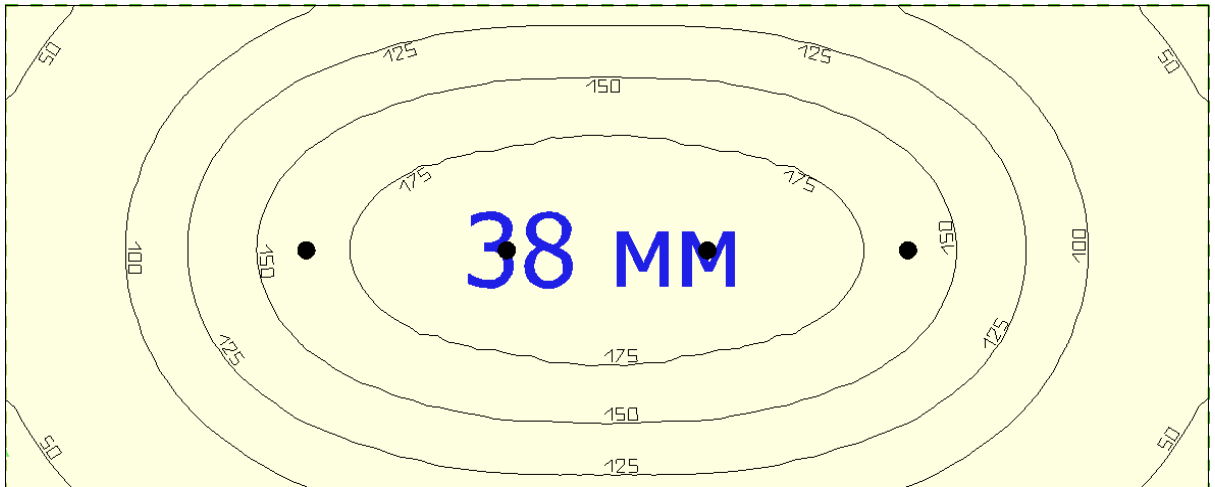


Рисунок 6.1 Освітленість приміщення автоматично.

Як видно з рисунку 6.1 освітленість у робочій зоні складає 150-175 лк, чого було б достатньо для кухні, але не для робочого місця, тому спробуємо розташувати світильники самостійно. Результат буде на рисунку 6.2

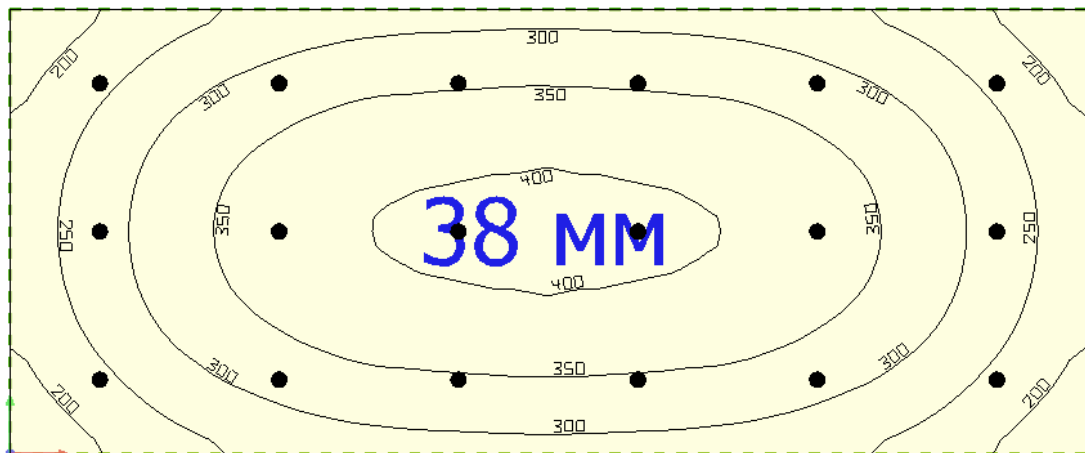


Рисунок 6.2 Освітленість при ручному розташуванні світильників.

Після того як кількість світильників була підібрана самостійно, видно, що у робочому просторі освітленість складає 350-400лк, що цілком задовольняє умови стандартів. При цьому використано 18 світильників. Також дана програма дозволяє створити 3D зображення кімнати. Результат моделювання на рис 6.3.

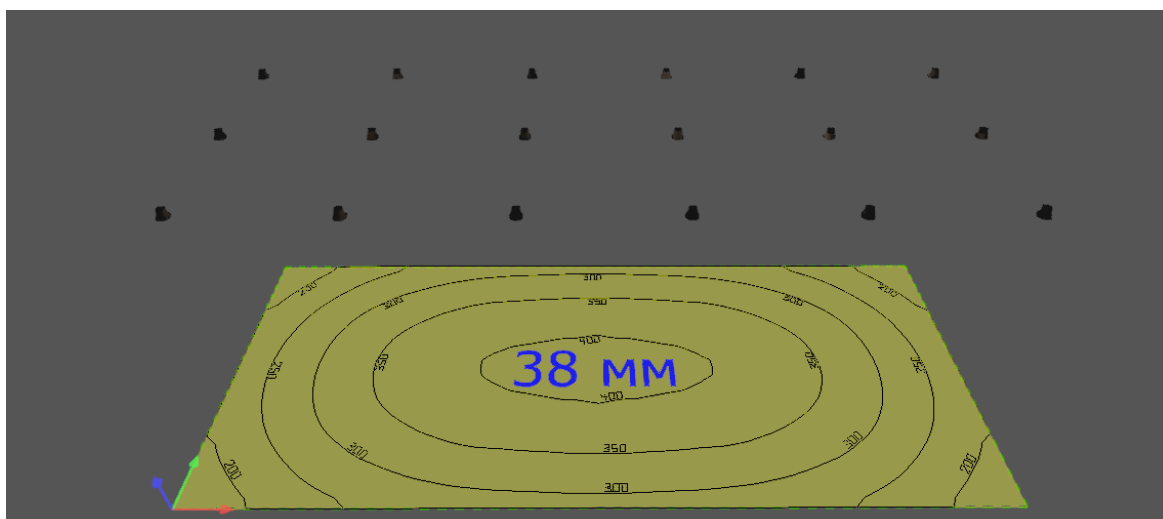


Рисунок 6.3 – Освітленість кімнати при 3D

#### 6.4 Пожежна профілактика

На основі норм пожежної безпеки НПБ-105-03 «Визначення категорій приміщень і будинків по вибухопожежній і пожежній небезпеці» встановлено, до якої категорії вибухопожежної небезпеки належать окремі приміщення виробництва й будинки у цілому. Залежно від категорії будинку й у відповідності зі СНіП 21-01-97 «Пожежна безпека будинків і споруджень» визначений необхідний ступінь вогнестійкості будинку, найбільша припустима площа приміщень і найбільша припустима кількість поверхів. По ПУЕ визначений клас приміщень по вибухонебезпеці й пожежонебезпеці, ці дані занесені у таблицю 5.3

Таблиця 5.3 Характеристика приміщень по вибухопожежній небезпеці

Найменування приміщень	Категорія за НПБ-105-03	Клас за ПУЕ		Ступінь вогнестійкості
		Пожежна небезпека	Вибухо-небезпека	
Приміщення складу для транспортування продукції	Д	-	П-Па	II

На підставі цих даних розроблені запобіжні заходи щодо вибухів, попередженню виникнення й поширення пожеж, засобу їх гасіння, сигналізації й зв'язку, шляхи евакуації людей, питання пожежного водопостачання, спеціальні засоби гасіння електроустаткування, масел і горючих матеріалів. Ці відомості зведено в таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Технічні розв'язки захисту будинку приміщення від пожежі

Обрані засоби пожеарогасіння	Норми оснащення первинними засобами пожеарогасіння	Наявність пожежної сигналізації в приміщеннях	Ширина виходу евакуації		Довжина шляху евакуації	
			нормативна по СНиП м	по проекту, м	максимально допустима по СНиП. м	по проекту.
Первинні засоби: пінні, порошкові вогнегасники, внутрішні пожежні крани	Клас пожежі А площа, що гранично захищається 310м <sup>2</sup> вогнегасники: пінні – 3 по 10л порошкові- 3 по 5л	Автоматичні установки з звуковою та світловими знаками.	0,8	2,5	75	37

## 6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під час технологічного процесу може виникнути ситуація, яка загрожуватиме життю не тільки працівникам, а і людям поза його межами. У таких випадках працівник зобов'язаний дотримуватися деяких правил:

- Сповістити за допомогою кнопки решту співробітників про ЧС в тому числі і пожежну охорону, для їх подальшого реагування.
- Сповістити про ЧС старшого зміни або відповідальну особу на виробництві під час своєї зміни.
- Прийняти заходи (по можливості) для евакуації, усунення наслідків аварії та збереження цінних речей як власних, так і виробничих.

Для моделювання черезвичайної ситуації буде використана програма ALOHA (areal locations of hazardous atmospheres). Під час симуляції використанні середні показники по середовищу України. У якості вибухового матеріалу буде ізооктан (речовина входить до складу бензину, завдяки якому працює двигун). Усі налаштування та результат будуть зображенні на рисунку 5.4.

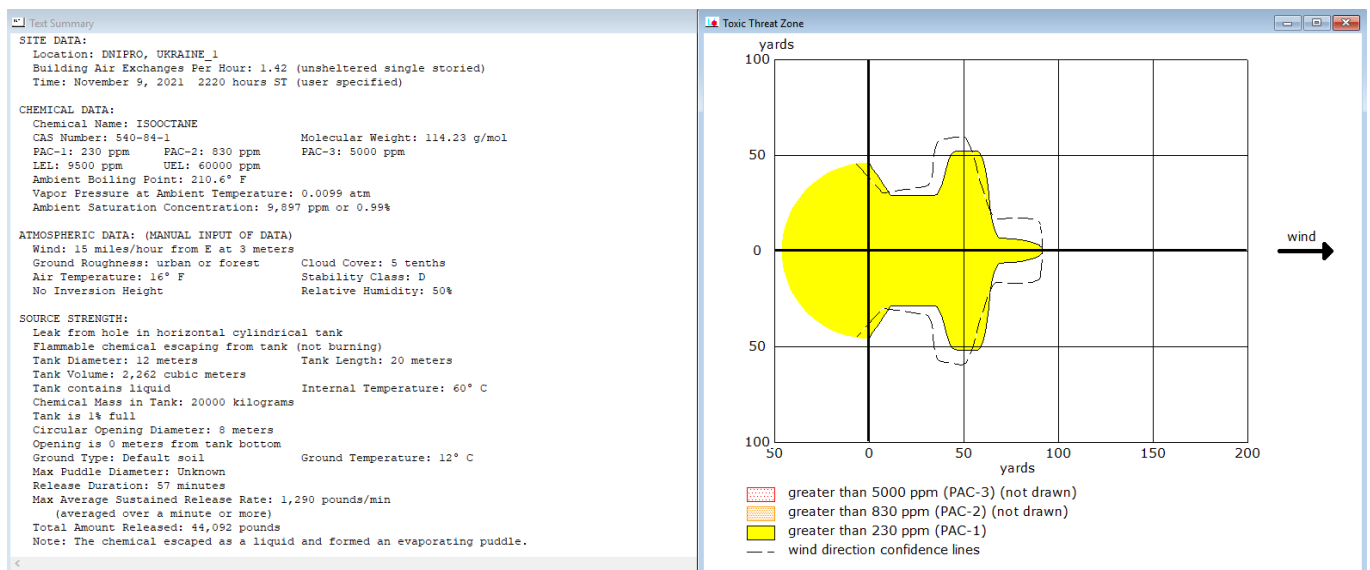


Рисунок 6.4 – Параметри та результати з ураженням зон вибуху.

Як видно з рисунку в вибух має форму кривої з приблизним радіусом ураження 50 ярдів (приблизно 50м), також через наявність східного вітру радіус ураження збільшується.

Отримані результати були нанесенні на карту завдяки програмі Google Earth. Результат загрози на реальній мапі буде зображено на рисунку 6.5



Рисунок 6.5 – Зображення вибуху в Google Earth.

### **6.6 Висновки до розділу**

У даному розділі були виявленні небезпечні чинники, які існують на об'єкті та розробленні заходи для їх усунення. Створені заходи пожежної профілактики та визначений клас приміщення пожежної безпеки згідно стандартів. Окрім цього за допомогою програмного забезпечення ALOHA розроблена та промодельована надзвичайна ситуація (вибух ізоотану) на об'єкті.



## Висновки

1. Мета роботи полягає у підвищенні якості процесу завантаження автоматизованого складу за рахунок вдосконалення автоматичного керування переміщенням мобільної платформи. Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування переміщенням мобільної платформи автоматизованого складу високої щільності. Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування переміщенням мобільної платформи.
2. Після ідентифікації об'єкта була отримана передатня функція з коефіцієнтами:  $K$  – коефіцієнт підсилення,  $T$  – постійна часу. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування переміщенням мобільної платформи є точність відпрацювання нової заданої позиції платформи, а також швидкодія процесу переміщення.
3. Був розрахований PID регулятор та перевірений на правильність відпрацювання згідно встановлених критеріїв.
4. Створена цифрова модель об'єкта керування на базі безперервної моделі, модель регулятора та модель об'єкта керування.
5. За допомогою програмних модулів розроблене програмне забезпечення за допомогою програмованого логічного контролера zenon Logic. У SCADA системі zenon створений людино-машинний інтерфейс для контролю технологічного процесу та відображення усіх подій і тривог під час роботи системи.
6. Розрахована економічна ефективність впровадження даної системи та визначенні небезпечні чинники виробництва та заходи які допоможуть їх усунути.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко О.О. Магистерская дипломная работа, экспериментальный раздел, разработка системы управления.
2. <https://easyfizika.ru/zadachi/dinamika/na-gladkoj-poverhnosti-lezhit-doska-massoj-5-kg-na-nej-nahoditsya-telo-massoj-3-kg/>, схема вантажу.
3. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с
4. Дипломне проектування. Методичні рекомендації для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Упоряд.: В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, Л.І. Цвіркун, С.М. Проценко, О.О. Бойко, Д.В. Славінський.– Дніпро : НГУ, 2017. – 29 с.
5. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. – 345 с.
6. О.П. Чукурна, В.С. Ніценко, М.В. Михайлова, Р.Д. Одиноків  
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ В  
КОНТЕКСТІ ТЕХНОЛОГІЙ «ІНДУСТРІЇ 4.0»
7. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ Кафедра «Епідеміо-  
транспортного та робототехнічного обладнання» НАВЧАЛЬНИЙ  
ПОСІБНИК з дисципліни "Машини і обладнання складів і логістика".
8. Теорія автоматичного керування: Підручник / С.Е.Душин, Н.С.Зотов,  
Д.Х. Імаев и др.; під ред. В.Б.Яковлева. М.: Вища школа, 2005. – 567 с.
9. М.С Пушкарь, С. М Проценко Проектування систем автоматизації.
10. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу  
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» /  
Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки

- України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018.  
– 23 с
11. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Л. Г. Мельника. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2012. – 864 с.
12. Голінько В.І. Основи охорони праці. - Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 265 с.
13. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 576 с
14. Півняк Г.Г., Тадеушевич Р.Ю., Ткачов В.В., Шаруда В.Г. Комп'ютерне моделювання та розрахунок перехідних процесів в автоматичних системах. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 338 с.
15. А.П. Беспалько, Г.Р. Валиулин, А.П. Кривопляс, В.М. Любимов «Коеффициенты трения скольжения для тарно-штучных грузов пищевых производств».

## Додаток А - Програмні модулі системи керування

### А.1 Модуль об'єкта керування

(\*

\*

\* File: discrete\_model\_SAK\_2.exp

\*

\* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem  
"discrete\_model\_SAK\_2/Об'єкт керування"

\*

\* Model name : discrete\_model\_SAK\_2

\* Model version : 1.16

\* Model creator : Home

\* Model last modified by : Home

\* Model last modified on : Sun Dec 05 10:08:53 2021

\* Model sample time : 0s

\* Subsystem name : discrete\_model\_SAK\_2/Об'єкт керування

\* Subsystem sample time : 0.1s

\* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013

\* ST code generated on : Sun Dec 05 10:49:52 2021

\*

\* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3

\* Test Bench included : No

\*

\*)

FUNCTION\_BLOCK sfun\_target

VAR\_INPUT

ssMethodType: SINT;

bi\_control: LREAL;

```

END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_speed: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
        *)
        DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/bo_speed' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
        bo_speed := 0.181269246922018 * DiscreteTransferFcn1_states;

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' incorporates:
        * Update for Inport: '<Root>/bi_control' *)
        DiscreteTransferFcn1_states := bi_control - (-0.818730753077982 *
        DiscreteTransferFcn1_states);
    END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT

```

```
SS_INITIALIZE: SINT := 0;
SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

## A.2 Модуль регулятора

```
(*
*
* File: discrete_model_SAK_2.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"discrete_model_SAK_2/Регулятор"
*
* Model name           : discrete_model_SAK_2
* Model version        : 1.16
* Model creator        : Home
* Model last modified by : Home
* Model last modified on : Sun Dec 05 10:08:53 2021
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : discrete_model_SAK_2/Регулятор
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Sun Dec 05 10:41:37 2021
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included   : No
*
*)
```

```

FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_control: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Sum1: LREAL;
    rtb_RelationalOperator2: BOOL;
    rtb_Product4: UINT;
    temp1: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
        * Gain: '<S1>/Gain2'
        * Inport: '<Root>/bi_error' *)

```

```

rtb_Sum1 := (0.178101552647807 * bi_error) + (0.1 *
DiscreteTransferFcn_states);

```

```

(* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2' incorporates:

```

```

* Constant: '<S1>/Constant6' *)

```

```

rtb_RelationalOperator2 := rtb_Sum1 <= 100.0;

```

```

(* Product: '<S1>/Product4' incorporates:

```

```

* Constant: '<S1>/Constant7'

```

```

* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3' *)

```

```

IF rtb_RelationalOperator2 THEN

```

```

    temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_Sum1 >= 0.0);

```

```

ELSE

```

```

    temp1 := 0;

```

```

END_IF;

```

```

rtb_Product4 := DINT_TO_UINT(temp1);

```

```

(* Output: '<Root>/bo_control' incorporates:

```

```

* Constant: '<S1>/Constant5'

```

```

* Constant: '<S1>/Constant6'

```

```

* Product: '<S1>/Product7'

```

```

* Product: '<S1>/Product8'

```

```

* Sum: '<S1>/Sum10'

```

```

* Sum: '<S1>/Sum8' *)

```

```

bo_control := ((1.0 - BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator2)) * 100.0) +
(UINT_TO_LREAL(rtb_Product4) * rtb_Sum1);

```



(\* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' incorporates:

\* Gain: '<S1>/Gain3'

\* Inport: '<Root>/bi\_error'

\* Product: '<S1>/Product6' \*)

DiscreteTransferFcn\_states := ((0.356203105295614 \* bi\_error) \*  
UINT\_TO\_LREAL(rtb\_Product4)) - (-DiscreteTransferFcn\_states);

END\_CASE;

END\_FUNCTION\_BLOCK

VAR\_GLOBAL CONSTANT

SS\_INITIALIZE: SINT := 0;

SS\_STEP: SINT := 1;

END\_VAR

VAR\_GLOBAL

END\_VAR

## Додаток Б - Програмне забезпечення системи керування

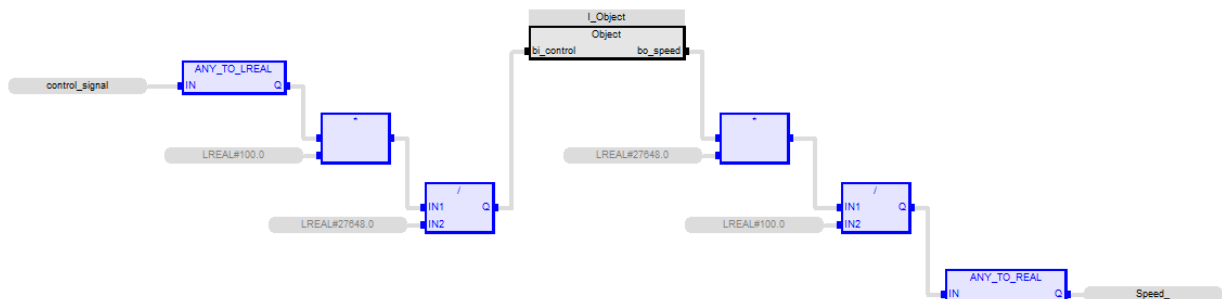
### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

#### Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

#### Б.1.2 Основна програма



#### Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(\* Output: '<Root>/bo\_speed' incorporates:

\* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' \*)

bo\_speed := LREAL#0.181269246922018 \*

DiscreteTransferFcn1\_states;

(\* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'  
incorporates:

\* Update for Inport: '<Root>/bi\_control' \*)

DiscreteTransferFcn1\_states := bi\_control - (LREAL#-  
0.818730753077982 \* DiscreteTransferFcn1\_states);

#### Б.1.4 Перелік змінних

VAR\_INPUT

bi\_control : LREAL := LREAL#0 ;

END\_VAR

```
VAR_OUTPUT
```

```
bo_speed : LREAL := LREAL#0 ;
```

```
END_VAR
```

```
VAR
```

```
DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

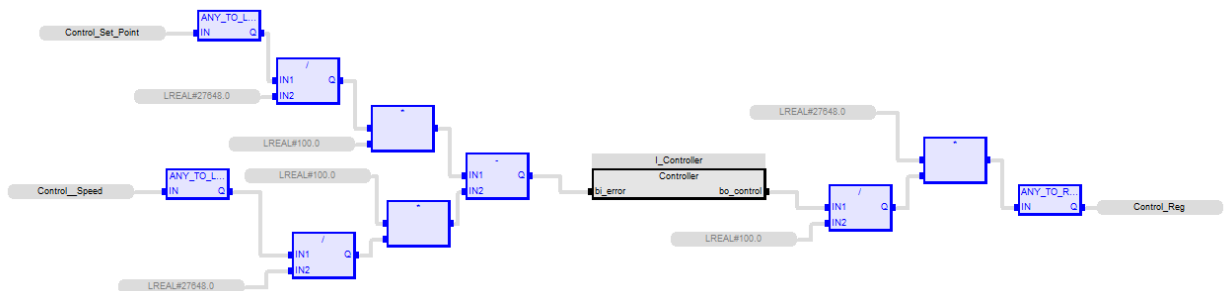
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

(\* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:

\* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'

\* Gain: '<S1>/Gain2'

\* Inport: '<Root>/bi\_error' \*)

```
rtb_Sum1 := (LREAL#0.178101552647807 * bi_error) + (LREAL#0.1 *
DiscreteTransferFcn_states);
```

(\* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2' incorporates:

\* Constant: '<S1>/Constant6' \*)

rtb\_RelationalOperator2 := rtb\_Sum1 <= 100.0;

(\* Product: '<S1>/Product4' incorporates:

\* Constant: '<S1>/Constant7'

\* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3' \*)

IF rtb\_RelationalOperator2 THEN

temp1 := BOOL\_TO\_DINT(rtb\_Sum1 >= 0.0);

ELSE

temp1 := 0;

END\_IF;

rtb\_Product4 := DINT\_TO\_UINT(temp1);

(\* Outport: '<Root>/bo\_control' incorporates:

\* Constant: '<S1>/Constant5'

\* Constant: '<S1>/Constant6'

\* Product: '<S1>/Product7'

\* Product: '<S1>/Product8'

\* Sum: '<S1>/Sum10'

\* Sum: '<S1>/Sum8' \*)

bo\_control := ((LREAL#1.0 -  
 BOOL\_TO\_LREAL(rtb\_RelationalOperator2)) \* LREAL#100.0) +  
 (UINT\_TO\_LREAL(rtb\_Product4) \* rtb\_Sum1);

(\* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'  
 incorporates:

\* Gain: '<S1>/Gain3'

\* Inport: '<Root>/bi\_error'

\* Product: '<S1>/Product6' \*)

DiscreteTransferFcn\_states := ((LREAL#0.356203105295614 \*  
bi\_error) \* UINT\_TO\_LREAL(rtb\_Product4)) - (-DiscreteTransferFcn\_states);

#### **Б.2.4 Перелік змінних**

VAR\_INPUT

bi\_error : LREAL := LREAL#0 ;

END\_VAR

VAR\_OUTPUT

bo\_control : LREAL := LREAL#0 ;

END\_VAR

VAR

DiscreteTransferFcn\_states : LREAL ;

rtb\_Sum1 : LREAL ;

rtb\_RelationalOperator2 : BOOL ;

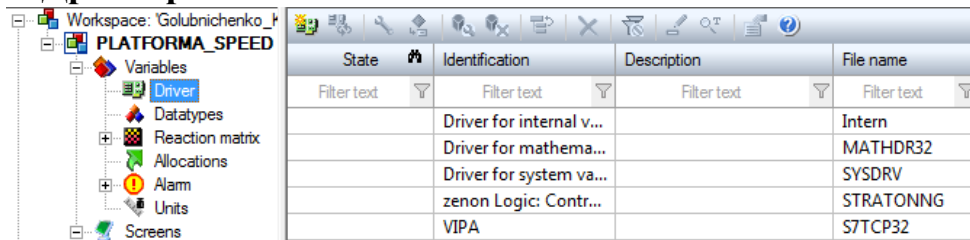
rtb\_Product4 : UINT ;

temp1 : DINT ;

END\_VAR

## Додаток В - Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

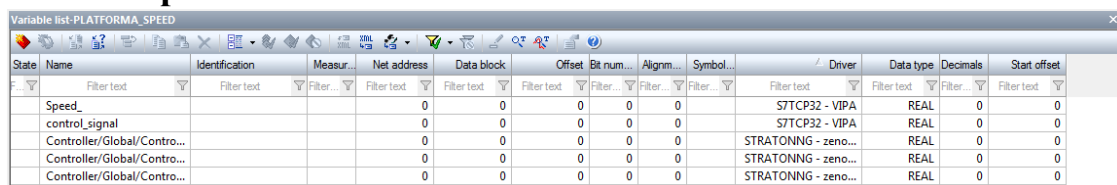
### В.1 Драйвера



Workspace: Golubnichenko\_1  
PLATFORMA\_SPEED

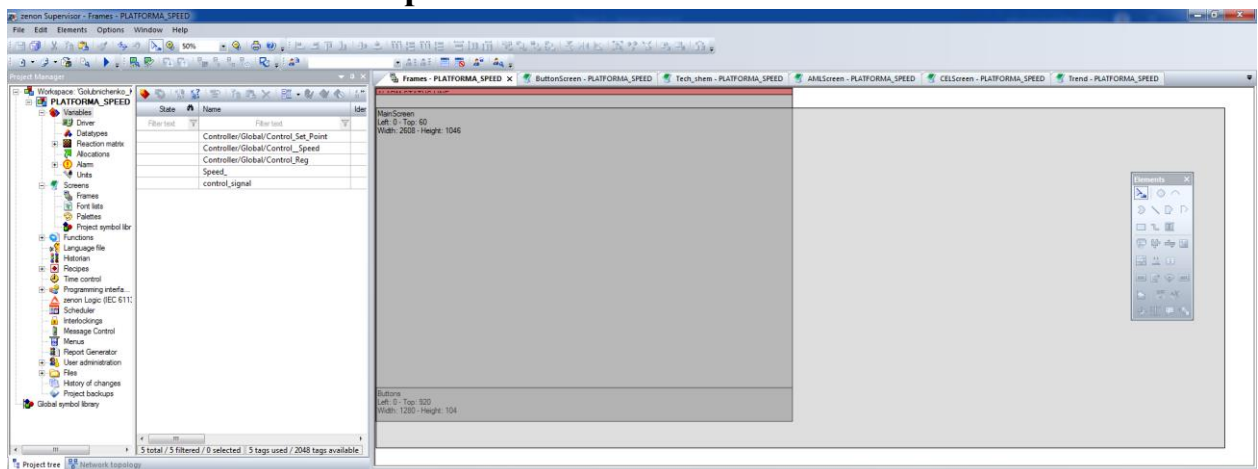
State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

### В.2 Перелік змінних

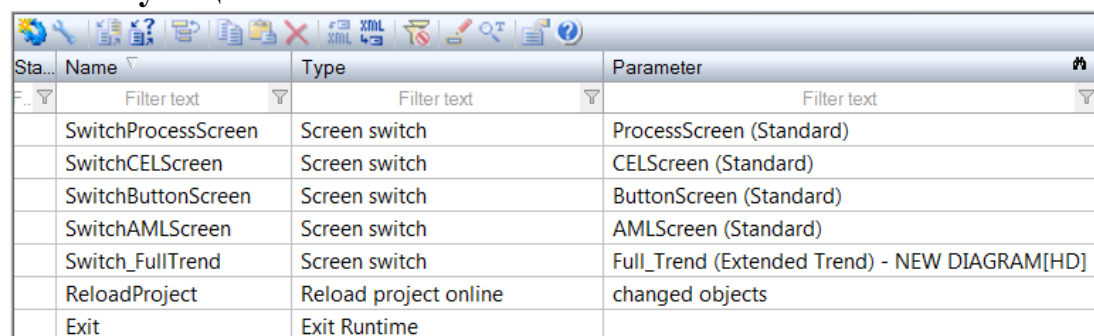


State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text
	Speed			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	control_signal			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Controller/Global/Contro...			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	0	0
	Controller/Global/Contro...			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	0	0
	Controller/Global/Contro...			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	0	0

### В.3 Шаблони зображень



### В.4 Функції



Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	SwitchProcessScreen	Screen switch	ProcessScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Standard)
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Standard)
	Switch_FullTrend	Screen switch	Full_Trend (Extended Trend) - NEW DIAGRAM[HD]
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	Exit	Exit Runtime	

## В.5 Зображення

Workspace: Golubnichenko... PLATFORMA\_SPEED

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#7FFFD4	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#C0FFFF	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#FFAD5B	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#00FF00	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#00FF00	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#7FFFD4	SwitchButtonS...	< no function l...

