

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи
відкривання воріт»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18мз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма – Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод

Постернак Володимир Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. Мошноріз М. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф. Кутін В. М.

“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Постернаку Володимирі Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт

керівник роботи Мошнорізі Миколі Миколайовичу, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року № ___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: довжина воріт – 6 м; висота воріт – 1,5 м; маса воріт – 500 кг; час відкривання воріт – до 10 с; час розгону привода – до 2 с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд літературних джерел за темою дослідження. Розрахунок та вибір елементів об'єкта дослідження. Лабораторний стенд для дослідження процесу автоматизації воріт. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Класифікація та принцип роботи воріт та їх автоматики. Спрощений алгоритм роботи автоматики розпашних воріт. Об'єкт, предмет дослідження. Постановка завдань дослідження. Загальні відомості про об'єкт дослідження. Техніко-економічне обґрунтування вибору автоматики розпашних воріт. Схема електрична структурна електропривода розпашних воріт. Механічні характеристики двигунів. Схема електрична функціональна електропривода розпашних воріт. Дослідження замкненої системи електропривода. Схема електрична принципова електропривода розпашних воріт. Розрахунок економічного ефекту від впровадження нових способів керування. Зовнішній вигляд лабораторного стенда. Схема електрична принципова лабораторного стенда. Програма роботи лабораторного стенда. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доцент, Мошноріз М.М.		
Економічна частина	к. е. н., доцент, Мельничук Л. М.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
	Захист МКР		

Студент

(підпис)

В. А. Постернак

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

М. М. Мошноріз

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Постернак В. А. «Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 162 с. Бібліогр.: 23. Іл.: 40. Табл.: 15.

В магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено документацію на електропривод двостулкових розпашоних воріт довжиною 6 м та лабораторний стенд для дослідження процесів автоматизації відкривання та закривання воріт. У якості електропривода обрано систему ПЧ-АД з двома двигунами. Систему керування побудовано зі звороним зв'язком за положенням стулки воріт. Розраховано характеристики двигуна, регулятори системи керування, обрано основні елементи електропривода. Виконано комп'ютерне моделювання електропривода в різних режимах роботи і розроблено електричну схему системи автоматизації процесу відкривання воріт.

Ключові слова: електропривод, розпашні ворота, перетворювач частоти, положення механізму, Arduino.

АНОТАЦИЯ

Постернак В. А. «Лабораторный стенд для изучения процесса автоматизации системы открывания ворот». Магистерская квалификационная работа. – Винница: ВНТУ, 2020. – 162 с. Библиогр.: 23. Рис.: 40. Табл.: 15.

В магистерской квалификационной работе был разработан документацию на электропривод двустворчатых распашных ворот длиной 6 м и лабораторный стенд для исследования процессов автоматизации открывания и закрывания ворот. В качестве электропривода выбрана система ПЧ-АД с двумя двигателями. Система управления построена по звоним связью по положению створки ворот. Рассчитаны характеристики двигателя, регуляторы системы управления, избран основные элементы электропривода. Выполнено компьютерное моделирование электропривода в различных режимах работы и разработаны электрическую схему системы автоматизации процесса открывания ворот.

Ключевые слова: электропривод, распашные ворота, преобразователь частоты, положения механизма, Arduino.

THE SUMMARY

Posternak V. "Laboratory stand for the Study of the automation of the gate opening system". Master's qualification work. – Vinnytsia: VNTU, 2020. – 162 p. Bibliogr.: 23. Il.: 40. Table: 15.

In the master's qualification work, documentation for the electric drive of a double-leaf swing gate with a length of 6 m and a laboratory stand for the study of automation processes of opening and closing the gate were developed. As an electric drive addressing the inverter system with two motors. The control system was built with feedback on the position of the gate leaf. The characteristics of the engine, regulators of the control system are calculated, addressing the main elements of the electric drive. I will perform computer modeling of the electric drive in different operating modes and the electric scheme of the automation system of the Gate Opening process has been developed.

Key words: electric drive, swing gate, frequency converter, mechanism position, Arduino.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Загальні відомості про ворота та їх електропривод	10
1.2 Конструкція та особливості роботи розпашних воріт.....	13
1.3 Принципи побудови системи автоматики воріт	21
2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1 Розрахунок потужності розпашних воріт.....	31
2.2 Техніко-економічне обґрунтування автоматики розпашних воріт	35
2.2.1 Вибір автоматики	35
2.2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору електропривода воріт	38
2.3 Вибір приводного електродвигуна та його перевірка	42
2.4 Розрахунок та вибір силової частини електропривода та вибір її елементів.....	47
2.4.1 Розробка структурної схеми електропривода	47
2.4.2 Розрахунок і вибір автоматичного вимикача.....	48
2.4.3 Розрахунок і вибір перетворювача частоти.	49
2.4.4 Розрахунок і вибір транзисторів та діодів перетворювача.	51
2.5 Розрахунок параметрів об'єкта керування	53
2.6 Розрахунок та побудова характеристик розімкненої системи електропривода.....	56
2.7 Розрахунок системи керування.....	62
2.7.1 Розробка функціональної схеми електропривода	62
2.7.2 Розрахунок регуляторів системи керування електроприводом.....	64
2.8 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода шляхом комп'ютерного моделювання.....	66

2.9 Розробка схеми електричної принципової системи електропривода.....	80
3 ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВОРІТ	83
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	89
4.1 Визначення капітальних вкладень	90
4.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати	91
4.2.1 Визначення чисельності персоналу	91
4.2.2 Розрахунок заробітної плати.....	92
4.3 Розрахунок експлуатаційних затрат.....	94
4.4 Розрахунок економічної ефективності	99
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	100
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	100
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	102
5.2.1 Мікроклімат.....	102
5.2.2 Склад повітря робочої зони.	103
5.2.3 Виробниче освітлення.	104
5.2.4 Виробничий шум.....	106
5.2.5 Виробнича вібрація.....	107
5.2.6 Психофізіологічні фактори.	109
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.	110
5.3.1 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	111
5.3.2 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	112

5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах надзвичайних ситуацій.	115
ВИСНОВКИ.....	117
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	119
Додаток А. Технічне завдання.....	122
Додаток Б. Розрахунок регуляторів системи керування.....	126
Додаток В. Програма роботи контролера лабораторного стенда.....	129
Додаток Г. Ілюстративні матеріали.....	146

ВСТУП

Автоматичні пристрої та вузли все тісніше і більше застосовуються в побуті та в повсякденному житті людей. Їх завданням є забезпечення комфортного відпочинку, зведення до мінімуму ручної праці людей в побуті, що призводить до збільшення вільного часу. Багато механізмів та пристроїв, сконструйованих та виготовлених для потреб промисловості модернізуються для використання в побуті. В значній мірі це стосується виконавчих пристроїв систем автоматики.

При виконанні автоматичних систем та пристроїв для використання у побуті та для потреб населення в якості виконавчого механізму найчастіше використовується електропривод.

Автоматизація звільняє людину від необхідності безпосереднього керування механізмами. В автоматизованому процесі виробництва роль людини зводиться до налагодження, регулювання, обслуговування засобів автоматизації і спостереження за їхньою роботою. Якщо автоматизація полегшує фізичну працю людини, то автоматизація має мету полегшити так само і розумову працю. Експлуатація засобів автоматизації вимагає від обслуговуючого персоналу високої технічної кваліфікації.

Питання забезпечення контролю за пересуванням транспортних засобів на територію можуть вирішити автоматизовані ворота. Автоматизовані ворота в останній час користуються все більшим попитом. Вони на сьогоднішній день є найоптимальнішим варіантом вирішення питання контролю транспортних потоків на території підприємств.

Метою роботи є підвищення рівня надійності та ефективності роботи розпашних воріт за рахунок застосування нових методів та способів керування, що дозволить забезпечити додатковий захист від несанкціонованого проникнення на територію об'єкта та контроль над переміщенням транспортних засобів через прохідну об'єкта.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації роботи двостулкових розпашних воріт.

Предметом дослідження є система автоматизації процесу відкривання-закривання воріт та лабораторний стенд для дослідження процесу відкривання-закривання розпашних воріт.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Виконати аналіз відомих конструкцій автоматичних воріт, їх можливостей та обрати найбільш характерні представники цих конструкцій.

2. Розрахувати параметри воріт певного об'єкта. Визначити необхідні зусилля, моменти, швидкості переміщення тощо.

3. Розрахувати та обрати силові обладнання для приведення в дію конструкції воріт.

4. Обґрунтувати доцільність використання тієї чи іншої автоматики воріт.

5. Розробити структурну, функціональну та електричну схеми автоматики воріт.

6. Перевірити працездатність воріт шляхом комп'ютерного моделювання.

7. Зробити фізичний макет розпашних воріт і вибрати для нього всі елементи.

8. Налаштувати макет на роботу відповідно до розроблених способів керування воротами.

9. Виконати імітацію роботи макету, який в подальшому планується використовувати в навчальному процесі як лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.

Методи дослідження. У роботі використані методи теорії ймовірностей, математичної статистики (статистична лінеаризація, обробка результатів експерименту, перевірка статистичних гіпотез), дослідження операцій (математичне програмування, теорія графів), теорія автоматичного

управління, теорії звичайних диференціальних рівнянь, теорії планування експерименту, моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у наступному:

1. Отримав подальший розвиток підхід до автоматизації процесів побутового господарювання як частини системи «розумний будинок», який на відміну від відомих, дозволяє забезпечити багатоканальне управління системою відкривання двостулкових розпашних воріт, що підвищує комфортність управління та надійність роботи системи.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм роботи пристрою керування системою перепуску автомобілів на територію підприємства, який на відміну від відомих, дозволяє забезпечити багатоканальне управління системою відкривання двостулкових розпашних воріт, що підвищує комфортність управління та надійність роботи системи.

2. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи розпашними воротами зі смартфона по каналу зв'язку WiFi.

3. Розроблено лабораторний стенд для дослідження процесу автоматизації відкривання розпашних двостулкових воріт.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час впровадження розроблених програмних і апаратних засобів.

Особистий внесок здобувача. Автором повністю самостійно розроблено лабораторний стенд, підбрано всі елементи, запрограмовано контролер та налаштовано його на роботу в потрібному режимі.

Апробація результатів роботи. Частина роботи, що стосується можливості використання її для побудови систем контролю доступу на підприємство, апробовано на VIII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2020 року м. Київ»

Публікації. За тематикою роботи опубліковано тези доповідей Міжнародної конференції:

1. Мошноріз М. М. Інтелектуальна система пропуску автомобільного транспорту на територію підприємства / М. М. Мошноріз, В. А. Постернак // Матеріали VIII-ї міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2020. - 320 с. ISBN 978-966-641-793-3 (PDF).

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про ворота та їх електропривод

Ворота – це механічна конструкція, змонтована в стіні для обмеження і регулювання доступу на контрольовану територію [1].

За будовою їх можна умовно розділити на [1]:

- механічну захисну частину, яка кріпиться до будівельних елементів будівлі або паркану в складі стаціонарної та рухомої конструкцій;
- привід, який здійснює операції відкриття або закриття стулок воріт з фіксацією виконаного положення;
- автоматику, яка керує роботою основних частин приводу.

Будова воріт.

За технічною конструкцією ворота бувають [1]:

- 1) розпашні, що виконуються, як правило, з двома стулками;
- 2) відкатні, що виконуються єдиною суцільною секцією, яка рухається по металевій направляючій рейці;
- 3) підйомні, у яких відбувається підйом полотна воріт, найчастіше з їх поворотом;
- 4) секційні, що складаються з окремих секцій, які збираються в єдину рухливу систему і переміщуються по напрямних траверсах;
- 5) ролетні, складаються з відносно вузьких пластин, які при відкритті воріт згортаються у рулон, розташований в коробі над входом.

Загальний принцип роботи кожної з цих систем показаний на схемі на рис. 1.1.

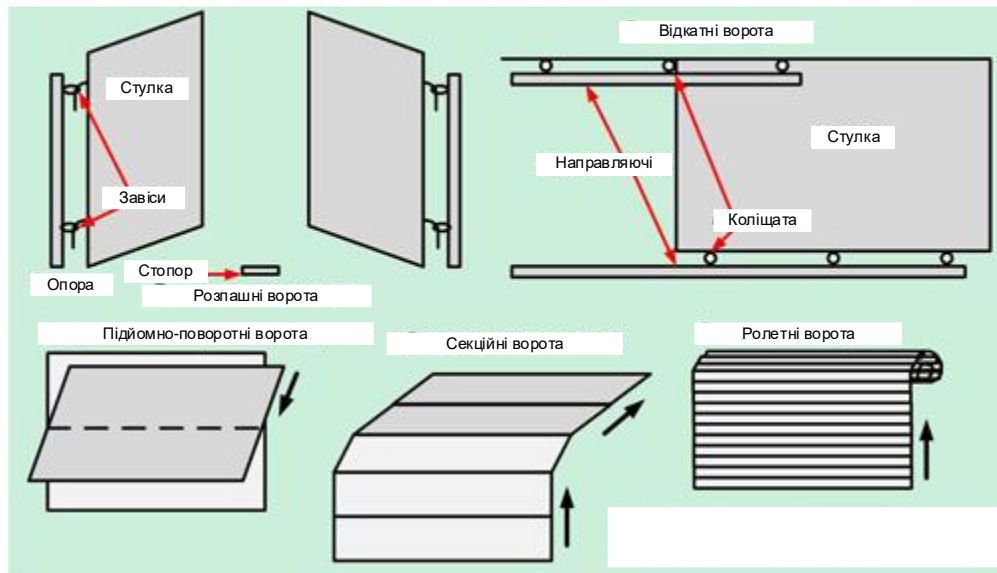


Рисунок 1.1 – Загальний принцип роботи різних систем відкривання воріт

Всі рухомі елементи повинні легко, без зайвих зусиль рухатися по своїх напрямних. Вони вимагають періодичного огляду і обслуговування, змазування рухомих частин при необхідності.

Якщо стулки будуть важко переміщуватися, то вони створять більше навантаження на привід і електродвигун. В результаті виникнуть поломки системи.

Привід автоматичних воріт.

У всіх конструкціях воріт застосовується два варіанти управління стулками [1]:

- 1) вручну за рахунок мускульної сили людини;
- 2) автоматично з використанням електричної енергії.

Перший спосіб є резервним і застосовується у виняткових випадках при несправності з постачанням електроенергії, а другий – основним.

У конструкції приводу в обов'язковому випадку входять [1]:

- електродвигун змінного струму 220 або постійного 24 вольти;

- механічний черв'ячний редуктор з конічними шестернями для реалізації самогальмуючої системи блокування від відкриття ззовні;
- кінематична система передачі руху від електродвигуна на рухливі стулки на основі шестерних, ланцюгових або ремінних механізмів.

Механічні конструкції приводів воріт подано на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Механічні конструкції приводів воріт

Для кожного типу воріт створюються свої індивідуальні приводи, що забезпечують різні види руху виконавчого механізму на індивідуальні відстані. За принципом роботи вони діляться на [1]:

- лінійні, стаціонарно закріплені в одній точці і зрушують свій рухомий кронштейн по прямій лінії всередині власного корпусу. З цією метою часто використовується обертання гвинта що рухається по гайці або ремінна чи ланцюгова передача;
- телескопічні, що складаються з двох або більше секційних елементів, обладнаних внутрішніми повзунами, що забезпечують розсування секцій для переміщення кінцевого елемента;
- важільні, зібрані з системи блоків з важелями;

- гідравлічні, що використовуються для найбільш відповідальних конструкцій з важкими стулками вагою близько 900 кг або більше і шириною 4,5 м, що піддаються інтенсивній роботі.

Привід, як стаціонарна частина воріт з направляючою системою, жорстко встановлюються на поверхні надійно вмонтованих в фундамент будівельних елементів. Оскільки люфти і перекося рухомий системи при експлуатації неприпустимі, то заглиблення фундаментів під ворота і привід повинне перевищувати глибину промерзання ґрунту в зимовий час.

Це обов'язкова вимога для забезпечення якісної роботи воріт. На неї слід звертати увагу до початку монтажу і налагодження автоматики. Інакше кожної весни доведеться виправляти будівельні помилки.

1.2 Конструкція та особливості роботи розпашних воріт

Розпашні автоматичні ворота – один з найпоширеніших варіантів організації в'їзду, як на територію, так і в приміщення. Вони представляють собою закріплені на стовпах дві стулки, які можуть відкриватися або всередину, або назовні.

До переваг розпашних воріт відноситься доступна вартість конструкцій даного типу. Можливо підібрати варіант, який впишеться в самий обмежений бюджет. До переваг також відносять простоту установки. Монтаж не займає багато часу, не вимагає наявності спеціалізованого обладнання та інструментів. Для виготовлення застосовуються різні матеріали. Найбільш часто використовують метал, деревину, так як вони відомі високим рівнем міцності і стійкістю до впливу навколишнього середовища. Розпашні ворота відрізняються довгим терміном експлуатації, практичністю [2].

До недоліків конструкцій даного типу відноситься необхідність монтажу стовпів, які надійно фіксують глибоко в землі. З цією метою проводиться бетонування основи. Для установки орних воріт потрібна велика кількість вільного простору. Конструкція може становити небезпеку у

вітряну погоду. Різкі пориви повітря здатні привести до псування майна і нанесення шкоди здоров'ю людей [2].

На рис. 1.3 зображено зовнішній вигляд двостулкових розпашних воріт малого розміру.

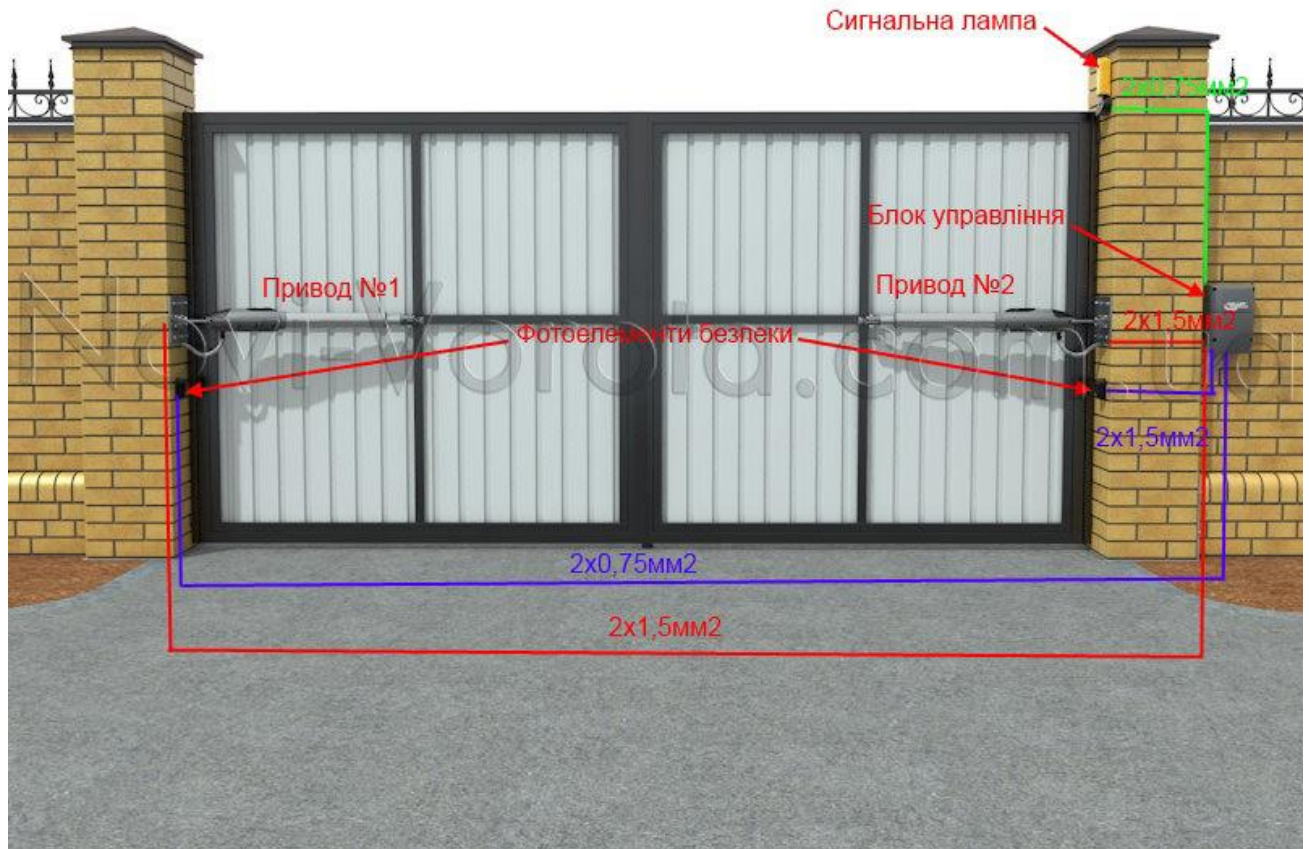


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд двостулкових розпашних воріт

Основними вузлами, які призводять весь механізм в дію, є приводи для розпашних воріт. Розпашні ворота бувають автоматичними і ручними. Зазвичай при автоматизації розпашних воріт потрібно два приводи. Більшість приводів для розпашних воріт відкривають ворота всередину, тому потрібно переконатися, що всередині ділянки вистачає місця для стулочок.

За частотою використання механізми приводу воріт бувають загального користування, приватного і з високою інтенсивністю роботи. Існує кілька категорій пристроїв: для промислового використання і

приватного; установка зовні або всередині; привід електричний або електрогідравлічний; для секцій двостулкових чи відкатних. Вибирати приводи для таких воріт необхідно з урахуванням багатьох факторів:

- розмір,
- конструкція,
- маса стулок ,
- частота використання.

Особливу увагу при виборі такого механізму слід приділяти останньому фактору для таких випадків:

- на автостоянках відкриття воріт буде коливальним, з більшою інтенсивністю роботи вранці і ввечері;
- в індустріальному використанні частота відкриття матиме більше 300 циклів.

Приводи для розпашних воріт приводяться в дію з брелка або з пульта. Найчастіше в комплект поставки входить блок управління. Існують комбіновані варіанти з контролем або з підключенням до блоку автоматики інших систем, наприклад кодова клавіатура, «таблетки» або магнітні картки, жетоноприймачі і інші.. У електропривода воріт може бути вбудована система "зупинки їх при зіткненні з перешкодою". Також система оснащена сигнальною лампою, яка вказує в темряві про те, що механізм працює. Комплект автоматики воріт може бути обладнаний фотобар'єрами безпеки, що перешкоджає закриттю стулок, якщо поблизу знаходиться сторонній об'єкт, машина або людина. Електропривод для розпашних воріт добре зарекомендував себе при роботі в погану погоду: снігопад, дощ, великий вітер, коливання температури. Такі пристрої є надійними замками. При відключенні електроенергії розблокувати його можна ключем, в цьому випадку стулки можна вільно закрити або відкрити вручну і знову заблокувати привід. Добре використовувати такі автоматичні пристрої для доступу невеликої групи людей в приватних закладах, котеджах, готелях.

За принципом дії існує три класи механізмів розпашних воріт:

1. Найпопулярніший варіант – із застосуванням лінійного пристрою. Він може відкривати ворота всередину або назовні. Від 6 до 8 см має бути відстань між стійками, на які встановлюються стулки з місцем кріплення для приводу. Зовнішнє відкривання звужує отвір для проїзду транспорту з кожного боку майже на 15 см. Приклад воріт з лінійним пристроєм зображено на рис. 1.2. На рисунку виконується відкривання воріт всередину території.

2. Важільні механізми, у яких двигун виконує поворот важеля, що з'єднаний з секцією воріт.

3. Механізми для підземної установки, які забезпечують поворот осі воріт від землею.

Лінійні приводи виконуються у вигляді навісних активаторів, які забезпечують керування воротами за рахунок зміни довжини активатора. За принципом дії такі привода можуть бути електромеханічними або гідравлічними. Електромеханічний привод складається з електродвигуна, редуктора та черв'ячної передачі, а гідравлічний – електродвигуна насоса та гідроциліндра, що змонтовані в одному корпусі.

Приклад лінійного привода Nice зображено на рис. 1.4.

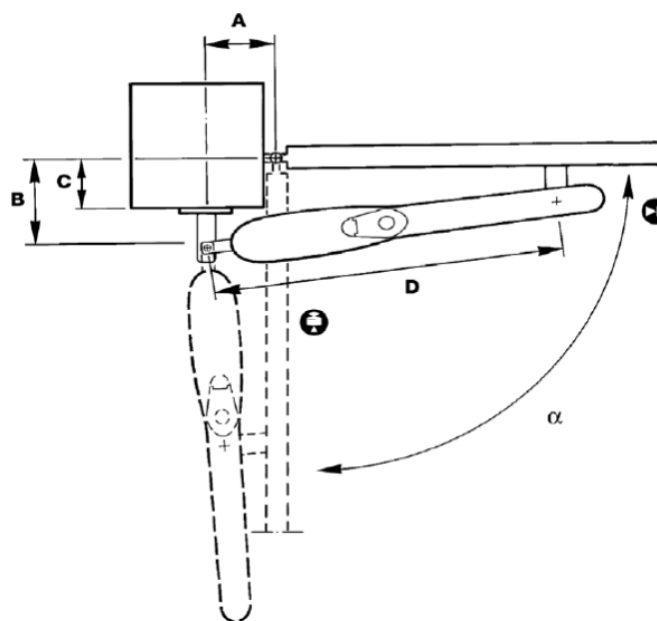


Рисунок 1.4 – Приклад лінійного привода Nice

Лінійний привід для розпашних воріт використовуються у випадку, якщо зазор між місцем кріплення приводу і полотном воріт (С, див рис. 1.4) складає не більше 6-8 см. Приводи для автоматичних воріт даного типу компактні і практично не помітні на воротах. Приводи Nice для розпашних воріт зарекомендували себе як міцні, невибагливі, прості в установці і виключно надійні в експлуатації. Корпуса приводів виконані з алюмінію, що істотно підвищує їх міцність, полегшує і збільшує їх надійність і термін служби. Лінійні приводи оснащені повністю закритим штоком, що дозволяє експлуатувати їх в суворих умовах: сніг, дощ, пил, бруд, пісок.

Важільний привод складається з електродвигуна, редуктора, які кріпляться на нерухомій частині конструкції воріт (наприклад, колоні) і важеля, що кріпиться до секції воріт. Привода такого типу доцільно використовувати, коли немає можливості застосувати лінійний привод через певну геометрію взаємного розташування ступок воріт і нерухомих опор.

Приклад важільного привода Nice зображено на рис. 1.5.

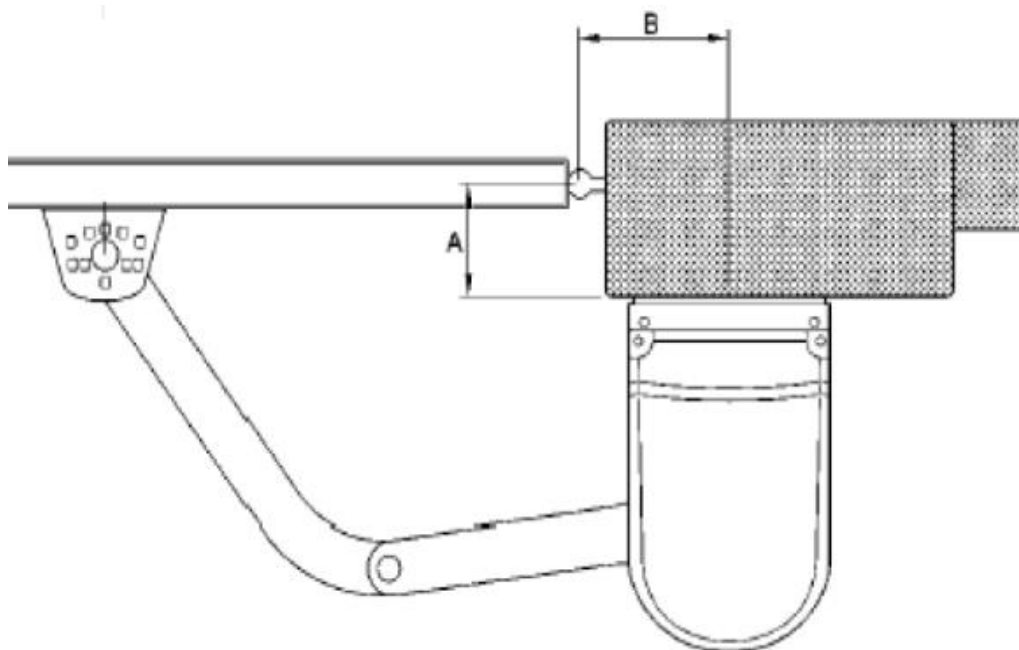


Рисунок 1.5 – Приклад важільного привода Nice

Приводи важільного типу призначені для автоматизації розпашних воріт і використовуються у випадку, коли місце кріплення приводу і полотно воріт мають зазор (А, див. рис. 1.5) до 38см. Цей тип приводів дозволяє автоматизувати ворота, де установка лінійних приводів неможлива або недоцільна через великий обсяг будівельно-монтажних робіт з доопрацювання стовпа.

Сучасні важільні електроприводи для воріт NICE дозволяють відкривати ворота як у всередину, так і назовні, тобто можна вибрати найбільш зручний для вас варіант автоматизації воріт. Гальванізовані важільні тяги приводів NICE забезпечують високу антикорозійну стійкість до атмосферних опадів.

Привода підземного монтажу встановлюються на проїжджій частині поблизу осі петель стулки воріт. За принципом дії такі привода можуть бути електромеханічними та гідравлічними. В гідравлічних моделях під землею встановлюється лише герметичний гідроциліндр з редуктором, а блок електродвигуна з насосом монтується поблизу воріт.

Аналізуючи електромеханічні приводи, які представлені на ринку, можна відмітити, що в якості приводу використовуються електродвигуни і постійного і змінного струму. В більшості випадків застосовуються двигуни змінного струму промислової частоти 230В 50Гц. Це пов'язано з простотою подачі живлення (відсутність перетворювача напруги). Електродвигуни постійного струму використовуються тільки в окремих приводах, що призначені для не інтенсивної роботи в механізмах відкриття невеликих воріт чи дверей.

Широке застосування отримало управління приводами за допомогою дистанційного керування по радіо. З цією метою застосовуються окремі вузли – “Блоки управління для електродвигунів”, що містять і вузли радіоканалу і силову частину для безпосереднього комутування напруги живлення електродвигуна.

Базова комплектація автоматики розпашних воріт представлена на рис. 1.6.

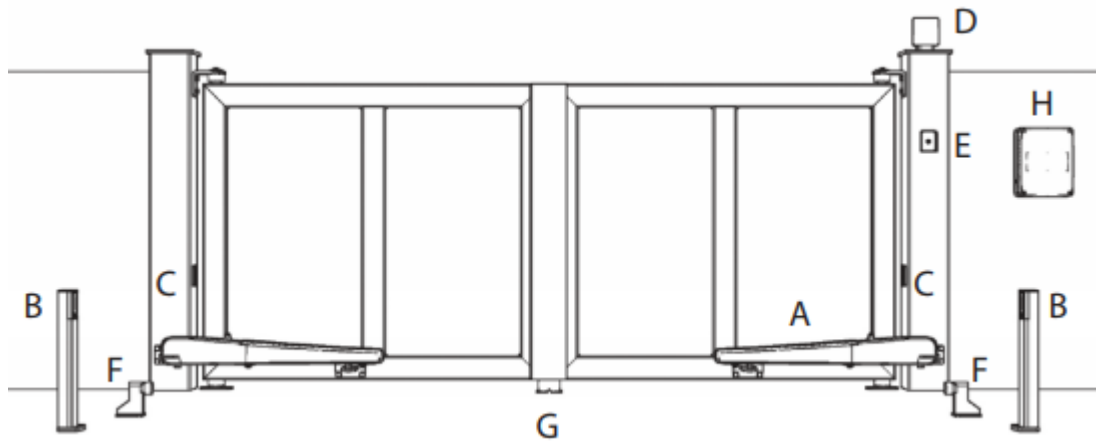


Рисунок 1.6 – Базова комплектація двостулкових розпашних воріт

На рис. 1.6 позначено: А – привод; В – фотоелементи відкриття; С – фотоелементи закриття; D – лампа; E/ – ключ-вимикач; F – упор воріт при відкритті; G – упор воріт при закритті; H – блок керування.

Розглянемо комплектацію сучасного привода розпашних воріт. Комплект лінійного привода Nice Moby KSE представлено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Комплект лінійного привода Nice Moby KSE

Комплект МОВУ КСЕ розрахований на ступку до 3 метрів, вагою до 800 кг. Живлення блоку управління розраховано на напругу 230 В, приводів – 230В. Автоматика має функцію автоматичного визначення перешкод, і розрахована на інтенсивність 40 циклів на годину. Можлива робота привода у режимі хвртки. Автоматика дозволяє підключення електрозамка. У комплекті: 2 приводи МВ 4005 (лінійного типу), блок керування в боксі А60 (IP55), замковий вимикач (МОСЕ), пульт FLO2R-S, приймач (SMXI), пара фотоелементів (МОФ), антена, сигнальна лампа (LUCY) . Додаткові функції автоматики: плавний пуск і зупинка, режим хвртки, підключення електрозамка.

Комплект важільного привода Nice PP 7024 представлено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Комплект важільного привода Nice PP 7024

Електромеханічний важільний привід PP 7024 розрахований для ступки шириною до 2 метрів вагою до 250 кг Живлення блоку управління 230В, приводів – 24В. Інтенсивність роботи 30%.

Приклад блоку управління електроприводом відкривання воріт зображено на рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Блок управління Nice A6F

Блок управління призначений для роботи з такими параметрами:

- живлення від мережі $230 \pm 10\%$ В змінного струму 50/60 Гц;
- максимальна потужність і струм двигунів 2×400 ВА; 2 А;
- максимальний струм власних потреб 24 В і фототест 0,3 А;
- максимальна напруга і потужність виходу «мигалки» 230 V; 100 Вт;
- максимальна напруга і потужність виходу «сигнальної лампочки СА» 24 V, 2 Вт;
- час роботи «TL» 2,5 г 40 (80) с;
- час паузи «TRA» 0/2,5 г 12 с;
- час підсвічування «TCor» 60с;
- час попереднього мигання 5 с.

1.3 Принципи побудови системи автоматички воріт

Управління роботою стулок в автоматичному режимі надійно відбувається тільки тоді, коли всі механізми добре налагоджені і перевірені в ручному режимі [1].

Автоматика може функціонувати [1]:

- 1) від стаціонарного пульта управління, розташованого, наприклад, на стіні будівлі;
- 2) дистанційно на основі передачі радіокоманд від мобільного пульта-брелока на приймач, який вихідними сигналами керує роботою електродвигуна та інших елементів;
- 3) від комбінації першого і другого способів.

Управління на основі дистанційних методів базується на тих же принципах, що і для стаціонарно встановленого пульта зі звичайними кнопками запуску і відключення простого електродвигуна. Тільки воно ускладнено за рахунок вирішення додаткових технічних завдань.

Робота автоматики від стаціонарного пульта керування.

Привід воріт рухає ступки на відкриття або закриття при подачі напруги на електродвигун і припиняє свою дію відразу після його відключення. Цей принцип закладений в роботу блоку автоматики.

Для своєчасного і правильного управління приводом враховується [1]:

- напрямок обертання ротора двигуна (до подачі напруги);
- момент зупинки обертання по досягненню ступками кінцевого вихідного положення;
- безпеку руху ступок щодо з'являються об'єктів всередині зони їх переміщення працюють фотоелементами, наприклад, запобігання ударів ступками по кабіні в'їжджає автомобіля;
- перевищення величини навантаження на механізми приводу, здатної викликати їх пошкодження. Наприклад, відсунення снігу зусиллям приводу перед орними воротами може деформувати металеві деталі рами ступок. Тому включені в ланцюг навантаження двигуна датчики струму зафіксують зайве зусилля і знімуть напругу живлення.

Додатковими функціями стаціонарного пульта з блоком автоматики можуть бути завдання [1]:

- включення джерел штучного освітлення в зоні перед воротами або всередині гаража при поганій видимості;
- подача сигналів про початок маніпуляцій зі стулками;
- інші технічні рішення.

Зразок алгоритму роботи автоматики розпашних воріт подано на рис. 1.10. На цьому рисунку подано основні функціональні призначення кожного з елементів воріт.

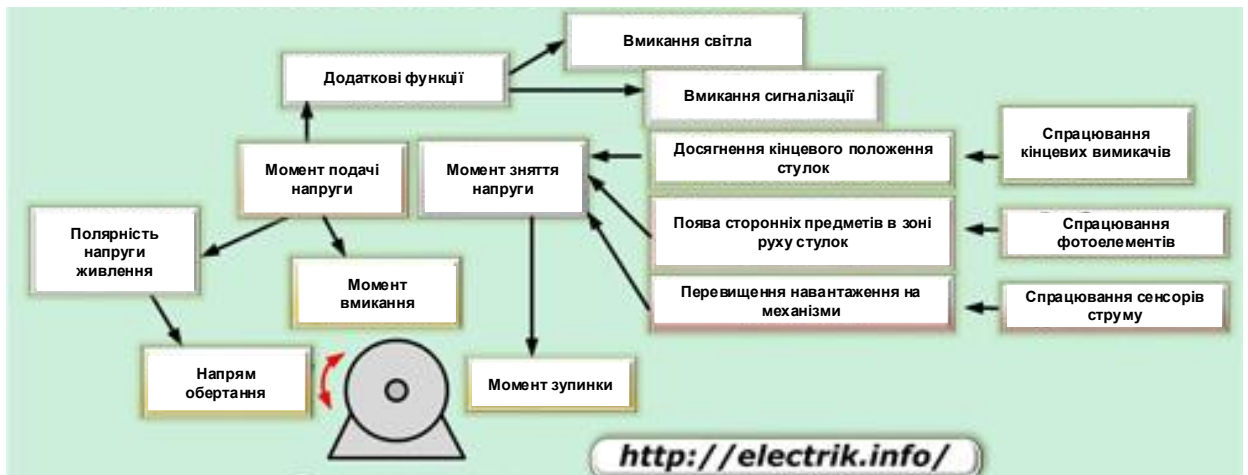


Рисунок 1.10 – Спрощений алгоритм роботи автоматики розпашних воріт

Для практичної реалізації цих завдань на найпростішому стаціонарному пульті встановлюють [1]:

- дві кнопки з самоблокуванням подачі напруги на пускач (реле) з замикаючими контактами, через які включається двигун на відкриття або закриття стулок (одна прямої полярності, а друга - протилежної);
- кнопку відключення «Стоп», що створює розрив кола напруги живлення двигуна для зупинки його обертання;
- пускач або реле з замикаючими силовими контактами, через які подається напруга живлення;
- вихідні контакти датчиків кінцевих положень стулок, фотореле, контролю навантаження та інших.

Зовнішній вигляд пульта керування воротами та автоматики воріт подано на рис. 1.11.

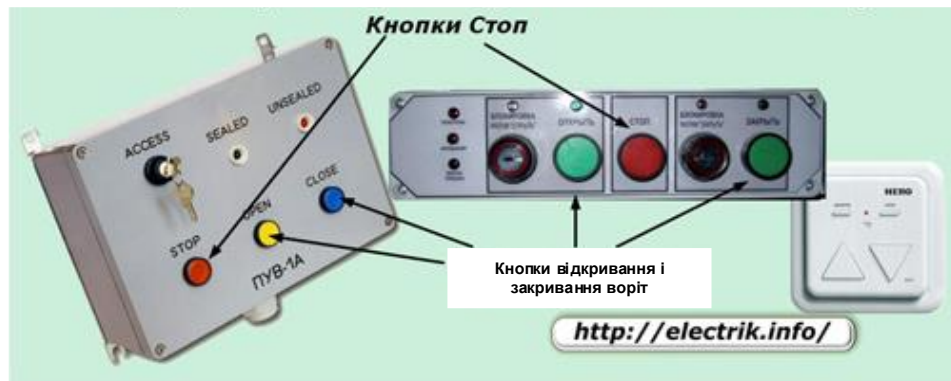


Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд пульта керування воротами та автоматики воріт

Натискання кнопок відкриття або закриття дозволяє почати зазначену операцію, а кнопки «Стоп» - перервати її виконання. Оскільки напруга на схему подається через прикінцеві контакти пускача, то при обриві його кола живлення будь-яким з послідовно підключених датчиків контролю процес руху ступок негайно зупиняється. У сучасних моделях блоків управління все частіше застосовуються фотоелементи безпеки, які поступово витісняють контактні механізми.

Подібні схеми можуть створюватися на різній елементній базі, але мають дуже схожі алгоритми роботи.

Робота автоматики від дистанційного пульта управління.

У цьому випадку застосовується невелике ускладнення попередньої схеми, яке полягає у паралельному включенні разом з кнопками керування електронних ключів. Вони працюють від сигналів приймача, який отримує радіокоманди з передавача пульта-брелока.

Ці прилади випускаються досить великим асортиментом з різними функціями, зовнішнім виглядом і елементами управління, але схожими принципами роботи.



Рисунок 1.12 – Дистанційні пульти для автоматичних воріт

Розташування датчиків контролю і елементів силової системи залежить від конструкції воріт і конкретних умов місцевості. Наприклад, для використання орних конструкцій може бути прийнята наступна схема.

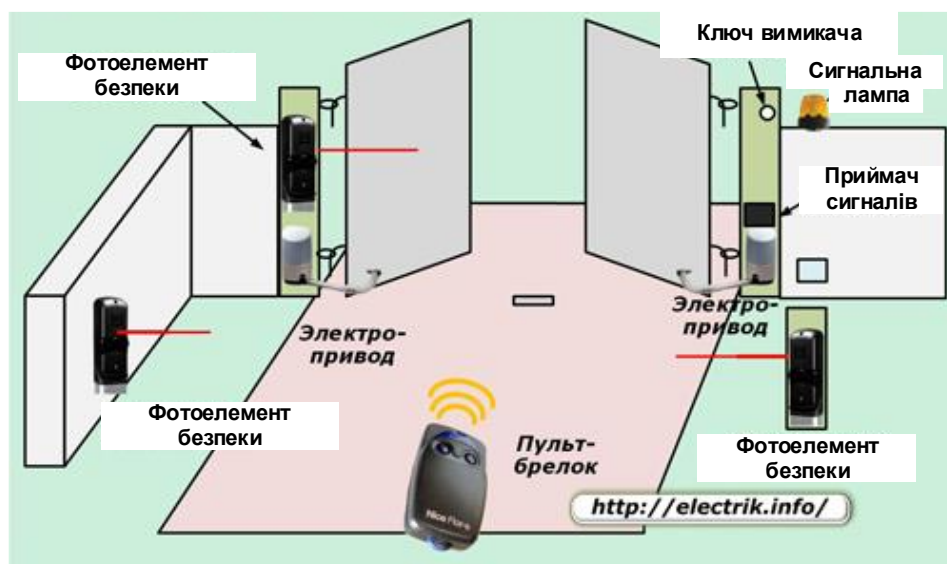


Рисунок 1.13 – Робота дистанційного пульта для автоматичних воріт

Фотоелементи безпеки з усіх боків контролюють якість робочого простору. Для цього їх встановлюють на стовпі кріплення стійки, стіни, опорному стовпчику. Налаштовують ворота для чіткого охоплення зони в'їзду, контролю досягнення ступками кінцевих положень і виключення ними удару по перешкодах, які раптово з'являються на лінії ходу воріт.

Електричні приводи кожної стулки монтуються на кріпильних опорах. Ключ вимикача схеми розташований з внутрішньої сторони стіни біля воріт.

Світлова сигнальна лампа встановлюється для зручного освітлення в'їзду. Приймач сигналів від передавача, вмонтований в блок управління, разом з окремим електроприводом закріплений на одній з опор стійок. Біля нього знаходиться закрита розподільна коробка з електричними кабелями, що з'єднують всі перераховані вище об'єкти зі стаціонарним пультом і вступним електрощитом з захистами [1].

Електропроводка ховається в кабельні канали та захищається від випадкових механічних пошкоджень.

Передавач команд, вбудований всередину малогабаритного брелока, управляється від натискання кнопок на корпусі і видає в ефір через свою антену закодований радіосигнал певної частоти, який сприймає тільки приймач, вмонтований в стаціонарний блок управління.

Прийнята команда після обробки приймачем надходить на один з електронних ключів і приймається ним до виконання. Далі схема працює так само, як і від стаціонарного блоку управління.

Щоб з пультом-брелоком було зручно працювати, його можна заздалегідь налаштувати під різні алгоритми. Наприклад, відкрити і закрити стулку воріт можна одинарним натисканням на кнопку управління або тільки подвійним, виконуючи повторні дії.

Для цього приймач і передавач включають і програмують певними маніпуляціями кнопок на налагодженому устаткуванні. Електроніка запам'ятовує отриманий алгоритм дій і надалі строго його виконує.

У систему вбудовується можливість відключення роботи автоматики для управління воротами тільки в ручному режимі. З цією метою використовується механічний замок і ключ блокування, що розташовуються в зручному для користування, але закритому від сторонніх місці [1].

У всіх схемах автоматики передбачається система дублювання окремих робочих процесів, що дозволяє резервувати захисні функції. Наприклад, при відмові кінцевого вимикача зупинки ступки повинна працювати захист від перевантаження двигуна, яка припинить роботу приводу і запобіжить поломці.

Автоматика воріт виробничих підприємств

Організації, які здійснюють великий обсяг вантажоперевезень і обмежують доступ стороннього транспорту на свою територію, можуть ефективно використовувати описані вище схеми, з'єднавши їх з системою охорони та відеоспостереження [1].

Приклад такої автоматики, що працює в комплексі системи управління допуску, показаний на рис. 1.4 [1].

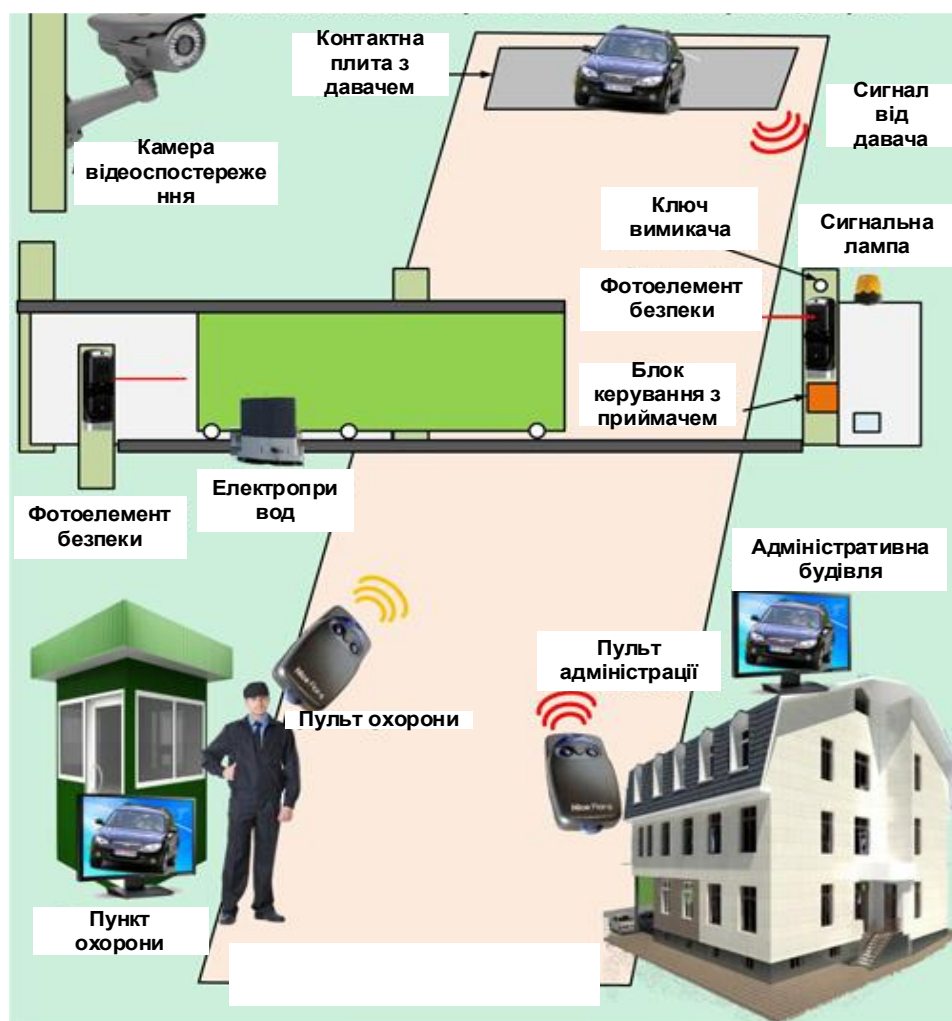


Рисунок 1.14 – Автоматичні ворота з системою контролю допуску

За кілька десятків метрів до під'їзду до воріт в дорозі встановлюється контрольна залізобетонна плита, оснащена датчиком тиску. Останній спрацьовує при наїзді на плиту легкового автомобіля та іншого більш важкого транспорту. На вагу людини і тварин датчик не реагує.

Інформація про спрацювання давача натиску передається на блок управління воріт. Для цього може використовуватися кабель-канал або радіосигнал. Перший спосіб реалізується частіше.

Сигнал в блоці управління обробляється і надсилається на пункт охорони і посадовій особі адміністрації підприємства звуковий сиреною або світловим табло. При цьому постійно діюча відеокамера системи спостереження фіксує дії водія. Інформація доступна вахтеру і контролюючій особі на моніторах комп'ютерів.

Водій транспортного засобу, під'їхавши до закритих воріт, прикладає свій службовий документ на право проїзду до лобового скла. Вахтер візуально перевіряє дозвіл на в'їзд і відкриває автоматичні ворота натисканням кнопок на стаціонарному пульті або використовує для цього брелок. Після проїзду машини ворота закриваються.

При виїзді автомобіля з території підприємства вахтер перевіряє документи на вантаж у водія і випускає його в рейс відкриттям стулок.

У будь-який момент адміністратор має технічну можливість втрутитися в діяльність вахтера і відкрити або закрити ворота своїм пультом дистанційно.

В результаті використання автоматичних воріт в системі контролю доступу вирішуються питання [1]:

- оперативної перевірки документів у відвідувачів;
- швидкого пропуску автомобільних транспортних засобів на територію, що виключає утворення транспортних пробок;
- зберігання відеоінформації в комп'ютерній пам'яті про пропуск транспортних засобів через ворота і дії водія та охорони;
- організації контролю роботи вахтера з боку адміністрації.

Особливості вибору моделей автоматики воріт.

Серед виробників обладнання для автоматичних воріт відсутня єдина термінологія, існують розбіжності в технічних термінах, обладнанні, що випускається. В маркетингових цілях часто елементи силових частин, електроприводу, відносять до систем автоматики.

Це дозволяє успішно продавати готові комплекти приводів, пультів і всіляких датчиків.

Секційні автоматичні ворота і ролетні моделі виробники відразу випускають в комплекті з приводами і налагодженою системою автоматики, які досить просто монтуються на підготовленому приміщенні. Їх встановлення та налаштування здійснюється в короткий час за розробленими інструкціями.

Отже, на даний час існує багато типів систем автоматики для воріт. Кожен з цих типів має свої переваги та обмеження. Ми пропонуємо розробити таку систему автоматики воріт, яка володітиме основними перевагами сучасної автоматики і дозволить використати її для побудови системи контролю доступу на підприємство. Таким чином, **метою роботи** є підвищення рівня надійності та ефективності роботи розпашних воріт за рахунок застосування нових методів та способів керування, що дозволить забезпечити додатковий захист від несанкціонованого проникнення на територію об'єкта та контроль над переміщенням транспортних засобів через прохідну об'єкта.

Об'єктом дослідження можна вважати процес автоматизації роботи двостулкових розпашних воріт. **Предметом дослідження** буде система автоматизації процесу відкривання-закривання воріт та лабораторний стенд для дослідження процесу відкривання-закривання розпашних воріт.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Виконати аналіз відомих конструкцій автоматичних воріт, їх можливостей та обрати найбільш характерні представники цих конструкцій.

2. Розрахувати параметри воріт певного об'єкта. Визначити необхідні зусилля, моменти, швидкості переміщення тощо.
3. Розрахувати та обрати силове обладнання для приведення в дію конструкції воріт.
4. Обґрунтувати доцільність використання тієї чи іншої автоматики воріт.
5. Розробити структурну, функціональну та електричну схеми автоматики воріт.
6. Перевірити працездатність воріт шляхом комп'ютерного моделювання.
7. Зробити фізичний макет розпашних воріт і вибрати для нього всі елементи.
8. Налаштувати макет на роботу відповідно до розроблених способів керування воротами.
9. Виконати імітацію роботи макету, який в подальшому планується використовувати в навчальному процесі як лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.

2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розрахунок потужності розпашних воріт

Для розрахунку потужності механізму задаємося величиною воріт. Розглянемо випадок воріт середньої величини, коли довжина воріт $L = 6$ м, а висота $h = 1,5$ м. Таким чином довжина і висота однієї стулки воріт будуть дорівнювати значенням:

$$l = \frac{L}{2}, \quad (2.1)$$

$$l = \frac{6}{2} = 3(\text{м}),$$

$$h = 1,5(\text{м}). \quad (2.2)$$

Масу однієї стулки воріт, виходячи з довідникових даних, приймемо рівною:

$$m = 500(\text{кг}). \quad (2.3)$$

Схематичне зображення механізму відкривання однієї стулки розпашних воріт подано на рис. 2.1.

На рис. 2.1 позначено наступне: 1 – стулка воріт; 2 – кронштейн кріплення приводу до воріт; 3 – важільний механізм; 4 – двигун з редуктором (мотор-редуктор); 5 – стовп; 6 – навіси.

З документації на механізми такого типу задаємося значенням відстані кріплення кронштейна до воріт. Припустимо, що воно дорівнює:

$$r = 0,35(\text{м}). \quad (2.4)$$

З довідникових даних знайдемо, що коефіцієнт тертя двох навісів воріт може дорівнювати значенню:

$$\mu = 0,025. \quad (2.5)$$

Сила тертя під час закривання чи відкривання воріт розраховується за формулою:

$$F_{tr} = \mu \cdot m \cdot g, \quad (2.6)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

Отримаємо значення сили тертя:

$$F_{tr} = 0,025 \cdot 500 \cdot 9,8 = 122,5 \text{ (Н)}.$$

Під час проектування воріт велике значення в розрахунку їх міцності та сили тяги має врахування можливості поривів вітру. Ця обставина дозволяє передбачити додаткові перевантаження, як повинен витримувати привід і конструкція воріт. Тому знайдемо силу протидії відкриванню від пориву вітру.

Ця сила розраховується за формулою:

$$F_v = 0,11238 \cdot S \cdot V_v^2, \quad (2.7)$$

де S – площа суцільної частини воріт ($S = l \cdot h \text{ м}^2$);

V_v – швидкість вітру ($V_v = 10 \text{ м/с}$).

Для прийнятого значення швидкості вітру отримаємо силу:

$$F_v = 1,1 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 10^2 = 495,6 \text{ (Н)}.$$

Сумарна сила тяги буде дорівнювати:

$$F_t = F_{tr} + F_v, \quad (2.8)$$

$$F_t = 122,5 + 495,6 = 618,1 \text{ (Н)}.$$

Схематичне зображення механізму відкривання однієї стулки розпашних воріт подано на рис. 2.1.

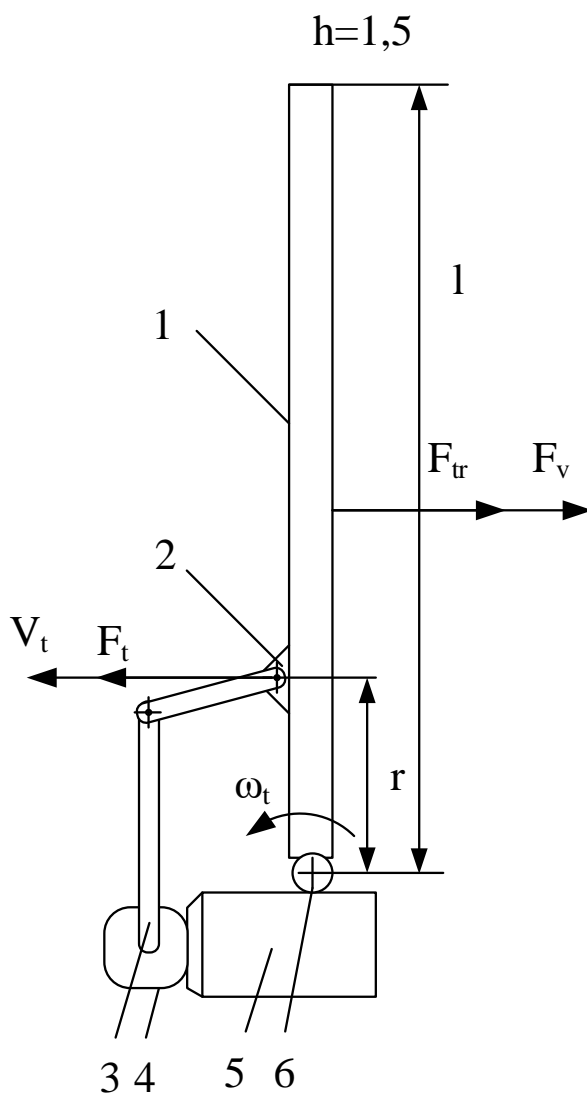


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення механізму відкривання однієї стулки розпашних воріт

Момент тяги буде дорівнювати:

$$M_t = F_t \cdot r, \quad (2.9)$$

$$M_t = 618,1 \cdot 0,35 = 216,33 \text{ (Нм)}.$$

Здамося значення лінійної (дотичної) швидкості відкривання воріт:

$$V_t = 0,2 \text{ (м/с)}. \quad (2.10)$$

Кутова частота обертання стулки воріт буде дорівнювати:

$$\omega_t = \frac{V_t}{r}, \quad (2.11)$$

$$\omega_t = \frac{0,2}{0,35} = 0,571 \text{ (1/с)}.$$

Припустимо, що двигун, який буде обиратися для приводу воріт, розрахований на частоту обертання $\omega_d = 157 \text{ 1/с}$.

Знайдемо передавальне відношення редуктора:

$$i_r = \frac{\omega_d}{\omega_t}, \quad (2.12)$$

$$i_r = \frac{157}{0,571} = 274,8.$$

Для коефіцієнта корисної дії редуктора $\eta_r = 0,93$ отримаємо приведені до валу двигуна значення моменту тяги за формулою:

$$M'_t = \frac{M_t}{\eta_r \cdot i_r}, \quad (2.13)$$

$$M'_t = \frac{216,33}{0,93 \cdot 274,75} = 0,847 \text{ (Нм)}.$$

Потужність двигуна, необхідна для тяги стулки воріт може бути знайдена за виразом:

$$P_t = M'_t \cdot \omega_d, \quad (2.14)$$

$$P_t = 0,847 \cdot 157 = 133 \text{ (Вт)}.$$

Отже, потужність одного двигуна, необхідна для тяги стулки воріт, дорівнює 133 Вт.

2.2 Техніко-економічне обґрунтування автоматики розпашних воріт

2.2.1 Вибір автоматики

На сучасному ринку автоматики воріт існує велика пропозиція для різних параметрів воріт з різним функціональним можливостями. Для наглядності на рис. 2.2 зображено основні представники автоматики розпашних воріт.

Вибір автоматики виконується у такій послідовності.

1. Спочатку слід визначитися з типом воріт. Автоматика може бути для таких типів воріт:

- відкатна,
- розпашна,
- для секційних воріт.

2. Далі підбираються головні параметри воріт. Під ці параметри підбирається той чи інший двигун.



Рисунок 2.2 – Основні типи конструкції автоматики розпашних воріт

Головними параметрами воріт є :

- вага воріт або однієї стулки,
- площа воріт;
- максимальна довжина воріт.

Вага воріт у характеристиках моторів написана максимальна, тому потрібно підбирати з запасом у 30 відсотків, оскільки, ще потрібно враховувати вітрові навантаження які діють на ворота під час відкривання чи закривання. Особливо це стосується розпашних воріт.

Від площі воріт залежить навантаження від вітру з яким потрібно боротися мотору.

Довжина воріт використовується для розпашних воріт, де дуже важливе місце має кріплення кулака моторів. Чим далі воно від краю воріт і ближче до петель, тим більше плече, і тим більше навантаження від вітру з яким потрібно боротися лінійним або важільним приводам.

Головними параметрами автоматики є :

- зусилля,
- швидкість роботи,
- інтенсивність роботи,
- можливість плавного пуску.

В секційних воротах важливе зусилля з яким тягне мотор секції вгору. В розпашних воротах зусилля показує з якою відчиняються стулки. Занадто потужні мотори можуть буквально погнути ворота. Або ж можуть бути проблеми з коректністю роботи привода, коли він буквально не відчуває ваги воріт. Цей параметр в налаштуваннях можна відрегулювати. Зазвичай підбирають автоматику з значним запасом по вазі воріт враховуючи можливе вітрове навантаження на стулку воріт. В середньому запас складає до 50% від потужності двигуна.

Зазвичай, швидкість роботи теж регулюється. В параметрах вказаний мінімальний час за який ворота відкриваються або закриваються. Для відкатних воріт в середньому швидкість відкривання складає від 0,15 м/с для тяжких воріт до 0,44 м/с в серії Nice HiSpeed. Роспашні ворота теж залежать від ваги стулок та типу механізму автоматики. Від 7 секунд у Nice Walky до 50 секнд у Nice Toona 5.

Є автоматика призначена під роботу на якихось інтенсивних ділянках підприємств де постійно хтось заїжджає чи виїжджає. Комусь треба автоматику для воріт для приватного будинку де вона буде працювати аж 2 рази в день. Зазвичай підбирають на завантажені трафіком ділянки спеціальні моделі автоматики чи шлагбаумів. Вони базуються на безщіткових двигунах з живленням 24В. Вони значно дорожчі за побутові комплекти автоматики так як розроблялися спеціально. Попри дорожчу ціну вони мають недолік, який полягає у тому, що, зазвичай, вони мають дещо меншу потужність і на них можуть впливати вітрові навантаження. В свою чергу комплекти на 230В потужніші, і впевненіше працюють в складних погодних умовах чи із

надважкими воротами. Але вони не здатні робити багато циклів відкривання/закривання підряд.

Плавний пуск моторів сприяє довговічності роботи автоматики, а також фурнітури воріт. На жаль, присутній у більш дорогих комплектах.

З сайту автоматики Same обиремо такі автоматики, які призначені для роботи з розрахованим навантаженням:

- привод Ferni вартістю 1195 EUR,
- привод KRONO-1 вартістю 625 EUR,
- привод АТІ 3000 вартістю 910 EUR.

Для порівняння з існуючими системами запропонуємо нову систему автоматики, робота якої базується на асинхронних двигунах малої потужності, що живляться від перетворювача частоти.

2.2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору електропривода воріт

Економічне обґрунтування вибору автоматики виконаємо за методом приведених затрат.

Для визначення вартості електропривода з комп'ютерної мережі Internet визначаємо вартість всіх комплектуючих кожної з автоматик.

Виконаємо розрахунок системи перетворювач частоти-асинхронні двигуни.

Капітальні затрати

$$K=D+C, \quad (2.15)$$

де D – вартість двигунів ($D = 1120 + 1120 = 2240$ грн);

C – вартість системи керування.

Вартість системи керування включає вартість перетворювача частоти, блока керування та всіх додаткових модулів, які дозволяють реалізувати функції автоматики воріт. Для спрощення розрахунку припустимо, що

вартість системи керування буде дорівнювати п'ятьом вартостям перетворювача частоти, вартість якого становить 4611 грн.

Таким чином, отримаємо

$$K = 2240 + 5 \cdot 4611 = 25295 \text{ (грн.)}$$

Річні капітальні затрати:

$$K_p = 0,17 \cdot K, \quad (2.16)$$

$$K_p = 0,17 \cdot 25295 = 4300 \text{ (грн./рік)}.$$

Час роботи механізму за рік

$$t_{\text{рік}} = d \cdot t \cdot \text{ТВ}, \quad (2.17)$$

де d – кількість робочих днів ($d = 250$);

t – кількість робочих годин в день ($t = 16$ год.);

ТВ – тривалість увімкнення механізму (ТВ = 30% = 0,3 в. о.).

За рік отримаємо

$$t_{\text{рік}} = 250 \cdot 16 \cdot 0,3 = 1200 \text{ (год./рік)}.$$

Знайдемо затрати на електроенергію, яка споживається при роботі зі встановленою потужністю протягом року

$$Z_{\text{вст}} = c \cdot P_{\text{вст}} \cdot t_{\text{рік}}, \quad (2.18)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність ($P_{\text{вст}} = 3,44 \cdot 0,18 = 0,62$ кВт);

c – вартість електроенергії ($c = 3,44$ грн./кВт·год).

Отримаємо

$$Z_{\text{вст}} = 2 \cdot 0,62 \cdot 1200 = 1488 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на електроенергію при роботі двигуна в перехідних режимах роботи прийmemo рівними 25% від затрат енергії при роботі зі встановленою потужністю, тобто

$$Z_{\text{перех}} = 0,25 \cdot Z_{\text{вст}}, \quad (2.19)$$

$$Z_{\text{перех}} = 0,25 \cdot 1488 = 372 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на електроенергію, в загальному випадку, можна знайти як суму

$$Z_{\text{ел}} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}} (Z_{\text{вст}} + Z_{\text{перех}}), \quad (2.20)$$

де $\eta_{\text{п}}$ – коефіцієнт корисної дії силового перетворювача.

Для систем з силовим перетворювачем затрати в перехідних режимах будуть від'ємними. Це можна пояснити тим, що при роботі від регульованого силового перетворювача будуть відсутні коливання струму та швидкості і двигун буде плавно розганятися. Тобто для системи перетворювач частоти – асинхронний двигун отримаємо:

$$Z_{\text{ел}} = \frac{1}{0,95} (1488 - 372) = 1175 \text{ (грн/рік)}. \quad (2.21)$$

Оскільки всі інші електропривода працюють без регулювання швидкості двигуна, то для них отримаємо:

$$Z_{\text{ел}} = \frac{1}{\eta_{\text{р}}} (1488 + 372), \quad (2.22)$$

де η_p – коефіцієнт корисної дії автоматики.

Слід зазначити, що ККД автоматики залежить, в більшій мірі, від ККД редуктора. Відомо, що ККД черв'ячного або редуктора типу «гвинт-гайка» становить приблизно 60%. ККД циліндричних редукторів більший за 90 %.

Затрати на амортизацію обладнання можна наближено знайти за виразом

$$Z_a = 0,1K, \quad (2.23)$$

$$Z_a = 0,1 \cdot 25295 = 2529,5 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на ремонт обладнання можна наближено знайти за виразом

$$Z_p = 0,02K, \quad (2.24)$$

$$Z_p = 0,02 \cdot 25295 = 506 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на обслуговування можна наближено знайти за виразом

$$Z_o = 0,05(Z_{ел} + Z_a + Z_p), \quad (2.25)$$

$$Z_o = 0,05 \cdot (1175 + 2529,5 + 506) = 210,5 \text{ (грн./рік)}.$$

Приведені затрати на спорудження електропривода

$$Z = K_p + Z_{ел} + Z_a + Z_p + Z_o, \quad (2.26)$$

$$Z = 4300 + 1175 + 2529,5 + 506 + 210,5 = 8721 \text{ (грн./рік)}.$$

Результати розрахунку інших систем електропривода зведено у табл. 3.1.

Таблиця 2.1 – Техніко-економічне співставлення систем електроприводу

	Ferni	Krono-1	Ati3000	ПЧ-АД1,2
Вартість двигуна, грн.	0,00	0,00	0,00	2240,00
Вартість сист. керув., грн.	41825,00	21875,00	31850,00	23055,00
Капітальні затрати, грн.	41825,00	21875,00	31850,00	25295,00
Річні кап. затрати, грн./рік	7110,25	3718,75	5414,50	4300,15
ККД перетворювача, в. од.	0,95	0,60	0,60	0,95
Затрати на електроен. грн./рік	1957,89	3100,00	3100,00	1174,74
Затрати на амортиз., грн./рік	4182,50	2187,50	3185,00	2529,50
Затрати на ремонт, грн./рік	836,50	437,50	637,00	505,90
Затрати на обслугов., грн./рік	348,84	286,25	346,10	210,51
Приведені річні затрати, грн./рік	14435,99	9730,00	12682,60	8720,79

Виконавши економічне порівняння розглянутих систем електроприводу, робимо висновок, що краще використовувати систему ПЧ-АД.

2.3 Вибір приводного електродвигуна та його перевірка

За потужністю і швидкістю обертання обираємо асинхронний двигун АІР 56 В4, паспортні дані якого зведемо в табл. 2.2.

Позначення в маркуванні двигуна АІР 56 В 4 розшифровуються наступним чином:

АІР – загальнопромислова серія електродвигунів (аналоги: АІРМ, 5А, 5АМ, 4АМУ, 4АМ та інші);

56 – габарит двигуна (загальноприйнята відстань від осі обертання до площини кріплення: 56 мм);

В – виконання довжини сердечника;

4 – кількість пар полюсів, відповідає частоті обертання ротора близько 1500 об/хв;

УЗ – кліматичне виконання "помірний клімат" згідно ГОСТ 15150-69.

Таблиця 2.2 – Паспортні дані асинхронного двигуна АИР 56 В4

Параметри двигуна	Назва	Величина	Розмірність
Потужність	P_n	0,18	кВт
Номинальна напруга	U_n	380/220	В
Номинальний струм	I_n	0,7	А
Частота обертання	n_n	1325	об/хв
ККД	η_n	61,2	%
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_n$	0,68	
Коефіцієнт перевантаження за моментом	$\lambda_m = M_m/M_n$	2,2	
Кратність пускового моменту	$\lambda_p = M_p/M_n$	2,1	
Коефіцієнт перевантаження за струмом	$\lambda_p = I_p/I_n$	4,9	
Маса	m_d	5,1	кг

Оскільки вибраний двигун розрахований та тривалий режим роботи, то перевірку за перегрівом виконувати не будемо.

Для перевірки двигуна за перевантаженням треба знайти динамічний момент системи.

Момент інерції однієї стулки воріт визначимо за формулою моменту інерції стержня, через один кінець якого проходить вісь обертання:

$$J_v = \frac{ml^2}{3}, \quad (2.27)$$

$$J_v = \frac{500 \cdot 3^2}{3} = 1500 \text{ (кгм}^2\text{)}.$$

Щоб знайти сумарний момент інерції системи треба розрахувати точне значення передавального відношення редуктора. Для цього необхідно обрати редуктор.

Редуктор обирається за моментом на вихідному валу, передавальним відношенням і формою виконання. Для наших потреб найбільш зручною формою виконання редуктора є циліндричний редуктор, у якого вихідний вал знаходиться навпроти вхідного. Редуктор повинен кріпитися разом з двигуном до стовпа воріт.

Потрібне передавальне відношення редуктора становить 275, а момент на вторинному валу для понижаючого редуктора – 216,3 Нм. За цими даним вибираємо редуктор, параметри якого близькі до потрібних.

Обираємо редуктор CMGIS 033, технічні характеристики якого зведемо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Паспортні дані циліндричного редуктора CMGIS 033

Параметри редуктора	Величина
Швидкість на вторинному валу, об/хв	5,3
Номінальний момент на вторинному валу, Нм	300
Потужність, кВт	0,18
Передавальне відношення редуктора	262,05

Приведене значення моменту інерції стулки воріт буде дорівнювати:

$$J'_v = \frac{J_v}{i_r^2}, \quad (2.28)$$

$$J'_v = \frac{1500}{262,05^2} = 0,022 \text{ (кгм}^2\text{)}.$$

Момент інерції ротора двигуна можна наближено знайти за формулою:

$$J_d = 8750 \frac{P_n}{n_n^2}, \quad (2.29)$$

$$J_d = 8750 \frac{0,18}{1325} = 0,0009 \text{ (кгм}^2\text{)}.$$

Сумарний момент інерції системи з врахуванням певного запасу і моменту інерції редуктора (прийmemo його рівним моменту інерції ротора двигуна) буде рівним:

$$J = 2,1J_d + J'_v, \quad (2.30)$$

$$J = 2,1 \cdot 0,0009 + 0,022 = 0,024 \text{ (кгм}^2\text{)}.$$

Припустимо, що розгін привода до номінальної швидкості відбувається за $t_r = 2$ с, тоді кутове прискорення, приведене до валу двигуна буде дорівнювати:

$$\xi = i_r \cdot \frac{\omega_t}{t_r}, \quad (2.31)$$

$$\xi = 274,75 \cdot \frac{0,571}{2} = 78,5 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Динамічний момент системи розраховується за формулою:

$$M_d = J\xi, \quad (2.32)$$

$$M_d = 0,024 \cdot 78,5 = 1,86 \text{ (Нм)}.$$

Сумарний момент навантаження під час розгону буде дорівнювати:

$$M_r = M'_t + M_d, \quad (2.33)$$

$$M_r = 0,847 + 1,86 = 2,71 \text{ (Нм)}.$$

Номінальний момент двигуна визначається за формулою:

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_n}, \quad (2.34)$$

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{180}{1325} = 1,3 \text{ (Нм)}.$$

Критичний момент двигуна буде дорівнювати:

$$M_k = \lambda_m M_n, \quad (2.35)$$

$$M_k = 2,2 \cdot 1,3 = 2,85 \text{ (Нм)}.$$

Перевіримо умову на перевантаження:

$$M_k = 2,85 > 2,71 = M_r. \quad (2.36)$$

Отже, умова перевірки за перевантаженням виконується.

Перевіримо умову за пуском. Пусковий момент механізму буде дорівнювати моменту розгону.

Пусковий момент двигуна можна знайти за формулою:

$$M_p = \lambda_p M_n, \quad (2.37)$$

$$M_p = 2,1 \cdot 1,3 = 2,724 \text{ (Нм)}.$$

Умова перевірки за можливістю пуску буде мати вигляд:

$$M_p = 2,724 > 2,71 = M_r. \quad (2.38)$$

Отже, умова перевірки за можливістю пуску виконується.

Отже, двигун вибрано вірно.

2.4 Розрахунок та вибір силової частини електропривода та вибір її елементів

2.4.1 Розробка структурної схеми електропривода

Для живлення приводних двигунів використаємо один перетворювач частоти. Перетворювач частоти підключається до мережі живлення через автоматичний вимикач.

Структурна схема електропривода зображена на рис. 2.3.

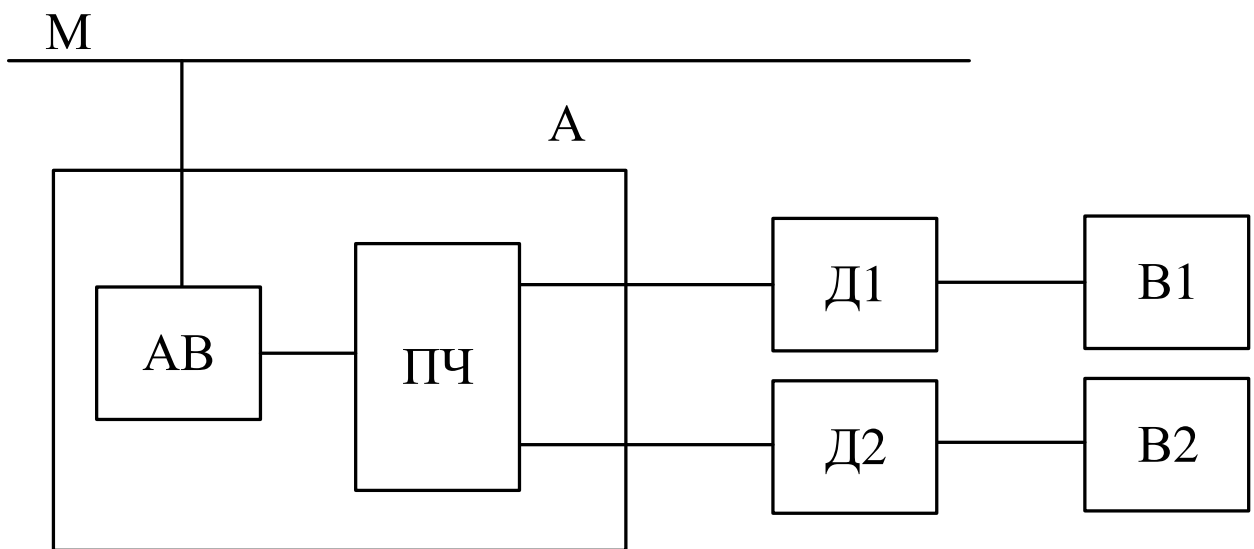


Рисунок 2.3 – Структурна схема електропривода

На рис. 2.3 позначено: М – мережа живлення електропривода; АВ – автоматичний вимикач; А – автоматика воріт; ПЧ – перетворювач частоти; Д1, Д2 – приводні двигуни; В1, В2 – стулки воріт.

Автоматика воріт призначена для забезпечення управління електроприводами залежно від різних обставин. Такими обставинами можуть бути ручне керування, керування через пульт тощо.

АВ в електроприводі використовується для забезпечення захисту від перевантажень і коротких замикань.

ПЧ забезпечує регулювання частоти та напруги живлення двигунів відповідно до сигналу задання і закону частотного регулювання.

Двигуни забезпечує перетворення електричної енергії в механічну і приведення в рух важільного механізму воріт. В якості приводних двигунів використовується АД з короткозамкнутим ротором.

2.4.2 Розрахунок і вибір автоматичного вимикача.

Вибір автоматичного вимикача виконується за струмом.

Пусковий струм двигуна

$$I_p = \lambda_i I_n, \quad (2.39)$$

де λ_i – кратність пускового струму ($\lambda_i = 4,9$).

Отримаємо пусковий струм

$$I_p = 4,9 \cdot 0,7 = 3,43 \text{ (A)}.$$

Умова вибору автоматичного вимикача для полегшених умов пуску має вигляд

$$I_{\text{avt}} \geq 0,4 \cdot I_p, \quad (2.40)$$

$$I_{\text{avt}} \geq 0,4 \cdot 3,43 = 1,37 \text{ (A)}.$$

Отже, номінальний струм автоматичного вимикача повинен бути не меншим за 1,37 А. Оскільки кратність пускового струму двигуна становить 5, то сам автоматичний вимикач повинен мати групу електромагнітного розчіплювача А або С. Для забезпечення вимкнення однофазного перетворювача частоти автоматичний вимикач повинен бути двохполюсним.

Вибираємо автоматичний вимикач ЕТІМАТ 6 2р С1,6, технічні характеристики якого зведемо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики автоматичного вимикача ЕТІМАТ 6 2р С1,6

Артикул	002143507
Назва	ЕТІМАТ 6 2р С1,6
Група каталогу	Модульні автоматичні вимикачі та аксесуари
Призначення	Автоматичні вимикачі
Відключаюча спроможність, кА	6
Характеристика спрацьовування	С
Номінальний струм, А	1,6
Група	ЕТІМАТ 6 6 кА

2.4.3 Розрахунок і вибір перетворювача частоти.

Перетворювач частоти обирається за такими параметрами:

- потужність електропривода;
- струм електропривода в тривалому режимі роботи (номінальний);
- допустимий струм перевантаження двигуна, який може виникати при пуску електропривода або допустимих підвищеннях навантаження.

Зрозуміло, що є і інші параметри, які необхідно враховувати при виборі перетворювача частоти, але ми їх розглядати не будемо. Це пов'язано з тим, що умови роботи виробничого механізму вважаються легкими для електропривода. Електропривод відкривання воріт не потребує глибокого регулювання швидкості обертання, до нього не висуваються підвищені вимоги надійності, довговічності, точності, плавності регулювання. Таким чином, можна обрати самий звичайний перетворювач частоти, на основі якого можна буде реалізувати замкнуту систему керування по положенню виробничого механізму.

Номінальна потужність електропривода, який складається з двох двигунів, буде дорівнювати:

$$P_{ep} = 2P_n, \quad (2.41)$$

$$P_{ep} = 2 \cdot 0,18 = 0,36 \text{ (кВт)}.$$

Номинальний струм двигуна дорівнює 0,7 А, а номинальний струм електропривода буде рівним значенню:

$$I_{ep} = 2I_n, \quad (2.42)$$

$$I_{ep} = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ (А)}.$$

Допустимий струм двигуна приймемо рівним пусковому, який дорівнює 3,43 А. Допустимий струм електропривода буде рівним значенню:

$$I_{доп} = 2I_p, \quad (2.43)$$

$$I_{доп} = 2 \cdot 3,43 = 6,86 \text{ (А)}.$$

За величиною струму, потужності та допустимого струму оберемо перетворювач частоти LSis SV 004-1 iES5. Технічні характеристики перетворювача зведемо у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики перетворювача частоти LSis SV 004-1 iES5

Назва параметру	Значення
Потужність, кВт	0,4
Навантажувальна спроможність, кВА	0,95
Струм при повному навантаженні, А	2,5
Вихідна напруга, В	3x220
Вихідна частота, Гц	0,1 – 200
Вхідна напруга, В	1x220
Вхідний струм, А	5,5
Спосіб керування	Скалярне
Допустиме перевантаження, %	1 хв. при 150%
Задання частоти	аналог. сигн 0 – 10 В / 0 – 20 мА / потенціометр / цифр. сигн. з пульта керув.
Функції керування	ПІ контроль
Опції	RS 485

2.4.4 Розрахунок і вибір транзисторів та діодів перетворювача.

Якщо у структурі перетворювача частоти є ланка постійного струму, то він складається з випрямляча, фільтра та інвертора.

Випрямляч виконується за двохфазною мостовою схемою. У такій схемі використовується 10 діодів, 4 з яких формують нерегульований випрямляч, а інші 6 встановлюються паралельно Е-К переходам транзисторів в зворотному напрямі.

Розрахунок та вибір діодів виконується за наступними параметрами:

- за середнім струмом;
- за максимальним амплітудним значенням напруги на тиристорі;
- за ударним струмом внутрішнього короткого замикання.

Середній струм через діод дорівнює

$$I_{\text{ser}} = \frac{I_{\text{dop}}}{4}, \quad (2.44)$$

$$I_{\text{ser}} = \frac{6,86}{4} = 1,72 \text{ (A)}.$$

Струм, приведений до класифікаційних параметрів діода дорівнює:

$$I_{\text{kl}} = k_{\text{zs}} k_{\text{s}} k_{\text{oh}} I_{\text{ser}}, \quad (2.45)$$

де k_{zs} – коефіцієнт запасу за струмом ($k_{\text{zs}} = 1,3 \div 1,75$);

k_{s} – коефіцієнт, що залежить від схеми випрямлення, кута провідності та форми струму ($k_{\text{s}} = 1,1 \div 1,77$);

k_{oh} – коефіцієнт, що враховує умови охолодження тиристора ($k_{\text{oh}} = 1 \div 2,5$).

Для $k_{\text{zs}} = 1,5$, $k_{\text{s}} = 1,1$, $k_{\text{oh}} = 1,75$ отримаємо:

$$I_{\text{kl}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,75 \cdot 1,72 = 5 \text{ (A)}.$$

Максимальна напруга, яка прикладається до діода під час його закривання розраховується за формулою

$$U_{\text{max}} = k_{\text{zn}} \sqrt{2} U_{\text{ln}}, \quad (2.46)$$

де k_{zn} – коефіцієнт запасу за напругою, який враховує можливість виникнення перенапруги на тиристорах ($k_{\text{zn}} = 1,3 \div 1,5$);

U_{ln} – номінальне значення лінійної напруги живлення ($U_{\text{ln}} = 220 \text{ В}$).

Для $k_{\text{zn}} = 1,4$ отримаємо

$$U_{\max} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 = 435,6(\text{В}).$$

З довідникових даних вибираються діоди, для яких виконуються умови:

$$I_{\text{dn}} > I_{\text{kl}} = 5(\text{А}), \quad (2.47)$$

$$U_{\text{zdm}} > U_{\max} = 435,6(\text{В}). \quad (2.48)$$

За умовами (5.8) і (5.9) можна вибирати також і транзистори інвертора. Діоди випрямляча і інвертора мають однакові параметри.

2.5 Розрахунок параметрів об'єкта керування

Для подальших розрахунків і моделювання системи скористаємося лінійною моделлю асинхронного двигуна.

Частота обертання ідеального холостого ходу у рад/с:

$$\omega_0 = 0,1047 \cdot n_0, \quad (2.49)$$

де n_0 – синхронна швидкість обертання двигуна ($n_0 = 1500$ об/хв).

Отримаємо синхронну частоту обертання:

$$\omega_0 = 0,1047 \cdot 1500 = 157 \text{ (рад/с)}.$$

Критичне ковзання можна визначити за формулою:

$$s_k = s_n \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right), \quad (2.50)$$

де s_n – номінальне ковзання асинхронного двигуна, в. од.;

λ_m – кратність критичного моменту.

Номинальне ковзання двигуна розраховується за формулою:

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}, \quad (2.51)$$

$$s_n = \frac{1500 - 1325}{1500} = 0,117 \text{ (в. од.)}.$$

Отримаємо:

$$s_k = 0,117 \cdot \left(2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}\right) = 0,485 \text{ (в. од.)}.$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = \lambda_m M_n, \quad (2.52)$$

$$M_k = 2,2 \cdot 1,297 = 2,854 \text{ (Нм)}.$$

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики:

$$\beta = \frac{2M_k}{s_k \cdot \omega_0}, \quad (2.53)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 1,297}{0,485 \cdot 157} = 0,075 \text{ (Нмс/рад)}.$$

Коефіцієнт підсилення по частоті:

$$k_1 = \frac{2 \cdot \pi}{z_p}, \quad (2.54)$$

де z_p – кількість пар полюсів двигуна ($z_p = 2$).

Отримаємо:

$$k_1 = \frac{2 \cdot 3,14}{2} = 3,142 \text{ (рад/(сГц))}.$$

Електромагнітна стала часу:

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot s_k}, \quad (2.55)$$

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,485} = 0,0066 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$k_f = \frac{f_{\max}}{U_{\text{зад}}}, \quad (2.56)$$

де $U_{\text{зад}}$ – задаюча напруга (напруга керування) перетворювача частоти
($U_{\text{зад}} = 10 \text{ В}$);

f_{\max} – максимальне значення частоти напруги живлення двигуна
($f_{\max} = 50 \text{ Гц}$).

Отримаємо значення:

$$k_f = \frac{50}{10} = 5 \text{ (Гц/В)}.$$

Стала часу перетворювача частоти буде знаходитися в діапазоні від 0,001 с до 0,01 с. Обиремо середнє значення, тобто:

$$T_f = 0,005 \text{ (с)}.$$

На виході двигуна отримується його швидкість обертання. Редуктор цю швидкість зменшує за законом:

$$\omega_t(p) = \frac{1}{i_r} \cdot \omega_d(p), \quad (2.57)$$

де $\omega_t(p)$ – перетворена по Лапласу частота обертання стулки воріт, рад/с;

$\omega_d(p)$ – перетворена по Лапласу частота обертання валу двигуна, рад/с.

2.6 Розрахунок та побудова характеристик розімкненої системи електропривода

Серед характеристик розімкненої системи електропривода можна виділити механічні та електромеханічні характеристики.

Механічні характеристики побудуємо використавши формулу Чекунова:

$$M(s) = M_k \frac{2 + (s^2 - s_k^2)k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.58)$$

де k – коефіцієнт, що розраховується за формулою:

$$k = \frac{\frac{M_p}{M_k} \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (2.59)$$

де M_p – пусковий момент двигуна, Нм.

Отже, отримаємо вирази:

$$k = \frac{\frac{M_p}{M_k} \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2} = \frac{\frac{2,72}{2,85} \left(\frac{1}{0,485} + 0,485 \right) - 2}{1 - 0,485^2} = 0,563, \quad (2.60)$$

$$M(s) = 2,85 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,485^2) \cdot 0,563}{\frac{s}{0,485} + \frac{0,485}{s}}.$$

Підставляючи різні значення ковзання можна отримати різні значення моменту. Отримані значення зведемо у табл. 2.6

Таблиця 2.6 – Природня механічна характеристика АД

s	$1e-3$	0.05	0.099	0.148	0.197	0.246	0.295	0.344	0.393	0.442	0.491	0.54	0.589	0.638	0.687	0.736	0.785	0.834	0.883	0.932
$M(s)$	0.011	0.11	0.208	0.307	0.404	0.501	0.597	0.692	0.785	0.877	0.968	1.057	1.144	1.229	1.312	1.393	1.471	1.548	1.622	1.693

На основі отриманих чисел побудуємо природню механічну характеристику. Представимо її на рис. 2.4.

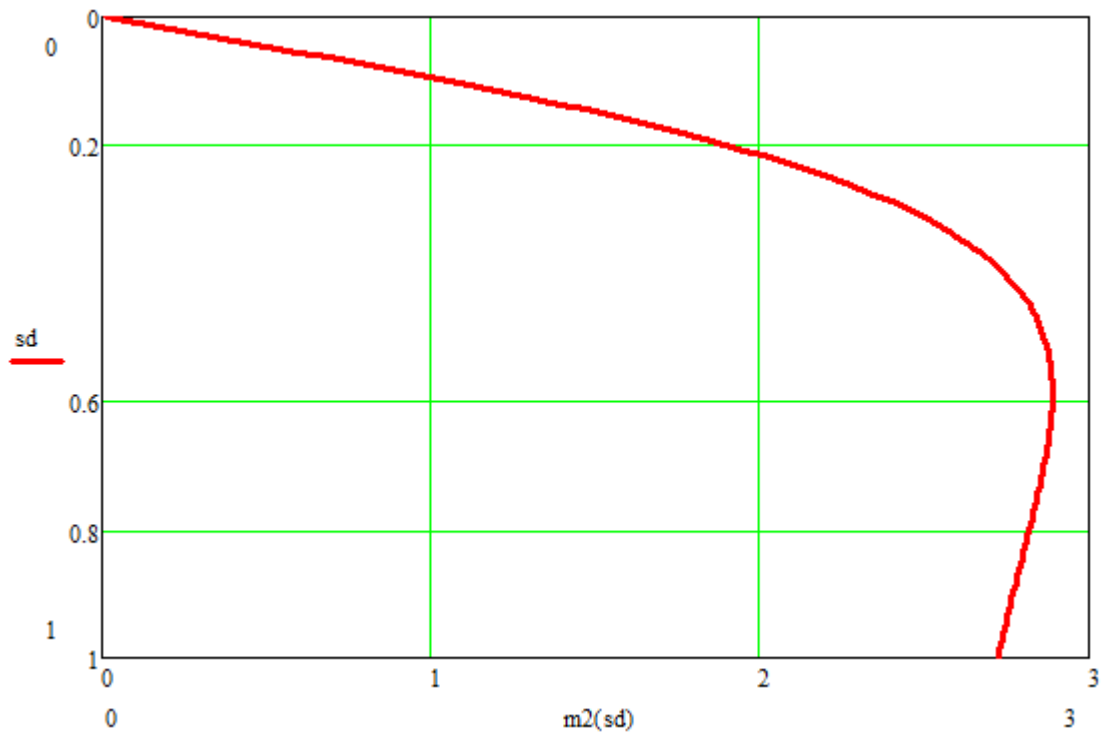


Рисунок 2.4 – Природня механічна характеристика двигуна

Щоб отримати штучні механічні характеристики скористаємося рівнянням моменту двигуна для усталеного режиму роботи, яке має вигляд:

$$M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (2.61)$$

Звідки можна знайти значення синхронної швидкості за виразом:

$$\omega_0 = \frac{M}{\beta} + \omega. \quad (2.62)$$

Припускаючи, що при частотному способі регулювання жорсткість механічної характеристики двигуна не змінюється, можна знайти значення синхронної швидкості при різних швидкостях і навантаженні.

Знайдемо приведену до валу двигуна швидкість виробничого механізму за формулою:

$$\omega'_t = i_r \cdot \omega_t, \quad (2.63)$$

$$\omega'_t = 262,05 \cdot 0,571 = 149,743 \text{ (рад/с)}.$$

Знайдемо значення синхронної частоти обертання для знайденої швидкості і навантаження, що створюється виробничим механізмом:

$$\omega_{01} = \frac{M'_t}{\beta} + \omega'_t, \quad (2.64)$$

$$\omega_{01} = \frac{0,847}{0,075} + 149,74 = 161,05 \text{ (рад/с)}.$$

Синхронну частоту обертання двигуна можна знайти за виразом:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{z_p} f, \quad (2.65)$$

де f – частота напруги живлення, Гц;

z_p – кількість пар полюсів двигуна ($z_p = 2$).

З виразу синхронної швидкості знайдемо частоту за формулою:

$$f = \frac{\omega_0 \cdot z_p}{2\pi} = \frac{\omega_{01}}{\pi}, \quad (2.66)$$

$$f = \frac{161,05}{3,14} = 51,263 \text{ (Гц)}.$$

Маючи частоту обертання двигуна можна знайти його ковзання за формулою:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (2.67)$$

Звідки можна отримати залежність:

$$s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (2.68)$$

Для потрібного значення швидкості обертання ковзання запишеться:

$$s = 1 - \frac{\omega}{\omega_{01}} = 1 - \frac{\omega}{161,05}. \quad (2.69)$$

Підставимо цей вираз в формулу моменту двигуна за формулою Чекунова для різних значень синхронної швидкості. Отримаємо залежність:

$$M_2(\omega) = 2,85 \cdot \frac{2 + \left(\left(1 - \frac{\omega}{157} \right)^2 - 0,485^2 \right) \cdot 0,563}{\frac{1 - \frac{\omega}{157}}{0,485} + \frac{0,485}{1 - \frac{\omega}{157}}}, \quad (2.70)$$

$$M_3(\omega) = 2,85 \cdot \frac{2 + \left(\left(1 - \frac{\omega}{161,05} \right)^2 - 0,485^2 \right) \cdot 0,563}{\frac{1 - \frac{\omega}{161,05}}{0,485} + \frac{0,485}{1 - \frac{\omega}{161,05}}}. \quad (2.71)$$

Підставляючи різні значення частоти обертання отримаємо різні значення моменту. Отримані значення зведемо у табл. 2.7

Таблиця 2.7 – Штучні механічні характеристики АД

ω , рад/с	M_2 , Нм	M_3 , Нм
0	2.725	2.725
5	2.738	2.738
10	2.753	2.752
15	2.768	2.767
20	2.783	2.782
25	2.799	2.798
30	2.815	2.813
35	2.83	2.829
40	2.845	2.843
45	2.858	2.857
50	2.87	2.869
55	2.879	2.879
60	2.886	2.887
65	2.888	2.89
70	2.885	2.889
75	2.875	2.882
80	2.856	2.868
85	2.828	2.845
90	2.786	2.81
95	2.73	2.763
100	2.656	2.699
105	2.562	2.618
110	2.444	2.516
115	2.3	2.39
120	2.128	2.238
125	1.925	2.059
130	1.692	1.85
135	1.428	1.612
140	1.136	1.345
145	0.82	1.053
150	0.485	0.739
155	0.139	0.409

На основі отриманих чисел побудуємо природню і штучну механічні характеристики. Представимо їх на рис. 2.5.

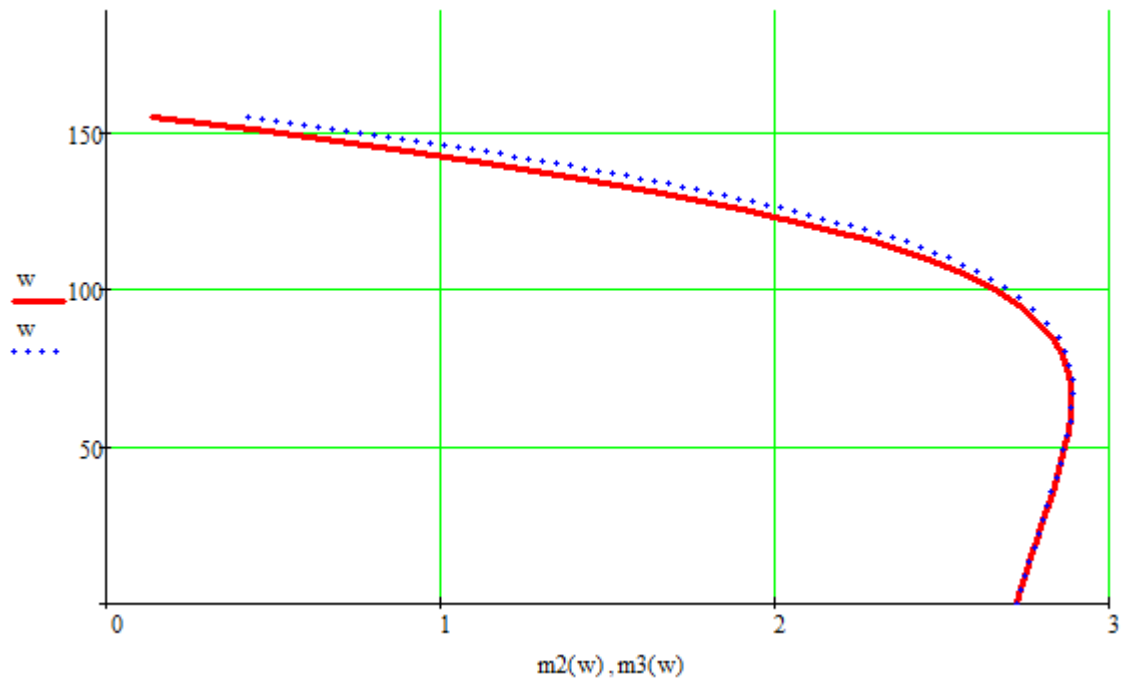


Рисунок 2.5 – Природна та штучна механічні характеристики двигуна

2.7 Розрахунок системи керування

2.7.1 Розробка функціональної схеми електропривода

Функціональна схема відображає функціональні зв'язки всередині системи та функціональне призначення всіх елементів системи.

Порівняно зі структурною схемою на функціональній представляється будова системи керування та силового перетворювача. Зобразимо функціональну схему на рис. 2.6.

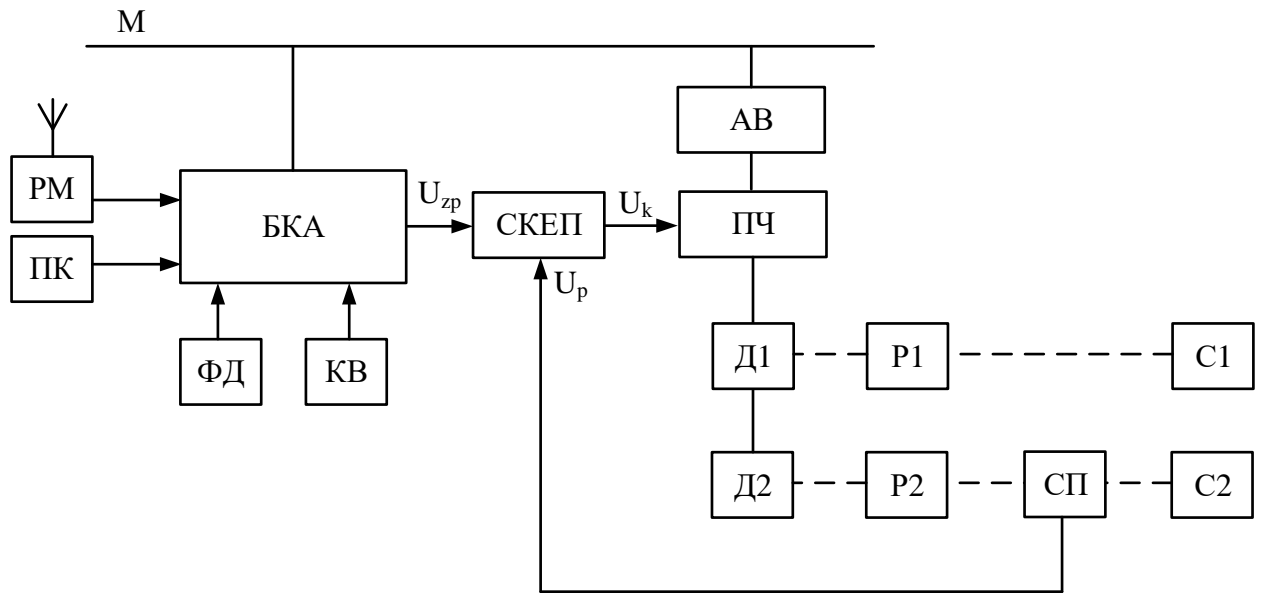


Рисунок 2.6 – Функціональна схема електропривода

На функціональній схемі позначено:

РМ – радіомодуль;

ПК – панель керування;

БКА – блок керування автоматики;

ФД – фотодавачі;

КВ – кінцеві вимикачі;

СКЕП – система керування електроприводом;

СП – сенсор положення механізму.

U_{zp} – напруга задання положення механізму;

U_k – напруга керування перетворювачем частоти;

U_p – напруга зворотного зв'язку за положенням механізму.

Радіомодуль дозволяє забезпечити керування автоматикою на відстані. Радіопередавачем сигнал керування передається по радіоканалу на БКА і формується сигнал задання на СКЕП. Радіопередавач виконується у вигляді пульта з кнопками відкриття та закриття воріт.

Пульт керування представляє собою кнопкову станцію або набір перемикачів, які забезпечують керування електроприводом в ручному режимі

безпосередньо з місця установки воріт. Пульти керування встановлюються на внутрішній частині території поблизу воріт.

Фотодавачі не дозволяють воротам закритися, якщо у їхньому проємі знаходиться якийсь об'єкт. Фотодавачі встановлюються з тієї сторони території, у яку відкриваються ворота.

Кінцеві вимикачі забезпечують гарантоване вимкнення електропривода воріт в крайніх положеннях. В кожній стулці воріт є два крайні положення: положення «Відкрито» і положення «Закрито».

СКЕП забезпечує формування сигналу на ПЧ залежно від сигналу задання, сигналу зворотного зв'язку та функції регулятора системи керування електроприводом. Регулятор СКЕП може бути пропорційним, пропорційно-інтегральним, пропорційно-диференціальним та пропорційно-інтегрально-диференціальним.

Сенсор положення забезпечує вимірювання положення воріт і формування сигналу напруги, пропорційного цьому положенню. Сигнал на виході сенсора повинен бути співрозмірним із сигналами системи керування.

2.7.2 Розрахунок регуляторів системи керування електроприводом.

Оскільки система охоплена зворотним зв'язком за положенням воріт, то на виході математичної моделі електропривода необхідно отримати положення воріт, тобто кут повороту стулки воріт відносно навісів. Якщо відома частота обертання воріт, то кут повороту можна отримати, проінтегрувавши частоту. Процедура інтегрування в операторному вигляді матиме вигляд:

$$\varphi(p) = \frac{1}{p} \omega_t(p), \quad (2.72)$$

де $\varphi(p)$ – перетворений по Лапласу кут повороту стулки воріт, рад.;

p – оператора Лапласа.

Для розрахунку параметрів регулятора необхідно знайти параметри контуру зворотного зв'язку.

Коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв'язку за положенням воріт для десятивольтової шкали кола керування визначається за формулою:

$$k_p = \frac{10}{\phi_n}, \quad (2.73)$$

де ϕ_n – номінальне значення кута повороту стулки воріт ($\phi_n = \pi/2 = 1,57$ рад.)

Отримаємо значення коефіцієнта підсилення контуру зворотного зв'язку за положенням:

$$k_p = \frac{10}{1,57} = 6,37 \text{ (В/рад)}.$$

Розрахунок регулятора положення виконаємо за модульним критерієм оптимальності. Розрахунок проведено в математичному пакеті Mathcad і представлено в Додатку Б на рис. Б1.

За результатами розрахунку отримаємо пропорційно-диференційний регулятор положення виду:

$$R_p(s) = 262 + 83,3 \cdot s, \quad (2.74)$$

де s – оператор Лапласа.

Відомо, що операції множення на « s » в операторному вигляді відповідає процедура диференціювання в часовому вимірі. Таким чином в регуляторі положення є, і підсилення, і диференціювання.

2.8 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода шляхом комп'ютерного моделювання

Динамічні характеристики електропривода будемо досліджувати шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі структурного моделювання програми Matlab Simulink.

Комп'ютерну модель розімкненої системи електропривода, зібрана в Matlab Simulink, зображена на рис. 2.7.

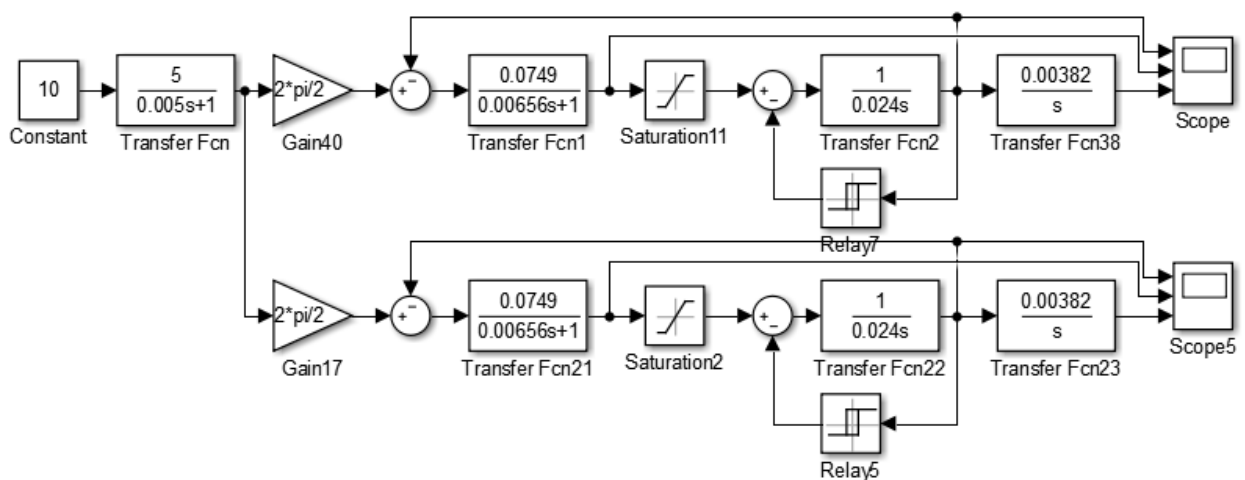


Рисунок 2.7 – Комп'ютерна модель розімкненої системи електропривода

На комп'ютерній моделі позначено: Constant – джерело напруги керування 10 В; Transfer Fcn – передавальна функція ПЧ; Gain40, 17 – коефіцієнт підсилення частоти; Transfer Fcn1, 21 – передавальна функція двигуна; Saturation 11, 2 – нелінійний елемент обмеження моменту двигуна на рівні критичного; Transfer Fcn 2, 22 – передавальна функція основного рівняння руху; Relay 7, 5 – блок реактивного статичного моменту; Transfer Fcn 38, 23 – передавальна функція механізму.

Результати моделювання прямого пуску електропривода на статичне навантаження прямого ходу з врахуванням вітрового навантаження представимо на рис. 2.8.

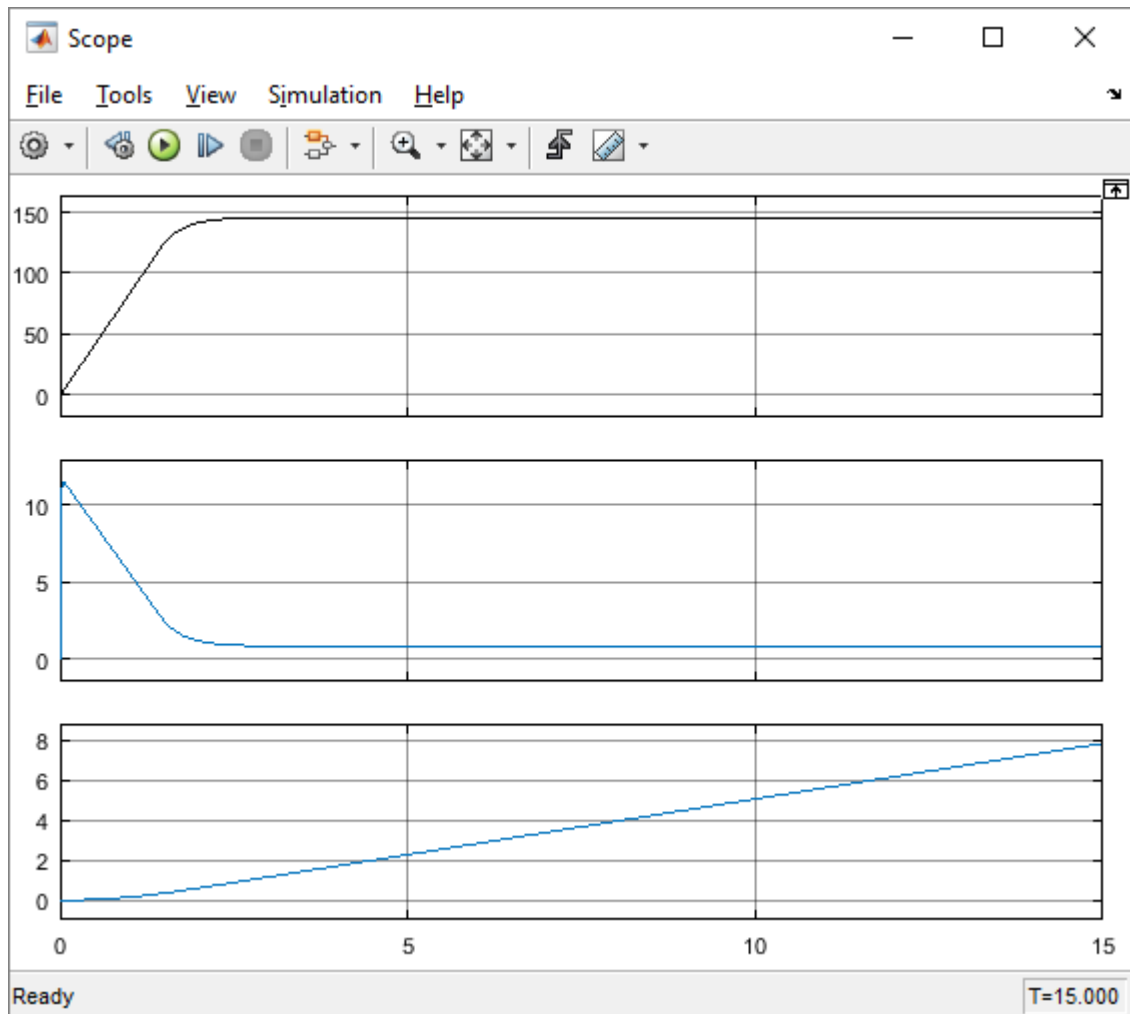


Рисунок 2.8 – Результати моделювання прямого пуску електропривода на статичне навантаження прямого ходу стулки воріт

На рисунку результатів моделювання зображено три вікна програми Matlab. У верхньому вікні показується частота обертання ротора двигуна в рад/с, у середньому вікні зображується момент двигуна в Нм, а у нижньому – кут повороту стулки воріт в рад. Нагадаємо для порівняння, що синхронна частота обертання двигуна 157 рад/с, критичний момент двигуна дорівнює

2,85 Нм, а кут повороту стулки воріт 1,57 рад. Такі ж самі параметри будуть зображуватися у відповідних вікнах всіх результатів моделювання.

З результатів моделювання видно, що електропривод розганяється за 2,5 с без перерегулюванням за частотою обертання і 4-кратним перерегулюванням за моментом. У процесі розгону і роботи електропривода кут повороту струлки воріт постійно збільшується.

Комп'ютерна модель електропривода при плавній зміні частоти напруги живлення, зібрана в Matlab Simulink, зображена на рис. 2.9.

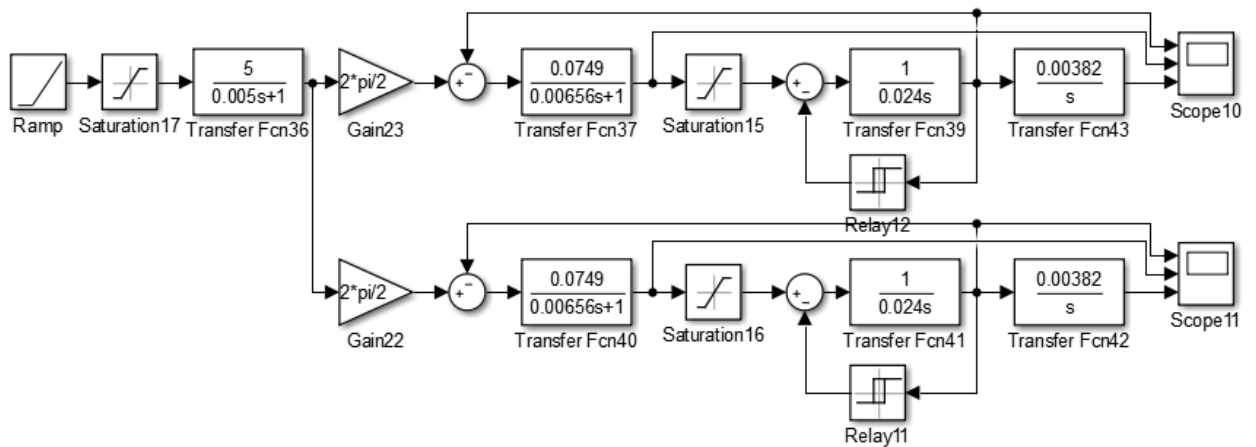


Рисунок 2.9 – Комп'ютерна модель електропривода при плавній зміні частоти напруги живлення

На комп'ютерній моделі позначено: Ramp – джерело частоти напруги яка лінійно зростає; Saturation 17 – нелінійний елемент обмеження сигналу на рівні 10 В.

Результати моделювання плавного пуску електропривода за 3 с. на повне статичне навантаження представимо на рис. 2.10.

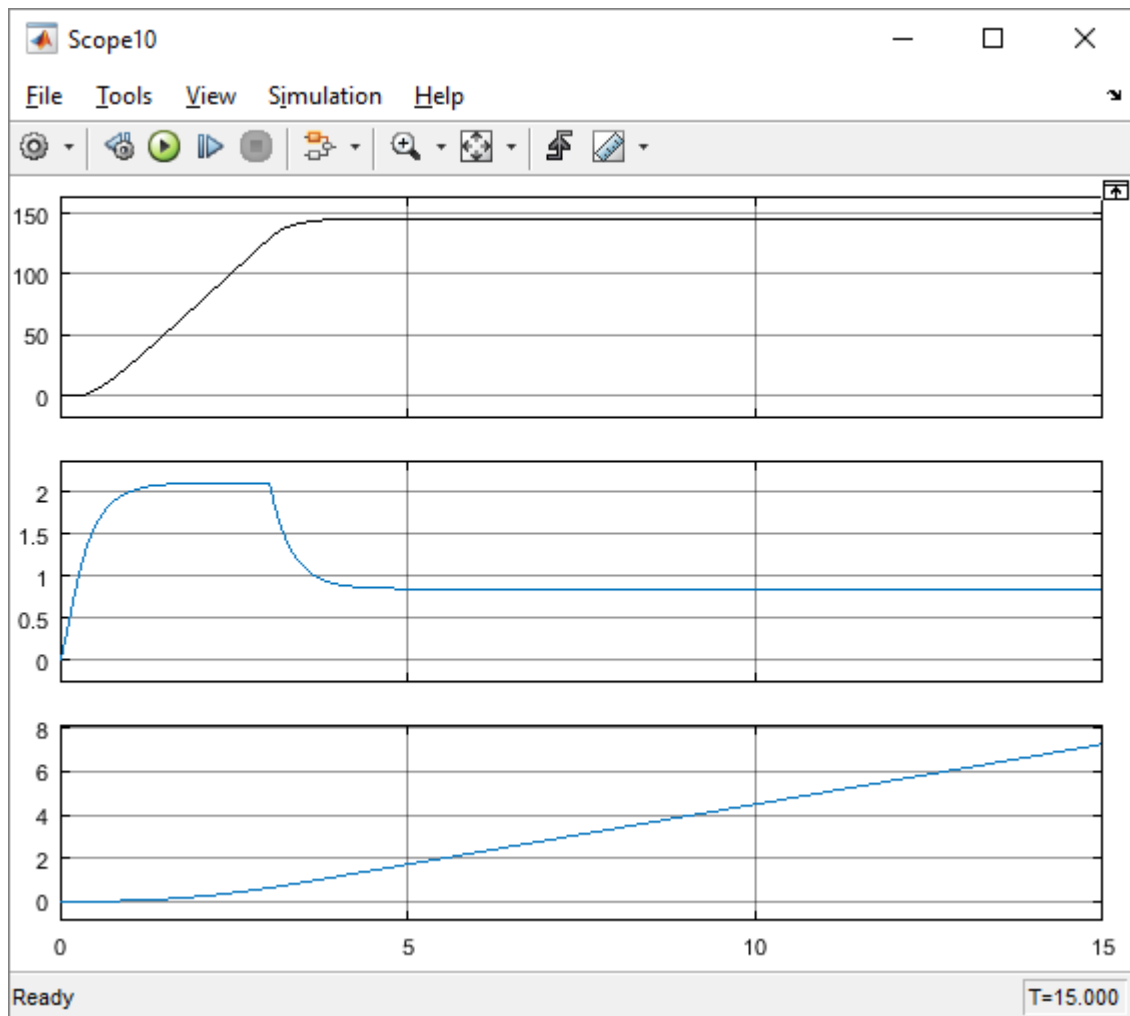


Рисунок 2.10 – Результати моделювання плавного пуску електропривода на повне статичне навантаження

З результатів моделювання видно, що електропривод розганяється за 4 с без перерегулювання за швидкістю обертання і без перевищення критичного моменту. Таким чином, можна зробити висновок, що плавне регулювання частоти напруги живлення суттєво зменшує стрибок моменту двигуна під час пуску. Дана особливість не дивлячись на те, що тривалість розгону збільшилася на 1 с., дозволяє обґрунтувати установку на привод таких механізмів пристроїв плавного пуску або перетворювачів частоти.

Комп'ютерна модель електропривода зі зворотним зв'язком за положенням ступки воріт при налаштуванні контуру на модульний критерій оптимальності зображена на рис. 2.11.

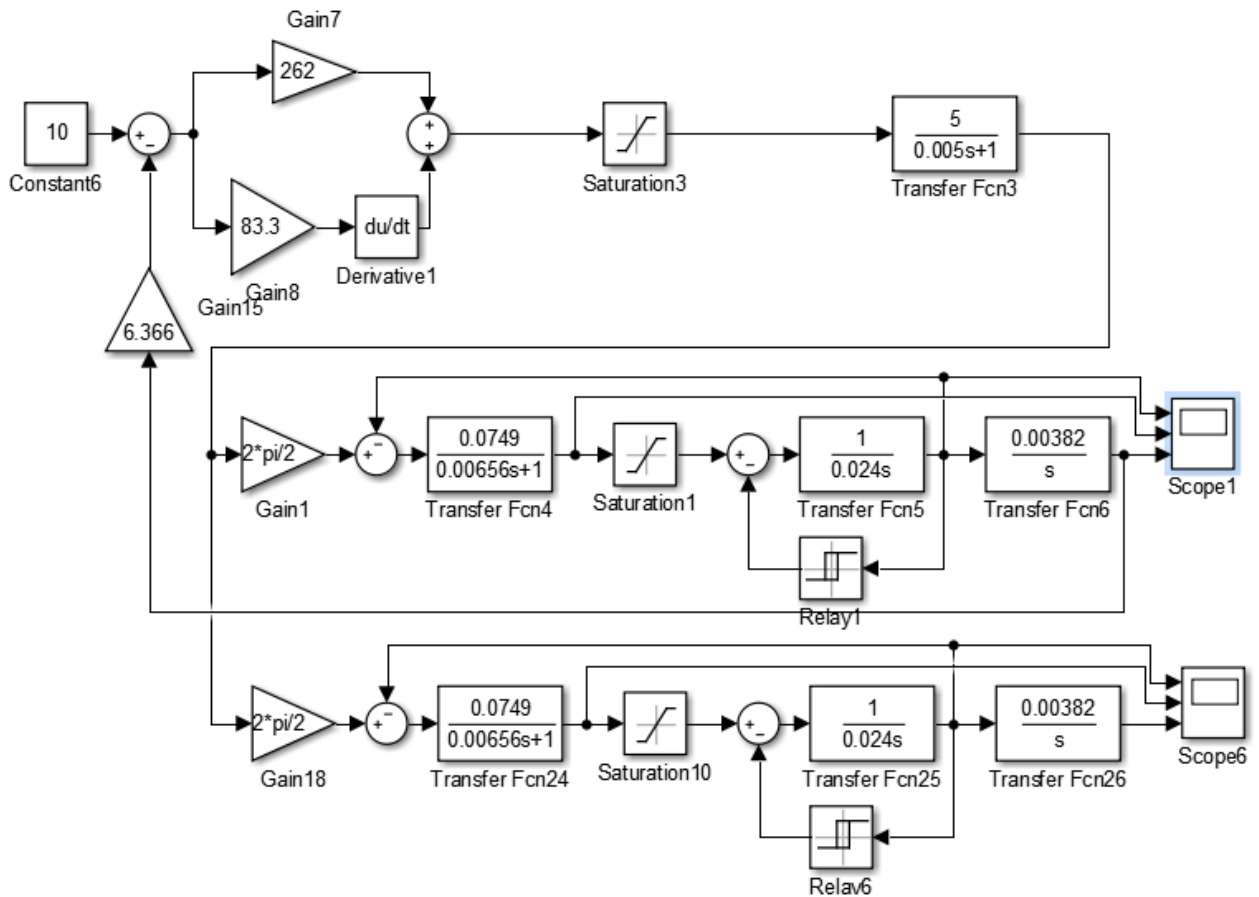


Рисунок 2.11 – Комп’ютерна модель електропривода зі зворотним зв’язком за положенням ступки воріт при налаштуванні контуру на модульний критерій оптимальності

На рис. 2.11 додатково позначено: Constant5 – джерело задаючої напруги положення воріт 10 В; Gain7, 8, Derivative1, Saturation3 – пропорційно-диференційний регулятор положення ступки воріт; Gain15 – коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв’язку за положенням механізму.

В результаті моделювання такої системи отримаємо графіки перехідних процесів, які зобразимо на рис. 2.12.

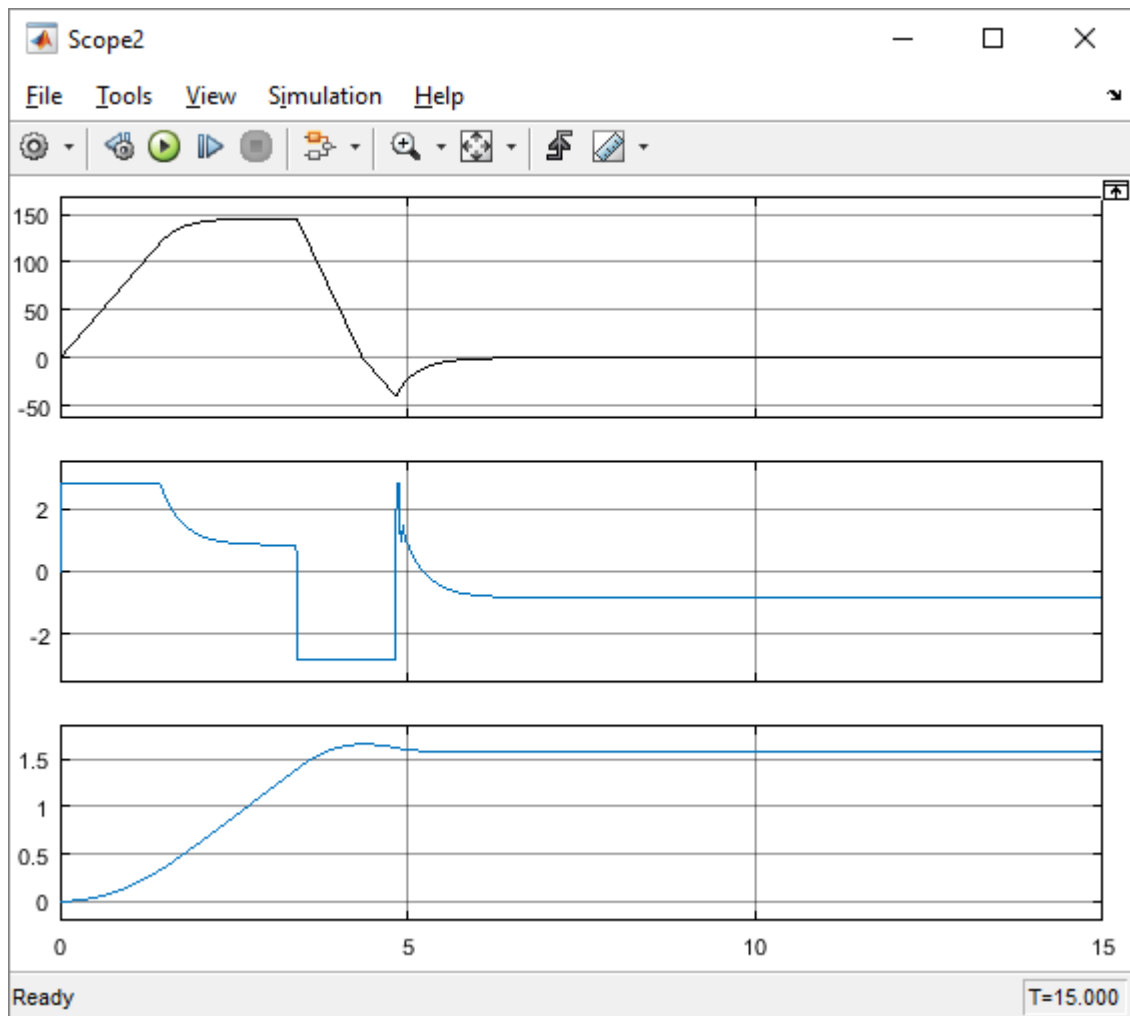


Рисунок 2.12 – Графіки перехідних процесів електропривода при зворотному зв'язку за положенням механізму і налаштуванні на модульний критерій оптимальності

З графіків видно, що система відпрацьовує переміщення воріт на заданий кут за 6,5 с. За час 3,5 с. електропривод розганяється до номінальної швидкості, далі, пропрацювавши 1,5 с., розпочинає гальмуватися. І у 6 с. виходить в початкову позицію з деяким перерегулюванням.

Вихід положення ступки воріт в задане значення і повернення у вихідне положення відбувається з невеликим перерегулюванням. Але система працює стійко. Коливальний процес закінчується за 0,5 с. виходом положення у стійку позицію.

Після зупинки привода момент двигуна приймає якесь значення, необхідне для утримання механізму в нерухомому положенні. При

виникненні механічного збурення електропривод поверне стулку воріт назад в задану позицію.

На відміну від моделі розімкненої системи електропривода, у даній моделі графік моменту двигуна береться з виходу елемента обмеження координат. Це зроблено для покращення достовірності опису процесів в електроприводі. Насправді, момент асинхронного двигуна не може бути більшим за критичний, тому у моделі прийнято рішення його обмежити на рівні критичного значення.

Розглянемо випадок, коли під впливом збурення, наприклад пориву вітру, стулка воріт відводиться в сторону. Графіки перехідних процесів, які при цьому отримуються, зображені на рис. 2.13.

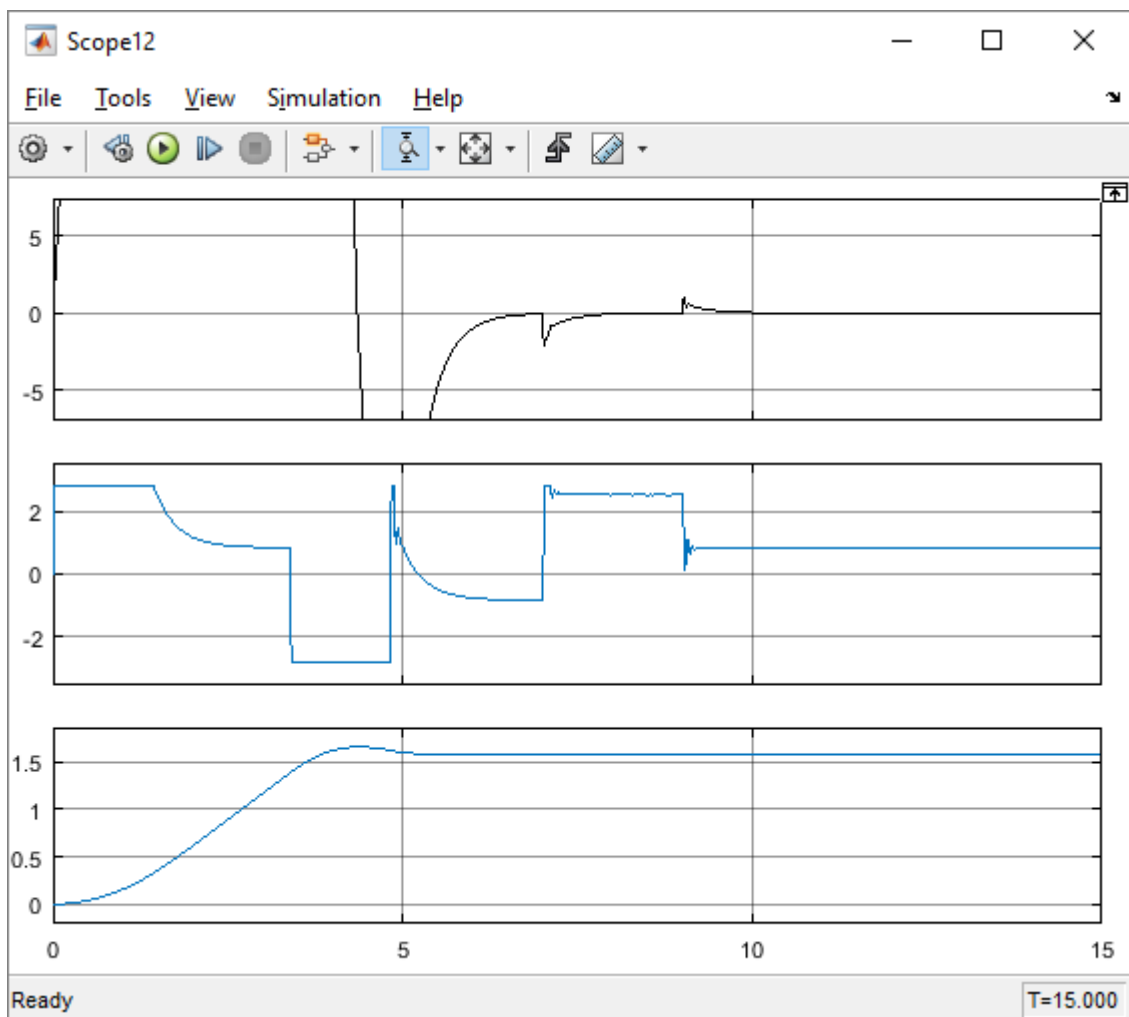


Рисунок 2.13 – Графіки перехідних процесів електропривода при накиді та скиді навантаження

Накид 4-х кратного навантаження виконано в 7 с., а скид такого ж навантаження – в 9 с. З графіків перехідних процесів видно, що положення стулки воріт не змінюється (нижній графік), а швидкість двигуна у момент накиду трішки просідає, а у момент скиду – зростає. Система швидко відпрацьовує збурення і повертає механізм до заданого режиму роботи. На воротах накид та скид навантаження ніяк не проявляється. Отже, система керування працює дуже добре.

Для порівняння промодельємо роботу електропривода при симетричному налаштуванні контуру регулювання положення механізму. Розрахунок регулятора представлено у додатку Б на рис. Б2.

В результаті розрахунку регулятор положення вийшов пропорційно-інтегрально-диференційний. Передавальна функція регулятора має вигляд:

$$R_p(s) = 27,3 + \frac{13119}{s} + 4163 \cdot s. \quad (2.75)$$

Комп'ютерна модель електропривода зі зворотним зв'язком за положенням стулки воріт при налаштуванні контуру на симетричний критерій оптимальності зображена на рис. 2.14.

На рисунку 2.14 додатково позначено: Constsnt2 – джерело задаючої напруги положення воріт 10 В; Gain10, 11, Derivative3, Transfer Fcn 16, Saturation9 – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор положення стулки воріт; Transfer Fcn 7 – фільтр регулятора положення механізму.

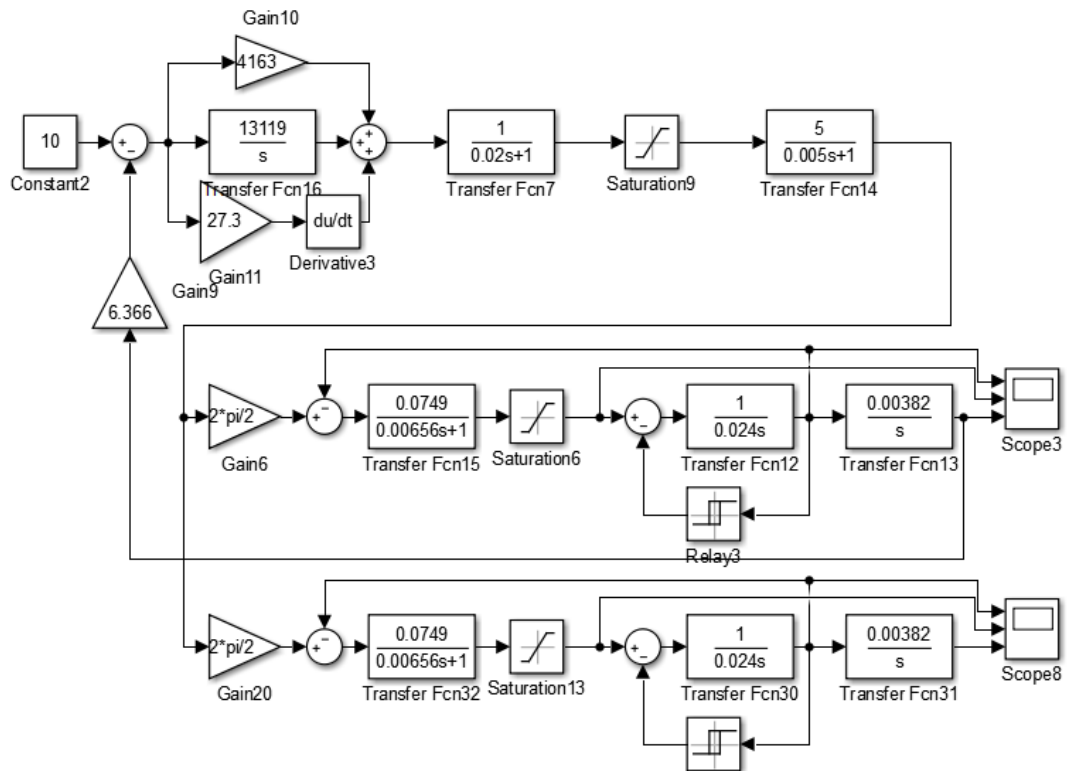


Рисунок 2.14 – Комп’ютерна модель електропривода зі зворотним зв’язком за положенням ступки воріт при налаштуванні контуру на симетричний критерій оптимальності

Під час розрахунку цієї системи регулятор положення виходив з подвійним диференціюванням. Для спрощення форми регулятора було введено фільтр з передавальною функцією:

$$W_f(s) = \frac{1}{0,02s + 1}. \quad (2.76)$$

В результаті моделювання такої системи отримаємо графіки перехідних процесів, які зобразимо на рис. 2.15.

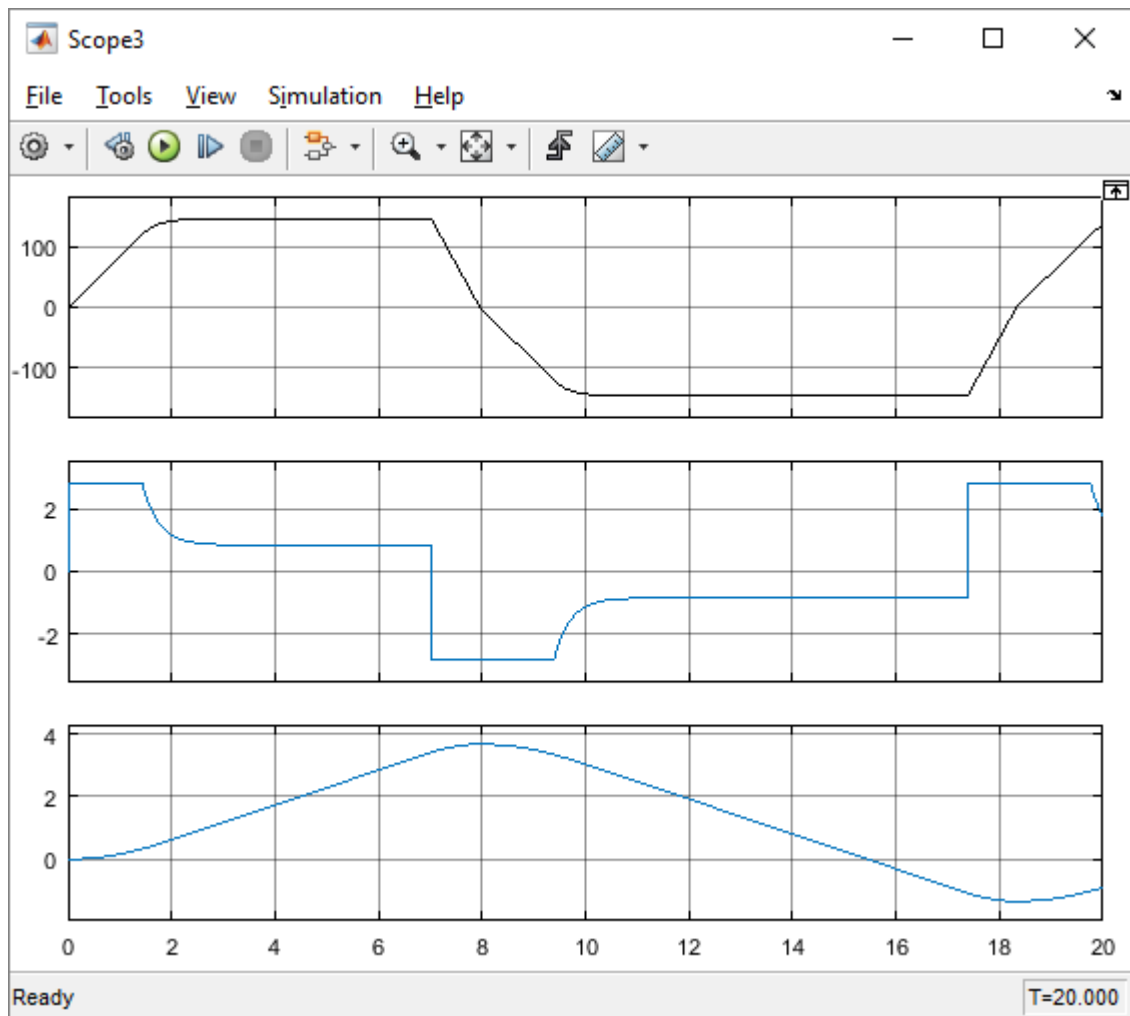


Рисунок 2.15 – Графіки перехідних процесів електропривода при зворотному зв'язку за положенням механізму і налаштуванні на симетричний критерій оптимальності

З графіків видно, що система відпрацьовує переміщення воріт на заданий кут за 3 с., але потім у 7 с. починає повертатися у вихідне положення і у 17 с. цикл повторюється спочатку. Отже, електропривод працює неадекватно, тому вибираємо регулятор положення, який розраховано з умов налаштування контуру положення на модульний критерій оптимальності.

Промодельємо роботу системи при зміні сигналу задання. Припустимо, через 7 с. від моменту початку відкривання воріт було подано команду на закривання. Графіки перехідних процесів при цьому зобразимо на рис. 2.16.

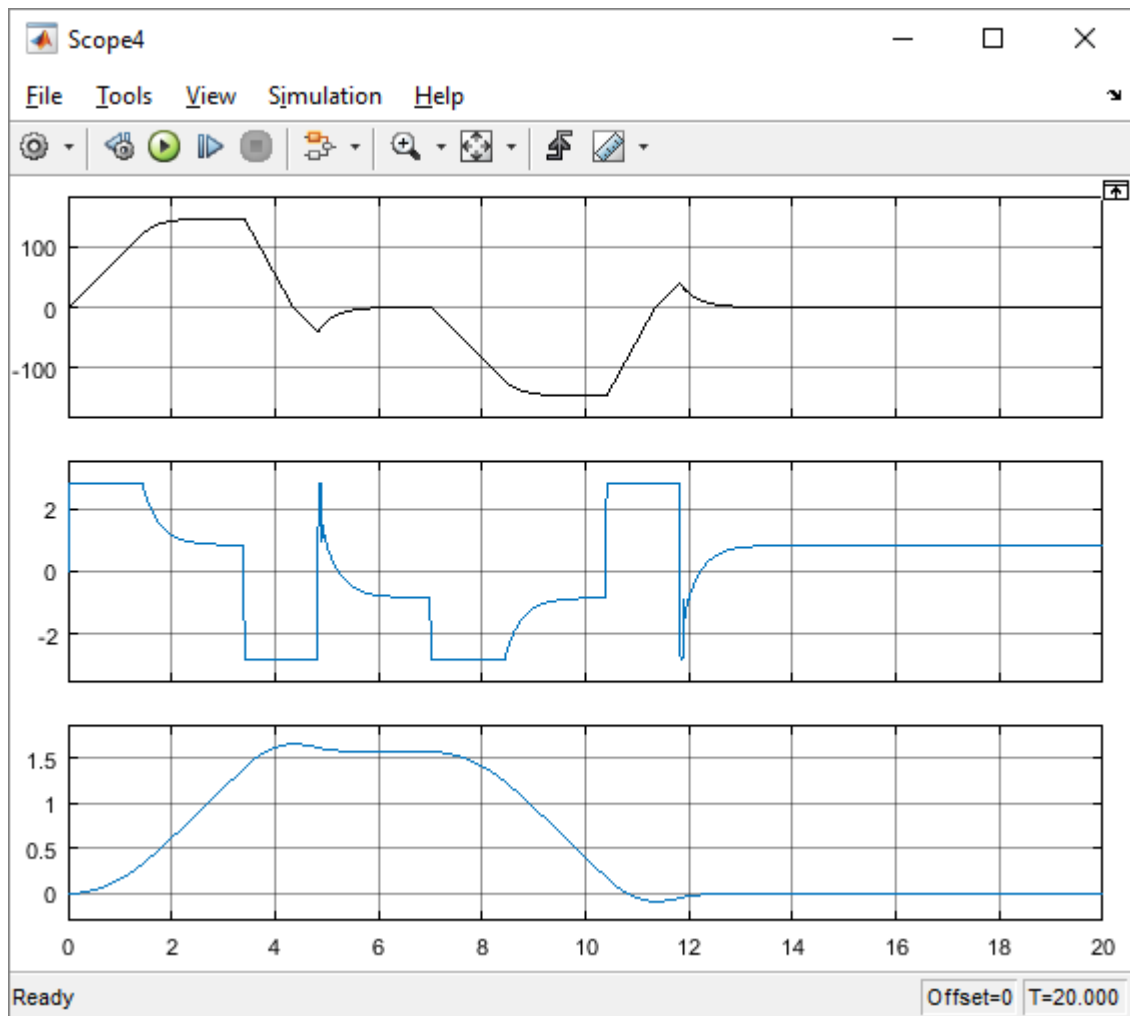


Рисунок 2.16 – Графіки перехідних процесів електропривода при зміні сигналу задання

З графіків видно, що електропривод добре відпрацьовує задаючу дію і у 13 с. ворота повертаються назад у вихідне положення. Отже система працює добре.

Таким чином розрахунки електропривода виконано вірно.

Перевіримо стійкість системи у частотній області і якість її регулювання. Для цього знайдемо загальну передавальну функцію системи. Розрахунок загальної передавальної функції системи електропривода представлено в Додатку Б бакалаврської роботи на рис. Б3.

Загальна передавальна функція електропривода має вигляд:

$$W_{kh}(s) = \frac{3142}{1,0 \cdot s^2 + 200 \cdot s + 20000} \quad (2.77)$$

Для побудови частотних характеристик скористаємося можливостями математичного середовища Matlab. В командному вікні програми введемо отриману передавальну функцію. Зовнішній вигляд вікна програми з введеною функцією зобразимо на рис. 2.17.

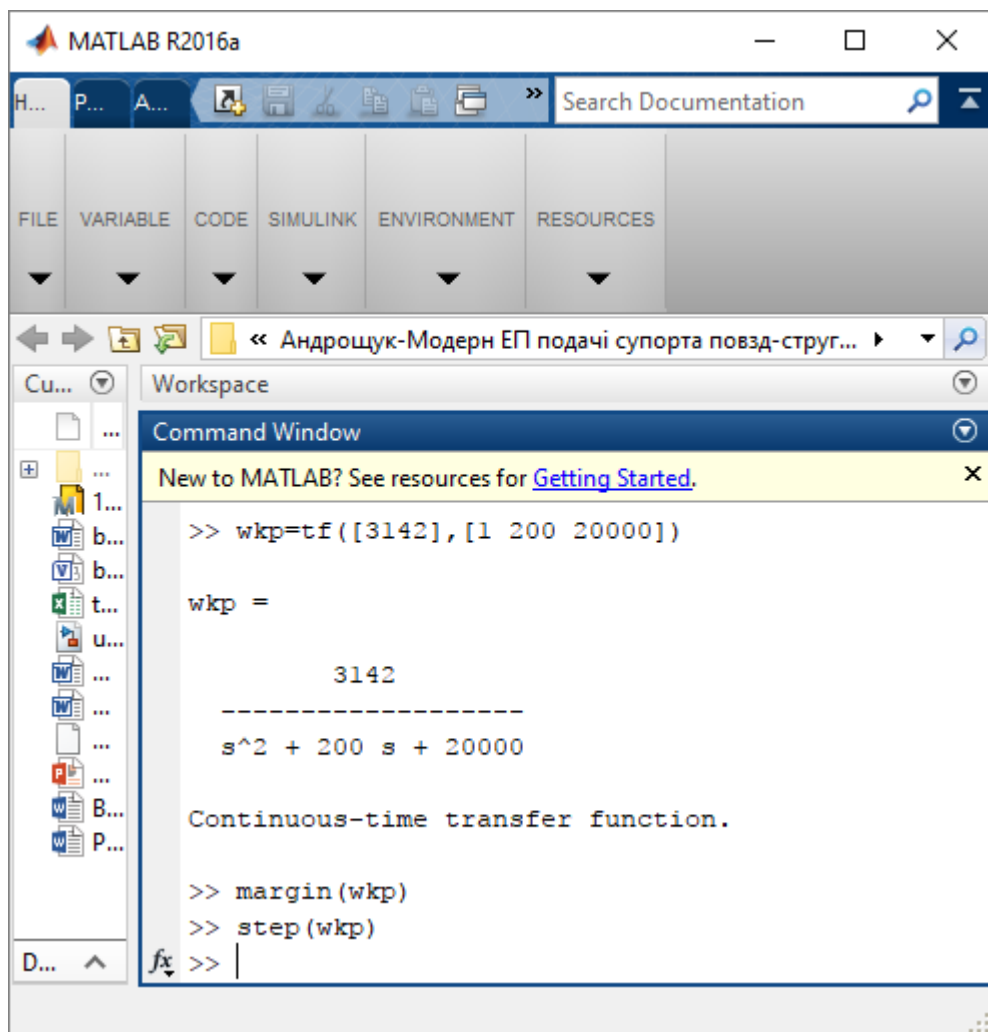


Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд вікна програми Matlab з введеною передатною функцією електропривода

Застосувавши до отриманої передатної функції команду побудови частотних характеристик отримаємо логарифмічну амплітудо-частотну та фазочастотну характеристики. Зобразимо їх на рис. 2.18.

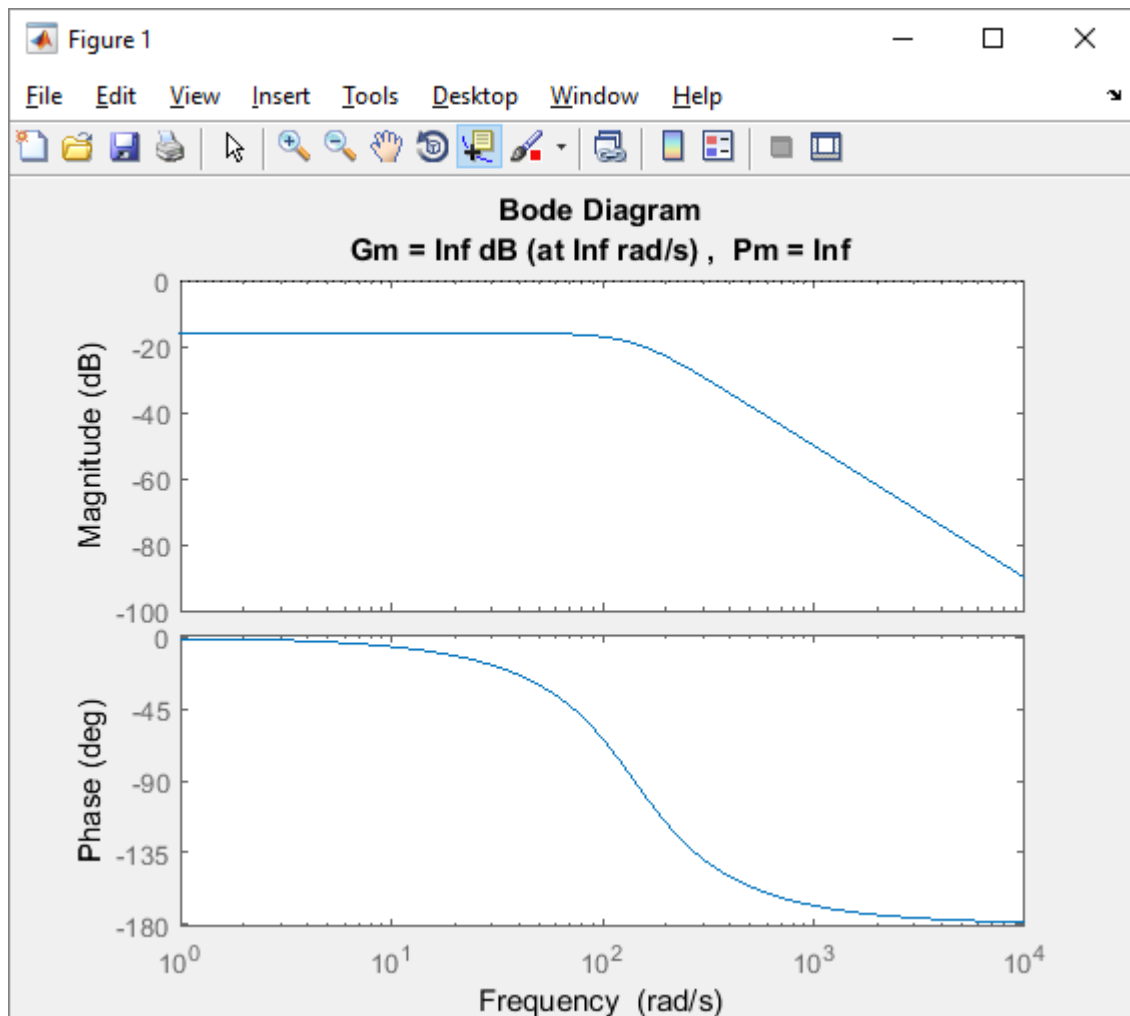


Рисунок 2.18 – Логарифмічна амплітудо-частотна та фазочастотна характеристики електропривода

З частотних характеристик видно, що частота зрізу системи (частота, при якій амплітудочастотна характеристика перетинає вісь) буде меншою за критичну (частота, при якій фазочастотна характеристика перетинає значення -180). Отже система електроприводу буде стійкою в частотній області.

Оскільки система стійка, то можна знайти її запаси стійкості. Перевагою побудови частотних характеристик в Matlab є можливість одночасного знаходження запасів стійкості. Вони зазначаються зверху над побудованими характеристиками і дорівнюють безмежності.

Отже розрахована система буде стійкою в частотній області і має безмежні запаси стійкості за амплітудою і фазою.

Для отримання показників якості необхідно побудувати перехідну характеристику системи. Для цього скористаємося загальною передавальною функцією і можливостями середовища Matlab.

У вікні команд програми введемо команду «Step» і отримаємо перехідну характеристику системи. Зобразимо її на рис. 2.19.

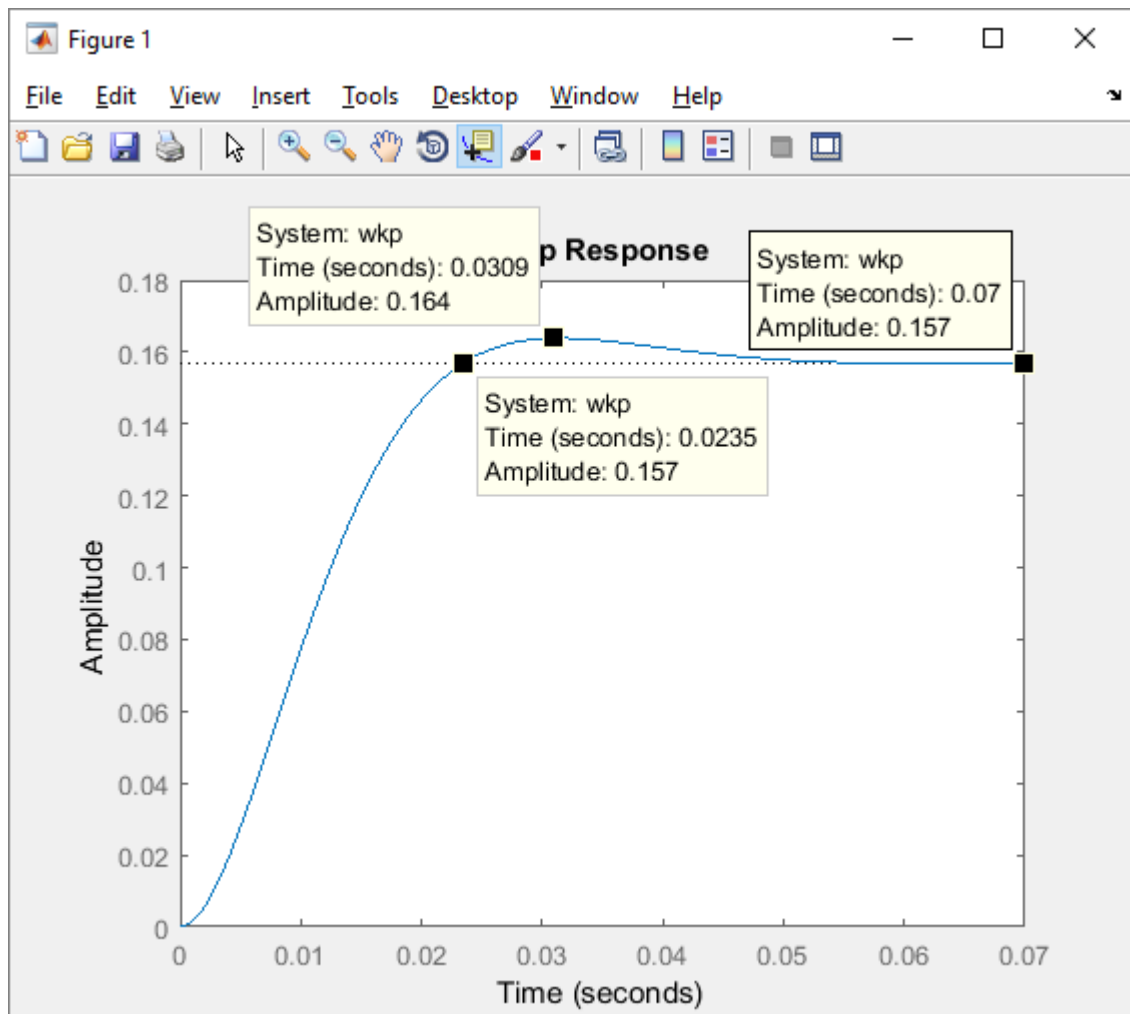


Рисунок 2.19 – Перехідна характеристики електропривода

З перехідної характеристики видно, що система виходить на усталене значення за 0,157 с при невеликому перерегулюванні. Знайдемо показники якості регулювання.

Час встановлення системи характеризує швидкість досягнення усталеного значення контрольованого параметра. Він становить 0,0235 с.

Знайдемо перерегулювання системи за формулою:

$$G = \frac{0,164 - 0,157}{0,157} \cdot 100 = 4,45(\%). \quad (2.78)$$

Інші показники якості керування зведемо у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Показники якості регулювання електропривода

Параметр	Значення
Усталене значення величини	0,157
Максимальне значення величини	0,164
Час встановлення, с	0,0235
Час регулювання, с	0,07
Перерегулювання, %	4,45
Кількість коливань, шт	1

Аналізуючи показники якості можна сказати, що система якісно відпрацьовує сигнал задання.

Отже розрахунок електропривода виконано вірно!

2.9 Розробка схеми електричної принципової системи електропривода

Оскільки раніше в роботі виконувався розрахунок комплектного перетворювача частоти, то на принциповій схемі він буде зображатися одним блоком.

Система керування електроприводом представляє собою суматор, пропорційно-диференційний регулятор та ланку обмеження сигналу. Реалізуємо всі ці функції на операційному підсилювачі.

Блок керування автоматикою, радіоприймач, фотоелементи та кінцеві вимикачі будуть встановлюватися як окремі блоки, які не розроблялися в роботі. Вони купуються додатково до розробленої частини автоматики.

Принципова схема електропривода зображена на рис. 2.20.

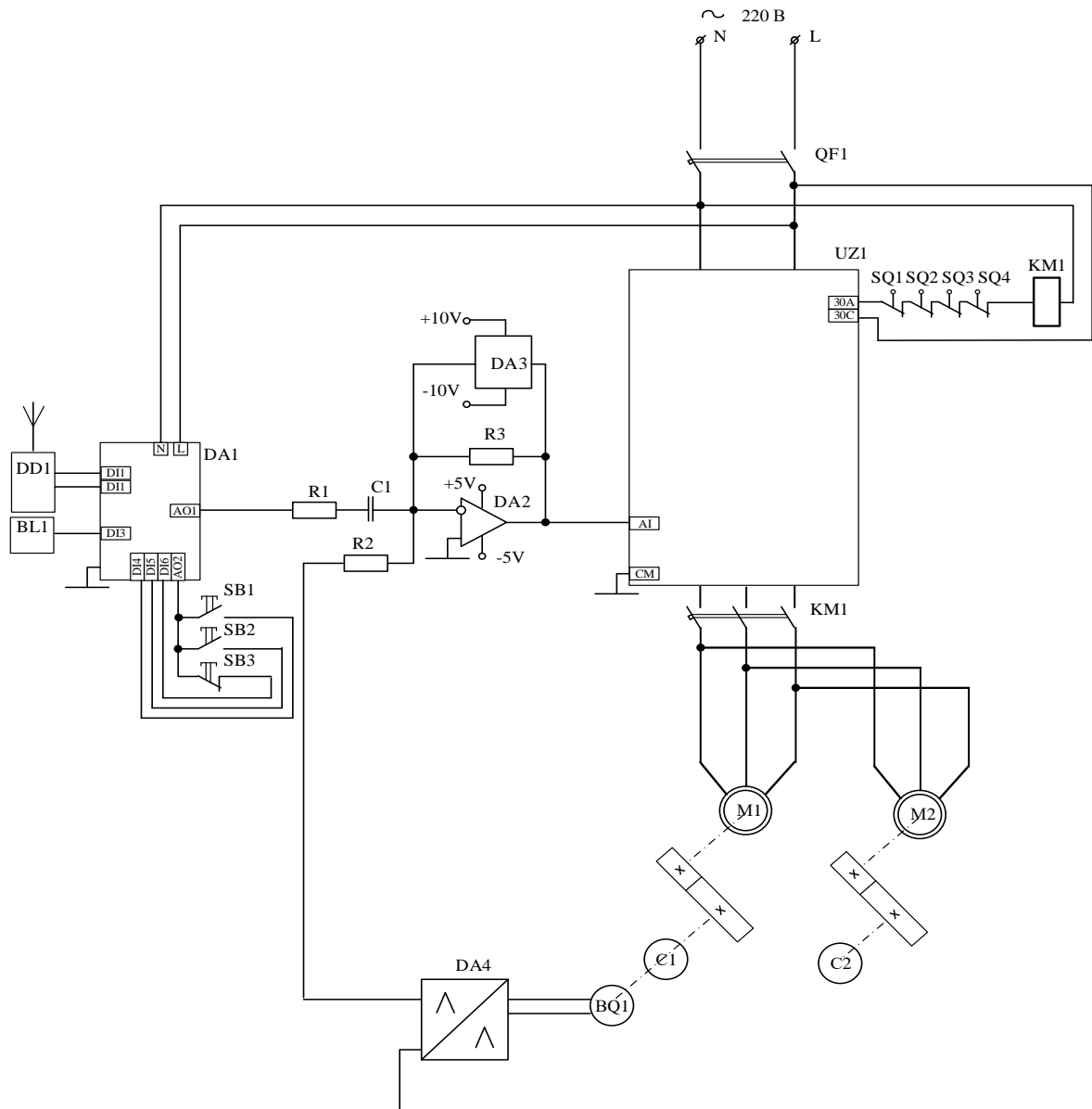


Рисунок 2.20 – Принципова схема електропривода

На принциповій схемі позначено:

DD1 – цифрова мікросхема, яка виконує функцію радіоприймача сигналу з пульта керування;

BL1 – фотоелемент, який реагує на наявність перешкоди при відкриванні воріт і подає сигнал на пристрій керування автоматки;

DA1 – пристрій керування автоматки, який формує аналоговий сигнал роботи системи керування електроприводом при певних умовах;

SB1-3 – кнопки пристрою ручного керування, які забезпечують керування електроприводом в ручному режимі з місця установки воріт;

R1-3 – резистори регулятора положення;

C1 – конденсатор регулятора положення;

DA2 – операційний підсилювач, на основі якого зібрано регулятор положення;

DA3 – аналогова мікросхема, яка виконує функцію обмеження сигналу на виході регулятора;

QF1 – автоматичний повітряний вимикач;

UZ1 – перетворювач частоти;

SQ1-4 – кінцеві вимикачі, які спрацьовують в крайніх положеннях виробничого механізму;

KM1 – електромагнітний контактор;

M1-2 – приводні асинхронні двигуни лівої і правої стулки воріт;

C1-2 – відповідно ліва і права стулки воріт;

BQ1 – сенсор положення;

DA4 – нормуючий перетворювач сигналу положення механізму, який забезпечує узгодження рівнів сигналу на виході сенсора і на вході системи керування електроприводом.

3 ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВОРІТ

Зовнішній вигляд лабораторного стенда подано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенда для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт

Стенд складається з наступних елементів:

- Корпус.
- Стулки воріт.
- Опорні стовпи.
- Сигнальна лампа.
- Сервоприводи SG90.
- Датчик перешкоди.
- Модуль Ардуіно.

- Кінцеві вимикачі.
- Контролер R-fid+брелок.
- Кабель USB.
- Кигнальні кабелі.

Корпус воріт виготовлено з пластику, а основу для них – з металу. Сервоприводи працюють за принципом «гвинт-гайка», де приводний двигун обертає гайку, що призводить до лінійного переміщення гвинта. Разом з гвинтом переміщується стулка воріт. У якості сенсорів кінцевих вимикачів використано геркони. Модуль Ардуіно забезпечує можливість керування сервоприводами за певною програмою.

Фотографії процесу випробовування лабораторного стенду під час його налаштувань подано на рис. 3.2 та 3.3.

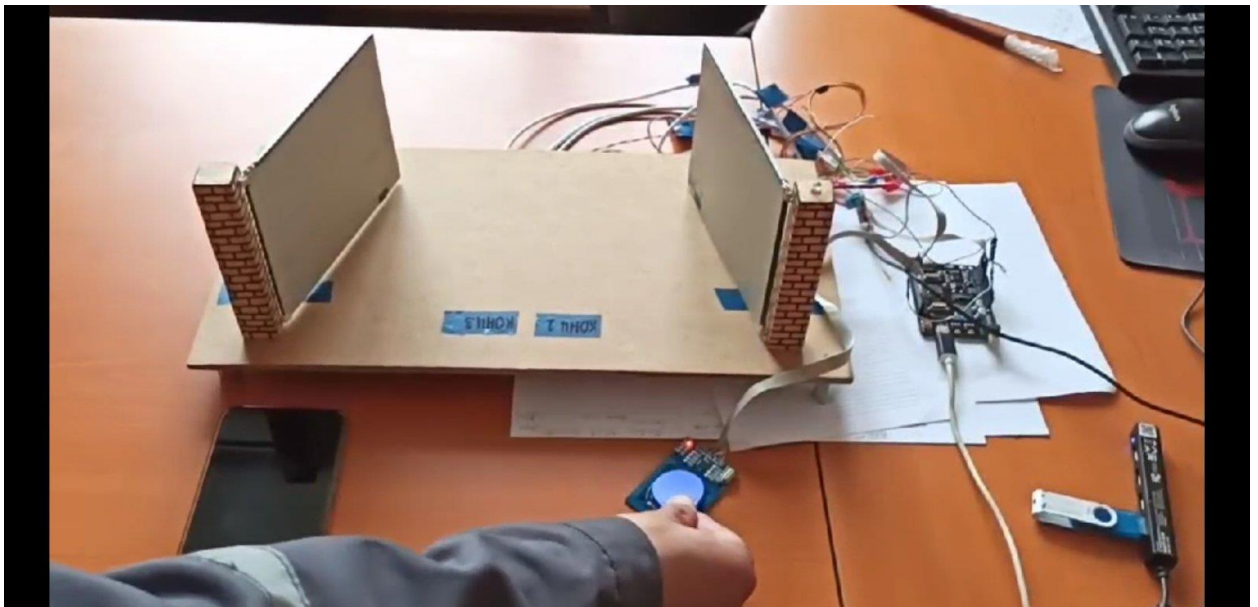


Рисунок 3.2 – Налаштування та перевірка працездатності стенда при роботів від чипа допуску

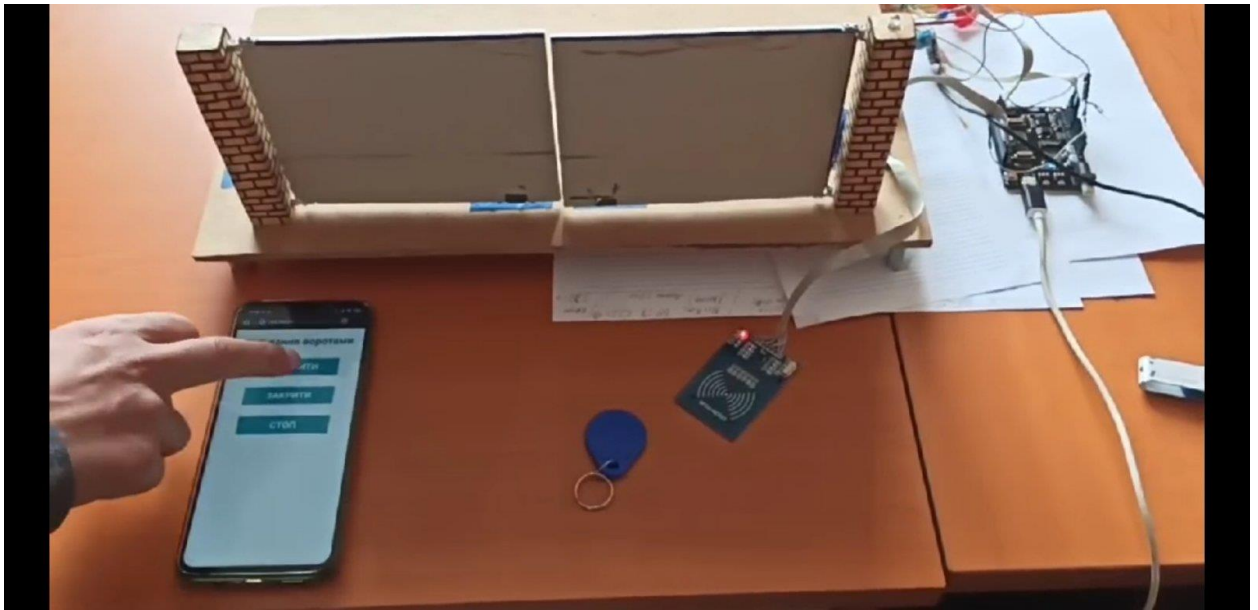


Рисунок 3.3 – Налаштування та перевірка працездатності стенда під час управління зі смартфона

Система відкриття воріт дозволяє на відстані керувати автоматикою через мережу інтернет або за допомогою чіпованого мікроконтроллера. Можливе налаштування часу затримки автозакривання стулок воріт та регулювання швидкості їх роботи.

Електричну схему лабораторного стенда подано на рис. 3.4.

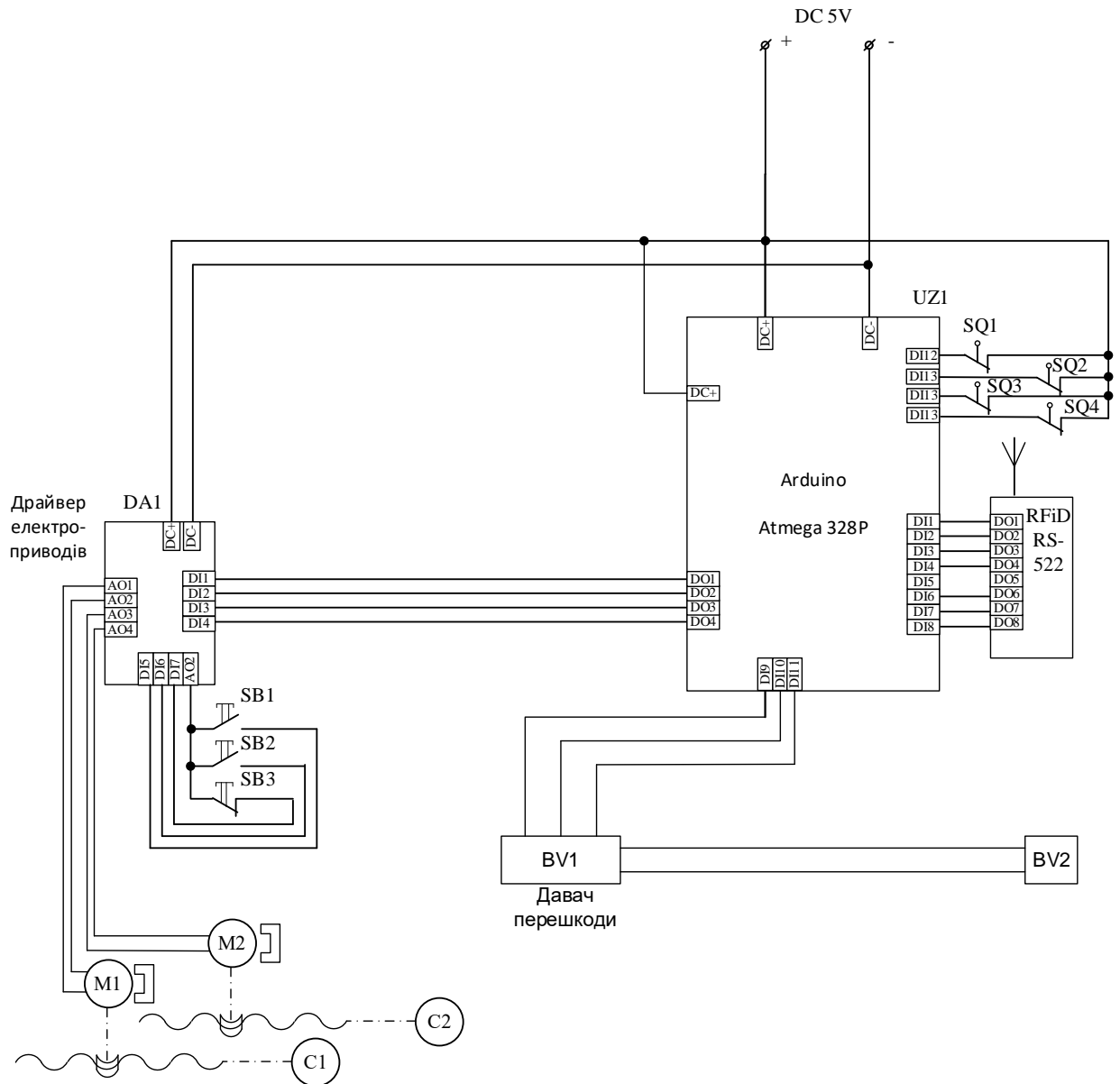


Рисунок 3.4 – Електрична схема лабораторного стенда

Блок «Arduino» забезпечує управління всіма процесами в лабораторному стенді. В нього записується програма роботи.

Драйвер електропривода DA1 формує сигнал живлення двигуна залежно від керуючої дії, до подається кнопками чи блоком керування Arduino.

Давач перешкоди BV1 забезпечує можливість зупинки воріт, коли між стулками знаходиться якийсь об'єкт.

Пристрій RFiD виконує роль зчитувача кодового сигналу з магнітної стрічки (брелка) про необхідність відкриття воріт. Аналогічну роль виконують приймачі сигналу на кодових замках під'їздів.

Кінцеві вимикачі забезпечують механічне обмеження ходу стулок воріт в напрямках відкривання та закривання.

Зовнішній вигляд інтерфейсу смартфона для управління воротами подано на рис.3.5.

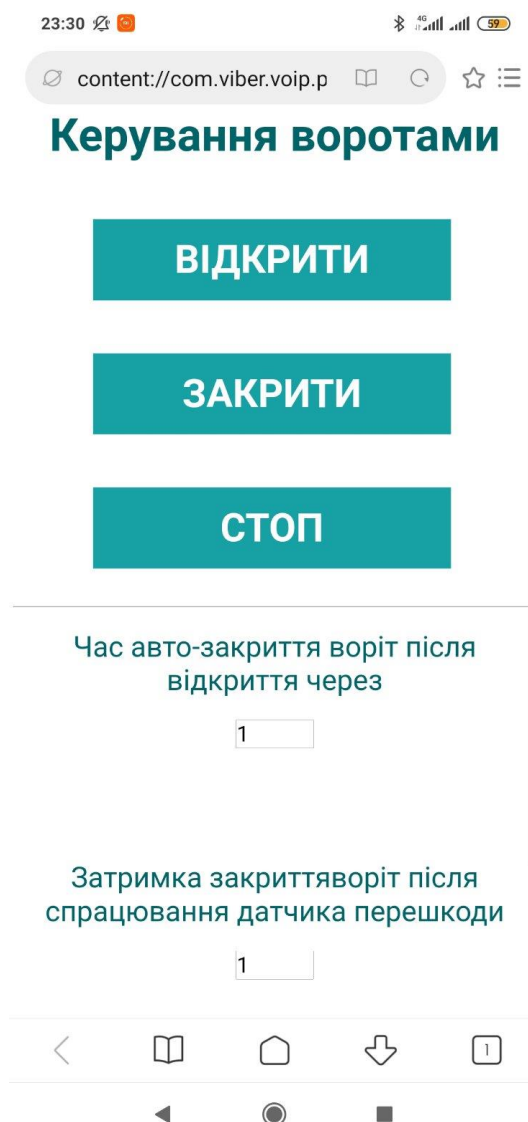


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд інтерфейсу смартфона для управління воротами

Алгоритм роботи автоматики воріт під час роботи від смартфона:

При натисканні на смартфоні кнопки «відкрити» стулки воріт приводяться в рух наступним чином: мікроконтролер Ардуіно дає команду на подачу постійного струму на лінійну систему електроприводу, що приводить в рух створки воріт та вмикає сигнальну лампу. При досягненні відкритого положення спрацьовує кінцевий вимикач, який дає команду припинити рух, що призводить до зупинки стулок та вимкнення сигнальної лампи.

При натисканні на смартфоні кнопки «закрити» або через заданий проміжок часу мікроконтролер подає струм на лінійну систему електроприводу для руху стулок в реверсному напрямку та увімкнення сигнальної лампи. При досягненні закритого положення спрацьовує кінцевий вимикач, який дає команду припинити рух, що призводить до зупинки стулок та вимкнення сигнальної лампи.

Якщо під час руху стулок на їх шляху з'явилась перешкода, спрацьовує датчик, який дає сигнал про наявність стороннього предмету на контролер. Він в свою чергу припиняє подачу живлення на електропривод стулок та зупиняє їх рух. Коли перешкода зникає, вмикається таймер та через заданий проміжок часу робота воріт відновлюється.

Лістинг програми роботи контролера лабораторного стенда подано у додатку В його підпунктах 1 – 3.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для розрахунку в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянемо реальний лабораторний стенд для дослідження системи автоматизації процесу відкривання воріт. На прикладі цього стенда будемо виконувати порівняння економічної ефективності роботи системи автоматики, побудованої за морально застарілими принципами керування, та принципами керування, окресленими в даній роботі. Як зазначалося в розділі 2 роботи, стенд складається з двох двигунів.

Розглянемо випадки, коли для роботи автоматики воріт використовуються найдешевша комплектна система автоматики без регулювання та можливості дистанційного керування та така система, що розробляється в роботі. В першому система працює з максимальними стрибками струму та динамічними перевантаженнями. У другому випадку відбувається узгоджене управління процесом відкривання-закривання воріт з можливістю регулювання швидкості цього процесу. Перший випадок будемо називати «базовим», а другий – «новим». В першому варіанті реалізації використовуються електричні двигуни, що постачаються з автоматикою, а в другому – два асинхронні двигуни та один перетворювач частоти. Розглянемо перетворювач частоти LSis SV 004-1 iES5 потужністю 0,4 кВт 240 В. Вартість такого перетворювача на офіційному сайті становить 4611 грн. Вартість системи керування з сенсорами та іншою комутаційною апаратурою нового варіанту прийнято рівною чотирьом вартостям перетворювача частоти.

Мінімум приведених витрат визначається за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (4.1)$$

де C – річні експлуатаційні затрати, грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності ($E_n=0,2$);

K – капітальні вкладення, грн.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$EE = E_n(K_1 - K_2) - (C_1 - C_2), \quad (4.2)$$

де індекси "1" та "2" відносяться до базового і нового варіантів відповідно.

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{\Delta C} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}, \quad (4.3)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності додаткових капітальних затрат.

4.1 Визначення капітальних вкладень

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів наведений в таблиці 4.1. При складанні кошторису враховувалось, що транспортні витрати складатимуть 7% від вартості обладнання, а вартість монтажних робіт 10 % від вартості обладнання з транспортними витратами.

Згідно з табл. 4.1 необхідні капіталовкладення для базового варіанту електропривода становлять $K_b = 26018$ грн, а для нового – $K_n = 30044$ грн.

Таблиця 4.1 – Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
			базова	нова
2 асинхронні двигуни потужністю 0,18 кВт (АИР 56 В4)	2	1120	0,0	2240
Силовий перетворювач потужністю 0,4 кВт (перетворювача частоти LSis SV 004-1 iES5)	1	4611	0,0	4611,0
Система керування	1	-	21875,0	18444,0
Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	230,6	230,6
Вартість обладнання			22105,6	25525,6
Транспортні витрати (7%)			1547,4	1786,8
Вартість всього			23652,9	27312,3
Монтажні роботи (10%)			2365,3	2731,2
Капітальні вкладення всього			26018,2	30043,6

4.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати

4.2.1 Визначення чисельності персоналу

Визначення чисельності основного виробничого та ремонтного персоналу, який забезпечить роботу електропривода та системи автоматизації розпашних воріт:

1) основним виробничим персоналом є оператор (якщо мова йде про ворота виробничого об'єкту) або викладач (якщо мова йде про лабораторний стенд),

2) ремонтним та обслуговуючим персоналом в таких системах є слюсар-електромонтажник (для реального об'єкта) або інженер (якщо мається на увазі лабораторний стенд).

Припустимо, що ми розглядаємо реальні розпашні двостулкові ворота, які забезпечують контроль і перепуск автомобільного транспорту на територію підприємства.

Розглянемо випадок, коли слюсар має 5 розряд, а оператор 4-й розряд.

4.2.2 Розрахунок заробітної плати

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Тарифна ставка 1-го розряду $ТС_1$ складає 2561 грн/міс. Тарифна ставка кожного працівника буде розраховуватись за формулою:

$$ТС = K \cdot TC_1 \quad (4.4)$$

де K – тарифний коефіцієнт.

У кожного працівника він відрізняється. Так тарифний коефіцієнт слюсаря 5-го розряду ($K_c = 2,33$); оператора 4-го розряду ($K_o = 2,03$).

Отримаємо:

$$TC_c = 2,33 \cdot 2561 = 5967 \text{ (грн/міс);}$$

$$TC_o = 2,03 \cdot 2561 = 5199 \text{ (грн/міс).}$$

Річна заробітна плата кожного працівника складає:

$$З_p = TC \cdot 12, \quad (4.5)$$

$$З_{p,c} = 12 \cdot 5967 = 71606 \text{ (грн);}$$

$$З_{p,o} = 12 \cdot 5199 = 62386 \text{ (грн).}$$

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{З_{\text{р}} \cdot \text{Н}_{\text{п}}}{100}, \quad (4.6)$$

де $\text{Н}_{\text{п}}$ – надбавка за професійну діяльність ($\text{Н}_{\text{п}} = 10\%$).

Отримаємо:

$$\Pi_{\text{п.с}} = \frac{71606 \cdot 10}{100} = 7161 \text{ (грн);}$$

$$\Pi_{\text{п.о}} = \frac{62386 \cdot 10}{100} = 6239 \text{ (грн).}$$

Всього заробітна плата складає:

$$З_{\text{п}} = З_{\text{р}} + \Pi_{\text{п}}; \quad (4.7)$$

$$З_{\text{п.с}} = 71606 + 7161 = 78766 \text{ (грн);}$$

$$З_{\text{п.о}} = 62386 + 6239 = 68625 \text{ (грн).}$$

Оплата премії працівнику (при коефіцієнті премії $\text{К}_{\text{п}} = 15\%$);

$$\Pi_{\text{пр}} = \frac{З_{\text{п}} \cdot \text{К}_{\text{п}}}{100}, \quad (4.8)$$

$$\Pi_{\text{пр.с}} = 0,15 \cdot 78766 = 11815 \text{ (грн);}$$

$$\Pi_{\text{пр.о}} = 0,15 \cdot 68625 = 10294 \text{ (грн).}$$

Всього повна заробітна плата за рік складає :

$$З_{\text{пов}} = З_{\text{п}} + \Pi_{\text{пр}}; \quad (4.9)$$

$$З_{\text{пов.с}} = 78766 + 11815 = 90581 \text{ (грн);}$$

$$З_{\text{пов.о}} = 68625 + 10294 = 78918 \text{ (грн).}$$

Загальний фонд оплати праці складе:

$$\Phi = Z_{\text{пов.с}} + Z_{\text{пов.о}}; \quad (4.10)$$

$$\Phi = 90581 + 78918 = 169499 \text{ (грн)}.$$

4.3 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати залежать від кількості електроенергії і, відповідно, вартості цієї електроенергії за рік роботи електропривода. Знайдемо вартість електроенергії.

Втрати енергії в електроприводі за рік:

$$C_{\text{д}} = C_{\text{д}} + C_{\text{ск}}, \quad (4.11)$$

де $C_{\text{д}}$ – втрати енергії в двигуні, грн./рік;

$C_{\text{ск}}$ – втрати енергії в системі керування електроприводом, грн./рік.

Втрати енергії в двигуні враховують втрати енергії в стаціонарних та перехідних режимах за рік:

$$C_{\text{д}} = \Delta W_{\Sigma} \cdot c, \quad (4.12)$$

де $\Delta W_{\Sigma\text{дв}}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість однієї кіловатгодини енергії (тариф) для комунальних підприємств ($c = 3,44$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех}}) \cdot k_3 \cdot \Phi_{\text{д}} \quad (4.13)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;
 $\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;
 k_3 – коефіцієнт завантаження за потужністю (прийємо рівним 1);
 Φ_d – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (4.14)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигунів ($P_{\text{ном}} = 360$ Вт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,61$).

$$\Delta P_{\text{ном}} = 0,36 \cdot \frac{1 - 0,61}{0,61} = 0,115 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи та режимах, відмінних від номінального, становлять:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (4.15)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність, що споживається електроприводом воріт в номінальному режимі роботи.

Отже, отримаємо

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,36 = 0,036 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{\text{ТВ}_{\text{факт}\%}}{100} \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (4.16)$$

де $\text{ТВ}_{\text{факт}\%}$ – фактична тривалість ввімкнення (припустимо, що

$$\text{ТВ}_{\text{факт}\%} = 30\%);$$

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 365$ днів);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 2$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 8$ год),

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{30}{100} \cdot 365 \cdot 2 \cdot 8 = 7008 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати потужності в електроприводі дорівнюватимуть:

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = (0,115 + 0,036) \cdot 1 \cdot 7008 = 1059 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Втрати потужності у двигунах для нового варіанту електропривода будуть меншими на величину перехідних втрат. Це пояснюється тим, що система ПЧ-АД в перехідних режимах роботи не витрачає додаткової енергії, а використовує лише ту її частину, яка потрібна для виконання корисної роботи. Втрати потужності для ПЧ-АД будуть дорівнювати

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = 0,115 \cdot 1 \cdot 7008 = 806,5 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в системі керування електроприводом за рік:

$$\Delta W_{\text{СК}} = \Delta P_{\text{СК}} \cdot k_3 \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (4.17)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в системі керування електроприводом, кВт;

$$\Delta P_{\text{СК}} = P_{\text{шт.}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{шт.}}}{\eta_{\text{шт.}}}, \quad (4.18)$$

де $P_{\text{шт.}}$ – номінальна потужність перетворювального пристрою, кВт;

$\eta_{\text{шт.}}$ – номінальний ККД перетворювального пристрою.

Для базового варіанту ККД системи керування дорівнює 60% (див. підрозд. 2.2.2). Таке значення ККД можна пояснити тим, що в базовому варіанті електропривода відсутнє регулювання швидкості приводних двигунів. Тому електропривода завжди працюють з номінальною чи близькою до неї швидкістю обертання і споживають при цьому надлишкову електроенергію.

Для базового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{\text{СК.б}} = 0,36 \cdot \frac{1 - 0,6}{0,6} = 0,24 \text{ (кВт)}.$$

Для нового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{\text{СК.н}} = 0,4 \cdot \frac{1 - 0,95}{0,95} = 0,021 \text{ (кВт)}.$$

Знайдемо втрати енергії в системі керування електроприводом за рік роботи з коефіцієнтом завантаження, рівним 1:

$$\Delta W_{\text{СК.б}} = 0,24 \cdot 1 \cdot 7008 = 1682 \text{ ((кВт·год)/рік)},$$

$$\Delta W_{\text{СК.н}} = 0,021 \cdot 1 \cdot 7008 = 147,5 \text{ ((кВт·год)/рік)}.$$

Затрати на електроенергію для базового і нового варіантів електропривода:

$$Z_{\text{вт.б}} = (1059 + 1682) \cdot 3,44 = 9428 \text{ (грн)},$$

$$Z_{\text{вт.н}} = (806,5 + 147,5) \cdot 3,44 = 3282 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$Z_a = K \cdot A, \quad (4.19)$$

де A – норма амортизації основних засобів ($A = 10\%$).

Отримаємо:

$$Z_{\text{аб}} = 26018 \cdot 0,1 = 2602 \text{ (грн/рік)},$$

$$Z_{\text{ан}} = 30044 \cdot 0,1 = 3004 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування системи електропривода приймаємо рівними 10 % для базового варіанту (велика кількість комутуючих елементів) та 2,5% для нового варіанту від капіталовкладень, оскільки для обох систем вони обумовлені поточним ремонтом та обслуговуванням електродвигуна, а для базового варіанту – ще й додатковим обслуговуванням системи керування.

Отримаємо:

$$Z_{\text{рб}} = 26018 \cdot 0,1 = 2602 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{\text{рн}} = 30044 \cdot 0,025 = 751 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 15%, а при новому – 13% від фонду оплати праці:

$$Z_{\text{мб}} = 0,15 \cdot \Phi; \quad (4.20)$$

$$Z_{\text{мб}} = 0,15 \cdot 169499 = 25425 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{MH} = 0,13 \cdot 169499 = 22035 \text{ (грн/рік)}.$$

Річні експлуатаційні затрати разом:

$$Z_e = Z_{BT} + Z_a + Z_p + Z_M + \Phi, \quad (4.21)$$

$$Z_{e6} = 9428 + 2602 + 2602 + 25425 + 169499 = 209556 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{eH} = 3282 + 3004 + 751 + 22035 + 169499 = 198571,5 \text{ (грн/рік)}.$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$Z_{E\Phi} = Z_{EB} - Z_{EH}, \quad (4.22)$$

$$Z_{E\Phi} = 209556 - 198571,5 = 10984 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{Z_{E\Phi}}, \quad (4.23)$$

$$T_{OK} = \frac{30044 - 26018}{10984} = 0,4 \text{ (років)} = 3 \text{ (місяці)}.$$

Річний економічний ефект:

$$EE = (Z_{EB} - Z_{EH}) - E_H \cdot (K_H - K_B), \quad (4.24)$$

$$EE = (209556 - 198571,5) - 0,2 \cdot (30044 - 26018) = 10179 \text{ (грн)}.$$

Таким чином, згідно розрахунків термін окупності складає три місяці. Отже, застосування нових способів підвищення ефективності роботи системи відкривання воріт, виправдовує себе.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській кваліфікаційній роботі розробляється електропривод механізму відкривання двохстулкових розпашних воріт.

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує електропривод розпашних воріт, впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, у відповідності з їх класифікацією [ГОСТ 12.0.003-74]:

1) фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;

- підвищена та понижена вологість повітря;

- підвищена та знижена рухливість повітря;

2) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Живлення силового обладнання розпашних воріт та системи освітлення здійснюється від двохпровідної мережі 220В.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустановці - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів

захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	17-29	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		15-24	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Склад повітря робочої зони.

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше,
- щодня протирати поверхні,
- принаймні, двічі в рік проводити генеральне прибирання всіх областей, включаючи кроквяні ноги, з використанням продувки або пилососа,
- при високих концентраціях обробляти області по частинам.

Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу при продувках.

Планувати продувки або прибирання так щоб вони приходилось на час коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

5.2.3 Виробниче освітлення.

Природне освітлення.

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на:

- природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх

огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та суміщеному освітленню.

1. Характеристика зорової роботи при виконанні - роботи високої точності.

2. Розряд – III.

3. Підрозряд зорової роботи – б.

4. Контраст об'єкту розпізнавання – середній.

5. Характеристика фону – темний.

Бокове КЕО, %:

- природне 2,0;

- суміщене 1,2.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормовані значення КЕО для будинків визначаються за формулою:

$$e_n = e_n \cdot m_n \quad (5.1)$$

де e_n – значення КЕО для будинків;

m_n – коефіцієнт сонячності клімату ($m_n = 0,85$ якщо вікна зорієнтовані на захід).

Таким чином, при природному і суміщеному освітленнях отримаємо відповідно:

$$e_n = 2 \cdot 0,85 = 1,7(\%),$$

$$e_n = 1,2 \cdot 0,85 = 1 (\%).$$

Штучне освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк: загальне - 300 лк; комбіноване – 1000 лк.

5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (5.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 5.3 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зсередньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

5.2.5 Виробнича вібрація.

Вібрацією називають будь-які механічні коливання пружних тіл, які проявляються в їх переміщенні в просторі. Коливання частотою нижче 16 (Гц) сприймаються органами як вібрації.

Джерелами вібрацій можуть бути електричні пилки, дробарки, електродвигуни, вентилятори. Джерелом збудження вібрацій є зворотньо-поступальний рух системи, невірноваженої маси.

Основними гігієнічними характеристиками вібрації, які визначають вплив на людину, є середньоквадратичні значення віброшвидкості чи її логарифми. Систематична дія вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини, стає причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація діє на нервову, серцево-судинну систему, порушується обмін речовин; виникає головний біль, порушується сон, знижується продуктивність праці.

З метою виключення можливості виникнення віброхвороби обмежують параметри вібрації робочих місць і поверхні контакту працюючих

Допустимі значення нормованих вібрацій на постійних робочих місцях в даному виробничому приміщенні приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні вібрації на робочих місцях.

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10-2, знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Заходи боротьби: динамічне гасіння коливань і зміна конструктивних елементів установки.

Боротьба з вібрацією досягається вибором таких кінематичних і технологічних схем, при яких динамічні процеси, які викликані поштовхами,

різкими прискореннями, будуть виключені чи гранично знижені. Динамічне гасіння вібрації відбувається частіше всього шляхом розміщення установок на фундаменті, масу яких визначають з розрахунку, щоб амплітуда коливань не перевищувала 0,1-0,2 (мм).

5.2.6 Психофізіологічні фактори.

Психофізіологічні фактори небезпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

На трудову діяльність людини та її організм впливають обсяг сприймання і перероблення інформації, фізичне, нервово-психологічне, розумове, емоційне перенавантаження, ритм і темп роботи, монотонність праці. Їх оцінювання дає змогу визначити ступінь і характер навантаження під час роботи, відповідність робочого місця і засобів праці анатомо-фізіологічним особливостям людини, встановити раціональні режими праці і відпочинку, облаштувати робочі місця, налагодити професійний добір та профорієнтацію тощо.

Керуючись таблицею «Класи умов праці за показниками важкості праці» ми бачимо що дана професія належить до другого класу, оскільки нахили тулуба за зміну рівні 51-100 раз, робоча поза має наступний характер, періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок), загальні енергозатрати організму до 290 Вт.

Згідно таблиці «Класи умов праці за показниками напруженості праці» ми бачимо що дана професія належить до третього класу, оскільки зміст роботи носить в собі рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій), розподіл функцій за ступенем складності завдання має обробку, перевірку і контроль за виконанням завдання, розмір об'єкта розрізнення є 1,0-0,3 мм більше 50% часу; менше 0,3 мм 25-50% часу.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Дія випромінювань на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання. В начинні лабораторного стенду таким обладнанням є: блок живлення, тиристори, діоди. Через це в блоках стенду можливі замикання, а відповідно і загорання електропроводки. В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понижується напруга пробую і опір витoku, змінюється провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри як електрична та діелектрична провідність.

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для електронної апаратури. Слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура, виконана на напівпровідникових і інтегральних схемах, що працюють на малих струмах і напругах особливо нестійка до ЕМІ. Це відбувається тому, що така апаратура схильна до впливу зовнішніх полів. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіо пристроях, іонізацію діелектриків.

Дія електромагнітного імпульсу на обладнання лабораторного стенду може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Тому необхідно провести дослідження по стійкості стенда до цих двох вражаючих факторів.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії іонізуючих випромінювань.

За критерій стійкості роботи стенда, що розробляється, приймається допустима доза $D_{дон}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{гр}(P/год)$, при яких система стенда буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{грi}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.5 – Граничні дози для елементів блоків електропривода трамвая

Елементи РЕА	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
Інтегральні схеми	5×10^5	10 ⁴
Резистори	10^7	
Транзистори	10^4	
Напівпровідники	10^5	
Конденсатори	10^7	
Діоди	10^4	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи елементної бази лабораторного стенду в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 5.3, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{гр}=10^4 P$ є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{II}})}{K_{осл}}, \quad (5.3)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5,76 \text{ Р/год}$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400 \text{ год}$ (5 років));

$t_{\text{п}}$ – час початку опромінення ($t_{\text{п}} = 1 \text{ год}$).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 2$).

Отримаємо значення:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot 5,76 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2082 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{\text{гр}} > D_{\text{м}}$, то стенд стійкий до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_{\text{д}} = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.4)$$

$$t_{\text{д}} = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 5,76 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,76} = 603,16 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази $D_{\text{м}} = 2082 \text{ Р}$, а допустима – 10^4 Р . Отже, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що дана система керування електроприводом може безпечно працювати в умовах іонізуючих випромінювань. Допустимий час роботи в заданих умовах становить 603,16 год., при рівні радіації 5,76 Р/год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах дії електромагнітного імпульсу.

При дослідженні впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні

визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 220 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення. Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_r = E_v \cdot L_r, \quad (5.5)$$

де E_v – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_v = 9,52 \cdot 10^3$ В/м);

L_r – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_r = 1,5$ м).

Отримаємо

$$U_r = 9,52 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 14280 \text{ (В)}.$$

$$U_v = E_r \cdot L_v, \quad (5.6)$$

де E_r – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_v – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_v = 2$ м).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_v \cdot 10^{-3}, \quad (5.7)$$

$$E_r = 9,52 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,52 \text{ (В/м)},$$

$$U_v = 9,52 \cdot 2 = 19,04 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.8)$$

де N – відсоток допуску ($N = 5\%$).

Для силового кола ($U_{\text{ж}}=220 \text{ В}$), $U_{\text{доп}}=242 \text{ (В)}$.

Для кола управління ($U_{\text{ж}}=24 \text{ В}$), $U_{\text{доп}} = 25,2 \text{ (В)}$.

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$Kб_{\Gamma(\text{В})} = 201g \cdot \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(\text{В})}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.9)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{ж}}=220 \text{ В}$):

- вертикальної: $Kб_{\text{в}} = 60,89 \text{ (дБ)}$,
- горизонтальної: $Kб_{\text{г}} = -71,51 \text{ (дБ)}$.

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$):

- вертикальної: $Kб_{\text{в}} = 5,64 \text{ (дБ)}$,
- горизонтальної: $Kб_{\text{г}} = -126,75 \text{ (дБ)}$.

Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнтів безпеки РЕА системи стенду

№	Найменування блоків	$Kб_{\text{в}}$	$Kб_{\text{г}}$	Результат дії
1	Силове коло, 220 В	60,89	-71,51	Нестійке
2	Коло управління, 24 В	5,64	-126,75	Нестійке

Отже діагностичний стенд для дослідження поршневого компресора є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи обладнання, слід застосувати екранування.

5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт в умовах надзвичайних ситуацій.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = Kб_{\text{ном}} - Kб_{\text{мін}}, \quad (5.10)$$

де $Kб_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($Kб_{\text{ном}} = 40$ дБ);

$Kб_{\text{мін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола ($U_{\text{ж}}=220$ В):

$$A_{220\text{В}}=40+71,51=111,51 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 24$ В):

$$A_{24\text{В}} = 40 + 126,75 = 166,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.11)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже, для обладнання силового кола товщина екрану

$$t_{220\text{В}} = \frac{111,51}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,175 \text{ (см)},$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{24\text{В}} = \frac{166,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,261 \text{ (см)}.$$

Отже, в результаті дослідження стійкості роботи лабораторного стенду в умовах дії іонізуючих випромінювань було розраховано можливу дозу опромінення елементної бази, яка по своїй величині значно менша від допустимої. Отже, в умовах дії іонізуючого випромінювання система лабораторного стенду залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу, для якого потрібно буде розраховувати робочі зміни з врахуванням їх граничної дози опромінення.

До дії ЕМП обладнання лабораторного стенду для дослідження поршневого компресора виявилось нестійким. Для підвищення стійкості необхідно застосувати екранування блоків з товщиною сталюого екрану близько 1,8мм і 2,6мм відповідно.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено електропривод та систему автоматизації двостулкових розпашних воріт. Для певних воріт було підбрано різні види автоматик і шляхом техніко-економічного порівняння обрано систему на основі перетворювача частоти.

Розрахована потужність двигуна для розрахункових воріт довжиною 6 м. становить 0,15 кВт. Для кожної стулки воріт необхідно встановити окремий двигун. Обрано редуктор привода з передавальним відношенням 260.

Обрані двигуни перевірена на перевантаження та можливість пуску з врахуванням інерції механізму та вітрового навантаження.

Розроблено структурну схему привода і вибрано її основні елементи. Розраховано та підбрано автоматичний вимикач з номінальним струмом теплового розщиплювача 1,6 А. Розраховано та вибрано однофазний перетворювач частоти LSis SV 004-1 iES5 потужністю 400 Вт і струмом 2,5 А. Розраховано параметри діодів та транзисторів перетворювача частоти.

У роботі було розроблено функціональну схему автоматики, яка передбачає ручне місцеве керування та дистанційне керування по радіоканалу. Систему електропривода одного з двигунів охоплено зворотним зв'язком за положенням стулки воріт.

Побудовано природну і штучні механічні характеристики двигуна. Розраховано частоту напруги живлення, при якій двигун буде обертати ворота з заданою в завданні швидкістю.

Розраховано контур зворотного зв'язку та параметри регулятора положення.

Шляхом комп'ютерного моделювання перевірено працездатність системи електропривода. Електропривод промодельовано при прямому пуску на статичне навантаження, при плавному пуску, при пуску зі зворотним зв'язком і налаштуванням регулятора на модульний критерій оптимальності,

при пуску і налаштуванні регулятора на симетричний критерій оптимальності, при накиді та скиді навантаження, при роботі з реверсом тощо. Результати моделювання засвідчили вірність виконаних розрахунків.

Було досліджено систему електропривода на стійкість роботи в частотній області. Система виявилася стійкою з безмежними запасами стійкості.

Визначено перехідну характеристику електропривода і отримано його показники якості керування. Виявилось, що система працює з перерегулюванням 4,5 % та одним коливанням до виходу на усталене значення. Час встановлення та регулювання не перевищує десятих долей секунди. Отже, система є якісною.

У роботі розроблено електричну схему системи автоматизації і досліджено питання охорони праці.

За результатами економічного розрахунку отримано ефективність впровадження подібної системи 10179 грн. Термін окупності обладнання становить 3 місяці.

Результати моделювання роботи воріт в різних режимах дозволяють зробити висновок про правильність розрахунків. На основі цього розроблено макет воріт розміром 30 см. Для приводу воріт обрано рейковий сервопривод SG90 на кожну стулку. Для управління процесом відкривання-закривання обрано програмований логічний модуль Arduino, до якого підключено блок зв'язку Wifi, радіопередавач та всі необхідні датчики.

Працездатність стенду в усіх режимах роботи підтверджено шляхом демонстрації та запису відео під час цього.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Elektrik Info. Избранные статьи с Электрик Инфо. Устройства автоматике. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/automation/1066-avtomatika-dlya-vorot.html>.

2. САЙТ "ОБРІЇ ІЗЮМЩИНИ" - НОВОСТИ В ГОРОДЕ ИЗЮМ, НОВОСТИ ИЗЮМА, ИЗЮМСКАЯ ГАЗЕТА, ГОРОД ИЗЮМ. Які бувають типи і види воріт для приватного будинку? Режим доступа: <http://obrii.com.ua/main/20738-yaki-buvayut-tipi-i-vidi-vorit-dlya-privatnogo-budinku.html>.

3. Новые ворота. Автоматичны ворота в Чернівцях та Чернівецькій області – га чому можна заощадити без втрати якості. Режим доступа: <https://novi-vorota.com.ua/avtomaticheskie-vorota-chernivtsi.html>.

4. Крахмалев А. К. Средства и системы контроля и управления доступом. Учебное пособие / А. К. Крахмалев. – Москва, 2003. – 85 с. ISBN: 5-8121-0028-4.

5. Керівництво з монтажу та експлуатації електромеханічних двигунів лінійного типу для розпашних воріт АВАСУС 224 / 300 / 500. Режим доступа: [https://kaskadplus.com.ua/upload/Avtomatika/Raspashnie/Comunelo/Comunello_Abacus_\[Ru-Ua\]_vf.pdf](https://kaskadplus.com.ua/upload/Avtomatika/Raspashnie/Comunelo/Comunello_Abacus_[Ru-Ua]_vf.pdf).

6. ПП «Цілковита безпека». Ворота розпашні. Режим доступа: http://www.bezpeka.te.ua/index.php?option=com_content&view=category&id=41&layout=blog&Itemid=57.

7. Ворота Форум. Тематические разделы. Распашные ворота. Выбор распашных ворот и приводов. Как высчитать момент приложения силы для линейных приводов. Режим доступа: <https://www.vorotaforum.ru/threads/420/>.

8. Ворота Форум. Тематические разделы. Распашные ворота. Выбор распашных ворот и приводов. Как выбрать привод для распашных ворот исходя из ветровых нагрузок. Режим доступа: <https://www.vorotaforum.ru/threads/419/>.

9. VOROTA.RV.UA. Корисна інформація. Як вибрати автоматику для воріт? Режим доступу: <http://vorota.rv.ua/content/10-yaku-avtomatiku-obrati->.

10. Came. Цілий світ у всесвіті автоматики! Автоматика для розпашних воріт. Режим доступу: http://www.came.com.ua/ua/products/raspashnie_vorota/.

11. Came. Цілий світ у всесвіті автоматики! Автоматика для розпашних воріт. Комплект автоматики з приводом: Ferni. Режим доступу: http://www.came.com.ua/ua/products/raspashnie_vorota/Ferni/.

12. Came. Цілий світ у всесвіті автоматики! Автоматика для розпашних воріт. Комплект автоматики з приводом: KRONO-1. Режим доступу: http://www.came.com.ua/ua/products/raspashnie_vorota/Krono1/.

13. Came. Цілий світ у всесвіті автоматики! Автоматика для розпашних воріт. Комплект автоматики з приводом: АТІ 3000. Режим доступу: http://www.came.com.ua/ua/products/raspashnie_vorota/ATI3000/.

14. GlobalProm. Грузоподъемное и промышленное оборудование. Каталог. Электродвигатель трехфазный 0,18 кВт. Режим доступа: <http://globalprom.com.ua/promishlennoe-oborudovanie/jelektrodvigatel-obshhepromishlennij-018-kvt/>.

15. СТЕМ – продаж та ремонт сучасного електрообладнання. Ціни на частотні перетворювачі LSIS. Режим доступу: <http://sutem.com.ua/831lsis.php>.

16. СИСТЕМАКС. Електродвигуни. Трифазні загальнопромислові електродвигуни АІР. АІР56В4. Режим доступу: <https://systemax.ua/ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/air/air56b4--0-18-kvt-1500-ob-min-.html>.

17. Вільна енциклопедія ВІКІПЕДІЯ. Список моментів інерції. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2_%D1%96%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%86%D1%96%D1%97.

18. TRANSTECNO. Каталог продукции. Цилиндрические редукторы. Режим доступа: <http://www.transtecno.com.ua/knowledge->

base/catalogs.raw?task=callelement&item_id=58&element=d682ce17-47fa-4d2d-а6eb-23a37861c5e9&method=download.

19. Чорний О. П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін, Г. Ю. Сисюк, О. В. Садовой – Кременчук, 2001. – 410 с.

20. ETI Power needs control. ETIMAT Модульные автоматические выключатели и ограничители тока. Режим доступа: <http://www.eti.ua/product-search-2?view=ident&levelid=164&id=002143507>.

21. Преобразователи частоты LSis серии iE5/iC5/iG5A/S100/iS7/iP5A/iV5/iV5L. Каталог. Режим доступа: http://www.ls-lg.ru/documents/Catalog_Inverter_L SIS_15_rus.pdf.

22. Частотные преобразователи LSis серии iE5. Инструкция по эксплуатации. Режим доступа: http://www.ls-lg.ru/documents/Manual_iE5_RUS_2010.pdf.

23. Симаков Г.М. Системы управления электроприводами: Учеб. Пособие по курсовому проектированию. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 120 с.

Додаток А
(Обов'язковий)
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., професор В. М. Кутін

“ ____ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ВІДКРИВАННЯ ВОРИТ

08-16.МКР.005.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доцент

_____ М. М. Мошноріз

“ ____ ” _____ 2020 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18м з.в.

_____ В. А. Постернак

“ ____ ” _____ 2020 р.

Вінниця ВНТУ 2020

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод розпашних воріт».

Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод розпашних воріт та його система керування придатна для приватних ділянок та промислових об'єктів з розміром воріт до 6 м. Лабораторний стенд може бути використаний в навчальному процесі під час вивчення дисциплін «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів», «Мікропроцесорні системи керування» тощо.

4 Вимоги до розробки

Електропривод та система автоматизації повинні забезпечувати надійну роботу короткочасному режимі при інтенсивності роботи 30%.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з двох електродвигунів, системи керування та виробничого механізму.

6 Технічні характеристики

Для розрахунку використовувалися ворота з такими технічними даними: довжина воріт – 6 м; висота воріт – 1,5 м; маса воріт – 500 кг; час відкривання воріт – до 10 с; час розгону привода – до 2 с. Лабораторний стенд розробляється для воріт з такими технічними даними: довжина воріт – 30 см; висота воріт – 15 см; маса воріт – 50 г.

7 Джерела розробки

1. Elektrik Info. Избранные статьи с Электрик Инфо. Устройства автоматизации. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/automation/1066-avtomatika-dlya-vorot.html>.

2. Новые ворота. Автоматичны ворота в Чернівцях та Чернівецькій області – га чому можна заощадити без втрати якості. Режим доступа: <https://novi-vorota.com.ua/avtomaticheskie-vorota-chernivtsi.html>.

3. Крахмалев А. К. Средства и системы контроля и управления доступом. Учебное пособие / А. К. Крахмалев. – Москва, 2003. – 85 с. ISBN: 5-8121-0028-4.

8 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

9 Конструктивне виконання

Система автоматичного керування воротами та електропривод виготовляються комплектно або окремими блоками і реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у бризгозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Стадії і етапи розробки

Назва етапів роботи	Строк виконання
Виконання спеціальної частини МКР	
Виконання розділу «Економічна частина»	
Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на півроку. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане однофазною напругою 0,25 кВ.

Додаток Б

Розрахунок регуляторів системи керування

$$\text{fin} := \frac{\pi}{2} = 1.571$$

$$\text{kp} := \frac{10}{\text{fin}} = 6.366 \quad \text{mk} = 2.854$$

$$\text{wf}(s) := \frac{\text{kf}}{\text{tf} \cdot s + 1} \text{ float,3} \rightarrow \frac{5.0}{0.005 \cdot s + 1.0}$$

$$\text{we}(s) := \frac{\text{beta}}{\text{te} \cdot s + 1} \text{ float,3} \rightarrow \frac{0.0749}{0.00656 \cdot s + 1.0} \quad \text{mk} = 2.854 \quad \text{mt1} = 0.847 \quad \text{j} = 0.024$$

$$\text{wm}(s) := \frac{1}{\text{j} \cdot s} \text{ float,3} \rightarrow \frac{42.1}{s}$$

$$\text{wv}(s) := \frac{1}{\text{ir} \cdot s} \text{ float,3} \rightarrow \frac{0.00382}{s}$$

$$\text{wpkpb}(s) := \frac{1}{2 \cdot \text{tp} \cdot s \cdot (\text{tp} \cdot s + 1)} \text{ float,3} \rightarrow \frac{100.0}{s \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)}$$

$$\text{rp}(s) := \frac{\text{wpkpb}(s)}{\text{wpkp}(s)} \text{ float,3} \rightarrow 83.3 \cdot s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) \cdot \left[\frac{3.15}{s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)} + 1.0 \right]$$

$$83.3 \cdot s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) \cdot \left[\frac{3.15 + s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)}{s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)} \right] \text{ float,3} \rightarrow 83.3 \cdot s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) + 262.0$$

$$83.3 \cdot 1 \cdot \left[\frac{3.15 + s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)}{1} \right] \text{ float,3} \rightarrow 83.3 \cdot s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) + 262.0$$

$$83.3 \cdot 1 \cdot \left[\frac{3.15 + s \cdot (0 + 1.0)}{1} \right] \text{ float,3} \rightarrow 83.3 \cdot s + 262.0 \quad \text{kp} = 6.366$$

Рисунок Б1 – Розрахунок регулятора положення при модульному критерії оптимальності в математичному пакеті Mathcad

$$w_{pkp}(s) := w_f(s) \cdot k_1 \cdot \frac{w_e(s) \cdot w_m(s)}{1 + w_e(s) \cdot w_m(s)} \cdot w_v(s) \cdot k_p \text{ float,3} \rightarrow \frac{1.2}{s^2 \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) \cdot \left[\frac{3.15}{s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)} + 1.0 \right] \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)}$$

$$t_p := \min(t_f, t_e) = 5 \times 10^{-3}$$

$$w_{pkpb}(s) := \frac{4 \cdot t_p \cdot s + 1}{8 \cdot t_p^2 \cdot s^2 \cdot (t_p \cdot s + 1)} \text{ float,3} \rightarrow \frac{5000.0 \cdot (0.02 \cdot s + 1.0)}{s^2 \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)}$$

$$r_p(s) := \frac{w_{pkpb}(s)}{w_{pkp}(s)} \text{ float,3} \rightarrow 0.833 \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) \cdot (100.0 \cdot s + 5000.0) \cdot \left[\frac{3.15}{s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)} + 1.0 \right] \quad +$$

$$0.833 \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) \cdot (100.0 \cdot s + 5000.0) \cdot \left[\frac{3.15 + s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)}{s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)} \right]$$

$$0.833 \cdot (100.0 \cdot s + 5000.0) \cdot \left[\frac{3.15 + s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0)}{s} \right] \text{ float,3} \rightarrow \frac{[s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) + 3.15] \cdot (83.3 \cdot s + 4164.0)}{s}$$

$$\frac{[s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) + 3.15] \cdot 4164.0 \cdot \left(\frac{83.3}{4164.0} \cdot s + 1 \right)}{s} \quad \frac{83.3}{4164.0} = 0.02$$

$$w_f(s) := \frac{1}{\left(\frac{83.3}{4164.0} \cdot s + 1 \right)} \text{ float,3} \rightarrow \frac{1}{0.02 \cdot s + 1.0}$$

$$\frac{[s \cdot (0.00656 \cdot s + 1.0) + 3.15] \cdot 4164.0}{s} \Big|_{\text{simplify}} \text{ float,3} \rightarrow 27.3 \cdot s + \frac{13119.0}{s} + 4163.0$$

Рисунок Б2 – Розрахунок регулятора положення при симетричному критерії оптимальності в математичному пакеті Mathcad

$$w_{pkpb}(s) \text{ float,3} \rightarrow \frac{100.0}{s \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)}$$

$$w_{kp}(s) := \frac{w_{pkpb}(s) \cdot \frac{1}{k_p}}{1 + w_{pkpb}(s)} \Big|_{\text{simplify}} \text{ float,3} \rightarrow \frac{3142.0}{200.0 \cdot s + s^2 + 20000.0}$$

Рисунок Б3 – Розрахунок загальної передавальної функції електропривода в математичному пакеті Mathcad

Mathcad - [bdr_kruhovetsky_2017(2)]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Constants Times New Roman 10 **B I U** 100% $x^2 x_2$

$x = \int \frac{d}{dx} < \frac{d}{dx} \alpha \beta$

$$k_h := \frac{10}{\omega_n} = 0.102 \quad k_s := \frac{10}{m_n} = 0.131$$

$$w_{dv}(s) := k_1 \cdot \frac{w_d(s) \cdot w_m(s)}{1 + w_d(s) \cdot w_m(s)} \text{ float, 4} \rightarrow \frac{54.03}{s \cdot (0.02614 \cdot s + 1.0) \cdot \left[\frac{25.8}{s \cdot (0.02614 \cdot s + 1.0)} + 1.0 \right]}$$

$$w_w(s) := \frac{w_f(s) \cdot w_d(s)}{1 + k_h \cdot (w_f(s) \cdot w_d(s))} \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow \frac{444146.0}{238.0 \cdot s + s^2 + 53020.0}$$

$$k_s := 2.269$$

$$w_s(s) := \frac{w_f(s) \cdot k_1 \cdot w_d(s)}{1 + w_f(s) \cdot k_1 \cdot w_d(s) \cdot k_s} \text{ float, 4} \rightarrow \frac{121.6}{(0.02614 \cdot s + 1.0) \cdot \left[\frac{275.9}{(0.02614 \cdot s + 1.0) \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)} + 1.0 \right] \cdot (0.005 \cdot s + 1.0)}$$

$$w_h(s) := \frac{w_s(s) \cdot w_m(s)}{1 + k_h \cdot w_s(s) \cdot w_m(s)} \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \frac{1.0 \cdot (1.52e-8 \cdot s - 2.06e6)}{(s + 0.0996) \cdot (238.0 \cdot s + s^2 + 2.12e6)}$$

$$-1.0 \cdot (1.52e-8 \cdot s - 2.06e6) \text{ series} \rightarrow 2.06e6 - 1.52e-8 \cdot s$$

$$(s + 0.0996) \cdot (238.0 \cdot s + s^2 + 2.12e6) \left| \begin{array}{l} \text{series} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow 211151.0 + 2.12e6 \cdot s + 238.0 \cdot s^2 + s^3$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку. АВТО NUM Страница 6

Рисунок Б4 – Розрахунок передавальної функції електропривода в математичному пакеті Mathcad

Додаток В

Програма роботи контролера лабораторного стенда

В.1 Робота стенда в ручному та автоматичному режимах

```
// ножки команд на управління сервоприводами ворот
#define PIN_GATE_L_CMD_OPEN  A0
#define PIN_GATE_L_CMD_CLOSE A1
#define PIN_GATE_R_CMD_OPEN  A4
#define PIN_GATE_R_CMD_CLOSE A5

// ножки підключення датчиків концевиків ворот (герконы нормально
закритий (жовний-зелений)           ще є (не використовується)
наормальноа відкритий (жовний-білий))

#define PIN_GATE_L_SW_OPEN  7
#define PIN_GATE_L_SW_CLOSE 6
#define PIN_GATE_R_SW_OPEN  4
#define PIN_GATE_R_SW_CLOSE 5
#define PIN_GATE_LAMP  3

//датчик перешкоди: "1"-наличие перешкоди
#define PIN_GATE_BARRIER_SENSOR 2

// коди виконання команд ворот
const int GATE_OPEN = 1;
const int GATE_CLOSE = 2;
const int GATE_STOP = 3;

// состояние ожидания авто-закрития после команды на открытие
```

```

const int GATE_WAIT_CLOSE = 4;

int gate_cmd_state;
//-----
// задержка на закрытие ворот для режима GATE_WAIT_CLOSE
//
unsigned long gate_wait_previousMillis = 0;
unsigned long gate_wait_interval = 10000;

void gate_wait_close_Init(){
  Serial.println("задержка 10сек");
  gate_wait_previousMillis = millis();
}

int gate_wait_close_End(){

  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - gate_wait_previousMillis >= gate_wait_interval) {
    //gate_wait_previousMillis = currentMillis;
    return 1;
  }
  return 0;
}
//-----

void setup() {

  pinMode(PIN_GATE_L_SW_OPEN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_GATE_L_SW_CLOSE, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_GATE_R_SW_OPEN, INPUT_PULLUP);

```

```
pinMode(PIN_GATE_R_SW_CLOSE, INPUT_PULLUP);
```

```
pinMode(PIN_GATE_L_CMD_OPEN, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_GATE_R_CMD_OPEN, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_GATE_LAMP, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_GATE_BARRIER_SENSOR, INPUT_PULLUP);
```

```
Serial.begin(115200);
```

```
Serial.println("ATMEGA");
```

```
RFID_setup();
```

```
}
```

```
int RFID_detect_cnt;
```

```
int cnt;
```

```
void loop() {
```

```
int inByte=0;
```

```
// put your main code here, to run repeatedly:
```

```
//Serial.print(".");
```

```
cnt++;
```

```
//Serial.println(cnt);
```

```
//-----
```

```
// обработка команд з RFID-карты
```

```

if ( (cnt % 100) == 0){
    bool RFID_detect_loc;
    RFID_detect_loc = RFID_module();

    //Serial.print("RF"+RFID_detect); Serial.println("-"+ RFID_detect_loc);
    if (RFID_detect_loc && RFID_detect_cnt ==0) {
        // Serial.print
        gate_CMD(GATE_OPEN);
    }
    if (RFID_detect_loc) {
        RFID_detect_cnt=3; //лічильник скільки ми не бачемо карту, перш
ніж вважати що вона відсутня (достатньо 2-ва) (модуль считувача карти
RFID RC522 при опитуванні і наявності карти видає 1-н раз що вона є а 2-й
що відсутня)
    }
    if (!RFID_detect_loc && (RFID_detect_cnt>0)) {
        RFID_detect_cnt--;
    }
}
//-----
// обробка команд з термінала, от веб-сервера
if (Serial.available()) {
    inByte = Serial.read();
    //Serial.println(inByte);
    //Serial.println("CMD =" + inByte);
}
gate_CMD(inByte);
//-----
// обробка состояния системы "ожидание закрытия через 20 сек."

```



```

// Serial.println( "gate_cmd_state == GATE_WAIT_CLOSE          " +
gate_cmd_state +"=="GATE_WAIT_CLOSE)
if (gate_cmd_state == GATE_WAIT_CLOSE)
{
// Serial.println("---if (gate_cmd_state == GATE_WAIT_CLOSE){");
digitalWrite(PIN_GATE_LAMP, HIGH); // мигание диода при
ожидании закрытия

if ( gate_wait_close_End()==1 ){
Serial.println("задержка 10сек -КОНЕЦ");
gate_CMD(GATE_CLOSE); }
}
else{
//Serial.println("--else-if          (gate_cmd_state          ==
GATE_WAIT_CLOSE){"); //DDDDDDd

if          (digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_OPEN)==HIGH          ||
digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE)==HIGH          ||
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_OPEN)==HIGH          ||
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE)==HIGH ) {
//BlinkLED();
digitalWrite(PIN_GATE_LAMP, HIGH);
}
else
{
digitalWrite(PIN_GATE_LAMP, LOW);
}
}
//delay(100);
}

```

```

//-----
// ф-я обработки/выполнения команд по управлению воротами
void gate_CMD(int cmd){

    //обработка новой команды на открытие при текущей работе привода
на закрытие, и наоборот (останавливаем, задержка и выполн. нужн команды)
    if ((cmd == GATE_OPEN && gate_cmd_state == GATE_CLOSE) || (cmd
== GATE_CLOSE && gate_cmd_state == GATE_OPEN))
    {
        Serial.println("GATE_STOP");
        gate_CMD(GATE_STOP);
        delay(800);
    }

    if (cmd == GATE_OPEN){
        Serial.println("GATE_OPEN");

        if      (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_OPEN)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE)==LOW) {
            digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_OPEN,HIGH);
Serial.println("PIN_GATE_L_CMD_OPEN, HIGH");
            gate_cmd_state = GATE_OPEN;
        }
        if      (digitalRead(PIN_GATE_R_SW_OPEN)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE)==LOW) {
            digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_OPEN,HIGH);
Serial.println("PIN_GATE_R_CMD_OPEN, HIGH");
            gate_cmd_state = GATE_OPEN;
        }
    }
}

```

```

        if      (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_OPEN)==HIGH      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_SW_OPEN)==HIGH ){
        gate_wait_close_Init();
        gate_cmd_state = GATE_WAIT_CLOSE;
    }
}

if (cmd == GATE_CLOSE){
    Serial.println("GATE_CLOSE");
    if      (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_CLOSE)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_OPEN)==LOW) {
        digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE,HIGH);
Serial.println("PIN_GATE_L_CMD_CLOSE, HIGH");
        gate_cmd_state = GATE_CLOSE;
    }
    if      (digitalRead(PIN_GATE_R_SW_CLOSE)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_OPEN)==LOW) {
        digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE,HIGH);
Serial.println("PIN_GATE_R_CMD_CLOSE, HIGH");
        gate_cmd_state = GATE_CLOSE;
    }
}

if (cmd == GATE_STOP){
    Serial.println("GATE_STOP");      Serial.println("----STOP ALL----");
    digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_OPEN,LOW); //GATE_L_OPEN
    digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE,LOW); //GATE_L_CLOSE
    digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_OPEN,LOW); //GATE_R_OPEN
    digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE,LOW); //GATE_R_CLOSE
    gate_cmd_state = 0;
}

```

```

//обработка состояния концевиков (прекращение движения при наезде
ворот на концевик(геркон))
    if (cmd == 0){
        if          (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_OPEN)==HIGH)
{digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_OPEN,LOW);}
        if          (digitalRead(PIN_GATE_R_SW_OPEN)==HIGH)
{digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_OPEN,LOW);}

        if (gate_cmd_state == GATE_OPEN){
            if      (digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_OPEN)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_OPEN)==LOW ){
                //if      (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_OPEN)==HIGH      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_SW_OPEN)==HIGH ){ // по концевиках не совсем
правильно
                    Serial.println(" обработка концевиков      gate_cmd_state =
GATE_WAIT_CLOSE");

                    gate_wait_interval = 10000; // задержка 10 сек
                    gate_wait_close_Init();
                    gate_cmd_state = GATE_WAIT_CLOSE;
                }
            }

            // срабатывание концевиков при закрытии ворот
            if          (digitalRead(PIN_GATE_L_SW_CLOSE)==HIGH)
{digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE,LOW);}
            if          (digitalRead(PIN_GATE_R_SW_CLOSE)==HIGH)
{digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE,LOW);}

```

```

    if (gate_cmd_state == GATE_CLOSE){
        if      (digitalRead(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE)==LOW      &&
digitalRead(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE)==LOW ) {

            gate_cmd_state = 0;
        }
    }

    // обработка датчика препятствий
    /*if      (gate_cmd_state==GATE_CLOSE                    ||
gate_cmd_state==GATE_WAIT_CLOSE){
        // срабатывание датчика препятствий (кроме открытия ворот)
        if(digitalRead(PIN_GATE_BARRIER_SENSOR)==HIGH){
            Serial.println("срабатывание датчика препятствий");
            //gate_CMD(GATE_STOP);
            digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE,LOW);
//GATE_L_CLOSE
            digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE,LOW);
//GATE_R_CLOSE

            gate_wait_close_Init();
            gate_cmd_state == GATE_WAIT_CLOSE;
        }
    }*/

    // срабатывание датчика препятствий (кроме открытия ворот)
    if(digitalRead(PIN_GATE_BARRIER_SENSOR)==HIGH){

        //gate_CMD(GATE_STOP);

        if      (gate_cmd_state==GATE_CLOSE                    ) {
Serial.println("GATE_BARRIER_SENSOR");
            digitalWrite(PIN_GATE_L_CMD_CLOSE,LOW); //GATE_L_CLOSE

```

```

digitalWrite(PIN_GATE_R_CMD_CLOSE,LOW); //GATE_R_CLOSE
gate_cmd_state = GATE_WAIT_CLOSE;
}

if(gate_cmd_state==GATE_WAIT_CLOSE){
    gate_wait_interval = 3000; // задержка 3 сек
    gate_wait_close_Init();
}
}
}
}

// МИГАНИЕ СВЕТОДИОДОМ НА ВОРОТАХ

int ledState = LOW;           // ledState used to set the LED
unsigned long previousMillis = 0; // will store last time LED was
updated
const long interval = 1000; // interval at which to blink (milliseconds)

void BlinkLED(){
    if (interval>0){
        unsigned long currentMillis = millis();

        if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
Serial.println("BlinkLED() - Started");
            // save the last time you blinked the LED
            previousMillis = currentMillis;

            // if the LED is off turn it on and vice-versa:
            if (ledState == LOW) {
                ledState = HIGH;

```

```

    } else {
        ledState = LOW;
    }
    // set the LED with the ledState of the variable:
    digitalWrite(PIN_GATE_LAMP, ledState);
}
}
}

```

В.2 Работа лабораторного стенда від брелка по радіоканалу

```

#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h> // бібліотека "RFID".
#define SS_PIN 10
#define RST_PIN 9
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
unsigned long uidDec, uidDecTemp; // для хранения номера метки в
десятичном формате
void RFID_setup() {
    Serial.println("Waiting for card...");
    SPI.begin(); // инициализация SPI / Init SPI bus.
    mfrc522.PCD_Init(); // инициализация MFRC522 / Init MFRC522 card.
}
bool RFID_module() {
    // Поиск новой метки
    if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
        //Serial.println("NONE-PICC_IsNewCardPresent"); //немає карти
        return 0;
    }
    // Выбор метки

```

```
if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) {
    //Serial.println("NONE-ReadCardSerial");
    return 0;
}
uidDec = 0;
// Выдача серийного номера метки.
for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
{
    uidDecTemp = mfrc522.uid.uidByte[i];
    uidDec = uidDec * 256 + uidDecTemp;
}
//Serial.println("Card UID: ");
//Serial.println(uidDec); // Выводим UID метки в консоль.
if (uidDec == 2038896578 or uidDec == 3352587289) // Сравниваем Uid
метки, если он равен заданному то серва открывает.
{
    //Serial.print("DETECT "); Serial.println(uidDec);
    return 1;
}
else{
    //Serial.println("NONE");
    return 0;
}
}
```


В.3 Работа лабораторного стенда від смартфона по каналу зв'язку WiFi

```
#include <ESP8266WiFi.h>

//#define //!debugInfo ///  
//const char* ssid = "DEVELOPER";  
//const char* password = "FYGRGzH99";  
const char* ssid = "GATE";  
const char* password = "";  
  
WiFiServer server(80);  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  delay(10);  
  
  //Configuración del GPIO2  
  //pinMode(2, OUTPUT);  
  //digitalWrite(2,LOW);  
  //!debugInfo Serial.println();  
  //!debugInfo Serial.println();  
  //!debugInfo Serial.print("Conectandose a red : "); //Подключение к сети:  
  //!debugInfo Serial.println(ssid);  
  
  //WiFi.begin(ssid, password); //Conexión a la red  
  //  
  // AP  
  WiFi.softAP(ssid, password);  
  // -----  
  // назначение IP-адреса
```

```

// -----
// вариант 1: адрес назначается модулем (любит назначать 192, 168, 4,
1)

// IPAddress IP = WiFi.softAPIP(); //
// Serial.print("AP IP address: ");
// Serial.println(IP);

// вариант 2: мы назначаем адрес точки доступа
IPAddress apIP(192, 168, 0, 1);
WiFi.softAPConfig(apIP, apIP, IPAddress(255, 255, 255, 0));

// -----
// while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
// {
//   delay(500);
//   !debugInfo Serial.print(".");
// }
// !debugInfo Serial.println("");
// !debugInfoSerial.println("WiFi conectado"); //WiFi подключен
server.begin(); //Iniciamos el servidor
// !debugInfo Serial.println("Servidor Iniciado"); //Сервер запущен
// !debugInfo Serial.println("Ingrese desde un navegador web usando la
siguiente IP:"); //Войдите из веб-браузера, используя следующий IP:
// !debugInfo Serial.println(WiFi.localIP()); //Obtenemos la IP
}
const int GATE_OPEN = 1;
const int GATE_CLOSE = 2;
const int GATE_STOP = 3;
void loop() {
  int gate_cmd=0;

```

```

WiFiClient client = server.available();
if (client) // Если есть клиент
{
  //!debugInfo Serial.println("Nuevo Cliente"); //Новый клиент

  // ждать, пока данные не станут доступны
  while(!client.available() && client.connected())
  {
    delay(1);
  }
  // Читаем первую строку запроса клиента.
  String line1 = client.readStringUntil('r');
  //!debugInfo Serial.println(line1);
  if (line1.indexOf("GATE=OPEN")>0) //Мы ищем светодиод = ВКЛ на
1-й линии
  {
    //digitalWrite(2,HIGH);
    gate_cmd = GATE_OPEN;
  }
  if (line1.indexOf("GATE=CLOSE")>0)//Мы ищем светодиод =
выключен в 1-й строке
  {
    //digitalWrite(2,LOW);
    gate_cmd = GATE_CLOSE;
  }
  if (line1.indexOf("GATE=STOP")>0)//Мы ищем светодиод =
выключен в 1-й строке
  {
    //digitalWrite(2,LOW);
    gate_cmd = GATE_STOP;
  }
}

```

```

    }
    client.flush();
    //!debugInfo Serial.println("Enviando respuesta..."); //Отправка ответа
    //Encabesado http
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-Type: text/html");
    client.println("Connection: close");// Соединение закрывается после
завершения ответа

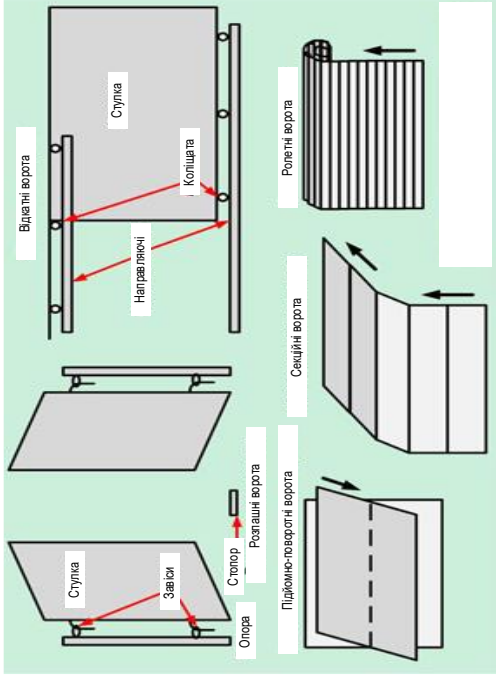
    client.println();
    // HTML-страница для в браузере
    client.println("<!DOCTYPE HTML>");
    client.println("<html>");
    client.println("<head><meta          charset=\"utf-8\"><title>Керування
ворітьми</title>");
    client.println("<style>");
    client.println("html {font-size: 42px; font-family: Helvetica; color:
#006468; display: inline-block; margin: 10px auto; text-align: center;}");
    client.println("button {font-size: 72px; font-weight:bold; background-
color: #17A1A5; border: none; color: white; padding: 16px 40px; width: 80%;
max-width: 660px; height: 150px;}");
    client.println("</style>");
    client.println("<body>");
    client.println("<h1 align='center'>Керування воротами </h1>");
    client.println("<div style='text-align:center;'>");
    client.println("<br />");
    client.println("<button
onClick=location.href='./?GATE=OPEN'>ВІДКРИТИ</button>          </br>
</br></br>");

```

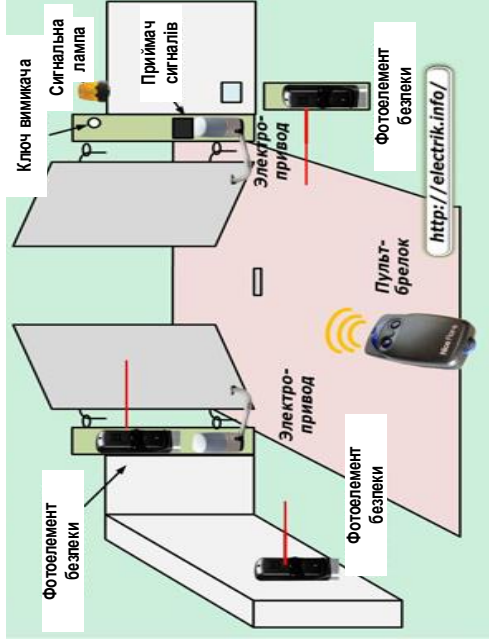
```
        client.println("<button  
onClick=location.href='./?GATE=CLOSE'>ЗАКРИТИ</button>                </br>  
</br></br>");  
        client.println("<button  
onClick=location.href='./?GATE=STOP'>СТОП</button>");  
        client.println("<br />");  
        client.println("</div>");  
        client.println("</body>");  
        client.println("</html>");  
        delay(1);  
        //!debugInfo Serial.println("respuesta enviada"); //ОТВЕТ ОТПРАВЛЕН  
        //!debugInfo Serial.println();  
    }  
    gate_CMD(gate_cmd);  
}  
void gate_CMD(int cmd){  
    if (cmd>0){  
        Serial.write(cmd);  
    }  
}
```

Додаток Г

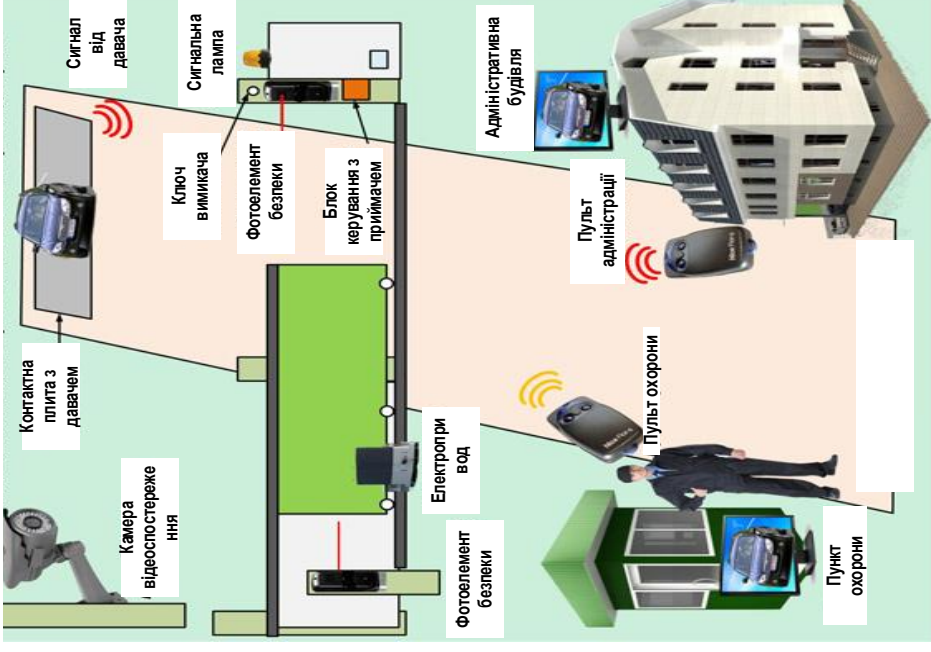
Ілюстративні матеріали



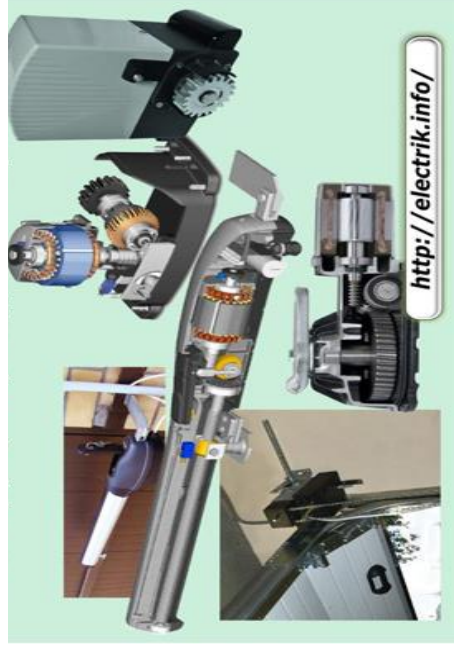
Загальний принцип роботи різних систем відкриття воріт



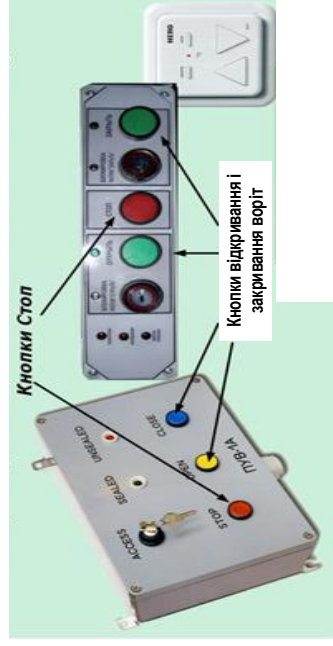
Робота дистанційного пульта для автоматичних воріт



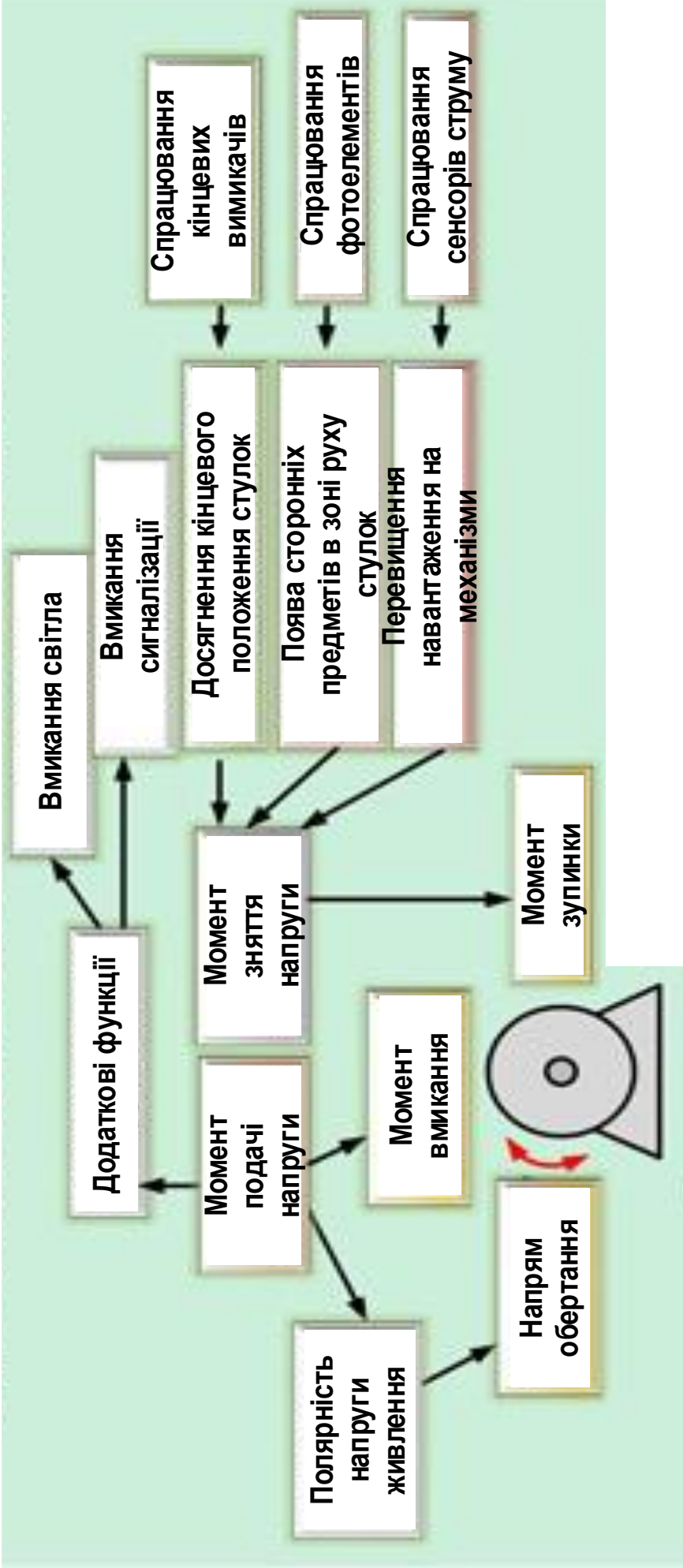
Автоматичні ворота з системою контролю допуску



Механічні конструкції приводів воріт



Зовнішній вигляд пульта керування воротами та автоматички воріт



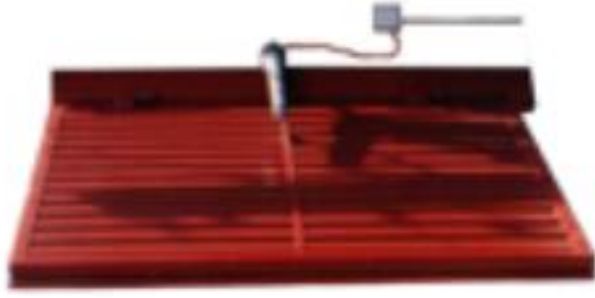
Метою роботи є підвищення рівня надійності та ефективності роботи розпашних воріт за рахунок застосування нових методів та способів керування, що дозволить забезпечити додатковий захист від несанкціонованого проникнення на територію об'єкта та контроль над переміщенням транспортних засобів через прохідну об'єкта.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації роботи двостулкових розпашних воріт.

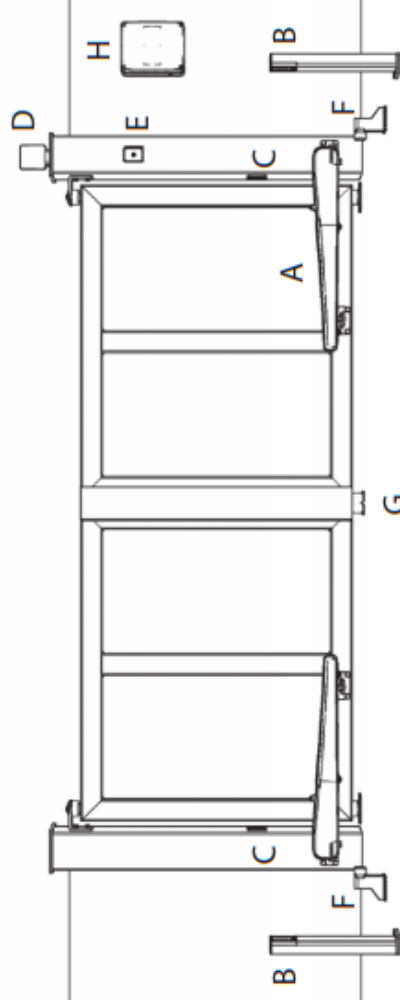
Предметом дослідження є система автоматизації процесу відкривання-закривання воріт та лабораторний стенд для дослідження процесу відкривання-закривання розпашних воріт.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Виконати аналіз відомих конструкцій автоматичних воріт, їх можливостей та обрати найбільш характерні представники цих конструкцій.
2. Розрахувати параметри воріт певного об'єкта. Визначити необхідні зусилля, моменти, швидкості переміщення тощо.
3. Розрахувати та обрати силові обладнання для приведення в дію конструкції воріт.
4. Обґрунтувати доцільність використання тієї чи іншої автоматики воріт.
5. Розробити структурну, функціональну та електричну схеми автоматики воріт.
6. Перевірити працездатність воріт шляхом комп'ютерного моделювання.
7. Зробити фізичний макет розпашних воріт і вибрати для нього всі елементи.
8. Налаштувати макет на роботу відповідно до розроблених способів керування воротами.
9. Виконати імітацію роботи макету, який в подальшому планується використовувати в навчальному процесі як лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.



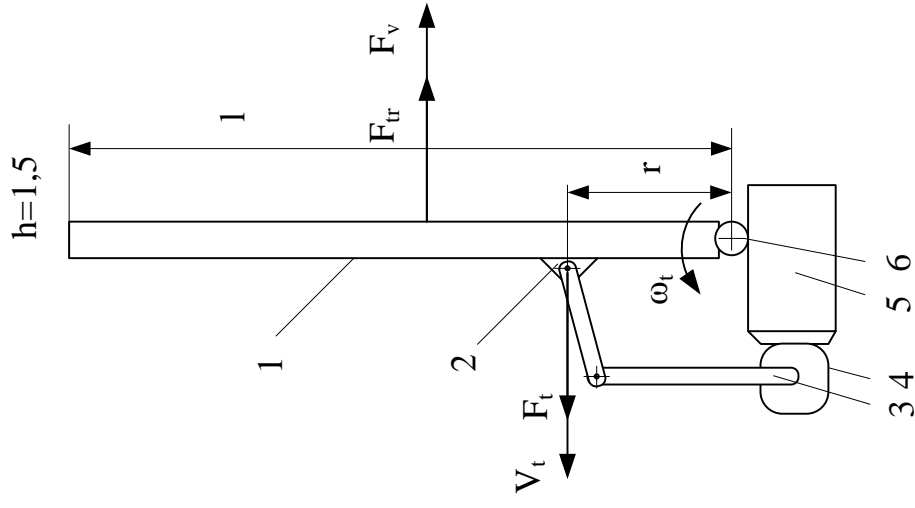
Загальний вигляд двостулкових розпашних воріт



Базова комплектація двостулкових розпашних воріт



Комплект важільного привода
Nice PP 7024

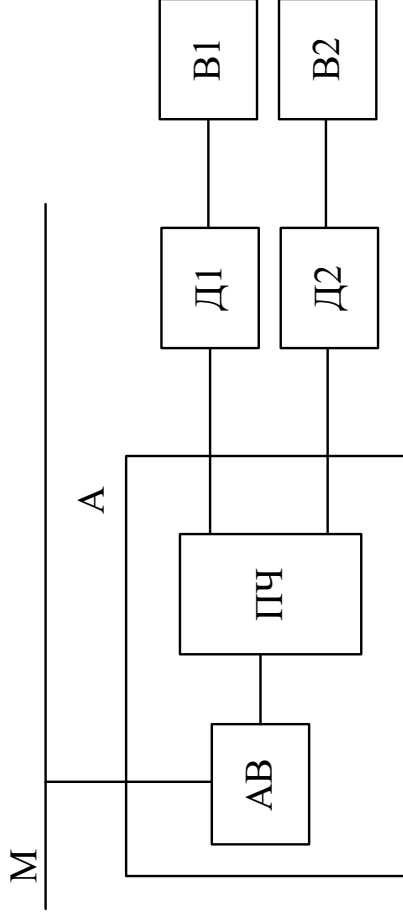


Схематичне зображення механізму відкривання однієї ступки розпашних воріт

Ferni	Krono-1	Ati3000	ПЧ-АД1,2
			

	Ferni	Krono-1	Ati3000	ПЧ-АД1,2
Вартість двигуна, грн.	0,00	0,00	0,00	2240,00
Вартість сист. керув., грн.	41825,00	21875,00	31850,00	23055,00
Капітальні затрати, грн.	41825,00	21875,00	31850,00	25295,00
Річні кап. затрати, грн./рік	7110,25	3718,75	5414,50	4300,15
ККД перетворювача, в. од.	0,95	0,60	0,60	0,95
Затрати на електроен. грн./рік	1957,89	3100,00	3100,00	1174,74
Затрати на амортиз., грн./рік	4182,50	2187,50	3185,00	2529,50
Затрати на ремонт, грн./рік	836,50	437,50	637,00	505,90
Затрати на обслугов., грн./рік	348,84	286,25	346,10	210,51
Приведені річні затрати, грн./рік	14435,99	9730,00	12682,60	8720,79

08-16.МКР.005.00.000 Е1



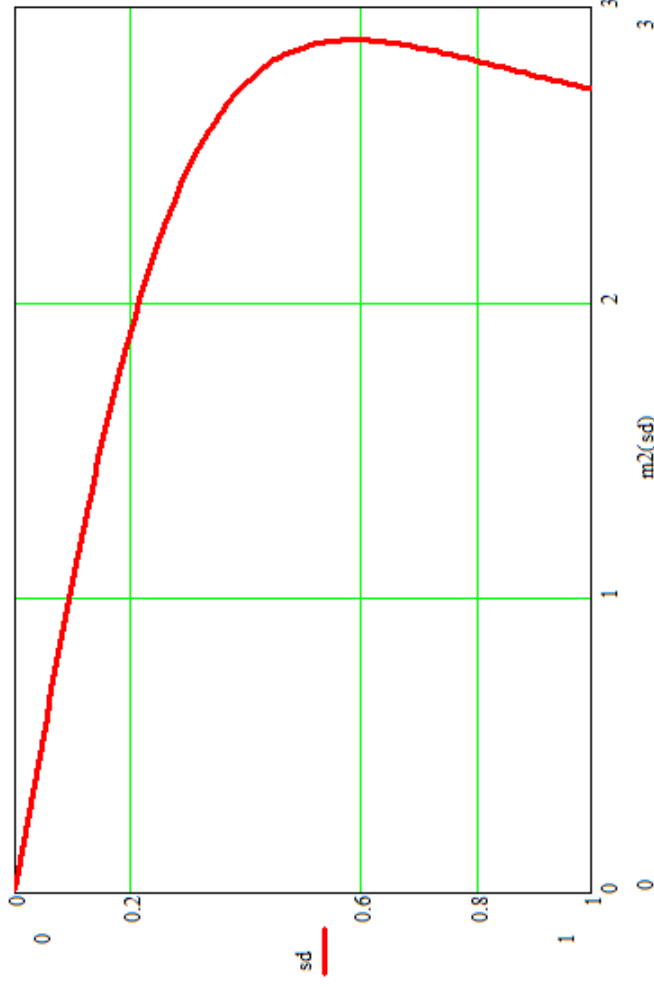
Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
М	Мережа живлення	1	
А	Автоматика воріт	1	
АВ	Автоматичний вимикач	1	
ПЧ	Перетворювач частоти	1	
Д1, Д2	Приводні двигуни	2	
В1, В2	Ступки воріт	2	

08-16.МКР.005.00.000 Е1									
Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.									
Схема електрична структурна електропривоів розпашних воріт									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літера	Маса	Масштаб		
Резьбові	Пестеряк В. А.				У				
Перевірив	Мошорєв М.М.								
Т. контр.					Аркуш		Аркушів		
Репезент									
Н.контр.	Бомбик В. С.								
Зав.	Купін В. М.							ВНТУ, ЕПА-18МЗ	

Інв. № орг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
-------------	---------------	-------------	--------------	---------------

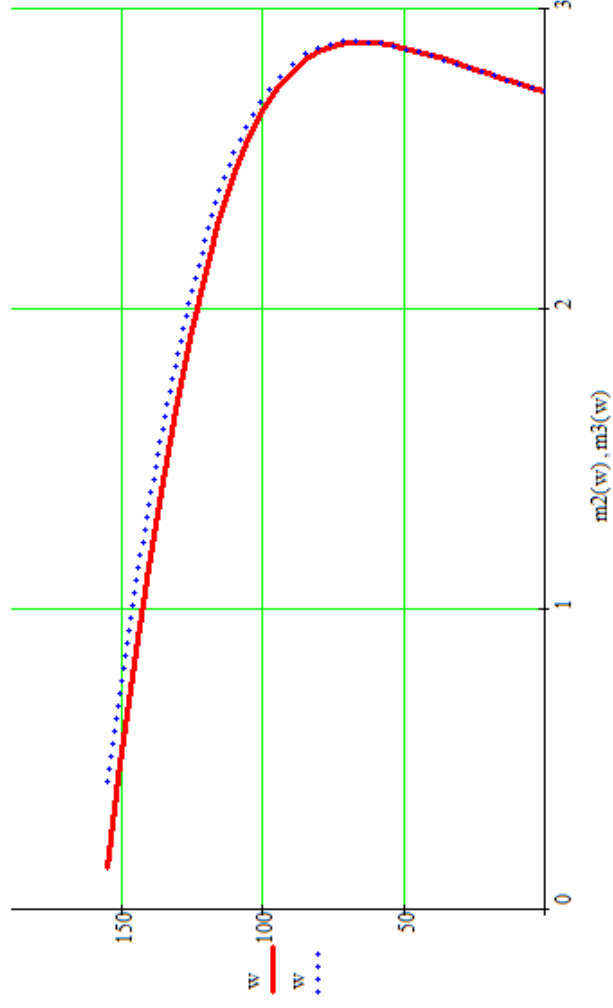
$$M(s) = 2,85 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,485^2) \cdot 0,563}{s} + \frac{0,485}{s}$$

Формула Чекунова



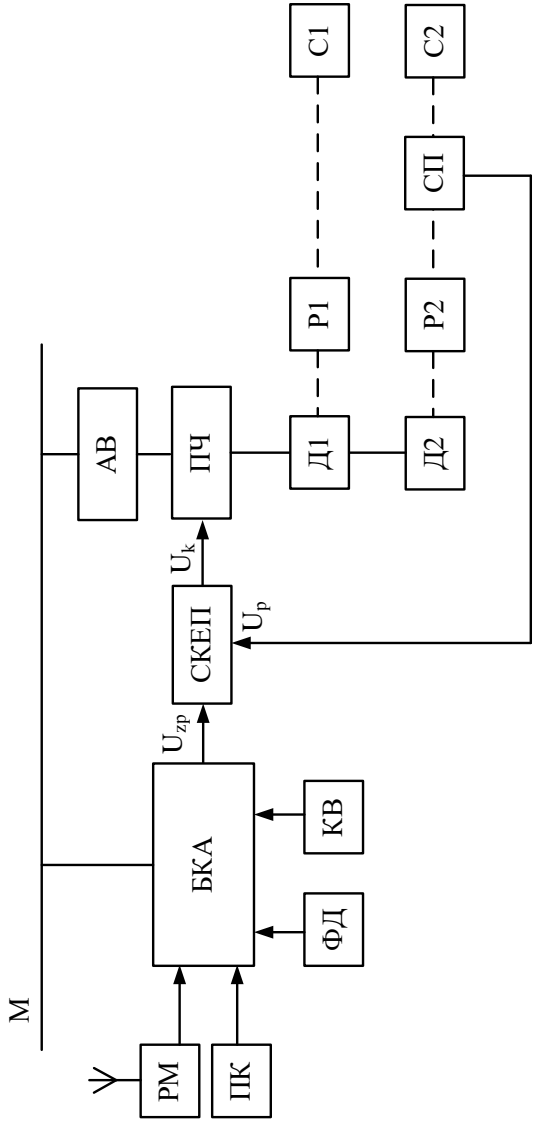
Природня механічна характеристика двигуна

$$M_3(\omega) = 2,85 \cdot \frac{2 + \left(\left(1 - \frac{\omega}{161,05} \right)^2 - 0,485^2 \right) \cdot 0,563}{1 - \frac{\omega}{161,05}} + \frac{0,485}{0,485 + \frac{\omega}{161,05}}$$



Природна та штучна механічні характеристики двигуна

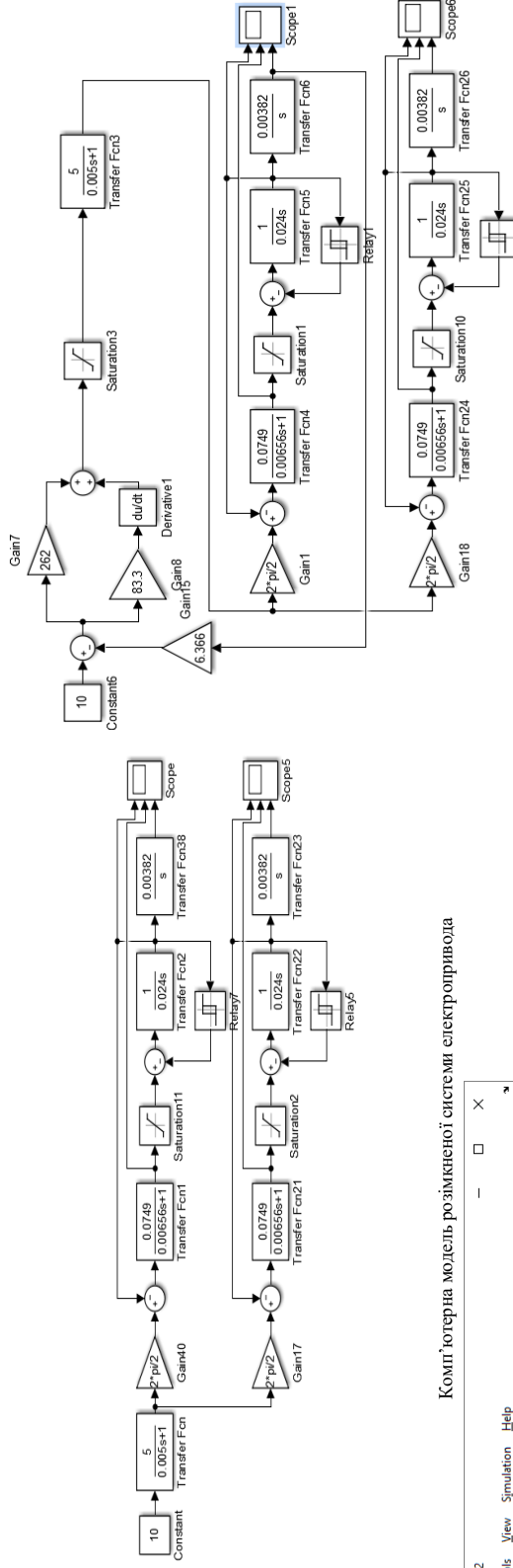
08-16.МКР.005.00.000 Е2



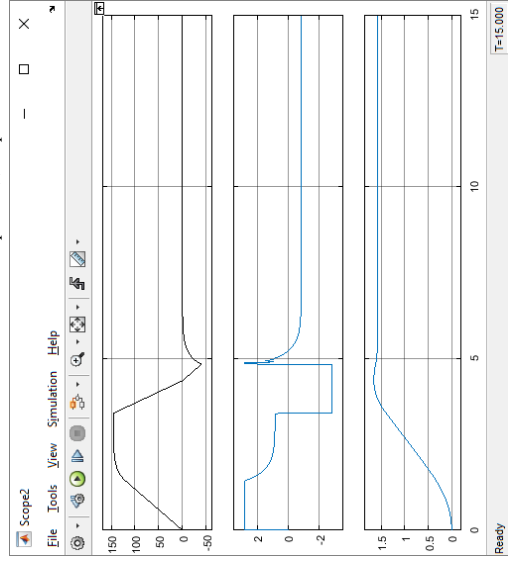
Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
М	Мережа живлення	1	
АВ	Автоматичний вимикач	1	
ПЧ	Перетворювач частоти	1	
Д1,Д2	Приводний двигун	2	
Р1,Р2	Редуктор	2	
С1,С2	Ступка воріт	2	
РМ	Радіомодуль	1	
ПК	Пульт керування	1	
БКА	Блок керування автоматикою	1	
ФД	Фотодавач	1	
КВ	Кінцевий вимикач	4	
СКЕЛ	Система керування електроприводом	1	
СП	Сенсор положення воріт	2	

08-16.МКР.005.00.000 Е2			
Літера	Маса	Масштаб	
У			
Аркус	Аркус	Аркус	Аркус
Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.			
Схема електрична функціональна електропривода розпашних воріт			
ВНТУ, ЕПА-18мз			

Інв. № орнт. Підпис і дата
Зам. інв. № Інв. № дубл.
Підпис і дата

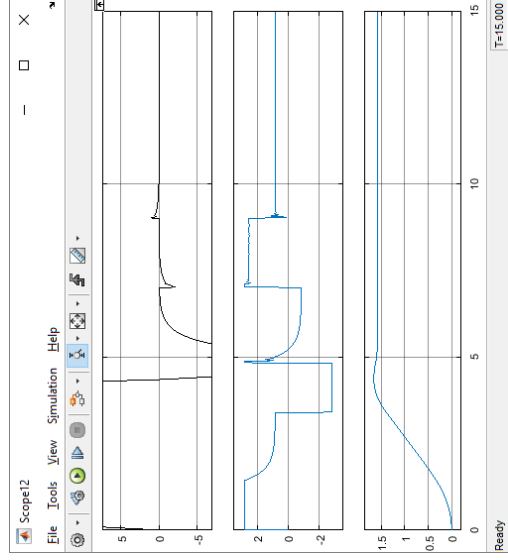


Комп'ютерна модель розімкненої системи електропривода

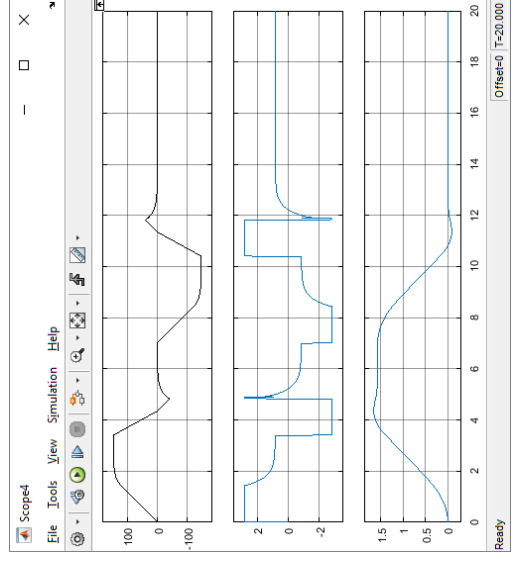


Графіки перехідних процесів електропривода при зворотному зв'язку за положенням механізму і налаштуванні на модульний критерій оптимальності

Комп'ютерна модель електропривода зі зворотним зв'язком за положенням ступки воріт при налаштуванні контуру на модульний критерій оптимальності

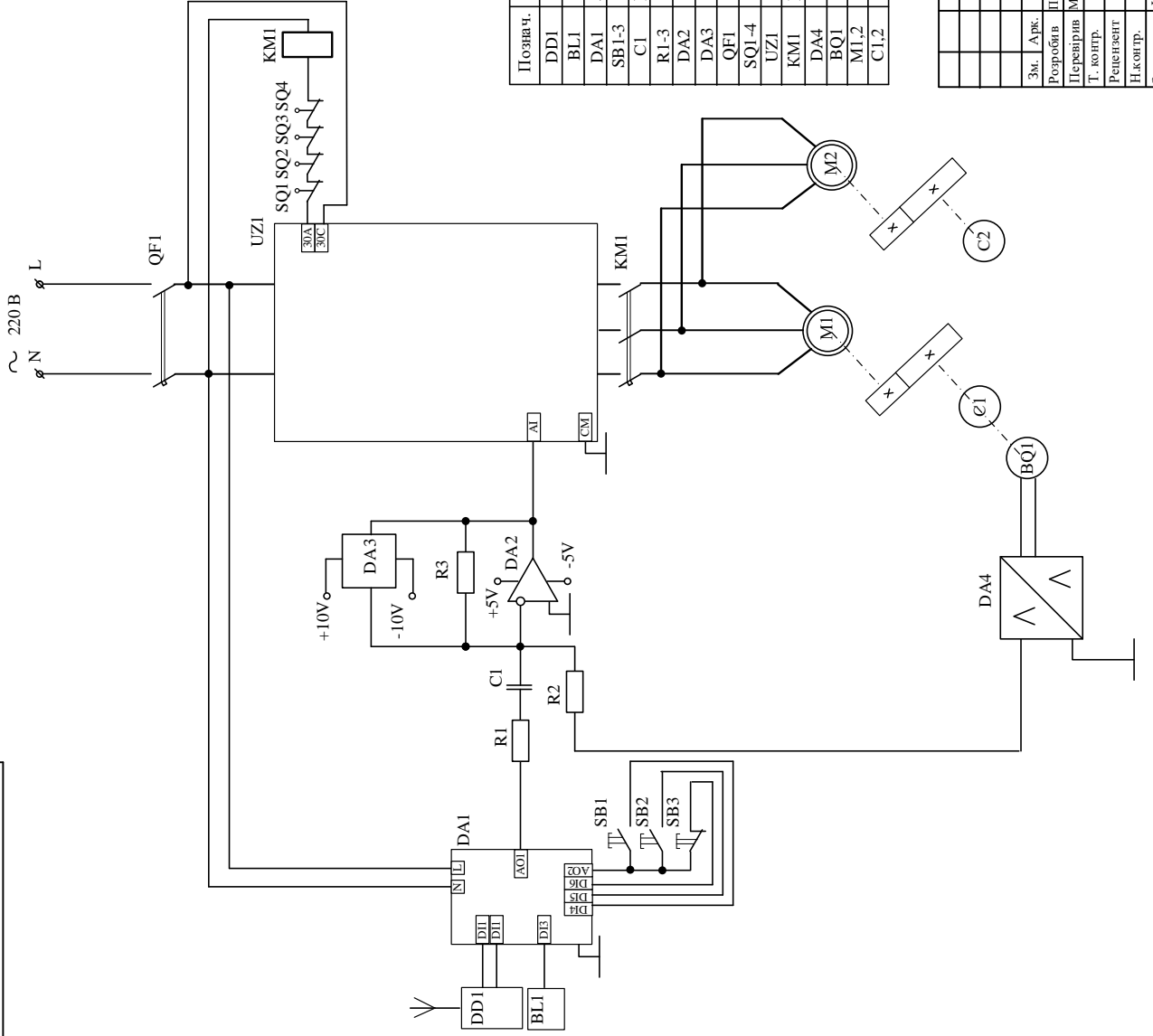


Графіки перехідних процесів електропривода при нахилі та скиді навантаження



Графіки перехідних процесів електропривода при зміні сигналу задання

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ



Познач.	Найменування	Кіл	Примітка
DD1	Цифрова мікросхема (радіоприймач)	1	
BL1	Фотоелемент	1	
DA1	Аналогова мікросхема (блок керування автоматикою)	1	
SB1-3	Кнопка	3	
C1	Конденсатор	1	
R1-3	Резистор	3	
DA2	Операційний підсилювач (регулятор положення)	1	
DA3	Аналогова мікросхема (обмежувач сигналу)	1	
QF1	Автоматичний вимикач	1	
SQ1-4	Кінцевий вимикач	4	
UZ1	Перетворювач частоти	1	
KM1	Контактор	1	
DA4	Нормуючий перетворювач сигналу	1	
BQ1	Сенсор положення	1	
M1,2	Приводний двигун	2	
C1,2	Ступічка воріт	2	

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ			
Літера	Маса	Масштаб	
У			
Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкривання воріт.			
Схема електрична принципова електропривою розпашних воріт			
Аркус	Аркус	Аркус	Аркус
ВНТУ, ЕПА-18мз			

Інв. № опр.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
-------------	---------------	-------------	--------------	---------------

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$З_{\text{ЕФ}} = З_{\text{ЕБ}} - З_{\text{ЕН}},$$

$$З_{\text{ЕФ}} = 209556 - 198571,5 = 10954 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{К_{\text{Н}} - К_{\text{Б}}}{З_{\text{ЕФ}}},$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{30044 - 26018}{10984} = 0,4 \text{ (років)} = 3 \text{ (місяці)}.$$

Річний економічний ефект:

$$ЕЕ = (З_{\text{ЕБ}} - З_{\text{ЕН}}) \cdot E_{\text{Н}} \cdot (К_{\text{Н}} - К_{\text{Б}}),$$

$$ЕЕ = (209556 - 198571,5) \cdot 0,2 \cdot (30044 - 26018) = 10179 \text{ (грн)}.$$

Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
			базова	нова
2 асинхронні двигуни потужністю 0,18 кВт (AIP 56 В4)	2	1120	0,0	2240
Силовий перетворювач потужністю 0,4 кВт (перетворювача частоти LSis SV 004-1 IES5)	1	4611	0,0	4611,0
Система керування	1	-	21875,0	18444,0
Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	230,6	230,6
Вартість обладнання			22105,6	25525,6
Транспортні витрати (7%)			1547,4	1786,8
Вартість всього			23652,9	27312,3
Монтажні роботи (10%)			2365,3	2731,2
Капітальні вкладення всього			26018,2	30043,6

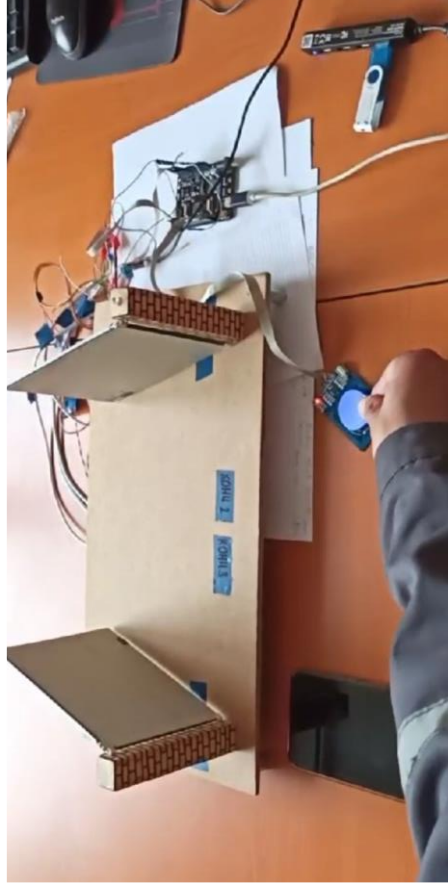
Отже, згідно розрахунків термін окупності складає три місяці. Отже, застосування нових способів підвищення ефективності роботи системи відкривання воріт, виправдовує себе.



Зовнішній вигляд лабораторного стенда для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт

Стенд складається з наступних елементів:

- Корпус.
- Стулки воріт.
- Опорні стовпи.
- Сигнальна лампа.
- Сервоприводи SG90.
- Датчик перешкоди.
- Модуль Ардуіно.
- Кінцеві вимикачі.
- Контролер R-fid+брелок.
- Кабель USB.
- Кигнальні кабелі.

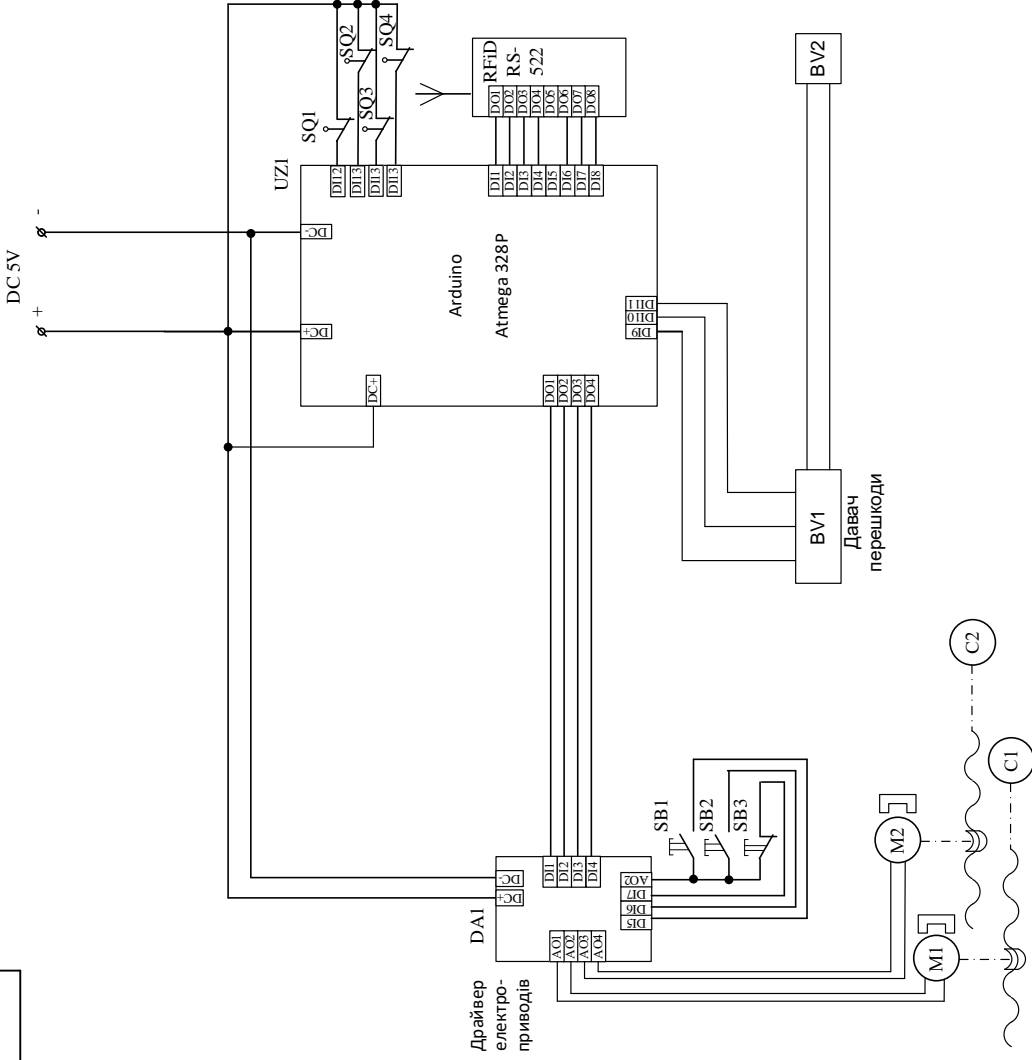


Налаштування та перевірка працездатності стенда при роботі від чипа допуску



Налаштування та перевірка працездатності стенда під час управлінням зі смартфона

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ



Інв. № оргт.	Пізнє і дата	Зам. нр. №	Інв. № дубл.	Пізнє і дата
--------------	--------------	------------	--------------	--------------

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ				
Літера	Маса	Маштаб		
У				
Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт.				
Схема електрична принципова лабораторного стенда				
Аркуш	Аркушів			
ВНТУ, ЕПА-18мз				

Зм.	Арк.	№ докум.	Дата
Розробив	Посеребак В. А.		
Перевірив	Мошнеріз М.М.		
Т. контр.			
Рецензент	Ромбик В. С.		
Н.контр.	Курчін В. М.		
Зав.			

В.1 Робота стенда в ручному та автоматичному режимах

```
// коды выполнения команд ворот
const int GATE_OPEN = 1;
const int GATE_CLOSE = 2;
const int GATE_STOP = 3;
// состояние ожидания авто-закрытия после команды на открытие
const int GATE_WAIT_CLOSE = 4;

int gate_cmd_state;
//-----
// задержка на закрытие ворот для режима GATE_WAIT_CLOSE
//
unsigned long gate_wait_previousMillis = 0;
unsigned long gate_wait_interval = 10000;

void gate_wait_close_Init() {
  Serial.println("задержка 10сек");
  gate_wait_previousMillis = millis();
}
```

В.2 Робота лабораторного стенда від брелка по радіоканалу

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h> // библиотека "RFID".
#define SS_PIN 10
#define RST_PIN 9
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
unsigned long uidDec, uidDecTemp; // для хранения номера метки в десятичном формате

void RFID_setup() {
  Serial.println("Waiting for card...");
  SPI.begin(); // инициализация SPI / Init SPI bus.
  mfrc522.PCD_Init(); // инициализация MFRC522 / Init MFRC522 card.
}

bool RFID_module() {
  // Поиск новой метки
  if (!mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() {
    //Serial.println("NONE-PICC_IsNewCardPresent"); //немає карти
    return 0;
  }
}
```

В.3 Робота лабораторного стенда від смартфона по каналу зв'язку WiFi

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#define debugInfo //
const char* ssid = "DEVELOPER";
const char* password = "FYGRGzH99";
const char* ssid = "GATE";
const char* password = "";

WiFiServer server(80);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
}
```

23:30

content://com.viber.voip.p

Керування воротами

ВІДКРИТИ

ЗАКРИТИ

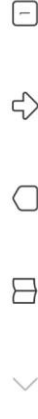
СТОП

Час авто-закриття воріт після відкриття через

1

Затримка закриття воріт після спрацювання датчика перешкоди

1



Зовнішній вигляд інтерфейсу смартфона для управління воротами

Наукова новизна магістерської роботи полягає у наступному:

1. Отримав подальший розвиток підхід до автоматизації процесів побутового господарювання як частини системи «розумний будинок», який на відміну від відомих, дозволяє забезпечити багатоканальне управління системою відкривання двостулкових розпашних воріт, що підвищує комфортність управління та надійність роботи системи.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм роботи пристрою керування системою перепуску автомобілів на територію підприємства, який на відміну від відомих, дозволяє забезпечити багатоканальне управління системою відкривання двостулкових розпашних воріт, що підвищує комфортність управління та надійність роботи системи.
2. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи розпашними воротами зі смартфона по каналу зв'язку WiFi.
3. Розроблено лабораторний стенд для дослідження процесу автоматизації відкривання розпашних двостулкових воріт.

Апробація результатів роботи. Частина роботи, що стосується можливості використання її для побудови систем контролю доступу на підприємство, апробовано на VIII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2020 року м. Київ»

Публікації. За тематикою роботи опубліковано тези доповідей Міжнародної конференції:

1. Мошнорізі М. М. Інтелектуальна система пропуску автомобільного транспорту на територію підприємства / М. М. Мошнорізі, В. А. Постернак // Матеріали VIII-ї міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2020. - 320 с. ISBN 978-966-641-793-3 (PDF).

Загальні висновки по роботі

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено електропривод та систему автоматизації двостулкових розпашних воріт. Для певних воріт було підбрано різні види автоматик і шляхом техніко-економічного порівняння обрано систему на основі перетворювача частоти.

Розрахована потужність двигуна для розрахункових воріт довжиною 6 м. становить 0,15 кВт. Для кожної ступки воріт необхідно встановити окремих двигун. Обрано редуктор привода з передавальним відношенням 260.

Обрані двигуни перевірена на переваження та можливість пуску з врахуванням інерції механізму та вітровою навантаження.

Розроблено структурну схему привода і вибрано її основні елементи. Розраховано та підбрано автоматичний вимикач з номінальним струмом теплового розціплювача 1,6 А. Розраховано та вибрано однофазний перетворювач частоти LSis SV 004-1 iES5 потужністю 400 Вт і струмом 2,5 А. Розраховано параметри діодів та транзисторів перетворювача частоти.

У роботі було розроблено функціональну схему автоматика, яка передбачає ручне місцеве керування та дистанційне керування по радіоканалу. Систему електропривода одного з двигунів охоплено зворотним зв'язком за положенням ступки воріт.

За результатами економічного розрахунку отримано ефективність впровадження подібної системи 10179 грн. Термін окупності обладнання становить 3 місяці.

Результати моделювання роботи воріт в різних режимах дозволяють зробити висновок про правильність розрахунків. На основі цього розроблено макет воріт розміром 30 см. Для приводу воріт обрано рейковий сервопривод SG90 на кожну ступку. Для управління процесом відкривання-закривання обрано програмований логічний модуль Arduino, до якого підключено блок зв'язку WiFi, радіопередавач та всі необхідні давачі.

Працездатність стенду в усіх режимах роботи підтверджено шляхом демонстрації та запису відео під час цього.

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Класифікація, принцип роботи воріт та їх автоматики	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Спрощений алгоритм роботи автоматики розпашних воріт	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Об'єкт, предмет дослідження. Постанова завдань дослідження.	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Постернак В. А.						
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.		Бомбик В. С.						
Затв.		Кутін В. М.						

08-16.МКР.005.00.000

Лабораторний стенд для вивчення
процесу автоматизації системи
відкриття воріт.
Загальні відомості про об'єкт
дослідження

Літера	Маса	Масштаб
У		
Аркуш	Аркушів	

ВНТУ, ЕПА-18мз

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Постернак В. А.		
Перевірив		Мошноріз М.М.		
Т. контр.				
Рецензент				
Н.контр.		Бомбик В. С.		
Затв.		Кутін В. М.		

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Техніко-економічне обґрунтування вибору автоматики розпашних воріт	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000 Е1

					08-16.МКР.005.00.000 Е1			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Схема електрична структурна електропривода розпашних воріт	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Механічні характеристики двигунів	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.								
Рецензент						Аркуш	Аркушів	
Н.контр.	Бомбик В. С.					ВНТУ, ЕПА-18мз		
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000 Е2

					08-16.МКР.005.00.000 Е2			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Схема електрична функціональна електропривода розпашних воріт	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Дослідження замкненої системи електропривода	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ

					08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Схема електрична принципова електропривода розпашних воріт	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Розрахунок економічного ефекту від впровадження нових способів керування	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ

					08-16.МКР.005.00.000 ЕЗ			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Схема електрична принципова лабораторного стенда	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Програма роботи лабораторного стенда	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.								
Рецензент						Аркуш	Аркушів	
Н.контр.	Бомбик В. С.					ВНТУ, ЕПА-18мз		
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.005.00.000

					08-16.МКР.005.00.000			
					Лабораторний стенд для вивчення процесу автоматизації системи відкриття воріт. Висновки	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Постернак В. А.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18мз			
Н.контр.	Бомбик В. С.							
Затв.	Кутін В. М.							