

3. Робоча програма з дисципліни «Технічні засоби автоматизації»  
дисципліни «Автоматизація технологічних процесів» та  
ція  
СМИ  
ОВИ

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів

Назва теми

КвРАКІТ.2022165.01.03.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

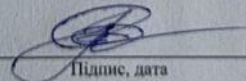
Виконав:

студент II курсу, група АКІТм-22-1

  
Підпис

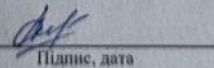
Олексій Євдокимов  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис, дата

Ірина Форкун  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 27 » грудня 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки  
Освітній рівень другий (магістерський)  
Галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології  
Освітньо-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедрою АКІТОР  
Мартинюк В. В.  
"01" 12 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ**




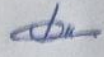
Свдокимову Олексію Володимировичу

1. Тема роботи Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів  
Керівник роботи Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент  
Затверджено наказом ректора університету від « 15 » 08 2023р. № 30
2. Строк подання студентом роботи на кафедру 01.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)  
Мета роботи моделювання роботи системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів, для виконання необхідних досліджень його роботи в якості цифрового двійника  
Об'єктом дослідження є процеси керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів.  
Предмет дослідження методи та алгоритми керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Проблематика переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі. Моделювання системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Розрахунок навантажень в електроприводах козлового крану на складі будівельних матеріалів. Дослідження системи керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів. Висновки.

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

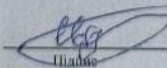
Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	Людмила КОРЕЦЬКА к.т.н., доцент		
Антиплагіат	Микола ФЕДУЛА к.т.н., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

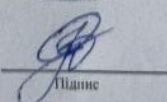
№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Вступ	20.09.2023р.	виконано
2	Проблематика переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі	15.10.2023р.	виконано
3	Моделювання системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів	30.10.2023р.	виконано
4	Розрахунок навантажень в електроприводах козлового крану на складі будівельних матеріалів	15.11.2023р.	виконано
5	Дослідження системи керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів	25.11.2023р.	виконано
6	Висновки	30.11.2023р.	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки до КРМ	01.12.2023р.	виконано
8	Оформлення презентаційних матеріалів	01.12.2023р.	виконано

Студент

  
Підпис

Євдокимов О.В.  
Прізвище, ініціали

Керівник роботи

  
Підпис

Форкун І.В.  
Прізвище, ініціали

ВСТУП  
1 ПРОБЛЕМА  
НА АВТОМАТИ  
1.1 Огляд  
переміщення бу  
1.2 Вибір  
будівельних ма  
1.3 Поста  
матеріалів  
1.4 Висн  
2 МОДЕЛЮ  
НА СКЛАДІ Б  
2.1 Ме  
матеріалів  
2.2 Хар  
краном  
2.3 Ре  
автоматизов  
2.4 Д  
системи  
2.5 Ви  
3 РОЗІ  
КОЗЛОВО  
3.1 П  
3.2 П  
на козлово  
3.3 П

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів»

Автор роботи: Євдокимов Олексій Володимирович

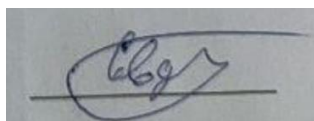
Керівник роботи: Форкун Ірина Валеріївна

Пояснювальна записка: 80 стор., 30 рис., 3 дод., 49 джерел.

Графічна частина: 16 презентаційних слайдів.

СКЛАД БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, КОЗЛОВИЙ КРАН, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ, МОТОР-РЕДУКТОР, ПІДЙОМ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.

**Мета роботи:** моделювання роботи системи керування керування козловим краном на складі будівельних матеріалів, для виконання необхідних досліджень його роботи в якості цифрового двійника. Виконано контроль прискорення та швидкості руху козлового крану, а також контроль прискорення та швидкості руху візку. Здійснено контроль прискорення та швидкості руху підйому будівельних матеріалів. Автоматизовано роботу, яка повинна виконуватись безпосередньо з АРМ оператора. Досягнуто забезпечення необхідного рівню захисту (екстрені та аварійні зупинки), тобто можливість зупинки козлового крану в будь-якому місці при спрацюванні датчиків чи при зниженні швидкості.



Підпис студента

15.12.2023

Дата

## Зміст

	с.
ВСТУП	4
1 ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ	8
1.1 Огляд та аналіз існуючих конструкцій кранового обладнання для переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі	9
1.2 Вибір механічного обладнання для автоматизації складу будівельних матеріалів	12
1.3 Постановка завдань для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів	15
1.4 Висновки до першого розділу	17
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	18
2.1 Мета автоматизації роботи крану на складі будівельних матеріалів	18
2.2 Характеристики об'єкту керування системи керування козловим краном	18
2.3 Розробка моделі системи керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів	19
2.4 Дослідження динаміки об'єкта керування автоматизованої системи	28
2.5 Висновки до другого розділу	35
3 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ КОЗЛОВОГО КРАНУ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	37
3.1 Підбір мотор-редукторів для переміщення козлового крану	37
3.2 Підбір приводного механізму для підйому будівельних матеріалів на козловому крані	45
3.3 Підбір приводного механізму переміщення візка козлового крану	54

3.4 Висновки до третього розділу	58
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	59
4.1 Апаратно-технічна реалізації проєкту автоматизації системи керування козовим краном на складі будівельних матеріалів	59
4.2 Розробка алгоритму керування козовим краном на складі будівельних матеріалів	70
4.3 Перевірка спроєктованої системи керування козовим краном на надійність	72
4.4 Висновки до четвертого розділу	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	88

## ВСТУП

Автоматизація виробництва - один із основних напрямів комплексної програми науково-технічного прогресу (НТП). Головна мета автоматизації [1, 2, 3] - забезпечити оптимальний перебіг технологічного процесу в реальних часі та умовах при досягненні необхідної якості та ефективності.

Надійність та достовірність автоматичного керування багато в чому визначаються якістю налаштування контрольно-вимірювальних приладів (КВП), технологічних засобів автоматизації, пристроїв та систем технологічної сигналізації, захисту та, відповідно, блокування.

Автоматизація дає можливість найефективніше використовувати всі ресурси виробництва, підвищити загальну якість продукції, що випускається, та значно покращити загальну продуктивність праці.

Загально відомо, що автоматизовані системи керування технологічним процесом (АСУТП) являють собою спеціальну організаційно-технічну систему керування заданим технологічним процесом [4-6].

Аналіз існуючих структурних схем автоматичної системи керування (або регулювання) (АСК чи АСР) показує, що основним елементом будь-якої даної системи є об'єкт керування. В свою чергу об'єкт керування (або регулювання) (ОК) - це будь-яка промислова установка, в якій існує потреба в керуванні технологічним процесом автоматично в режимі реального часу. Якщо характеристики елементів можна якось змінювати, то властивості ОК повинні залишатись незмінними. Тому вивчення характеристик ОК відносять до одного з основних завдань теорії автоматичного керування та регулювання (ТАК) [7, 8].

Найвідповідальнішим етапом під час проєктування АСК є синтез, розрахунок та подальший аналіз, що базуються саме на ТАК. Дана наука дає можливість не тільки розрахувати якісні показники АСК, параметри, за яких АСК буде стійкою, а й оптимізувати АСК для більш доцільного використання різних ресурсів [7, 8].

**Метою роботи** є змодельовати роботу системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів, для виконання необхідних досліджень його роботи в якості цифрового двійника.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- контроль прискорення та швидкості руху козлового крану;
- контроль прискорення та швидкості руху візку;
- контроль прискорення та швидкості руху підйому будівельних матеріалів;
- автоматизувати роботу, яка повинна виконуватись безпосередньо з АРМ оператора;
- досягти забезпечення необхідного рівню захисту (екстрені та аварійні зупинки), тобто можливість зупинки козлового крану в будь-якому місці при спрацюванні датчиків чи при зниженні швидкості.

**Об'єктом дослідження** є процеси керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів.

**Предметом дослідження** є методи та алгоритми керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів.

#### **Методи досліджень.**

Використовувались основні положення загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), теорії моделювання процесів. Внаслідок проведення моделювання процесу та розроблення методів керування рухом козлового крану із вантажем з будівельних матеріалів використано теоретико-множинні підходи, алгебру систем, апарат модельно-орієнтованих підходів, методи концептуального моделювання, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

**Наукова новизна отриманих результатів:** розроблено модель кіберфізичної системи автоматичного керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів в режимі реального часу.

**Практична значимість отриманих результатів:** розробленні програмно-технічні засоби для керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів.

**Апробація результатів дослідження:** участь у науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених в м. Хмельницький, робота отримала схвальні відгуки і тому за результатами було надруковано тези в збірнику наукових праць «Технічна творчість» №7 за 2023 рік.

Дипломна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 88 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 37 рисунків, список використаних джерел вміщує 57 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність наукової задачі, сформульовано мету та задачі досліджень, відображено основні наукові результати та їх практичне значення.

У першому розділі кваліфікаційної роботи магістра проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій кранового обладнання для переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі. На основі даного огляду обрано необхідне механічне обладнання для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів. Виконано постановку завдань для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів.

У другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено модель системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів, виконано її математичний опис. Проведено дослідження динаміки об'єкта керування автоматизованої системи, в результаті якого встановлено, що всі розроблені та запропоновані моделі ОК є працездатними і можуть бути використані для створення системи керування відповідним електроприводом.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було виконано розрахунок навантажень в електроприводах козлового крану на складі будівельних матеріалів та проведено підбір мотор-редукторів для переміщення козлового

крану, підбір приводного механізму для підйому будівельних матеріалів на козловому крані, підбір приводного механізму переміщення візка козлового крану. Було обрано механічні елементи в приводах пересування крана, транспортування візка і підйому будівельних матеріалів. Спроектовано майданчик, на якому перебуває людина-оператор під час керування всіма рухами козлового крана.

У четвертому розділі описано апаратно-технічну реалізацію проекту автоматизації системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Розроблено алгоритм керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Виконано розрахунок надійності всіх систем та запропоновано пропозиції щодо підвищення надійності системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів.

У загальних висновках по кваліфікаційній роботі наведено отримані результати роботи «Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів».

## 1 ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ

Спеціалізоване кранове електрообладнання є одним з основних технологічних засобів комплексної механізації та автоматизації всіх галузей господарства. Переважна більшість спеціалізованих вантажопідіймальних машин, що виготовляються нашою промисловістю, оснащено електроприводом основних робочих механізмів, і тому дії даних спеціалізованих машин значною мірою залежать саме від якісних показників кранового обладнання, що використовуються в технологічному процесі [9-12].

Транспортування вантажів, пов'язане із застосуванням вантажопідійомних операцій, у всіх галузях господарства, на транспорті та в будівництві виконується за допомогою використання різнопланових вантажопідійомних машин (ВПМ).

ВПМ застосовують для вантажно-розвантажувальних робіт, транспортування вантажів у технологічному процесі виробництва чи будівництва або при виконанні ремонтно-монтажних робіт із застосуванням великогабаритних агрегатів. ВПМ із використанням електричних приводів мають надзвичайно широкий діапазон застосування, що характеризується досить широким інтервалом потужностей електроприводів від сотень ват до 1 МВт.

Електропривод більшості ВПМ характеризується повторно-короткочасним режимом роботи за більшої частоти ввімкнення, широкого діапазону регулювання швидкості та значних перевантажень, які постійно виникають під час розгону та гальмування механізмів. Особливі умови застосування електроприводу у ВПМ стали базою для розробки спеціальних серій електричних двигунів та апаратів саме для кранового виконання [9-12].

1.1 Огляд та аналіз існуючих конструкцій кранового обладнання для переміщення будівельних матеріалів в автоматизованому складі

1.1.1 Коротка характеристика автоматизованого складу для будівельних матеріалів

Склад для будівельних матеріалів представляє собою цех, у якому встановлено різні спеціалізовані пристосування, що використовуються для зберігання матеріалу: стелажі (наприклад, для зберігання сталі), піраміди (для віконного скла) та касети (для металевих чи залізобетонних ферм, балок або для стінових панелей). Уздовж стелажів повинні бути прокладені рейки, за допомогою яких буде рухатись козловий кран у процесі виконання технологічних операцій. Так як головна робоча зона розташована саме під прольотом крана, значить головна частина стелажів повинна бути розміщена саме в даному просторі. Проте можливість виходу вантажопідйомного візка на виносні консолі за межі основної робочої зони крана дає можливість використовувати великі площі складу [10-14].

1.1.2 Вимоги, що висуваються до застосування спеціалізованого підйомно-транспортного обладнання (ПТО)

Більшість виробництв на сучасному етапі прагнуть перейти від використання праці людини до часткової або повної автоматизації виробництва за рахунок використання спеціальних автоматичних верстатів, ВМ та повністю автоматизованих технологічних ліній.

Різні будівельні матеріали, що надходять у великих обсягах, необхідно прийняти, розвантажити, розмістити та зберігати, а до моменту використання доставити до місця переробки. На деяких об'єктах приблизно 70% витраченої роботи припадає саме на виконання транспортно-перевалочних та складських технологічних операцій [15].

Великий обсяг у будівництві припадає саме на вантажно-розвантажувальні

операції (ВРО) зі штучними вантажами такими, як сортовий метал, лісоматеріали, конструкції з металу та із збірного залізобетону. Особливості даної категорії будівельних вантажів - їхня досить суттєва одинична вага та значні габаритні розміри, що характеризують умови зберігання, а також засоби механізації та автоматизації для транспортування та перевантаження.

ВРО зі штучними вантажами механізують та автоматизують здебільшого за допомогою використання ВПМ із різними вантажо-захватними пристроями.

Згідно із НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт» [16].

Вибір способів виконання даних робіт повинен передбачати зниження або запобігання виникненню шкідливих чи небезпечних виробничих факторів шляхом:

- застосування пристроїв та пристосувань, що відповідають вимогам безпеки;
- використання знакової чи інших видів сигналізації під час транспортування вантажів підйомно-транспортним обладнанням;
- механізації та автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт;
- правильного розташування та укладання вантажів в транспортні засоби та на місцях виконання робіт.

Під час транспортування будівельного вантажу ПТО знаходження працівників на самому вантажі або в зоні його можливого падіння не допускається [15-16].

Стропування будівельних вантажів слід виконувати згідно із НПАОП 0.00-1.01-07. «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів» [15].

Стропування великогабаритних будівельних вантажів (наприклад, металевих, залізобетонних конструкцій та ін.) необхідно виконувати за спеціальні пристрої, так звані стропувальні вузли або позначені місця залежно від положення центру ваги та маси будівельного вантажу.

Перед підйомом та переміщенням будівельних вантажів повинні бути перевірені правильність стропування та загальна стійкість будівельних вантажів.

Місця виконання ВРО повинні мати основу, що буде забезпечувати стійкість ПТО, матеріалів, що будуть зберігатись, та транспортних засобів.

На майданчиках для укладання будівельних вантажів повинні бути позначені межі розташування штабелів, проходів та проїздів між ними. Не допускається розташування будівельних вантажів в проходах і проїздах [15, 16].

Рух транспортних засобів у місцях ВРО повинен бути організований у відповідності до транспортно-технологічної схеми [15].

ПТО, що використовується під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт, повинне повністю відповідати вимогам ДБН А.3.2-2-2009 [17], а також вимогам безпеки, викладеним у стандартах та технічних умовах (ТУ) на устаткування конкретного виду.

ПТО, транспортні засоби, що використовуються при виконанні ВРО повинні знаходитись в такому стані, що виключає їх мимовільне переміщення.

ПТО дозволяється використовувати для підйому будівельного вантажу, маса якого разом із масою вантажо-захватного пристосування не перевищує допустимої вантажопідйомності даного обладнання [15-17].

Не допускається піднімати вантаж невідомої маси, а також примерзлий, зацемлений або зачеплений.

### 1.1.3 Вибір типу кранового обладнання

Оскільки в більшості випадків одні й ті самі типи робіт можуть бути виконані різними типами кранового обладнання, то в кожному конкретному випадку необхідно виконувати вибір оптимального типу кранового обладнання на основі порівняння декількох варіантів. Під час порівняння декількох варіантів необхідно враховувати, що вибір типу кранового обладнання в низці випадків суттєво впливає на загальну технологію виконуваних робіт [9-12].

Найчастіше виконується вибір та порівняння кранового обладнання між

першою та другою групою обладнання.

Перша група обладнання - повно-поворотні самохідні крани загального призначення. Дана група використовується найширше, головні особливості - наявність автономних електродвигунів, суттєво вища початкова вартість, знижені трудомісткість та вартість приведення з транспортного положення в робоче [9-12].

Друга група обладнання - спеціалізовані універсальні крани загального призначення, або так звані жорстконогі та козлові крани. Крани даної групи відрізняються живленням електродвигунів від зовнішніх джерел, суттєво вужчою сферою використання, нижчою початковою вартістю, підвищеними трудомісткістю та вартістю приведення з транспортного положення в робоче.

При рівній вантажопідйомності вартість машино-зміни кранового обладнання другої групи буде суттєво нижчою, ніж для першої групи в випадку використання крана без перебазування протягом тривалого часу. При використанні кранового обладнання із частими перебазуваннями та короткочасною роботою більш економічним є саме кран першої групи.

Враховуючи те, що склад будівельних вантажів та матеріалів представляє собою будівлю, використання повно-поворотних самохідних кранів не представляється можливим. Більш доцільним варіантом буде встановлення кранового обладнання саме другої групи (наприклад, козлового), оскільки часте переустановлення не потрібне, а потрібне саме стаціонарне розташування [9-12].

## 1.2 Вибір механічного обладнання для автоматизації складу будівельних матеріалів

### 1.2.1 Коротка характеристика конструкції козлового крану

Будова козлового крана заснована на балковому мосту, який закріплюється на рейковому шляху та талі. Кран працює від електродвигуна змінного струму, встановленого на так званій галереї моста. Пристрій пересування козлового

крана може бути як центральним, так і роздільним за видом виконання. На них встановлюють рейки, для забезпечення транспортування кранового візка, закріпленого талі та іншими підйомними пристроями. Самі кранові візки закріплені за допомогою кінцевих кран-балок (рис. 1.1) [9-12].

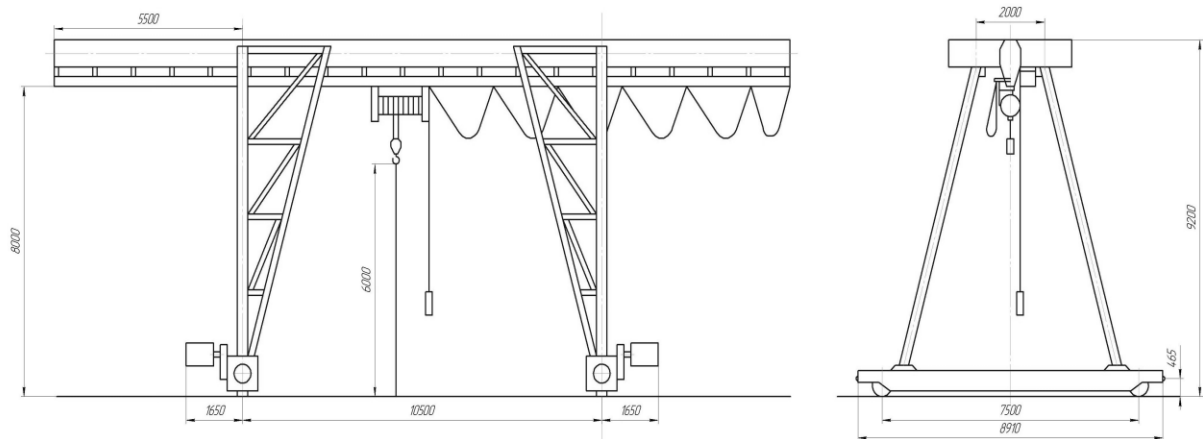


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд та габаритні розміри козлового крана

Вантажний візок козлового крана, за звичай, однорейковий, транспортується при використанні нижнього поясу, на ньому розміщені механізми підйому вантажу та транспортування талі.

По кінцях поздовжніх балок ніг розміщено ходові візки. Електропривід ходових коліс виконується за допомогою індивідуальних кранових електродвигунів через спеціальну систему зубчастих передач, в якості приводних використовується половина ходових коліс крана.

Енергопостачання козлових кранів виконується за допомогою використання гнучкого кабелю. Даний кабель намотується на спеціальний кабельний барабан, що закріплено на одній з ніг крана, що виконує обертання синхронно швидкості руху всього крана.

Усі козлові крани, що транспортуються рейковими коліями, забезпечені протиугінними захватами, що розраховані на утримання всієї конструкції крану в неробочому стані від дії сили вітру.

Для пом'якшення ударів козлових кранів об упори під час переміщення, на

кінцевих ділянках підкранових колій встановлені спеціалізовані пружинні або пружинно-фрикційні буфери. Оскільки на даних ділянках також розташовані і кінцеві вимикачі, що переривають подачу струму до механізмів транспортування під час підходу крана до упорів, то під час розрахунку даних буферів приймають, що кран може виконати удар об встановлений буфер, рухаючись зі швидкістю, що не перевищує 70% від нормальної швидкості руху крана [9-12].

Рейкові колії для руху козлових кранів встановлюються на шпалах по основі з щебню або гравію.

В залежності від навантажень використовують звичайні стандартні залізничні рейки типів - Р-38, Р-43, Р-50 або ж спеціальні кранові рейки типів КР-70 та КР-100. Рейки встановлюються на плоскі підкладки і кріпляться до шпал за допомогою спеціалізованих милиць [18, 19].

У кінці кранових шляхів необхідно розміщувати надійні упори, що будуть запобігати сходженню козлового крана з рейок.

Козлові крани здатні виконувати транспортування досить габаритних будівельних вантажів, завдяки чому вони є незамінними для застосування на території відкритого складу, перевантажувальної бази чи, навіть, контейнерному терміналі. Тому, що навантаження підйому будівельного вантажу є саме стискаючим, а не розтягуючим зусиллям, а кран-балки отримали репутацію довговічних, безпечних та надійних конструкцій [9-12].

### 1.2.2 Короткі технічні характеристики обраного козлового крана

Даний тип козлового крану встановлений на заводі «Прогрес» та знаходиться в експлуатації із 1966 року. У 1979 році була виконана часткова заміна встановленого обладнання, використано електроталь типу ТЕ5-911. У результаті встановлений кран має наступні технічні характеристики, наведені в Додатках.

Головною вимогою щодо механізації, яку висувають до даного типу козлового крана, є підвищення його робочих швидкостей, унаслідок чого суттєво

знизиться час циклу (див. Додаток В).

### 1.2.3 Запропонована кінематична схема приводу крану

Для зниження габаритних розмірів, металоємності та простоти монтажу замість електродвигуна, редуктора та окремого гальма в механізмах переміщення даного крана та підйому будівельного вантажу будемо використовувати мотор-редуктори типу ЗМП із вже вбудованим гальмом.

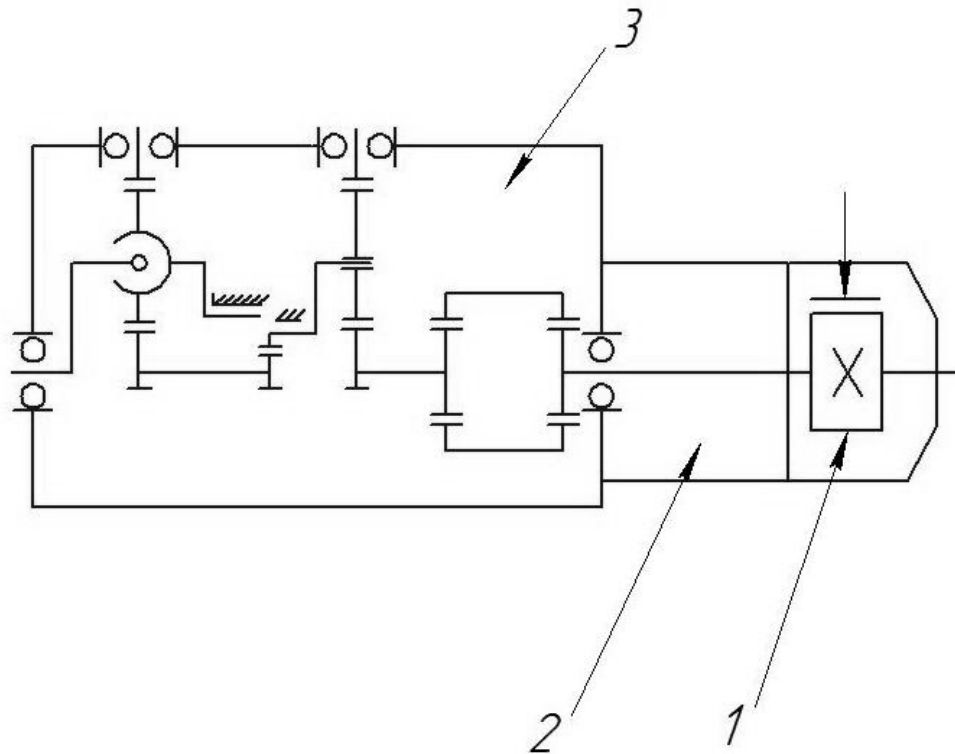


Рисунок 1.2 - Кінематична схема мотор-редуктора типу ЗМП:

1 - електричне гальмо; 2- асинхронний двигун (АД); 3 - планетарний редуктор

### 1.3 Постановка завдань для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів

У зв'язку зі складністю монтажу та достатньо високою вартістю окремих елементів кранового обладнання (електродвигунів, редукторів, муфт, гальм), в

механізмах переміщення даного крана та підйому вантажу, будемо застосовувати мотор-редуктори типу ЗМП. Планетарні мотор-редуктори володіють досить високою надійністю, високим передаточним відношенням та досить низьким шумом. Встановлення електродвигуна та редуктора в одному механічному вузлі буде суттєво спрощувати процес монтажу, зважаючи на відсутність потреби забезпечувати задану співвісність головних валів з використанням спеціалізованих муфт [20].

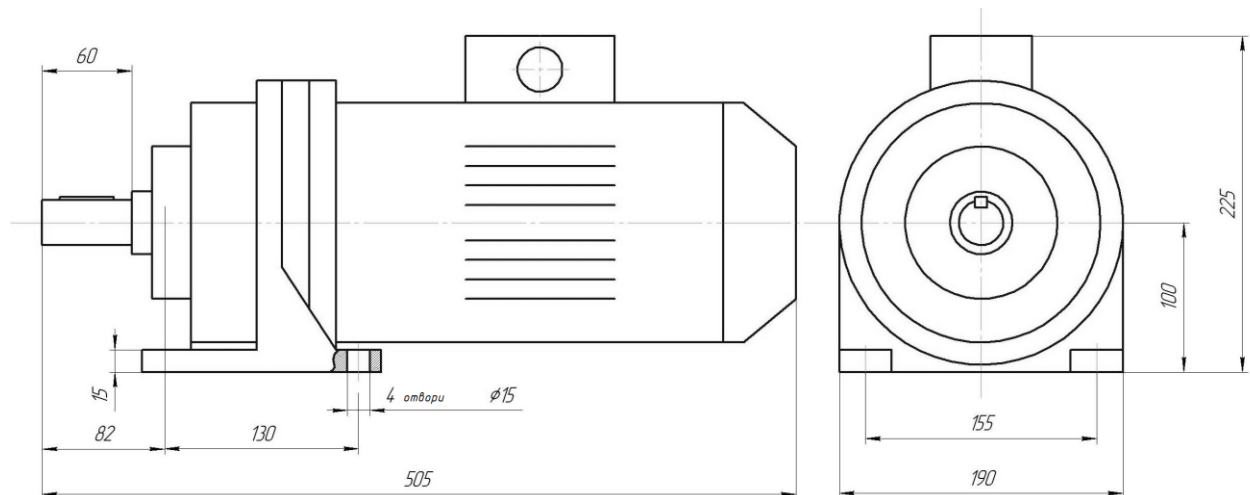


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд мотор-редуктору типу ЗПМ-125

Припущення щодо проектування майданчика для роботи оператора крана.

Запропонований козловий кран та встановлена електроталь повинні бути оснащені системою керуванням із підлоги. Під час виконання будь-яких вантажно-розвантажувальних робіт, пересування крана та талі, оператор буде опинятись між стелажми із будівельними матеріалами, що зберігаються, та рухомими частинами самого козлового крана, крім того в умовах поганої видимості під час стропування будівельних матеріалів із стелажів. Тому необхідно спроектувати майданчик для знаходження на ньому людини-оператора під час керування краном з наступними припущеннями (рис.1.4):

- майданчик повинно бути розроблено з метою забезпечення безпеки роботи людини-оператора;

- каркас майданчика виконати із круглого метало-профілю розміром 25x1,5 мм;
- отриманий каркас обшити листом товщиною  $\delta=1,5$  мм;
- зварювальні роботи виконувати електродами ДСТУ EN ISO 3580:2019 [21]. Висоту зварного шва прийняти на рівні найтонших елементів, що зварюються.
- після виконання монтажу всі встановлені металоконструкції пофарбувати емаллю ПФ-115.

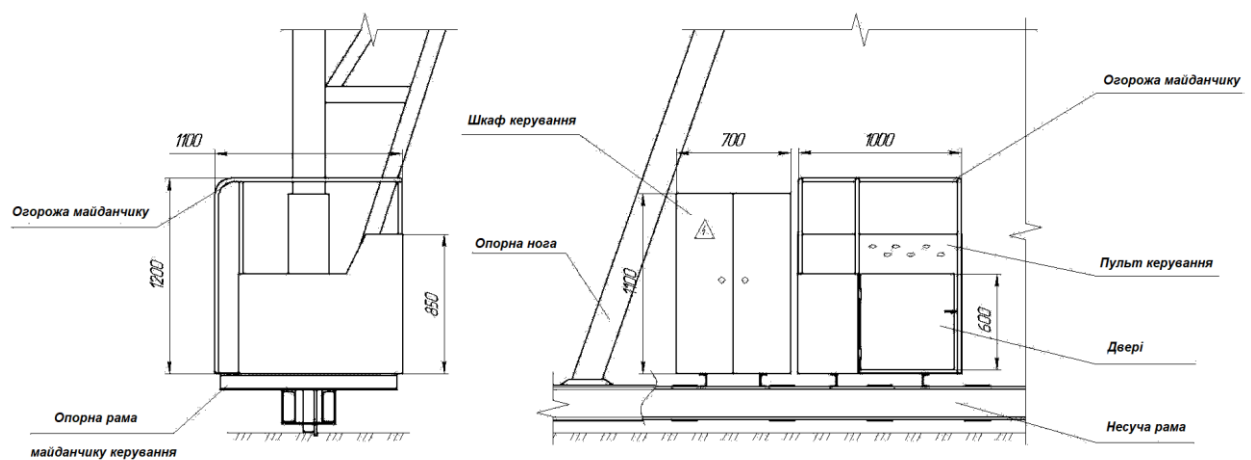


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд майданчику для людини-оператора

#### 1.4 Висновки до першого розділу

Виконано огляд та аналіз існуючих конструкцій кранового обладнання для переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі. На основі даного огляду обрано необхідне механічне обладнання для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів.

Виконано постановка завдань для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Мета автоматизації роботи крану на складі будівельних матеріалів

Мета запропонованої автоматизації заключається в підвищенні загальної продуктивності праці, підвищенні якості продукції, оптимізація системи керування, усунення людини від виробництв, що можуть нашкодити її здоров'ю.

На сучасному етапі виробництва процеси розвантаження чи навантаження, складування будівельних матеріалів не можуть виконуватись без участі людини-оператору [10-12].

Тому в даному випадку метою автоматизації є підвищення якості роботи козлового крану, точності зупинки, плавності його руху, для того щоб забезпечити мінімальне розгойдування закріпленого вантажу [10-12].

Режим роботи кранових електродвигунів можливо охарактеризувати частими вмиканням та вимиканням. При цьому необхідно виокремити наступні етапи руху крану: розгін електродвигуна до встановленої швидкості  $v_{вст}$ ; рух зі постійною швидкістю; зниження швидкості; гальмування та повна зупинка козлового крана (чи візка) в необхідному місці.

### 2.2 Характеристики об'єкту керування системи керування козловим краном

ОК в даній системі керування швидкістю (СК) козлового крану є асинхронний двигун (АД) із редуктором та колесо. Можливо вважати, що ОК є саме АД спільно з механічною частиною системи керування [7, 8].

Якщо вихідною величиною є швидкість переміщення козлового крана та візка, то і вихідною координатою буде саме ця швидкість.

Керуючий вплив у даній СК - частота напруги живлення, що подається на

статор електродвигуна. У СК використовується АД, зміна частоти напруги живлення є одним з базових способів регулювання частоти обертання ротора даного електродвигуна.

Величиною збурення є сила тертя коліс об рейки, вона зростає зі збільшенням маси будівельного вантажу, що транспортується.

Головним обмеженням, що матиме вплив на вихідну координату, є довжина рейок (для крана) та, відповідно, довжина двотавра (для візка).

Обмеженням щодо керуючого впливу є те, що збільшення частоти до нескінченності не можливе, оскільки електродвигун має конструктивні обмеження, і при досить високій швидкості може відбутися поломка основних вузлів. Під час зниження частоти електродвигун може втратити стійкість з боку керування. Крім того, на керуванні в бік збільшення швидкості накладаються певні обмеження пов'язані із технікою безпеки.

Обмеженням з боку дії сили збурення є той факт, що перевищення маси будівельного вантажу може призвести до зростання моменту, зрештою відбудеться перевищення моменту, створюваного електродвигуном, що призведе до виходу із ладу [7, 8].

### 2.3 Розробка моделі системи керування козловим краном на автоматизованому складі будівельних матеріалів

Кінематична схема приводу транспортування козлового крана, складається з двох незалежних електроприводів, які однакові за конструкцією та параметрами. Тому для спрощення загальних розрахунків будемо виконувати моделювання для одного електроприводу. А також прийmemo до уваги, що електродвигун та редуктор - два окремі елементи кінематичної схеми.

У кінематичній схемі приводу транспортування присутні елементи, що мають пружно-дисипативні властивості: наприклад, муфти, що з'єднують редуктор із колесом, а також зубчасті передачі в самому редукторі. Кожен із них

можливо охарактеризувати власним параметром: пружністю, жорсткістю чи кутом скручування.

Для дослідження динаміки ОК необхідно виконати його повний математичний опис. Для цього необхідно скласти розрахункову модель виконавчого механізму (ВМ) [7, 8].

У розрахункових схемах враховуються пружні, інерційні, дисипативні процеси в електродвигуні, передавальних та ВМ. Для полегшення математичного моделювання всього механізму зробимо припущення, що пружно-дисипативними властивостями володіє лише один елемент схеми, а саме сполучна муфта, що використовується для з'єднання редуктору із ходовим колесом. Інші елементи кінематичної схеми будемо представляти так званими «скалками». Таким чином, розрахункова модель матиме наступний вигляд (рис. 2.1).

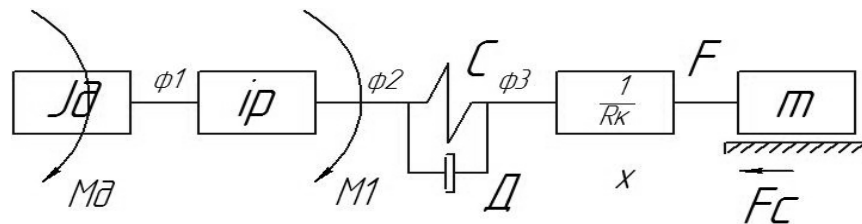


Рисунок 2.1 – Запропонована розрахункова модель транспортування козлового крану:  $J_0$  - момент інерції електродвигуна;  $i_p$  - передаточне відношення редуктора;  $R_k$  - радіус ходового колеса;  $C, D$  - жорсткість та коефіцієнт демпфування муфти;  $m$  - маса, що транспортується;  $\varphi_1$  - кут повороту головного валу електродвигуна;  $\varphi_2$  - кут повороту вихідного валу редуктора;  $\varphi_3$  - кут повороту з'єднувального валу;  $X$  - величина лінійного переміщення вантажу;  $M_0$  - момент, що створюється валом електродвигуна;  $M_1$  - момент редуктора;  $F_c$  - величина сили тертя;  $F$  - сила, що створюється механізмом

### 2.3.1 Математичний опис ОК

Відповідно до запропонованої розрахункової схеми ВМ рух можливо

описати наступною системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = \left( M_D - J_D \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \right) \cdot i_{PEД} \\ M_1 = C \cdot \varphi_1 + D \frac{d\varphi_1}{dt} \\ M_1 = \left( m \frac{d^2 X}{dt^2} + F_C \right) \cdot \frac{1}{R_K} \\ \varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_3 \\ \varphi_2 = \varphi_1 / i_{PEД} \\ \varphi_3 = \frac{1}{R_K} \cdot X \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Напишемо систему рівнянь (2.1) в операторній формі запису, приймаючи початкові умови нульовими:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1(p) = \left( M_D(p) - J_D p^2 \cdot \varphi_1(p) \right) \cdot i_{PEД} \\ M_1(p) = C \cdot (T \cdot p + 1) \cdot \varphi_1(p) \\ M_1(p) = \left( m \cdot p^2 \cdot X(p) + F_C(p) \right) \cdot \frac{1}{R_K} \\ \varphi_1(p) = \varphi_2(p) - \varphi_3(p) \\ \varphi_2(p) = \varphi_1(p) / i_{PEД} \\ \varphi_3(p) = \frac{1}{R_K} \cdot X(p) \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Таким чином, запропонована математична модель у загальному випадку представляє собою систему рівнянь математичного опису, що відображають сутність явищ, які протікають в ОК, і за допомогою певного алгоритму надає можливість виконати прогнозування поведінку об'єкта під час зміни вхідних та вихідних параметрів.

### 2.3.2 Розробка структурної схеми математичної моделі ОК

Базуючись на системі рівнянь (2.2) виконаємо побудову структурної схеми механізму переміщення козлового крану. В якості вхідної координати використовуватимемо обертовий момент, що створюється електродвигуном. З розробленої структурної схеми можемо виокремити координати, що будемо використовувати в подальшій роботі.

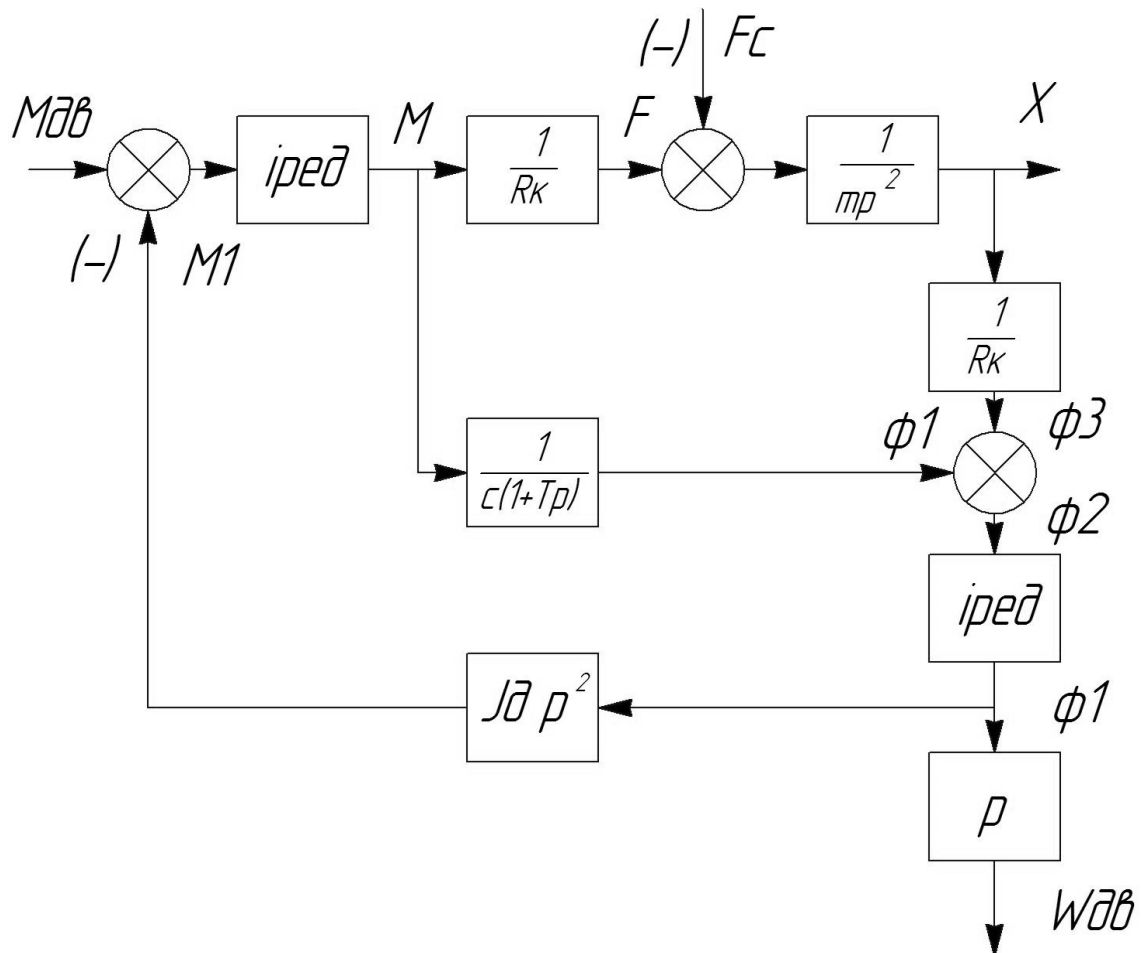


Рисунок 2.2 – Розроблена структурна схема механізму переміщення козлового крану

Наведені вище системи рівнянь описують лише частину ОК. Для повноти математичного моделювання ОК необхідно записати рівняння руху виконавчого електродвигуна. Як виконавчий електродвигун використовуємо АД із короткозамкненим ротором. Використаємо розроблену систему диференціальних рівнянь та структурною схемою нелінійної моделі асинхронного двигуна, що взяті.

Запишемо систему рівнянь, що визначають динаміку АД при частотному регулюванні швидкості:

$$\left\{ \begin{array}{l} -(1+T_1 \cdot p) \cdot i_{\mu\alpha} = \gamma^* \cdot \omega_1 - \frac{L_0}{L_1} \cdot i_{2\alpha} - T_i \cdot \omega_1 \cdot i_{\mu\beta} \\ -(1+T_1 \cdot p) \cdot i_{\mu\beta} = \frac{L_0}{L_1} \cdot i_{2\beta} + \omega_1 \cdot T_1 \cdot i_{\mu\alpha} \\ -(1+T_2 \cdot p) \cdot i_{2\alpha} = T_{32} \cdot p \cdot i_{\mu\alpha} - (\omega_1 - \omega) \cdot T_{32} \cdot i_{\mu\beta} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_2 \cdot i_{2\beta} \\ (1+T_2 \cdot p) \cdot i_{2\beta} = T_{32} \cdot p \cdot i_{\mu\beta} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_{32} \cdot i_{\mu\alpha} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_2 \cdot i_{2\alpha} \\ M = \frac{3}{2} \cdot p_{II} \cdot L_0 \cdot (i_{\mu\beta} \cdot i_{2\alpha} + i_{\mu\alpha} \cdot i_{2\beta}) \\ M = J \cdot p \cdot \omega + M_C \\ \omega = p_{II} \cdot \omega_{ДВ} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

Розробимо та запропонуємо функціональну схему нелінійної моделі виконавчого АД із використанням системи рівнянь (2.3).

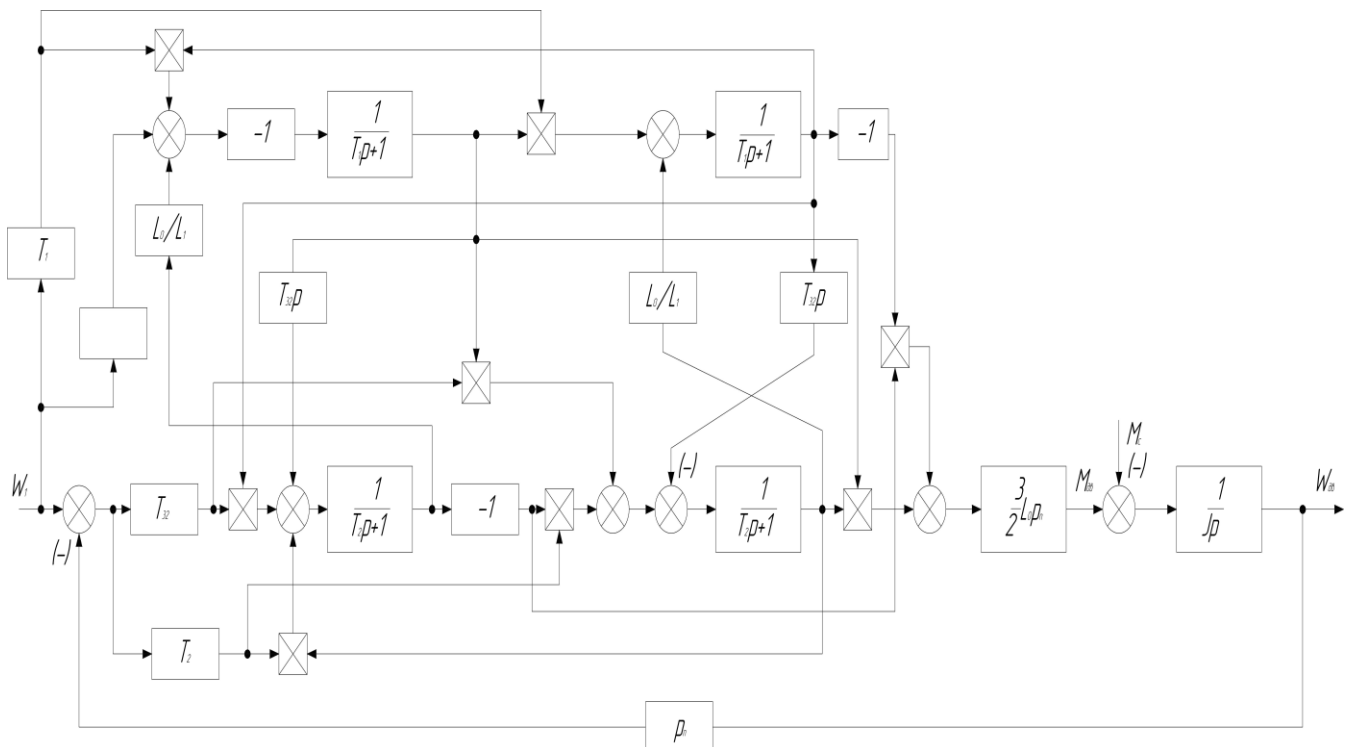


Рисунок 2.3 – Розроблена функціональна схема нелінійної моделі виконавчого АД

2.3.3 Розробка структурної схеми математичної моделі механізму переміщення козлового крану

Для створення математичної моделі необхідно розрахувати параметри обраного електродвигуна переміщення козлового крану, наведені в Додатку Г.

Виконаємо обрахунок значення індуктивностей за нормального режиму роботи, які будемо вважати постійними на всіх частотах.

Індуктивність статора та ротора будемо розраховувати за наступними виразами:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{314}; \quad (2.4)$$

$$L_1 = \frac{11,204 + 208,454}{314} = 0,699 \text{ Гн};$$

$$L_2 = \frac{X_2' + X_\mu}{314}; \quad (2.5)$$

$$L_2 = \frac{26,057 + 208,454}{314} = 0,746 \text{ Гн}.$$

Тоді, індуктивність головного поля дорівнюватиме:

$$L_o = \frac{X_\mu}{314}; \quad (2.6)$$

$$L_o = \frac{208,454}{314} = 0,664 \text{ Гн}.$$

Визначимо відносні коефіцієнти.

Коефіцієнт розсіювання будемо визначати за наступним виразом:

$$\sigma = 1 - \frac{L_0^2}{L_1 \cdot L_2}; \quad (2.7)$$

$$\sigma = 1 - \frac{0,664^2}{0,699 \cdot 0,746} = 0,156.$$

Визначимо коефіцієнт, що враховує зв'язок між частотою та амплітудою напруги живлення:

$$\gamma_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot U_H}{p_n \cdot 314}; \quad (2.8)$$

$$\gamma_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{2 \cdot 314} = 0,495;$$

$$\gamma^* = \frac{\gamma_0}{R_1} = \frac{0,495}{16,937} = 0,029.$$

Постійні часу для статора та ротора визначимо із наступних виразів:

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1}; \quad (2.9)$$

$$T_1 = \frac{0,699}{16,937} = 0,041\text{с};$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} \cdot \sigma; \quad (2.10)$$

$$T_2 = \frac{0,746}{14,331} \cdot 0,156 = 8,149 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Тоді, постійна часу повного потоку розсіювання буде рівною:

$$T_{32} = \frac{L_o}{R_2}; \quad (2.11)$$

$$T_{32} = \frac{0,664}{14,331} = 0,046 \text{ с.}$$

Розробимо в програмному середовищі MATLAB [22-30] нелінійну обчислювальну модель АД при частотному регулюванні швидкості. Під час синтезу моделі будемо застосовувати вище наведену функціональну схему.

2.3.4 Розробка структурної схеми математичної моделі механізму переміщення візка

Кінематична схема приводу переміщення вантажного візка козлового крана є аналогічною, наведеній вище. Таким чином для розробки математичної моделі розрахуємо параметри обраного електродвигуна (див. Додаток Г, табл. Г.2).

Визначимо необхідні значення індуктивностей за нормального режиму роботи, які будемо вважати константами на всіх частотах.

Розрахуємо індуктивність статора та ротора за виразами (2.4-2.5):

$$L_1 = \frac{29,737 + 429,534}{314} = 1,462 \text{ Гн};$$

$$L_2 = \frac{56,17 + 429,534}{314} = 1,546 \text{ Гн}.$$

Відповідно, індуктивність головного поля знайдемо із (2.6):

$$L_o = \frac{429,534}{314} = 1,367 \text{ Гн}.$$

Визначимо відносні коефіцієнти згідно із формулами (2.7-2.8).

$$\sigma = 1 - \frac{1,367^2}{1,462 \cdot 1,546} = 0,173;$$

$$\gamma_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{2 \cdot 314} = 0,495;$$

$$\gamma^* = \frac{0,495}{59,474} = 0,0083.$$

Тоді знайдемо постійні часу статора та ротора відповідно до (2.9-2.10):

$$T_1 = \frac{1,462}{59,474} = 0,025 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{1,546}{58,866} \cdot 0,137 = 5,057 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Визначимо постійну часу повного потоку розсіювання:

$$T_{32} = \frac{0,664}{14,331} = 0,046\text{с.}$$

Розробимо в програмному середовищі MATLAB [22-30] нелінійну обчислювальну модель АД при частотному регулюванні швидкості. Під час синтезу моделі будемо застосовувати вище наведену функціональну схему.

#### 2.4 Дослідження динаміки об'єкта керування автоматизованої системи

Базуючись на розроблених математичних моделях ОК козловим краном та візком, за допомогою використання чисельних значень параметрів складових елементів ОК в програмному середовищі MATLAB розробимо обчислювальні моделі [22-30]. Обчислювальна модель ОК наведена на рисунку 2.4. Оскільки привід транспортування козлового крана та привід транспортування візка описуються однаковими рівняннями, то і загальний вигляд обчислювальної моделі буде аналогічний, відмінність полягатиме лише в чисельних значеннях параметрів.

За допомогою отриманих обчислювальних моделей виконаємо необхідне дослідження динаміки ОК. На підставі виконаних аналітичних дослідженнях отримаємо графіки зміни швидкості ОК, представлені на рис. 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.11, 2.13, 2.14, 2.16.

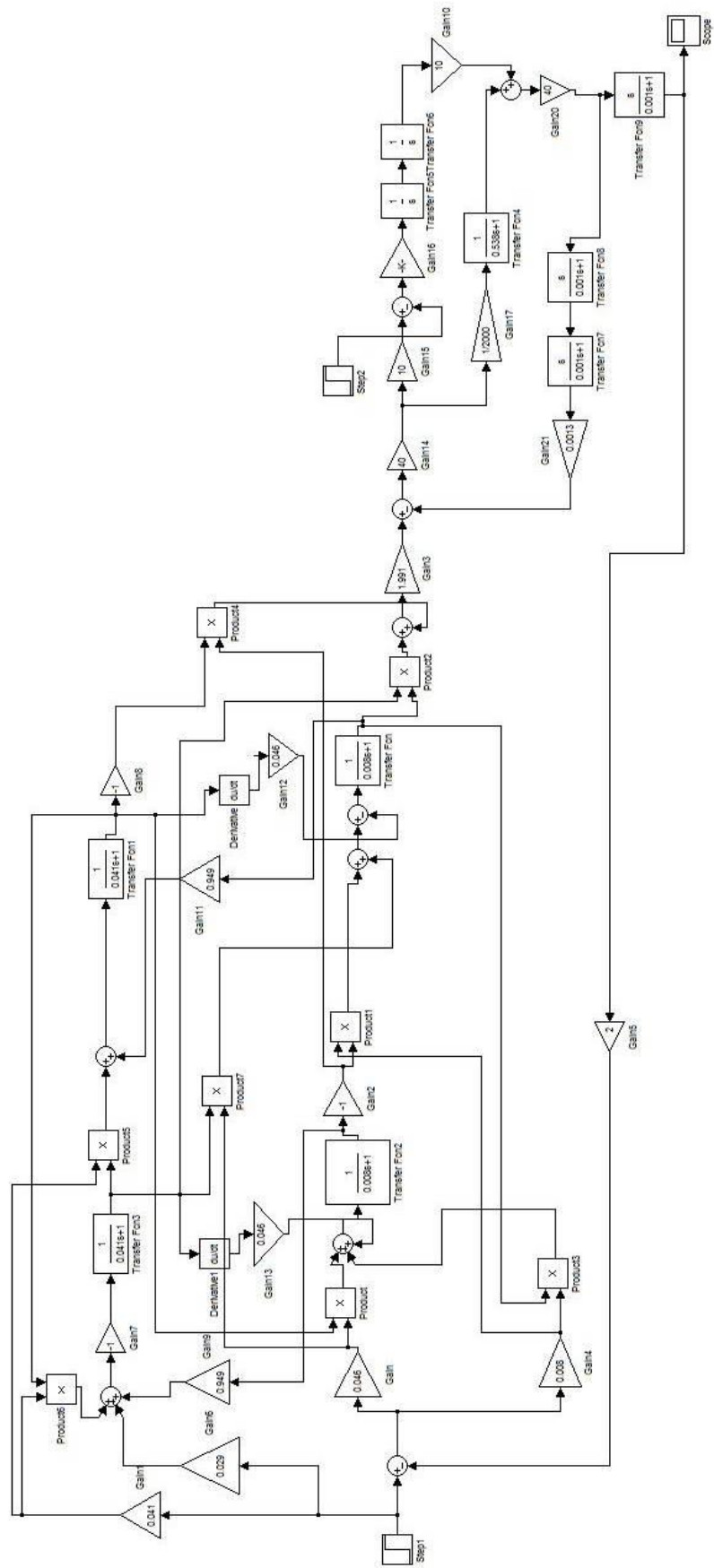


Рисунок 2.4 – Запропонована обчислювальна модель ОК

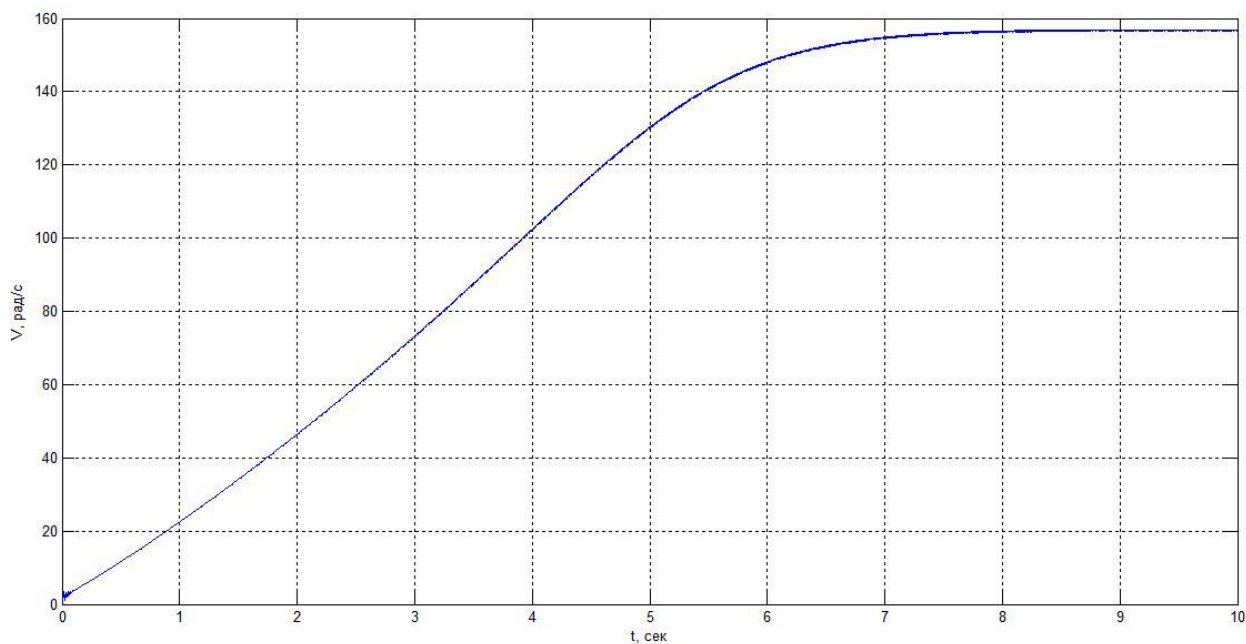


Рисунок 2.5 – Графічна залежність переходного процесу ОК без навантаження

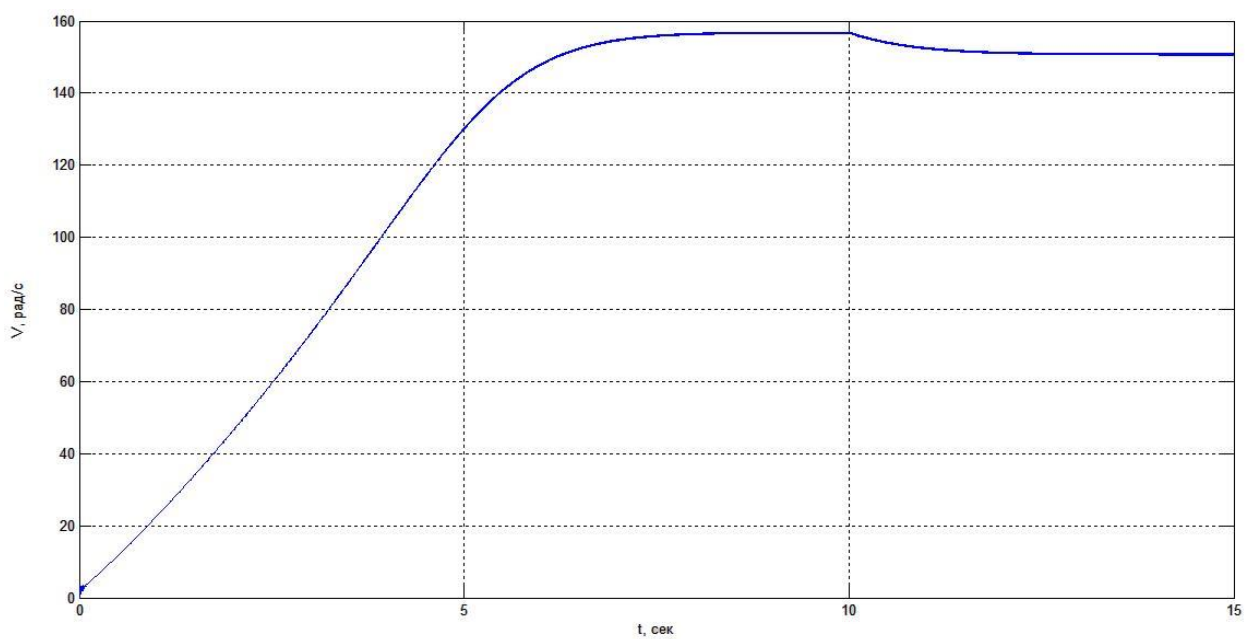


Рисунок 2.6 – Графічна залежність переходного процесу ОК з навантаженням

#### 2.4.1 АСК приводом транспортування козлового крану

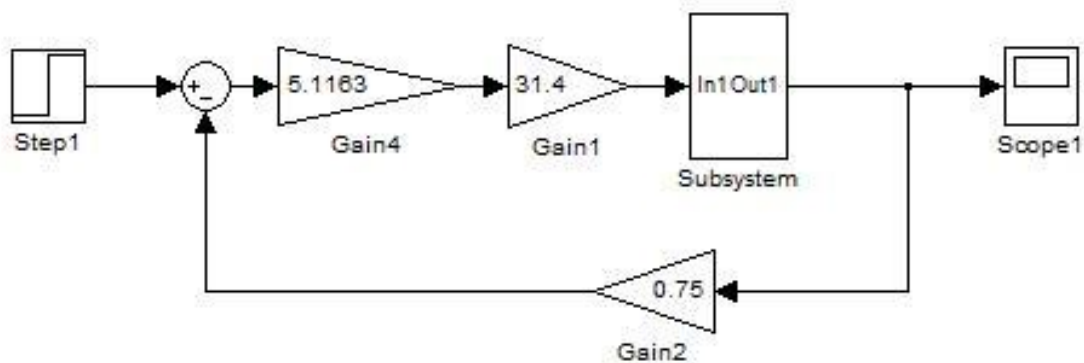


Рисунок 2.7 – Запропонована обчислювальна модель приводу транспортування козлового крана із регулятором

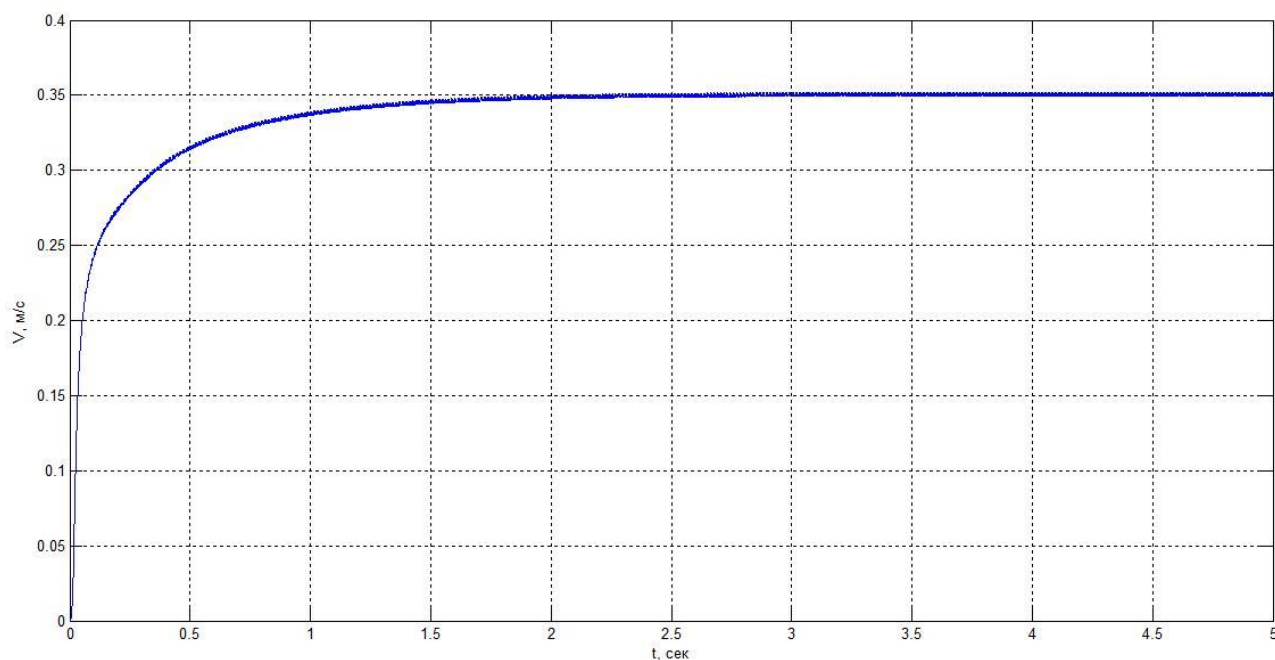


Рисунок 2.8 – Графічна залежність зміни швидкості в ОК транспортування козлового крану без навантаження

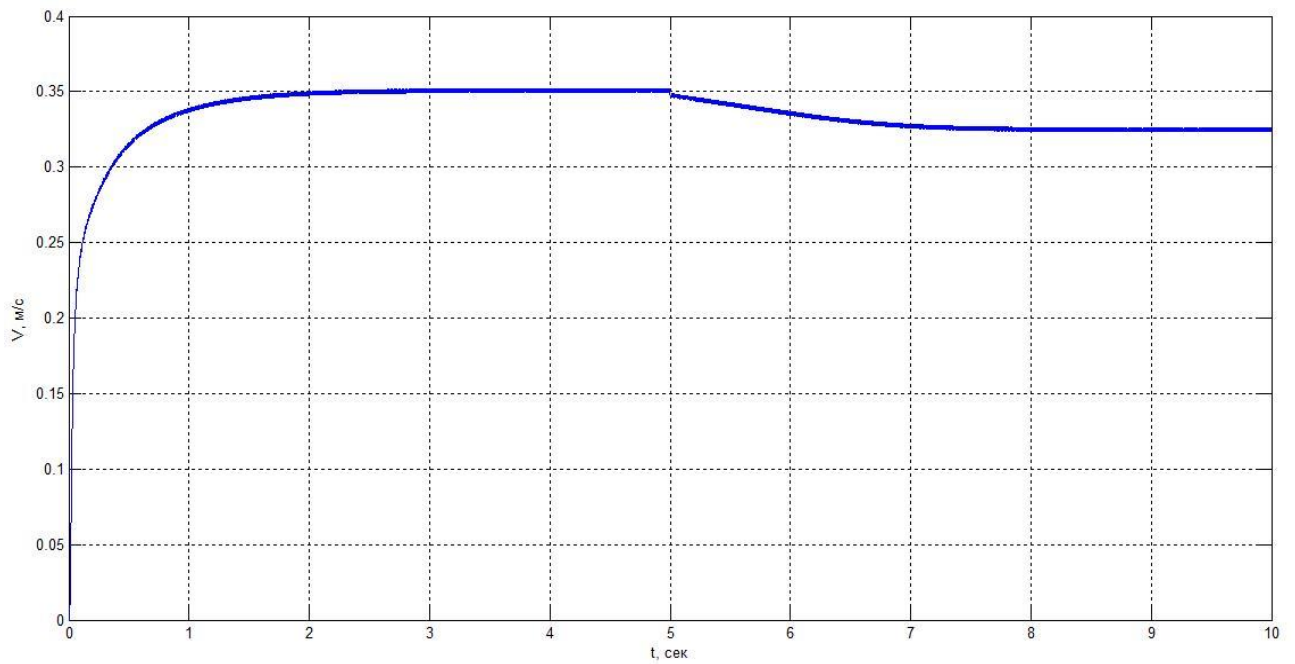


Рисунок 2.9 – Графічна залежність зміни швидкості в ОК транспортування  
козлового крана з навантаженням

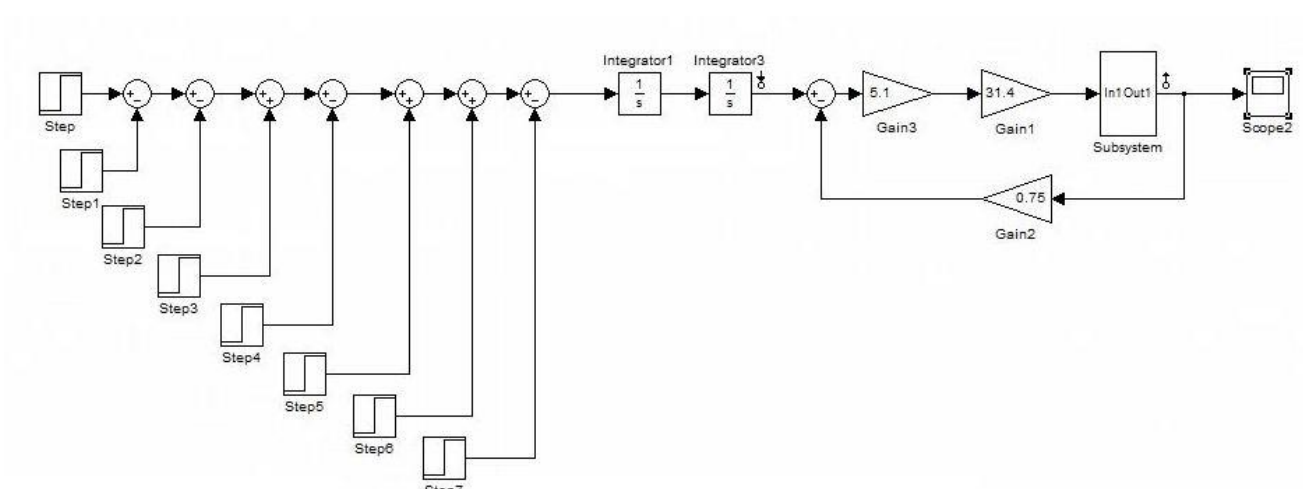


Рисунок 2.10 – Запропонована обчислювальна модель приводу транспортування  
козлового крана із задавачем

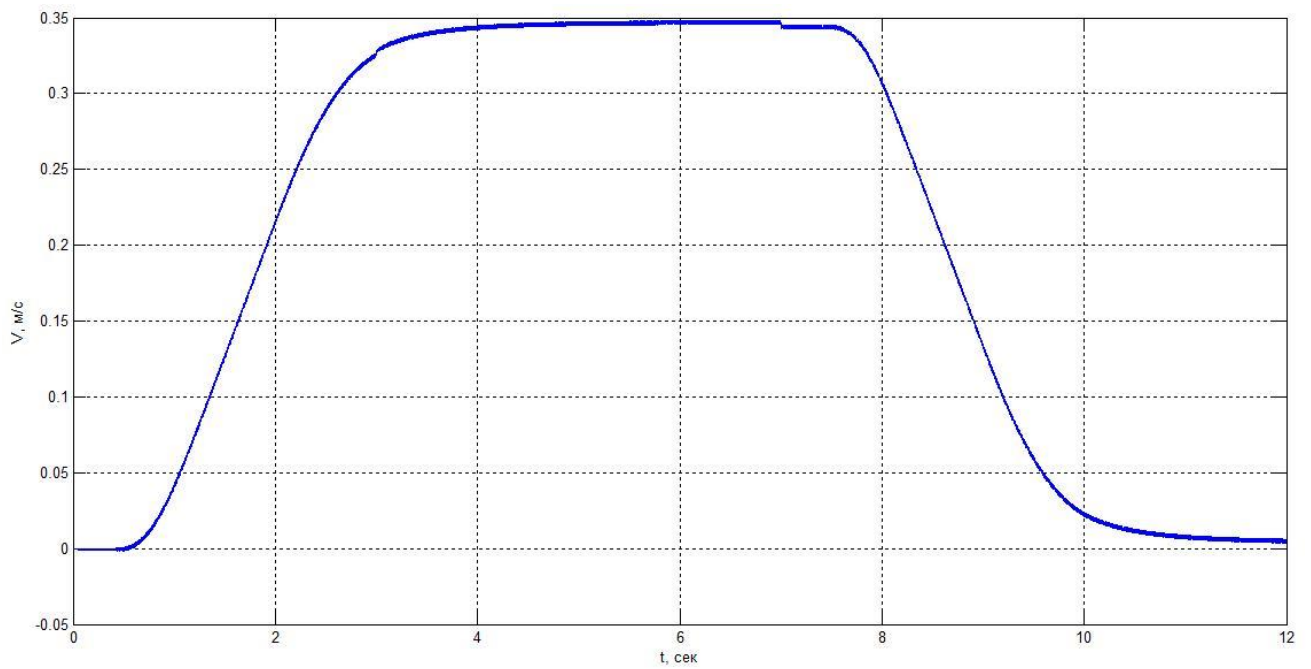


Рисунок 2.11 – Графічна залежність зміни швидкості в ОК транспортування козлового крана із задавачем, без навантаження

#### 2.4.2 АСК приводом транспортування візку

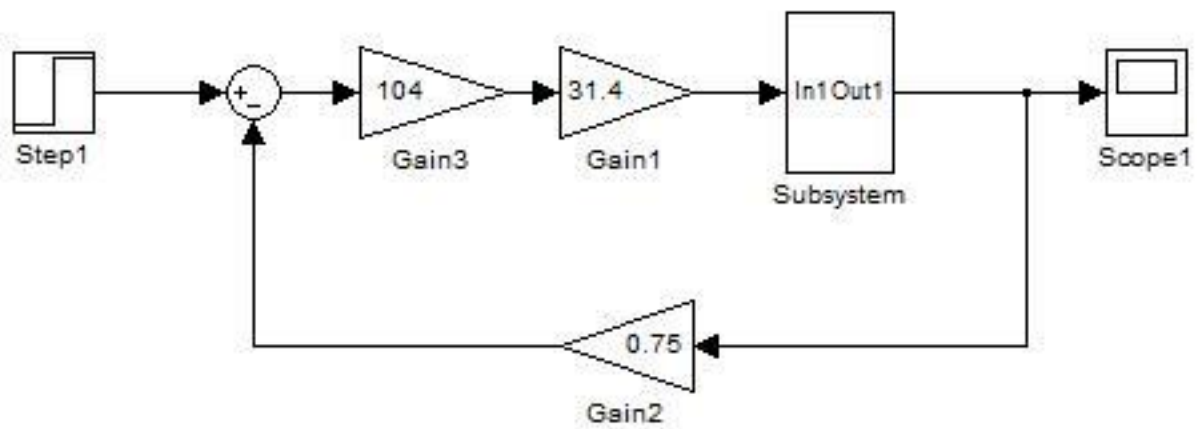


Рисунок 2.12 – Запропонована обчислювальна модель привода транспортування візка з регулятором

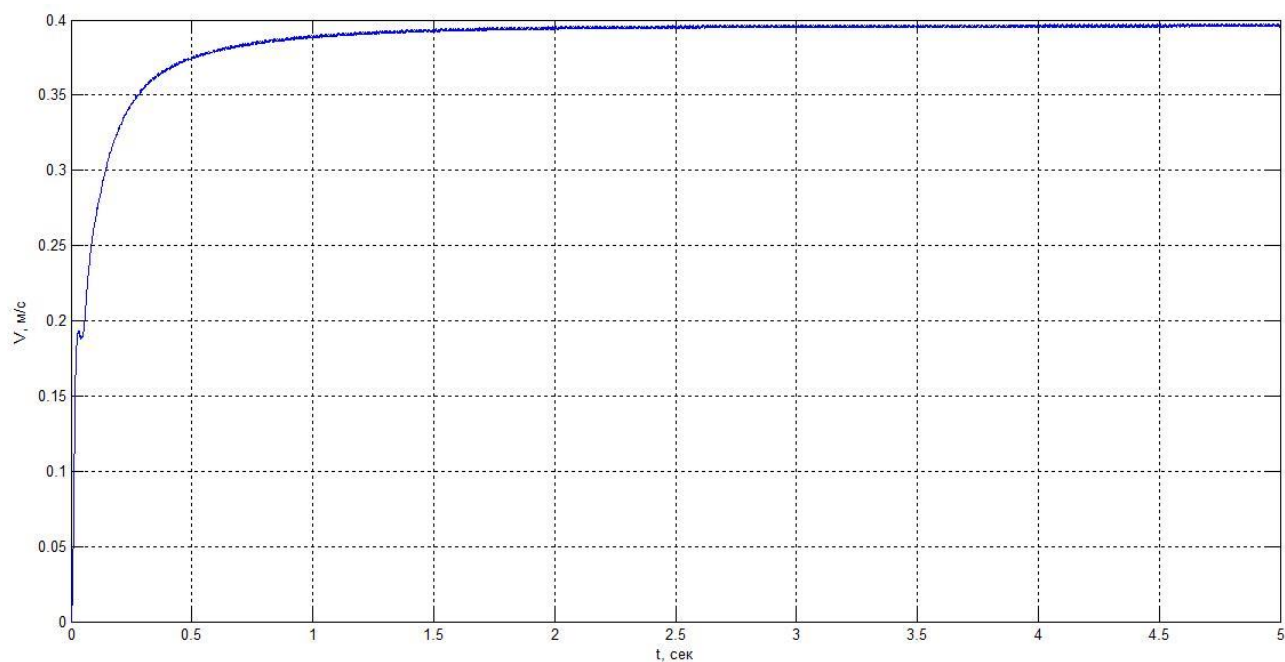


Рисунок 2.13 – Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщенням візка без навантаження

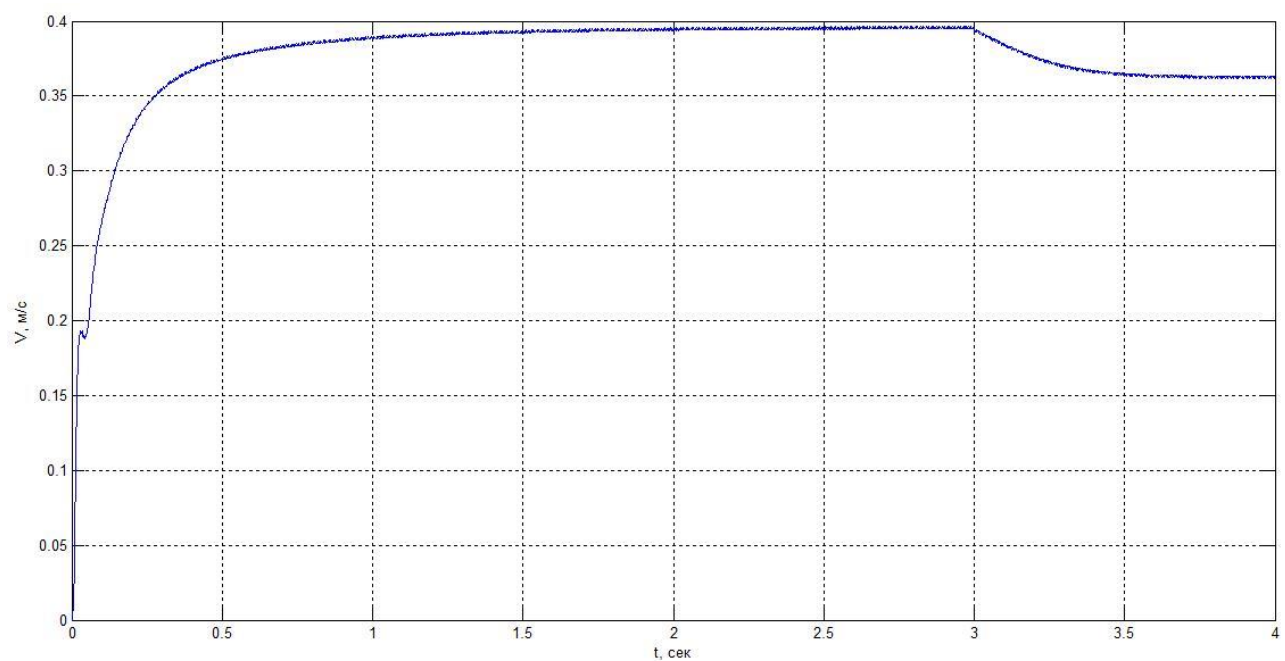


Рисунок 2.14 - Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщенням крана із навантаженням

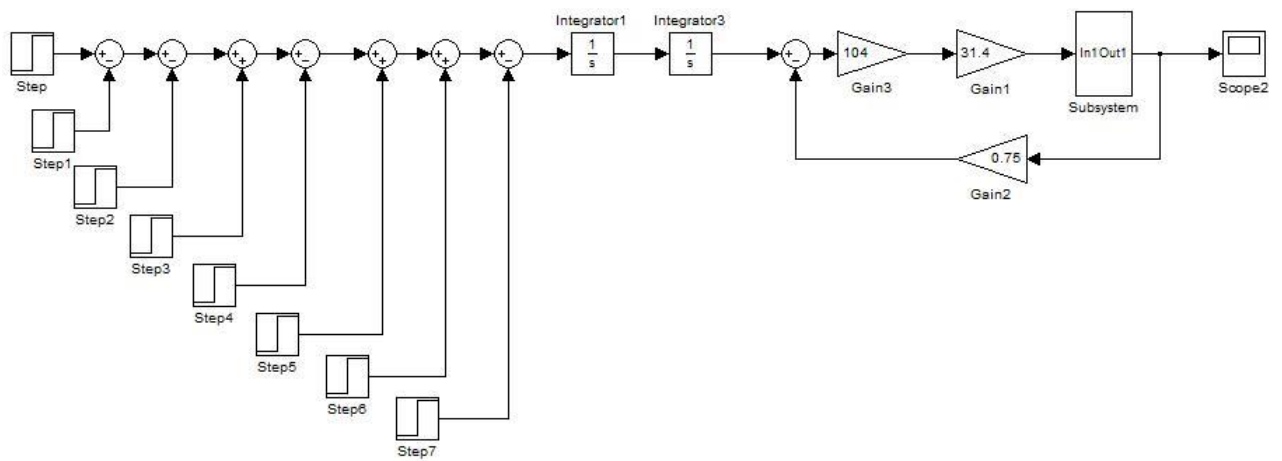


Рисунок 2.15 – Запропонована обчислювальна модель приводу для переміщення візка із задавачем

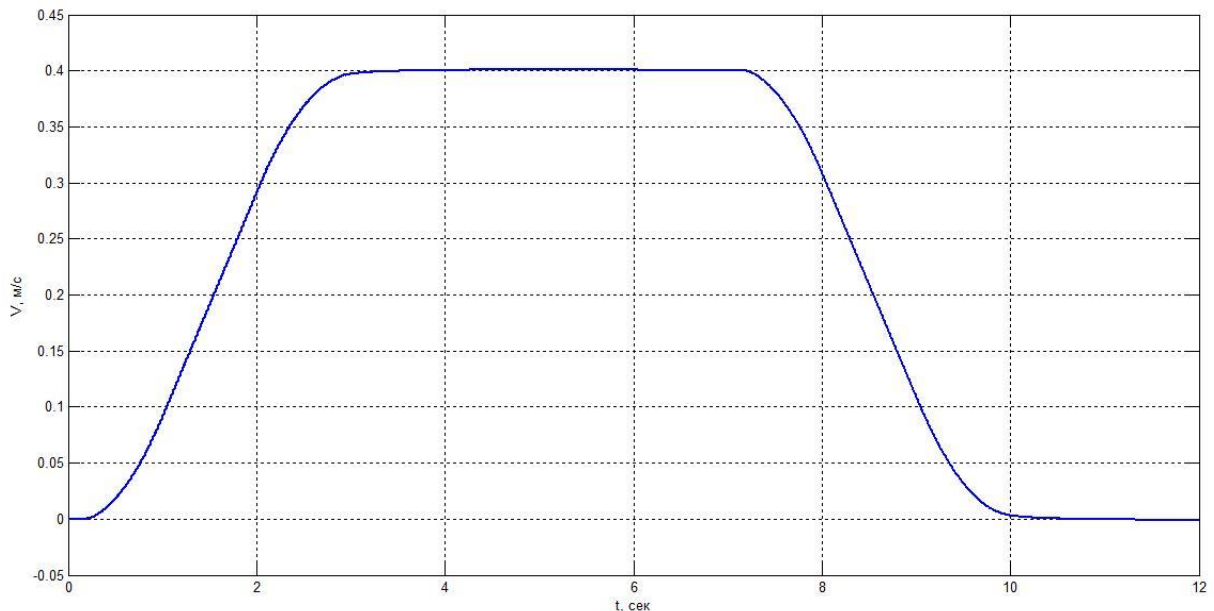


Рисунок 2.16 – Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщення візка із задавачем, без навантаження

## 2.5 Висновки до другого розділу

За отриманими перехідними процесами можемо зробити наступні  
**ВИСНОВКИ:**

- усі розроблені та запропоновані ОК є стійкими;
- час перехідного процесу, під час дослідження механізму переміщення візка без задавача, складає 2 секунди, із задавачем 4,5 секунди;
- час перехідного процесу під час дослідження механізму переміщення козлового крану із задавачем - 4,5 сек., без задавача становить 2,5 сек.;
- необхідність у перерегулюванні відсутня.

На підставі отриманих результатів можемо зробити наступний висновок, що всі розроблені та запропоновані моделі ОК є працездатними і можуть бути використані для створення системи керування відповідним електроприводом.

## 3 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ КОЗЛОВОГО КРАНУ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 3.1 Підбір мотор-редукторів для переміщення козлового крана

#### 3.1.1 Кінематична схема приводного механізму переміщення козлового крана

Механізм переміщення являє собою два незалежні вузли, що складаються з наступних елементів: 1 - електричне гальмо, 2 - АД, 3 - редуктор, 4 - сполучна муфта, 5 - колесо.

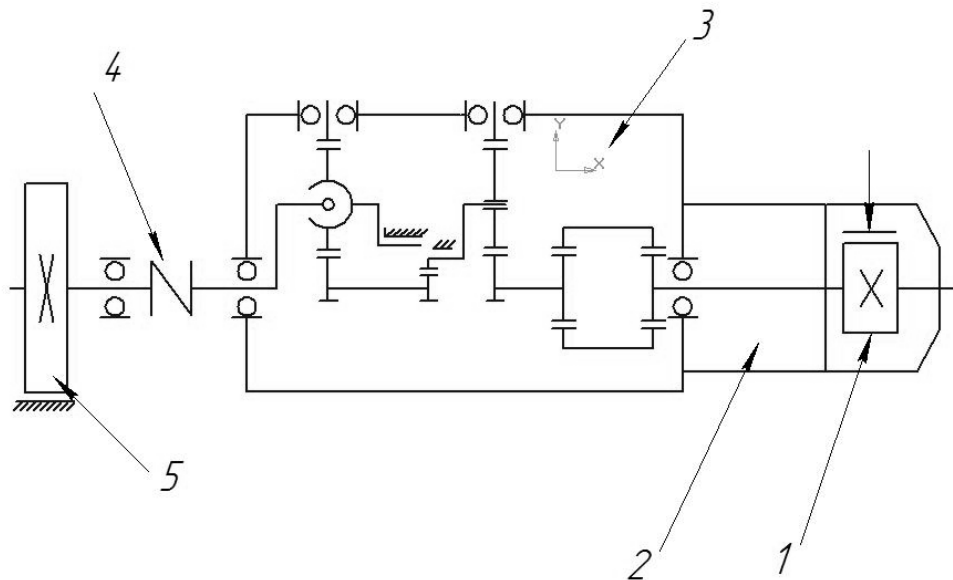


Рисунок 3.1 - Кінематична схема приводного механізму для переміщення козлового крана

#### 3.1.2 Розрахунок основних параметрів приводного механізму переміщення

Сумарний опір переміщенню козлового крана рейковою колією, що працює в закритому приміщенні, зазвичай складається з наступних складових [31-33]:

$$W_{\Sigma} = W_{\text{ТЕР}} + W_{\text{У}} + W_{\text{ІН}} + W_{\text{ГЛУЧ}}, \quad (3.1)$$

де  $W_{TEP}$  - величина опору, створювана тертям коліс крану об рейки;  $W_y$  – величина опору, що виникає від величини ухилу колії;  $W_{IH}$  - величина опору від виникаючих сил інерції рухомих мас козлового крана, що рухаються;  $W_{ГНУЧ}$  - величина опору, створювана розгойдуванням вантажу, що підвішений на гнучкій підвісці.

У даному розрахунку за базовий використаємо тільки опір  $W_{TEP}$ , інші не будуть враховані на підставі прийнятих нами припущень:

- підкранові шляхи не мають величини ухилу тому, що змонтовані строго паралельно рівню землі;
- сила інерції рухомих мас козлового крана незначна і, відповідно, нею можна знехтувати;
- величина опору від розгойдування вантажу підвішеного на гнучкій підвісці відсутня.

Знайдемо величину опору, створюваного силами тертя, за наступною формулою [31-33]:

$$W_{TEP} = (G_{KP} + Q) \cdot \frac{2 \cdot \mu + f \cdot d_{Ц}}{D_K} \cdot K_{ДОД}, \quad (3.2)$$

де  $G_{KP}$  - вага крана, кН, визначається згідно наступної формули:

$$G_{KP} = 0,9 \cdot Q + 0,84 \cdot L, \quad (3.3)$$

де  $Q$  - номінальна вантажопідйомність козлового крана, кН;  $L$  - максимальна довжина прольоту козлового крана, м.

$$G_{KP} = 0,9 \cdot 50 + 0,84 \cdot 10,5 \cdot 9,8 = 133,6 \text{ кН.}$$

$f$  - величина коефіцієнту тертя в опорах вала колеса, приймається  $f = 0,0015$ ;  $d_{ц}$  - діаметр цапфи ходового колеса крану, мм. Для підшипників кочення визначається з наступної формули [31-33]:

$$d_{ц} = 0,2 \dots 0,25 \cdot D_K \text{ мм}, \quad (3.4)$$

де  $D_K$  - діаметр ходового колеса крану, мм;  $\mu$  - величина коефіцієнту тертя кочення коліс крану по рейках, приймається  $\mu = 0,4$ ;  $K_{дод}$  - величина коефіцієнту, що враховує тертя реборд коліс, приймається  $K_{дод} = 2$  [31-33].

$$W_{ТЕР} = (133600 + 49000) \cdot \frac{2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 80}{400} \cdot 2 = 1826 \text{ кН}.$$

### 3.1.3 Розрахунок необхідної потужності приводного механізму

Статична потужність приводного механізму пересування козлового крана визначається за наступною формулою [31-33]:

$$N_c = \frac{W_{TP} \cdot V_{KP}}{\eta \cdot c}, \quad (3.5)$$

де  $V_{KP}$  - задана швидкість переміщення козлового крана, м/с;  $\eta$  - ККД механізму переміщення крану, приймається  $\eta = 0,8 - 0,85$ ;  $c$  - кількість встановлених електродвигунів у механізмі переміщення,  $c = 2$  [31-33].

$$N_c = \frac{1826 \cdot 0,35}{0,8 \cdot 2} = 399 \text{ Вт}.$$

### 3.1.4 Розрахунок та вибір типу редуктора

Для вибору типу редуктора необхідно знати наступні характеристики: передаточне відношення та розрахунковий еквівалентний момент  $M_{екв}$ . Передаточне відношення визначається за на наступною формулою [31-33]:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_K}, \quad (3.6)$$

де  $n_{дв}$  - частота обертання головного валу встановленого електродвигуна, об/хв;  $n_K$  - частота обертання провідних опорних коліс козлового крана, об/хв, яка визначається із формули [31-33]:

$$n_K = \frac{60 \cdot V_K}{\pi \cdot D_K}, \quad (3.7)$$

де  $V_K$  - швидкість переміщення козлового крана, м/с;  $D_K$  - діаметр опорних коліс крану, мм.

$$i = \frac{1500}{17} = 88.$$

Звідки,

$$n_K = \frac{60 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,4} = 16,7 \text{ об/хв.}$$

Базуючись на отриманих результатах обираємо до монтажу мотор-редуктор із вбудованим електричним гальмом типу ЗМП-31,5, з наступними технічними параметрами [34]:

$$n_{\text{об}} = 1500 \text{ об/хв};$$

$$n_{\text{вих}} = 16 \text{ об/хв};$$

$$i = 88;$$

$$F_R = 2800 \text{ Н};$$

$$P_{\text{об}} = 0,55 \text{ кВт};$$

$$M_{\text{max}} = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

### 3.1.5 Вибір типорозміру сполучних муфт

Типорозмір муфт вибирають відповідно до діаметрів кінців з'єднувальних валів, що повинні бути з'єднані даною муфтою, з обов'язковим виконанням перевірки за діючим моментом, який визначатимуть відповідно до наступної формули [31-33]:

$$M_M = M_{\text{ном}} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (3.8)$$

де  $M_{\text{ном}}$  - номінальний момент встановленого електродвигуна;  $k_1$  - коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності механізму, для механізму переміщення приймається -  $k_1 = 1,2$ ;  $k_2$  - коефіцієнт, що враховує режим роботи механізму, для середнього режиму роботи приймається -  $k_2 = 1,2$ .

$$M_M = 150 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 216 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для з'єднання головного валу редуктора із цапфою ходових коліс спиняємо свій вибір на з'єднувальній зубчастій муфті типу МЗ-3-Н40 із наступними діаметрами отворів [35]:

- 40 мм - для приєднання цапфи ходових коліс;
- 30 мм - для приєднання тихохідного валу редуктора.

### 3.1.6 Розрахунок гальмівних моментів

Величина опору при гальмуванні козлового крана без підвішеного вантажу визначається за наступною формулою [31-33]:

$$W_{ГАЛ} = \frac{G_{КР}}{D_K} (2 \cdot \mu + f \cdot d_{Ц}); \quad (3.9)$$

$$W_{ГАЛ} = \frac{133600}{400} (2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 80) = 668 \text{ Н.}$$

Розрахуємо момент статичного опору на гальмівному валу електродвигуна згідно наступної формули [31-33]:

$$M_C^T = \frac{W_{ГАЛ} \cdot D_K \cdot \eta}{2 \cdot i_p}, \quad (3.10)$$

де  $\eta$  - ККД механізму від ходових коліс до гальмівного валу, приймається -  $\eta = 0,8 - 0,9$ ;  $i_p$  - загальне передаточне відношення редуктора [31-33].

$$M_C^T = \frac{668 \cdot 0,4 \cdot 0,8}{2 \cdot 88} = 1,21 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Найбільший допустимий виникаючий гальмівний момент для механізму переміщення крана, виходячи з умови забезпечення під час виконання гальмування зупинки ходових коліс без виникнення проковзування по рейках, визначається за наступною формулою [31-33]:

$$M_T^{MAX} = \frac{G_T \cdot D_K}{2 \cdot i_p} \left( \varphi - \frac{2 \cdot \mu + f \cdot d_{Ц}}{D_K} \right) \cdot \eta, \quad (3.11)$$

де  $G_T$  - сумарний тиск, що діє на гальмівні ходові колеса, визначається з формули:

$$G_T = \frac{G_{KP}}{2}. \quad (3.12)$$

$\varphi$  - коефіцієнт зчеплення ходових коліс із рейками, приймається для приміщення  $\varphi = 0,15$ .

$$G_T = \frac{133600}{2} = 66800 \text{ Н};$$

$$M_T^{MAX} = \frac{66,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 88} \cdot \left( 0,15 - \frac{2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 80}{400} \right) \cdot 0,8 = 0,018 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

### 3.1.8 Перевірочні розрахунки механізмів переміщення козлового крана

Після розрахунку та підбору відповідних вузлів та деталей переміщення козлового крана, таких як мотор-редуктор, гальмо, необхідно виконати цілу низку перевірочних розрахунків та порівняти отримані дані із допустимими величинами [31-33].

#### Перевірка електродвигуна на час розгону

Спочатку даний параметр електродвигуна перевіряється за допустимим прискоренням пуску (або розгону). Даний параметр визначається за наступною формулою без урахування дії вітрового навантаження [31-33]:

$$a_{\max} = \left[ \frac{n_{IP}}{n} \left( \frac{\varphi}{K_\varphi} + \frac{f d_{II}}{D_K} \right) - (2 \cdot \mu + f \cdot d_{II}) \cdot \frac{K_P}{D_K} \right] \cdot g, \quad (3.13)$$

де  $n_{\text{ДР}}$  - кількість приводних коліс;  $n$  - загальна кількість коліс;  $K_p$  - коефіцієнт, що враховує тертя реборд колеса об рейки, приймається  $K_p = 2,0 - 2,5$ ;  $K_\phi$  - коефіцієнт запасу зчеплення, приймається  $K_\phi = 1,2$ ;  $g$  - величина прискорення вільного падіння.

$$a_{\text{max}} = \left[ \frac{2}{4} \cdot \left( \frac{0,2}{1,2} + \frac{0,015 \cdot 80}{400} \right) - (2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 80) \cdot \frac{2,5}{400} \right] \cdot 9,8 = 0,71 \text{ м/с}^2.$$

Рекомендоване середнє значення допустимого прискорення механізму переміщення козлового крану знаходиться в інтервалі  $0,5 \dots 1,0 \text{ м/с}^2$  [31-33].

Допустимий час розгону крану визначається з наступного співвідношення:

$$t_{\text{Доп}} = \frac{V_{\text{КР}}^\phi}{a_{\text{max}}}, \quad (3.14)$$

де  $V_{\text{КР}}^\phi$  - швидкість переміщення козлового крану, м/с.

$$t_{\text{Доп}} = \frac{0,35}{0,71} = 0,5 \text{ с.}$$

Даний час не повинен для крану перевищувати інтервал  $5 \dots 8 \text{ с.}$

Перевірка величини запасу зчеплення коліс крану із рейками [31-33]

Перевірка величини запасу зчеплення виконується тільки в тому випадку, якщо козловий кран не навантажений. Умова для нормальної роботи приводу наступна:

$$K_{3ч} \geq [K_{3ч}], \quad (3.15)$$

де  $K_{зч}$  - фактична величина коефіцієнту запасу зчеплення коліс крану із рейками;  $[K_{зч}]$  - допустима величина значення коефіцієнта запасу зчеплення коліс із рейками, приймається  $[K_{зч}] = 1,2$  [31-33].

Величина фактичного коефіцієнту запасу зчеплення ведучих коліс крану із рейками без урахування дії вітрових навантажень визначається за наступною формулою:

$$K_{зч} = \frac{\varphi}{\left(\frac{a}{g} + \omega_{оп}\right) \cdot \frac{n_{об}}{n_{пр}} - f \frac{d_{ц}}{D_{к}}} \geq 1,2, \quad (3.16)$$

де  $a$  - величина фактичного прискорення під час пуску;  $\omega_{оп}$  - величина коефіцієнт опору переміщення крану.

$$K_{зч} = \frac{0,2}{\left(\frac{0,7}{9,81} + 7\right) \cdot \frac{4}{2} - 0,015 \cdot \frac{80}{400}} = 0,014.$$

На підставі виконаної перевірки було встановлено, що козловий кран має неприпустиме зчеплення коліс з рейками, тому для підвищення величини зчеплення пропонуємо виконати заміну рейки з випуклою голівкою на рейки з плоскою голівкою, за рахунок чого підвищиться площа контакту ходового колеса крану із встановленою рейкою [31-33].

### 3.2 Підбір приводного механізму для підйому будівельних матеріалів на козловому крані

#### 3.2.1 Розрахунок та вибір приводного механізму для підйому вантажів в козловому крані

Метою виконання розрахунків є визначення статичних навантажень, приведених до валу електродвигуна, для вибору необхідної потужності електродвигуна механізму для підйому вантажів в козловому крані [31-33].

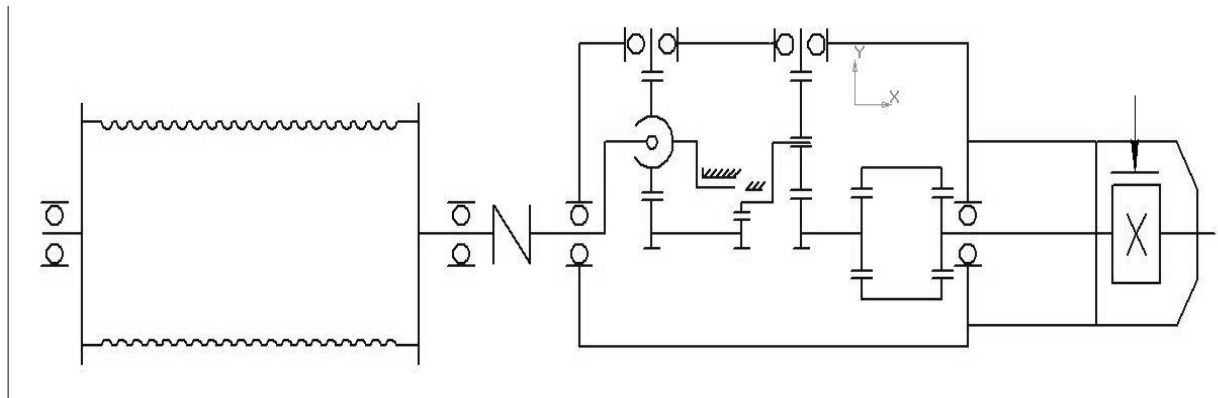


Рисунок 3.2 - Кінематична схема механізму для підйому вантажів в козловому крані

Статична потужність на головному валу електродвигуна підйомальної лебідки під час підймання будівельних матеріалів, визначається за наступною формулою [36-39]:

$$P_{ст.гр.под} = \frac{(Q + G_0) \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{\eta_{НАВАНТ}}, \quad (3.17)$$

де  $Q = m \cdot g$  - вага будівельних матеріалів, що піднімається  $Q = 5103 \cdot 9,8 = 49$  кН;  $m$  - номінальна вантажопідйомність крану, кг;  $G_0$  - вага порожнього захватного пристосування для крану,  $G_0 = m_0 \cdot g = 343$  Н;  $m_0$  - маса порожнього захватного пристосування для крану;  $v_n$  - швидкість підйому будівельних матеріалів, приймається  $v_n = 8$  м/хв = 0,13 м/с;  $\eta_{НАВАНТ}$  - ККД захватного пристосування під навантаженням, приймається  $\eta_{НАВАНТ} = 0,84$ .

$$P_{СТ.ГР.ПОД} = \frac{(49000 + 343) \cdot 0,13 \cdot 10^{-3}}{0,84} = 7,63 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність на головному валу електродвигуна під час підйому порожнього захватного пристосування, кВт [36-39]:

$$P_{СТ.П.ГР.} = \frac{G_0 \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{\eta_{XX}}, \quad (3.18)$$

де  $\eta_{XX}$  - ККД захватного механізму під час холостого ходу, приймається  $\eta_{XX} = 0,42$ . Отже:

$$P_{СТ.П.ГР.} = \frac{343 \cdot 0,13 \cdot 10^{-3}}{0,42} = 0,1 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність на головному валу електродвигуна обумовлена вагою будівельного матеріалу, що піднімається, згідно наступною формули:

$$P_{ГР} = (Q + G_0) \cdot v_C \cdot 10^{-3}, \quad (3.19)$$

де  $v_C = v_H = 0,13$  м/с - швидкість спуску вантажу. Звідки,

$$P_{ВАНТ} = (49000 + 343) \cdot 0,13 \cdot 10^{-3} = 6,4 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність на головному валу електродвигуна, що зумовлена силою тертя, згідно формули [36-39]:

$$P_{TP} = \left( \frac{Q + G_0}{\eta_{НАВАНТ}} \right) \cdot (1 - \eta_{НАВАНТ}) \cdot v_c \cdot 10^{-3}; \quad (3.20)$$

$$P_{TP} = \left( \frac{49000 + 343}{0,84} \right) \cdot (1 - 0,84) \cdot 0,13 \cdot 10^{-3} = 1,22 \text{ кВт.}$$

Оскільки виконується умова  $P_{ВАНТ} > P_{TP}$ , отже, електродвигун працює в режимі гальмівного спуску.

Визначимо потужність на головному валу електродвигуна під час гальмівного спуску згідно наступної формули [36-39]:

$$P_{T.СП.} = (G + G_0) \cdot v_c \cdot \left( 2 - \frac{1}{\eta_{НАВАНТ}} \right) \cdot 10^{-3}; \quad (3.21)$$

$$P_{T.СП.} = (343 + 49000) \cdot 0,13 \cdot \left( 2 - \frac{1}{0,84} \right) \cdot 10^{-3} = 5,19 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність на головному валу електродвигуна під час спуску порожнього захватного пристосування, згідно формули [36-39]:

$$P_{C.СТ.0.} = G_0 \cdot v_c \cdot \left( \frac{1}{\eta_{ХХ}} - 2 \right) \cdot 10^{-3}; \quad (3.22)$$

$$P_{C.СТ.0.} = 343 \cdot 0,13 \cdot \left( \frac{1}{0,42} - 2 \right) \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ кВт.}$$

Після розрахунку статичних навантажень повинні побудувати навантажувальний графік механізму підйому козлового крану для стандартного циклу роботи.

Знайдемо час підйому будівельних матеріалів на задану висоту  $H$ , згідно формули [9-12]:

$$t_{p1} = \frac{H}{v_H}, \quad (3.23)$$

де  $H$  - задана висота підйому вантажу, приймається 6 м.

$$t_{p1} = \frac{6}{0,13} = 46,2 \text{ с.}$$

Визначимо час переміщення будівельних матеріалів на задану відстань  $L = 25$  м згідно формули [9-12]:

$$t_{01} = \frac{L}{v_{KP}} = \frac{25}{0,41} = 61 \text{ с.} \quad (3.24)$$

Визначимо час для спуску будівельних матеріалів, згідно формули (3.23):

$$t_{p2} = \frac{6}{0,13} = 46,2 \text{ с.}$$

Розрахуємо час на зачеплення будівельних матеріал та, відповідно, відчеплення, згідно довідникової літератури [9-12]:

$$t_{02} = t_{04} = 200 \text{ с.}$$

Визначимо час підйому порожнього гака захватного пристосування згідно із формулою (3.23):

$$t_{p3} = \frac{6}{0,13} = 46,2 \text{ с.}$$

Визначимо час, необхідний для повернення козлового крану до місця підйому нових будівельних матеріалів згідно формули (3.24) [9-12]:

$$t_{03} = \frac{25}{0,41} = 61 \text{ с.}$$

Визначимо час спуску порожнього гака захватного пристрою пристосування згідно із формулою (3.23) [9-12]:

$$t_{p4} = \frac{6}{0,13} = 46,2 \text{ с.}$$

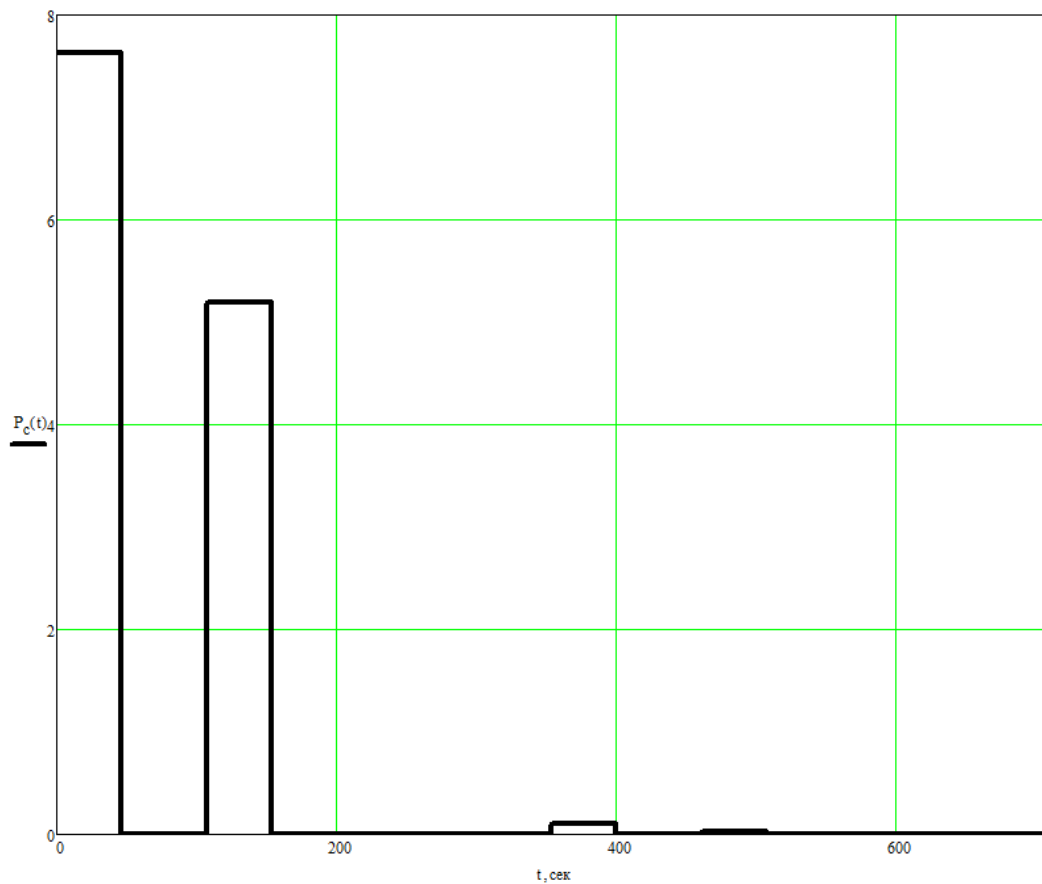


Рисунок 3.3 – Графік робочого циклу механізму підйому будівельних матеріалів

Знайдемо сумарний час роботи електродвигуна, згідно наступної формули:

$$\sum t_p = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} = 4 \cdot t_{p4}; \quad (3.25)$$

$$\sum t_p = 4 \cdot 46,2 = 184,8 \text{ с.}$$

Визначимо сумарний час пауз в роботі крану [9-12]:

$$\sum t_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04}; \quad (3.26)$$

$$\sum t_0 = 61 + 200 + 61 + 200 = 522 \text{ с.}$$

Визначимо дійсну тривалість увімкнення крану, згідно наступної формули:

$$ПВ_{Д} = \frac{\sum t_p}{\sum(t_p + t_0)} \cdot 100\%; \quad (3.27)$$

$$ПВ_{Д} = \frac{184,8}{184,8 + 522} \cdot 100\% = 26,1\%.$$

Визначимо еквівалентну потужність за сумарний час роботи електродвигуна, згідно наступних формул [36-39]:

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_{C1}^2 \cdot t_{P1} + P_{C2}^2 \cdot t_{P2} + P_{C3}^2 \cdot t_{P3} + P_{C4}^2 \cdot t_{P4}}{\sum t_p}}; \quad (3.28)$$

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{7,63^2 \cdot 46,2 + 5,19^2 \cdot 46,2 + 0,1^2 \cdot 46,2 + 0,02^2 \cdot 46,2}{184,8}} = 4,6 \text{ кВт.}$$

Виконаємо перерахунок еквівалентної потужності на стандартну тривалість вмикання відповідного режиму роботи механізму крана, згідно із формулою [36-39]:

$$P_{ен} = P_{екв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{ДВ}}{ПВ_{СТ}}}; \quad (3.29)$$

$$P_{ен} = 4,6 \cdot \sqrt{\frac{26,1}{25}} = 4,7 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову потужність електродвигуна якщо врахувати коефіцієнта запасу, згідно із формулою [36-39]:

$$P_{ДВ} = \frac{P_{ен} \cdot K_3}{\eta_{РЕД}}, \quad (3.30)$$

де  $\eta_{РЕД}$  - ККД редуктора,  $\eta_{РЕД} = 0,95$ ;  $K_3$  - коефіцієнт запасу, приймається  $K_3 = 1,2$ .

$$P_{ДВ} = \frac{4,72 \cdot 1,2}{0,95} = 5,9 \text{ кВт.}$$

Оберемо електродвигун базуючись на наступній умові [36-39]:

$$P_{ном} > P_{ДВ}.$$

Виходячи з цієї умови обираємо АД із фазним ротором типу МТФ311-8, характеристики якого наведені в додатках [40].

### 3.2.2 Розрахунок та підбір редуктору

Зазвичай редуктор використовують через розбіжність швидкості обертання барабана лебідки механізму підйому та головного вала електродвигуна [31-33]. Підбір редуктору виконують за потужністю, передаточним відношенням та швидкістю обертання.

Знайдемо передаточне відношення для редуктора [31-33]:

$$i_p = \frac{n_{ог}}{n_B}, \quad (3.31)$$

де  $n_B$  - частота обертання барабана, об/хв, яка знайдемо із наступної формули [31-33]:

$$n_B = \frac{60 \cdot U_{II}}{\pi \cdot D_B}, \quad (3.32)$$

де  $U_{II}$  - швидкість підйому будівельних матеріалів, м/с;  $D_B$  - діаметр барабана, мм. Отже,

$$n_B = \frac{60 \cdot 0,13}{3,14 \cdot 400} = 6,2 \text{ об/хв,}$$

звідки

$$i = \frac{715}{6,2} = 115.$$

На підставі отриманих даних обираємо мотор-редуктор із вбудованим електричним гальмом типу ЗМП-125, з параметрами наведеними в додатках [41].

Обраний мотор-редуктор має вище передаточне відношення, ніж необхідно. Тому реальна швидкість підйому вантажу визначається із виразу [31-33]:

$$U_{II} = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 9}{60} = 0,1 \text{ м/с.}$$

### 3.3 Підбір приводного механізму переміщення візка козлового крану

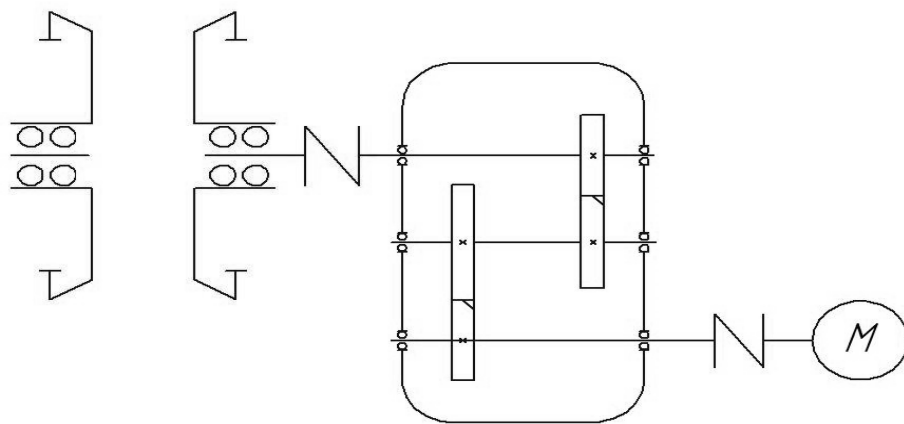


Рисунок 3.5 – Кінематична схема приводу переміщення візка козлового крану

3.3.1 Розрахунок основних параметрів механізму переміщення візка козлового крану

Виконується аналогічно описаному вище в підрозділі 3.1, згідно формул (3.1 – 3.4).

Знайдемо величину опору, що створюється силами тертя [31-33]:

$$W_{TP} = 49000 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 40}{200} \cdot 2 = 686 \text{ Н.}$$

3.3.2 Розрахунок необхідної потужності

Виконується аналогічно описаному вище в підрозділі 3.1.

Величина статичної потужності приводу механізму переміщення візка крана визначається за наступною формулою:

$$N_C = \frac{W_{TP} \cdot U_B}{\eta \cdot c}, \quad (3.33)$$

де  $U_B$  - задана швидкість переміщення візка;  $c$  - кількість змонтованих електродвигунів у механізмі переміщення візка;  $\eta$  - ККД механізму переміщення візка, приймається  $\eta = 0,8 \dots 0,85$ .

$$N_C = \frac{686 \cdot 0,4}{0,8 \cdot 2} = 171,5 \text{ Вт.}$$

### 3.3.3 Розрахунок і вибір редуктора для механізму переміщення візка

Передаточне відношення визначається за наступною формулою наведеній в підрозділі 3.1 згідно формул (3.6 – 3.7) [31-33]:

$$i = \frac{1500}{39} = 39,4;$$

$$n_B = \frac{60 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,2} = 38 \text{ об/хв.}$$

На підставі отриманих даних обираємо редуктор типу В-100 [42] та відповідний електродвигун типу АИР71А4 [43], з параметрами наведеними в додатках.

Обраний тип редуктора має вище передаточне відношення, ніж потрібно по умові, а отже, і нижчу частоту обертання вихідного валу електродвигуна. Отже, реальна швидкість переміщення візка [36-39]:

$$U_B = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 45}{60} = 0,47 \text{ м/с.}$$

### 3.3.4 Вибір типорозміру муфт для сполучення валів

Типорозмір муфт вибирають відповідно до діаметрів кінців валів, що з'єднуються даною муфтою, з обов'язковою наступною перевіркою за діючим моментом, який визначають за формулою (3.8):

$$M_{.m} = 280 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 403 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для з'єднання головного валу редуктора з цапфою ходових коліс вибираємо з'єднувальну зубчасту муфту типу МЗ-3-Н40 [35] з наступними діаметрами отворів:

- 40 мм - для приєднання цапфи ходових коліс;
- 35 мм - для приєднання тихохідного валу редуктора.

### 3.3.5 Розрахунок гальмівних моментів та вибір гальма для візка [31-33]

Визначимо опір під час гальмування візка без вантажу за наступною формулою:

$$W_{\text{ГАЛ}} = \frac{Q}{D_K} \cdot (2 \cdot \mu + f \cdot d_{\text{Ц}}); \quad (3.34)$$

$$W_{\text{ГАЛ}} = \frac{49000}{200} \cdot (2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 40) = 343 \text{ Н.}$$

Визначимо величину моменту статичного опору на гальмівному валу електродвигуна [36-39]:

$$M_C^T = \frac{W_{ГЛЛ} \cdot D_K \cdot \eta}{2 \cdot i_p}, \quad (3.35)$$

де  $i_p$  - передаточне відношення редуктора;  $\eta$  - ККД механізму переміщення візка від ходових коліс до гальмівного валу, приймається  $\eta = 0,8 \dots 0,9$ .

$$M_C^T = \frac{343 \cdot 0,2 \cdot 0,8}{2 \cdot 40} = 0,686 \text{ Н.}$$

Найбільший допустимий гальмівний момент для механізму переміщення візка, виходячи з умови забезпечення під час гальмування повної зупинки ходових коліс без ковзання, буде розраховуватись згідно із формулою [36-39]:

$$M_T^{MAX} = \frac{G_T \cdot D_K}{2 \cdot i_p} \cdot \left( \varphi - \frac{2 \cdot \mu + f \cdot d_{Ц}}{D_K} \right) \cdot \eta, \quad (3.36)$$

де  $G_T$  - сумарна сила тиску на гальмівні ходові колеса, визначається як  $G_T = \frac{Q}{2}$ ;  $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення ходових коліс із рейками, приймається  $\varphi = 0,15$ .

Отже,

$$G_T = \frac{49000}{2} = 24500 \text{ Н;}$$

$$M_T^{MAX} = \frac{24,5 \cdot 0,2}{2 \cdot 40} \cdot \left( 0,15 - \frac{2 \cdot 0,4 + 0,015 \cdot 40}{200} \right) \cdot 0,8 = 0,007 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

За розрахованим максимальним моментом приймаємо відповідне колодке гальмо, вибираємо гальмо типу ТКТ-100 з наступними параметрами:

- найбільший гальмівний момент - 0,02 (кН×м);
- ширина гальмівної колодки – 70 (мм);
- діаметр гальмівного шківа - 100 (мм) [45].

### 3.4 Висновки до третього розділу

У розділі було проведено розрахунок обладнання, обрано механічні елементи в приводах пересування крана, транспортування візка і підйому будівельних матеріалів. Спроектовано майданчик, на якому перебуває людина-оператор під час керування всіма рухами козлового крана.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 4.1 Апаратно-технічна реалізація проекту автоматизації системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів

Для керування всіма АД, які встановлені на проєктованому крані, будемо використовувати частотний перетворювач (ЧП) серії ЕПВ (рис. 4.1) [45].

Дана серія ЕПВ пропонується в чотирьох варіантах виконання, проте для механізму переміщення козлового крану будемо застосовувати ЧП саме другого варіанту виконання – тобто ЧП з векторним керуванням, призначені для широкодіапазонного (не менше ніж 1000:1) високоякісного АД різних виробничих механізмів, зокрема механізмів головного руху чи подавання для промислових роботів чи металорізальних верстатів із ЧПК.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд комплектного електроприводу

Дані ЧП одразу виконуються у комплекті з АД, в які вбудовано датчик швидкості/положення та електромагнітне гальмо, що спрощує монтаж СК механізмами переміщення обладнання.

Конструкція ЧП - моноблок настінного монтажу та одностороннього

обслуговування зі ступенем захисту не нижче IP20 (блок ЧП захищається лише від проникнення твердих тіл розміром понад 12 мм, захист від проникнення води не встановлюється). Різні виконання інтерфейсної плати дозволяють виконувати підключення датчиків швидкості/положення з різними типами сигналів: синусно-косинусних, імпульсних і т.п [45].

Завдяки низькій потужності ланцюгів керування та досить низьким статичним та динамічним втратам забезпечено суттєво високий ККД даного ЧП.

Конструкція ЧП складається всього з декількох елементів: несучого радіатора зі встановленими на нього вентиляторами, силової, інтерфейсної та процесорної плат та, відповідно, захисного пластикового корпусу (рис. 4.2 – 4.3).



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд плат ЧП

Підключення всіх силових ланцюгів виконуються за допомогою використання одного клемника силового блоку, зручно згрупованому та з чітким маркуванням. Джерело живлення ланцюгів керування під'єднано безпосередньо до DC-шини й окремого підключення не потребує. Керувальні сигнали згруповані за призначенням на роз'ємах і клемниках інтерфейсної плати (рис. 4.4) [45].

За допомогою пульта керування можливо виконувати процедури

перегляду та налаштування параметрів електропривода, запуск та, відповідно, контроль режимів його роботи [45].

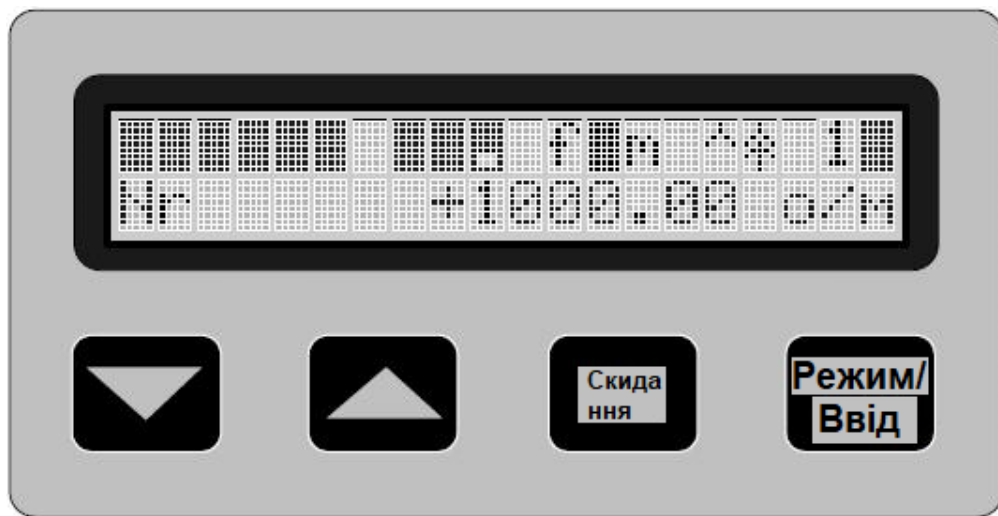


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд пульта керування ЧП

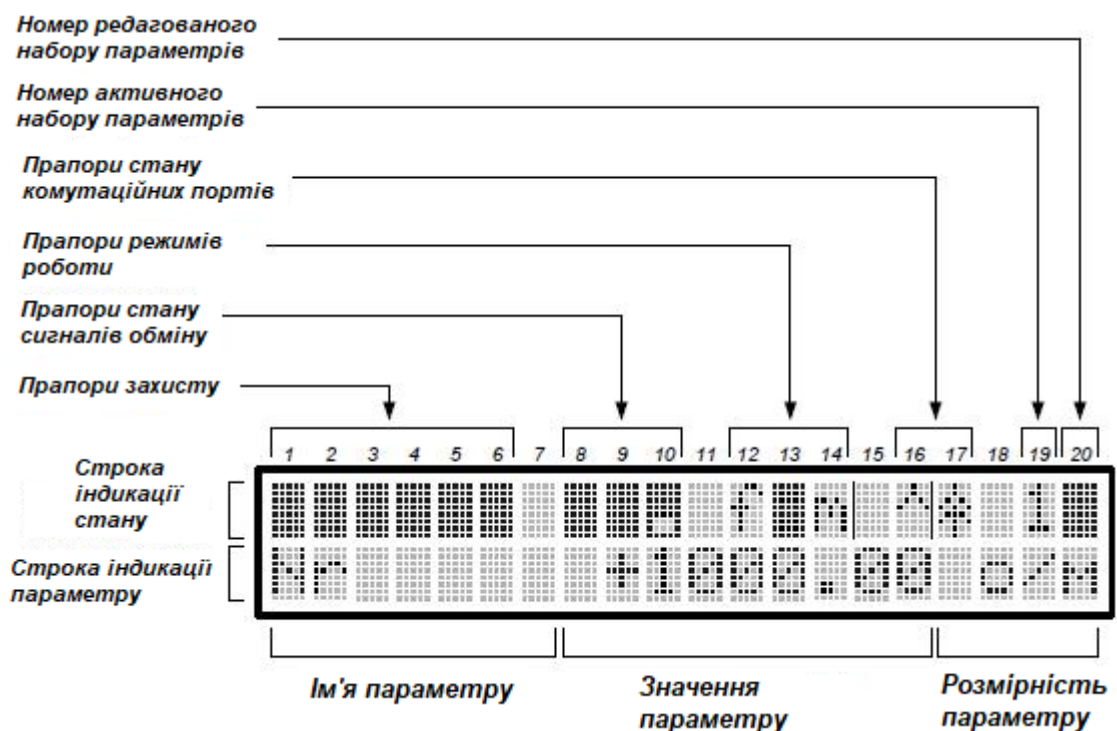


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд структури інформації на пульті керування

Структура інформації, що відображається на РК-дисплеї (рис. 4.3):

- верхній рядок або так званий рядок індикації стану – виконується

відображення режимів роботи підключеного електропривода, прапорців захистів та обмінних сигналів;

- нижній рядок або рядок індикації параметрів – виконується відображення параметрів підключеного електропривода, введені перемінні та заголовки меню.

Режими роботи пульта керування (див. рис. 4.3) можуть бути наступні:

- режим вибору та перегляду обраного параметра – доступна можливість переглядати параметри поточного меню, а також переходити до перегляду параметрів на вищій чи нижчій рівні меню;

- режим налаштування обраного параметра – доступна можливість редагувати поточне значення вказаного параметра. Під час переходу в режим налаштування зображення значення параметра починає миготіти;

- режим керування пуском/зупинкою електродвигуна – доступна можливість розблокувати чи заблокувати ЧП та, відповідно, запустити чи зупинити електродвигун.

Призначення кнопок клавіатури пульта керування.

Кнопки клавіатури пульта керування позначені наступними символами (див. рис. 4.3).

Призначення кнопок залежить від режиму роботи пульта керування [45].

У режимі вибору та перегляду обраного параметра або режим №1:

- кнопка «Стрілочка вгору» - виконує перехід до перегляду попереднього параметра з поточного меню. При цьому в рядку індикації параметра буде виконуватись відображення значення даного параметра;

- кнопка «Стрілочка вниз» - виконує перехід до перегляду наступного параметра з поточного меню. При цьому в рядку індикації параметра буде виконуватись відображення значення даного параметра;

- кнопка «Режим/Ввід» у режимі №1 може виконувати 2 функції:

Перша функція - для заголовків меню може використовуватись для входу до обраного меню, після її натискання в рядку індикації параметра буде виконано відображення параметрів даного меню.

Друга функція - для редагованих параметрів натисканням даної кнопки може бути викликано режим налаштування, при цьому поле значення обраного параметру починає миготіти. Недоступні для налаштування параметри не будуть змінювати стан - перехід у режим налаштування не виконується.

- кнопка «Скидання» - виконує перехід (або повернення) з поточного меню до меню на вищій рівень.

У режимі налаштування обраного параметра або режим №2:

- кнопка «Стрілочка вверху» - дозволяє виконати збільшення поточного значення параметра або виконати вибір попереднього значення параметра зі списку;

- кнопка «Стрілочка вниз» - дозволяє виконати зменшення поточного значення параметра або виконати вибір наступного значення параметра зі списку;

- кнопка «Режим/Ввід» - дозволяє встановити налаштоване значення обраного параметра як нове та виконати перехід в режим вибору та перегляду обраного параметра.

- кнопка «Скидання» - дозволяє виконати скасування результату налаштування обраного параметра та виконати перехід у режим вибору та перегляду обраного параметра.

У режимі керування пуском/зупинкою електродвигуна або режим №3:

- одночасне натискання кнопок «Режим/Ввід» та «Стрілочка вверху» дає можливість виконати розблокування ЧП та виконати пуск електродвигуна відповідно до вказаного завдання;

- одночасне натискання кнопок «Режим/Ввід» та «Стрілочка вниз» дає можливість виконати зупинку електродвигуна із заданою інтенсивністю та заблокувати ЧП.

Даний ЧП оснащено наступними типами захисту:

- максимально-струмовий захист ЧП (у тому числі від виникнення КЗ вихідних фаз між собою та на землю);

- захист від збоїв програмного забезпечення;
- захист від зникнення живлення ланцюгів керування;
- захист від недопустимого зниження рівня напруги в мережі живлення;
- захист від недопустимого перевищення рівня напруги мережі живлення;
- захист від виникнення аварії вузла скидання енергії;
- захист від невідповідності реальної швидкості вказаній (зокрема від помилок підключення датчика швидкості);
- температурний захист ЧП;
- температурний захист електродвигуна (за наявності вбудованого датчика температури);
- часо-струмовий захист електродвигуна.

Програмно реалізована структура системи керування дає можливість виконувати задану роботу в замкнутому контурі регулювання швидкості або контурі моменту. Мінімальний повний цикл розрахунку контуру швидкості становить 100 мкс, для контуру моменту - 50 мкс.

Інтелектуальні функції реалізуються ЧП у вигляді наступних програмних опцій [45]:

- алгоритм автоматичного перерахунку параметрів ЧП дає можливість оптимізувати співвідношення між параметрами ЧП у разі екстреної заміни одного з них, що полегшує налаштування замкнутих контурів регулювання та знижує ймовірність виникнення помилок;
- режим автоматичного визначення параметрів електродвигуна та розрахунку параметрів ЧП суттєво спрощує процедуру налаштування системи векторного керування;
- режим адаптації до механічної частини дозволяє забезпечити нечутливість характеристик всього приводу до будь-яких змін навантажувального моменту та моменту інерції на валу;
- режим адаптації до зміни постійної часу ланцюга ротора забезпечує нечутливість характеристик всього приводу до будь-яких змін температури

електродвигуна в процесі роботи.

Усі параметри мають адекватні границі діапазонів зміни та дискретність, а також значення встановлені за замовчуванням, встановлені на заводі виробнику, до яких завжди можна виконати повернення.

Базова документація для всіх типорозмірів містить докладні інструкції з монтажу, підключення та введення в експлуатацію, налаштувань та різних варіантів використання.

Вхідні сигнали для ЧП [45]:

- дванадцять програмованих ізольованих логічних входів;
- чотири ізольованих аналогових входи;
- вбудоване ізольоване джерело постійної напруги постійного струму 24 В, 40 мА.

Вихідні сигнали для ЧП [45]:

- чотири ізольованих транзисторних виходи, з можливістю програмування;
- два релейних виходи, з можливістю програмування;
- комутаційні порти RS232 чи RS485 призначено для підключення ЕОМ під час завантаження чи налаштування програмного забезпечення;
- функції програмування можуть виконуватися за допомогою використання пульта ручного керування або ЕОМ через комутаційний порт;
- виконання програмування аналогових входів. Налаштовуються границі діапазону та, відповідно, нульовий рівень керуючого сигналу, виконується налаштування параметрів цифрової фільтрації;
- виконання програмування параметрів давача швидкості/положення.

Вказується тип сигналу, число періодів на один повний оберт.

- виконання програмування загальної структури та параметрів всієї системи керування.

Основними параметрами при виборі ЧП є наступні [45]:

- номінальна вихідна потужність;
- напруга живлення мережі;

- номінальний вихідний струм.

Розрахуємо номінальний струм, споживаний електродвигунами за відомою формулою:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (4.1)$$

де  $P_{НОМ}$  - номінальна потужність, споживана електродвигуном;  $U_{НОМ}$  - номінальна напруга живлення мережі;  $\cos \varphi$  - косинус кута зсуву для електродвигуна;  $\eta$  - паспортний ККД електродвигуна.

Виконавши необхідні обрахунки отримаємо:

- струм електродвигуна для переміщення козлового крану - 0,025 А;
- струм електродвигуна для переміщення візка - 0,01 А.

Оскільки на приводі механізму переміщення встановлено два електродвигуни, їхні номінальні струми будуть сумуватись, і на підставі отриманого числа буде виконуватись вибір ЧП. Ця дія допустима у зв'язку з тим, що дозволяється підключення декількох електродвигунів, які працюють в одному технологічному циклі, до вихідних портів ЧП за достатньої вихідної потужності останнього.

Було виконано вибір ЧП, типорозмір наведено в Додатках.

Для розв'язання поставлених задач автоматизації роботи козлового крана вибираємо мікроконтролер серії SIMATIC S7-200, призначений для розв'язання завдань керування та регулювання невеликих АСК [46-50]. Даний контролер типу S7-200 дає можливість створення як автономні СК, так і СК, що працюють у загальній кібер-інформаційній мережі. Завдяки високій гнучкості конфігурацій контролер типу S7-200 використовують для розв'язання як найпростіших завдань автоматизації, для розв'язання яких у минулому використовували базові реле та контактори, так і завдань комплексної автоматизації.

В якості процесору будемо застосовувати модуль CPU224XP, призначений

для побудови компактних САК досить високої продуктивності [51]. Модуль CPU224XP оснащено чотирнадцятьма вбудованими дискретними входами та десятьма дискретними виходами. Дає змогу виконувати підключення до семи модулів розширення вводу/виводу (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд контролеру SIMATIC S7-200 та процесору CPU224XP [51]

Технічні дані контролеру SIMATIC S7-200 [46]:

- об'єм вбудованої пам'яті для програм - 12288 байт;
- об'єм вбудованої пам'яті для даних - 8192 байт;
- зберігання даних у пам'яті при перебоях електроживлення - до 70 годин;
- кількість вбудованих таймерів – 256;
- кількість вбудованих лічильників – 256;
- встановлене програмне забезпечення - STEP 7 Micro/WIN;
- мови програмування, що використовуються - LAD, FBD, STL.

Встановлений набір команд - логічні операції, адресація результату, передача, порівняння, зсув, збереження, завантаження, рахунок, обертання, виклик підпрограм з передачею параметрів.

Ланцюги живлення CPU224XP [51]:

- напруга живлення CPU224XP - 24 В;
- допустимі відхилення напруги, в діапазоні – 20,4...28,8 В;

- споживаний струм, в діапазоні - 110...700 мА;

Діапазон рівня вхідної напруги:

- номінальне значення рівня - 24 В;

- тривало допустиме значення не більше - 30 В;

Діапазон рівня вихідної напруги:

- номінальне значення рівня - 24 В;

- допустимий діапазон змін рівня - 20,4...28,8 В;

Діапазон сили вихідного струму:

- одного виходу, тривалий, не вище - 0,75 А;

- одного виходу, імпульсний, не вище ніж 8 А протягом 100 мс;

Габаритні розміри – 120,5×80×62 мм;

Маса - 360 г.

Монтаж виконується на плоску поверхню з кріпленням гвинтами або на 35 мм профільну шину DIN.

Для збільшення кількості входів/виходів, що обслуговуються одним CPU 224XP, необхідно встановлювати додаткові модулі вводу/виводу дискретних сигналів типу EM223 (рис. 4.6) [52].



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд модулів вводу/виводу типу EM223 [52]

Дані модулі вводу дискретних сигналів [52] виконують перетворення вхідних дискретних сигналів контролера SIMATIC S7-200 [46] у спеціальні внутрішні логічні сигнали. Модулі виводу дискретних сигналів - перетворення

внутрішніх логічних сигналів контролера SIMATIC S7-200 у спеціальні вихідні дискретні сигнали [52].

Підключення до сусідніх модулів виконується за допомогою використання спеціалізованого плоского кабелю, який вмонтовано в кожен модуль вводу/виводу. Зовнішні ланцюги підключаються через спеціальні термінальні блоки, які можна знімати, оснащені контактами під гвинт, крім того закриті спеціальними захисними ізолювальними кришками. Застосування термінальних блоків, з можливістю знімання, дає можливість виконувати заміну модулів вводу/виводу без демонтажу зовнішніх ланцюгів. На лицьовій панелі модулів вводу/виводу розташовані світлодіоди індикації станів зовнішніх кіл.

Рівні вхідної напруги/струму [52]:

- номінальне значення рівня - 24 В/4 мА;

Кількість виходів – 8;

Маса - 300 г;

Габаритні розміри – 71,2×80×62 мм.

Модуль позиціонування EM253 - спеціальний функціональний модуль, який використовується для керування швидкістю обертання [53]. Виконує обмін даними із контролером серії S7-200 через шину вводу/виводу та відображається в конфігурації входів/виходів як спеціальний інтелектуальний модуль із шістьма цифровими виходами. На основі інформації, що зберігається в пам'яті контролеру S7-200, модуль позиціонування EM253 генерує спеціалізований вихідний сигнал, необхідний для керування рухом (рис. 4.7).

Модуль позиціонування EM253 [53] характеризується наступними показниками:

- дванадцять світлодіодів для індикації станів модуля;

- п'ять дискретних входів;

- чотири імпульсних виходи для керування позиціонуванням ВМ;

- два аналогових виходи.

Модуль позиціонування EM253 монтується на стандартну 35 мм

профільну DIN-рейку та виконується підключення до сусіднього модуля за допомогою використання гнучкого кабелю. Живлення підключається до модуля позиціонування EM253 через термінали з гвинтовими затискачами [53].



Рисунок 4.7 – Загальний вигляд модулю позиціонування EM253 [53]

Параметри налаштування модуля позиціонування зберігаються в пам'яті CPU224XP [51].

- ручне виконання керування операціями позиціонування;
- компенсація величини люфту при змінах напрямку руху;
- до двадцяти п'яти доступних профілів позиціонування із використанням до чотирьох швидкостей переміщення;
- вибір режиму роботи з встановленням до чотирьох контрольних точок;
- сила струму, споживаного від внутрішньої шини контролера серії S7-200 - 190 мА.

#### 4.2 Розробка алгоритму керування козловим краном на складі будівельних матеріалів

Як відомо робочий цикл козлового крана складається із трьох базових

операцій: переміщення крана, переміщення візка та підйому закріпленого вантажу [9-12] (рис. 4.8).

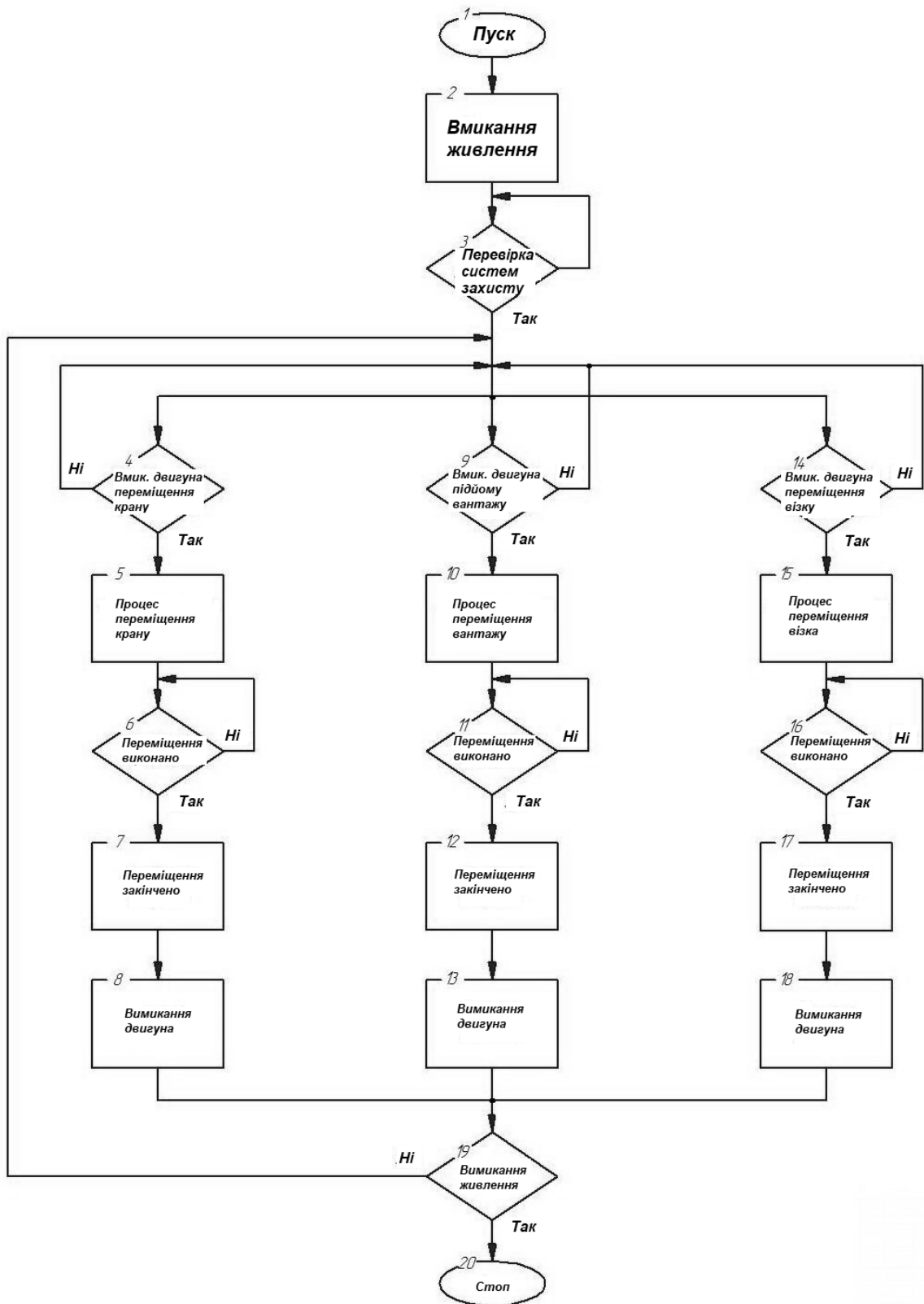


Рисунок 4.8 – Загальний вигляд алгоритму роботи козлового крана

Технологічний цикл роботи козлового крану починається з вмикання подачі живлення (блок 2) та перевірки систем захисту (блок 3). Після виконання перевірки (блок 3) вмикається один із електродвигунів козлового крану: електродвигун переміщення козлового крану (блок 4), електродвигун підйому закріпленого вантажу (блок 9) чи електродвигун переміщення візка (блок 14).

Відбувається перевірка чи ввімкнувся електродвигун (блок 4, 9 чи 14), якщо так то передається сигнал на виконання процесу переміщення крану (блок 5), підйому вантажу (блок 10) чи переміщення візка (блок 15). Після цього виконується перевірка чи відбулось вказане переміщення (блоки 6, 11 та 16), якщо перевірка позитивна то передається сигнал на завершення переміщення (блоки 7, 12 та 17) та сигнал на вимикання електродвигунів (блоки 8, 13 та 18). У разі невиконання умови, що виконується, СК переходить у початковий стан і очікує ввімкнення одного з електродвигунів (блоки 4, 9 чи 14). Процес переміщення козлового крану буде завершено у випадку, коли виконається умова вказана в блоках 6 або 11 або 16. Виконується перевірка чи вимкнено загальне живлення (блок 19) якщо так то передається команда стоп для зупинки всієї системи (блок 20), якщо ні то знову відбувається перевірка чи включений електродвигун (блоки 4, 9 чи 14).

### 4.3 Перевірка спроектованої системи керування козловим краном на надійність

#### 4.3.1 Аналіз можливих відмов встановленого обладнання

Розрахунок надійності буде виконано відповідно до вимог ДСТУ 2861-94 та зводиться до розрахунку ймовірності безвідмовної роботи виробу і часу напрацювання на відмову [54].

Розрахунок виконують базуючись на наступних припущеннях:

- відмови будь-яких елементів є подіями незалежними та випадковими;
- облік впливів умов роботи виконується наближено;

- імовірність безвідмовної роботи будь-яких елементів змінюється від часу за експоненціальним законом, тобто інтенсивність відмов не буде залежати від часу;

- параметричні відмови окремо враховуватись не будуть.

Структура механізму переміщення козлового крану та переміщення візка аналогічна наведеній структурі механізму підйому вантажу (рис. 4.8).

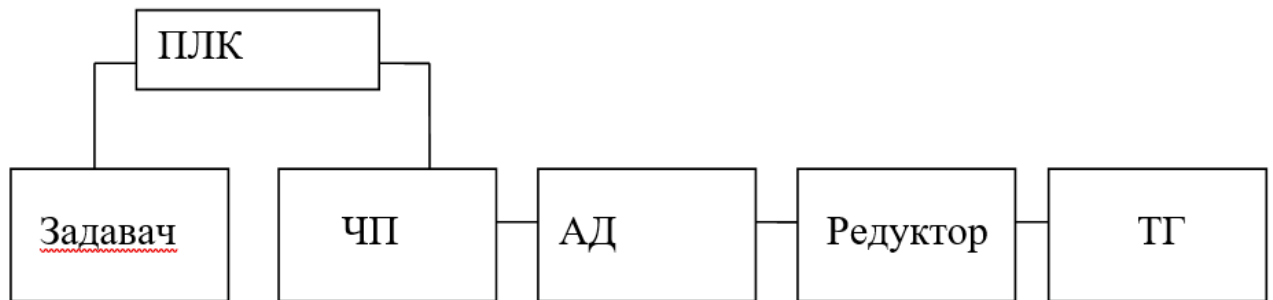


Рисунок 4.9 – Загальна структура механізму підйому вантажу для розрахунку надійності

Механізм підйому вантажу (будівельних матеріалів)

Визначимо інтенсивність відмов СК в цілому за лабораторних умов роботи за наступною формулою (4.2) [55-57]:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6, \quad (4.2)$$

де величини інтенсивності відмов компонента (рис. 4.9) задавач -  $\lambda_1 = 2,5 \cdot 10^{-5}$  1/год; ПЛК -  $\lambda_2 = 7 \cdot 10^{-5}$  1/год; ЧП -  $\lambda_3 = 4 \cdot 10^{-5}$  1/год; АД -  $\lambda_4 = 12 \cdot 10^{-5}$  1/год; редуктор -  $\lambda_5 = 10 \cdot 10^{-5}$  1/год; тахогенератор -  $\lambda_6 = 5 \cdot 10^{-5}$  1/год.

$$\lambda = (2,5 + 7 + 4 + 12 + 10 + 5) \cdot 10^{-5} = 40,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Розрахунок впливів умов експлуатації обладнання в орієнтовних розрахунках виконується за допомогою використання так званого поправочного коефіцієнта  $K_\lambda$ . Визначимо даний поправочний коефіцієнт за наступною формулою:

$$K_\lambda = K_{\text{екс}} + K_{\text{наван}} + K_{\text{покр}} \quad (4.3)$$

де  $K_{\text{екс}}$  - коефіцієнт експлуатації, використовується для перерахунку інтенсивностей відмови типів або груп від режимів випробувань до умов експлуатації, приймається  $K_{\text{екс}} = 4$ ;  $K_{\text{наван}}$  - коефіцієнт електричного навантаження, приймається  $K_{\text{наван}} = 1$ ;  $K_{\text{покр}}$  - коефіцієнт розрахунку надійності, пов'язаний із постійним удосконаленням технології, приймається  $K_{\text{покр}} = 1$  [55-57].

$$K_\lambda = 4 + 1 + 1 = 6.$$

Розрахуємо величину інтенсивності відмов системи в цілому згідно наступної формули:

$$\lambda_o = \lambda \cdot K_\lambda; \quad (4.4)$$

$$\lambda_o = 40,5 \cdot 10^{-5} \cdot 6 = 243 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи всієї системи в діапазоні реального часу від 0 до 4000 годин. Для цього визначимо значення ймовірностей згідно із (4.5) та побудуємо графічну залежність  $P(t)$  (див. рис. 4.10) [55-57].

$$P(t) = e^{-t\lambda_o}. \quad (4.5)$$

Визначимо необхідний час напрацювання на відмову, як величину обернену до величини інтенсивності відмов за наступною формулою [55-57]:

$$T_m = \frac{1}{\lambda_0}; \quad (4.6)$$

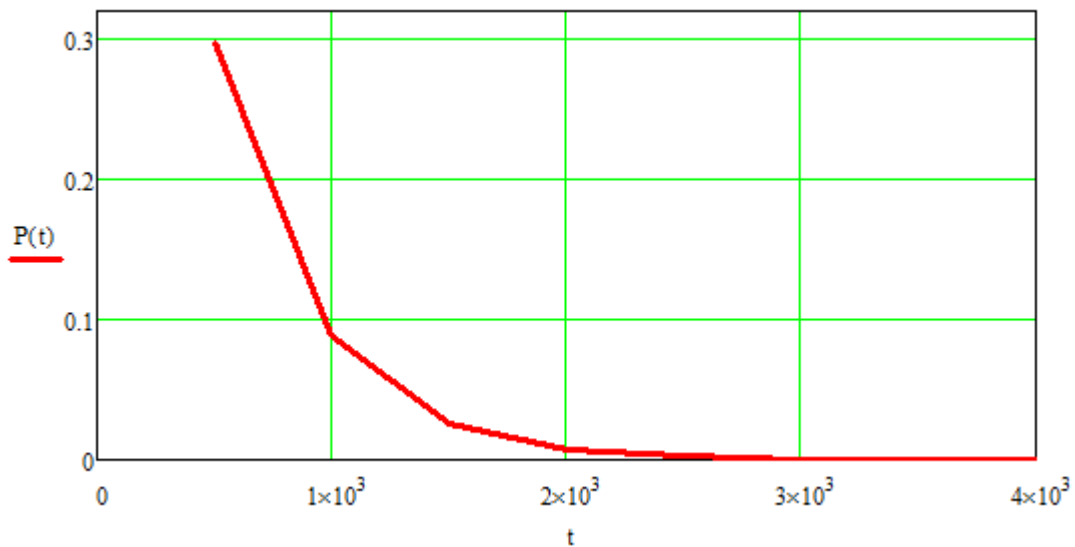


Рисунок 4.10 - Графічна залежність величини P(t) механізму підйому будівельних матеріалів

$$T_m = \frac{1}{243 \cdot 10^{-5}} = 411,5 \text{ год.}$$

#### Механізм транспортування візка

Визначимо необхідні величини інтенсивності відмов компонента: задавач -  $\lambda_1 = 2,5 \cdot 10^{-5}$  1/год; ПЛК -  $\lambda_2 = 9 \cdot 10^{-5}$  1/год; ЧП -  $\lambda_3 = 3 \cdot 10^{-5}$  1/год; АД -  $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-5}$  1/год; редуктор -  $\lambda_5 = 10 \cdot 10^{-5}$  1/год; тахогенератор -  $\lambda_6 = 5 \cdot 10^{-5}$  1/год [55-57].

Визначимо інтенсивність відмов системи в цілому при лабораторних

умовах роботи відповідно до формули (4.2) [55-57]:

$$\lambda = (2,5 + 9 + 3 + 2 + 10 + 5) \cdot 10^{-5} = 31,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Виконаємо облік впливів умов експлуатації виробу відповідно до формули (4.3):

$$K_{\lambda} = 4 + 1 + 1 = 6.$$

Тоді величина інтенсивності відмов системи відповідно до формули (4.4) буде дорівнювати:

$$\lambda_0 = 31,5 \cdot 10^{-5} \cdot 6 = 189 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи всієї системи в діапазоні реального часу від 0 до 4000 годин. Для цього визначимо значення ймовірностей згідно із (4.5) та побудуємо графічну залежність  $P(t)$  (рис. 4.11) [55-57].

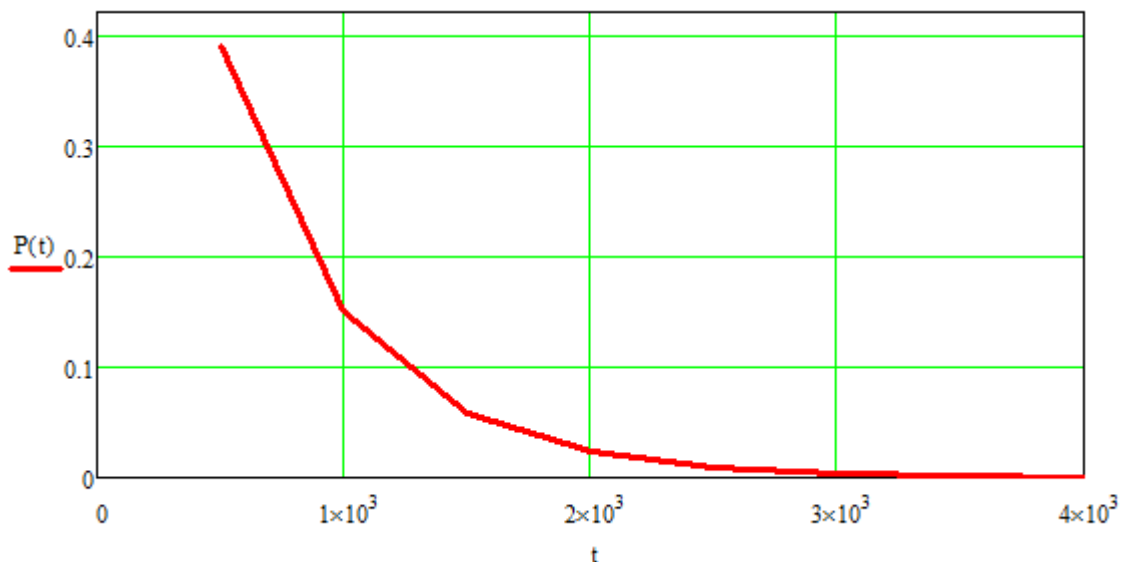


Рисунок 4.11 - Графічна залежність величини  $P(t)$  механізму транспортування візка

Визначимо необхідний час напрацювання на відмову, як величину обернену до величини інтенсивності відмов за наступною формулою [55-57]:

$$T_m = \frac{1}{189 \cdot 10^{-5}} = 529,1 \text{ год.}$$

Механізм транспортування козлового крана

Визначимо необхідні величини інтенсивності відмов компонента: задавач -  $\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-5}$  1/год; ПЛК -  $\lambda_2 = 6 \cdot 10^{-5}$  1/год; ЧП -  $\lambda_3 = 5 \cdot 10^{-5}$  1/год; АД -  $\lambda_4 = 3 \cdot 10^{-5}$  1/год; редуктор -  $\lambda_5 = 10 \cdot 10^{-5}$  1/год; тахогенератор -  $\lambda_6 = 5 \cdot 10^{-5}$  1/год [55-57].

Визначимо інтенсивність відмов системи в цілому при лабораторних умовах роботи відповідно до формули (4.2):

$$\lambda = (2 + 6 + 5 + 3 + 10 + 5) \cdot 10^{-5} = 31 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Виконаємо облік впливів умов експлуатації виробу відповідно до формули (4.3):

$$K_\lambda = 4 + 1 + 1 = 6.$$

Тоді величина інтенсивності відмов системи відповідно до формули (4.4) буде дорівнювати:

$$\lambda_o = 31 \cdot 10^{-5} \cdot 6 = 186 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи всієї системи в діапазоні реального часу від 0 до 4000 годин. Для цього визначимо значення ймовірностей згідно із (4.5) та побудуємо графічну залежність  $P(t)$  (див. рис. 4.12).

Визначимо необхідний час напрацювання на відмову, як величину

обернену до величини інтенсивності відмов за наступною формулою [55-57]:

$$T_{.m} = \frac{1}{186 \cdot 10^{-5}} = 537,6 \text{ год.}$$

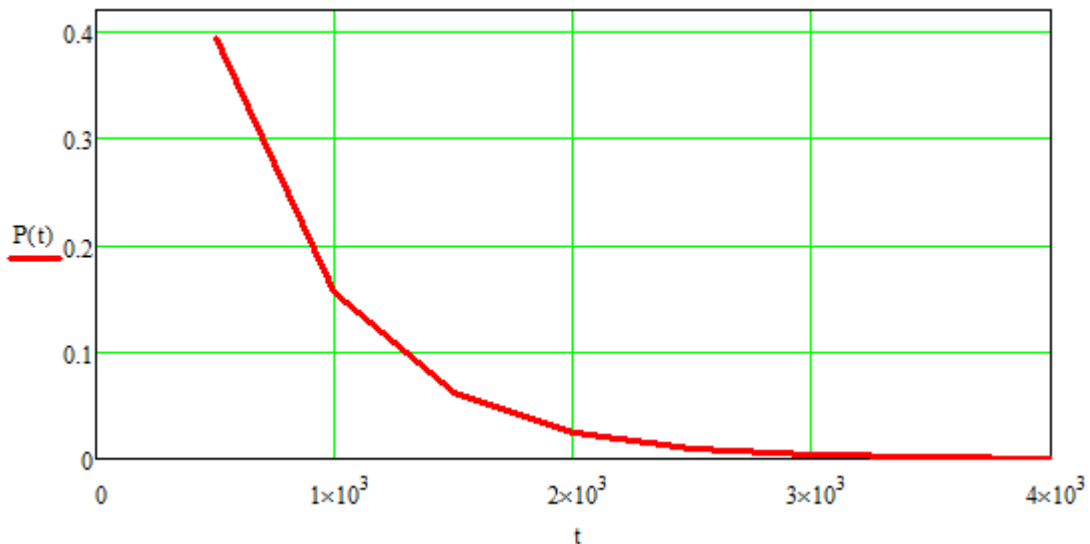


Рисунок 4.12 - Графічна залежність величини P(t) механізму транспортування козлового крана

#### 4.3.2 Пропозиції щодо підвищення надійності системи керування

Козловий кран являє собою систему, що складається з невідновлюваних та відновлюваних складових. У разі відмови одні складові можуть бути відновлені та знову введені в експлуатацію (наприклад, гальмівні накладки або зубчасті напівмуфти), інші повинні бути замінені новими (наприклад, підшипники, сталевий канат, тощо).

Козловий кран може перебувати в чотирьох станах: працездатному, справному, непрацездатному та несправному [9-12].

У працездатному стані козловий кран здатний виконувати лише свої робочі функції, але в конструкції крану можуть бути несуттєві пошкодження обшивки кабіни, зміна забарвлення тощо.

У справному стані козловий кран виконує не лише всі свої робочі функції,

а також може виконувати допоміжні, наприклад забезпечувати зручність ремонту.

Коливання в термінах служби деталей можуть бути викликані різними умовами їх експлуатації. Підвищення надійності козлових кранів зумовлене не тільки конструкцією та загальною якістю виготовлення, але і умовами експлуатації кранів [9-12, 55-57].

Надійність роботи механізму підйому вантажів крану залежить від конструкції та справності канатних блоків. Під час сходження канатів із канатних блоків через пошкодження країв даних блоків та спеціалізованих запобіжних пристроїв, канат досить швидко зношується через постійне тертя об осі канатних блоків. У зв'язку з цим рекомендується використовувати в конструкції сталеві блоки, які є міцнішими за чавунні, спеціальні огороження, що охоплюють канатні блоки із мінімальним зазором. Термін служби сталевих канатів можливо збільшити підбором діаметрів канатних блоків та барабанів, правильним укладанням їх на барабан та, відповідно, надійним кріпленням на барабані, а також за умови регулярного догляду за ними та своєчасного нанесення змазки [9-12].

Найнадійніші зубчасті муфти, які необхідно монтувати для з'єднання не лише валів, а і редукторів з барабанами. Відмови колодкових гальм найчастіше викликані досить швидким зношуванням гальмівних шківів та гальмівних накладок. Гальмівні накладки з вальцьованої стрічки є більш довговічними, тому їх використання буде підвищувати термін загальної служби гальм. Для збільшення надійності необхідно виконати заміну гальмівних електромагнітів на більш надійні електро-гідроштовхачі. Якщо використовуваний гальмівний пристрій не дозволяє встановлювати спеціальний електро-гідроштовхач, то необхідно виконати заміну всього комплекту гальмівного пристрою. Надійність роботи механізмів транспортування визначається надійністю ходових коліс [9-12, 18, 19], яку можна збільшити, шляхом підвищення їх зносостійкості за допомогою термообробки. На довговічність використання ходових коліс

негативний вплив має явище пробуксовування, що виникає за завищеної потужності електродвигуна механізму транспортування та різкого гальмування. Надійність механізмів транспортування козлових кранів забезпечується також у випадку правильного монтажу кранових шляхів руху.

На надійність роботи козлових кранів має вплив також ступінь їх захисту від виникнення корозії. У зв'язку з цим усі схильні до корозії частини козлового крана необхідно фарбувати. Поряд із олійними фарбами використовують нові спеціальні захисні полімерні засоби, які є суттєво довговічнішими у порівнянні з відомими раніше засобами [9-12, 18].

Для зменшення термінів ремонту та спрощення обслуговування козлових кранів необхідно використати наступне: стандартизацію та нормалізацію деталей та вузлів; використання зносостійкіших та міцніших матеріалів; спрощення загальної конструкції козлового крана; монтажу сигнальних та запобіжних пристроїв; крім того високої кваліфікації людей-операторів.

#### 4.4 Висновки до четвертого розділу

Описано апаратно-технічну реалізацію проєкту автоматизації системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Розроблено алгоритм керування козловим краном на складі будівельних матеріалів.

Виконано розрахунок надійності всіх систем та запропоновано пропозиції щодо підвищення надійності системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів.

## ВИСНОВКИ

На підставі відомих припущень розроблено та запропоновано математичну модель механічної системи переміщення козлового крана та транспортування візка.

Розроблено структуру об'єктів та створено за допомогою програмного середовища MATLAB спеціальну обчислювальну модель. Виконано структурний синтез систем керування. Для механізмів переміщення козлового крана та транспортування візка було запропоновано замкнуту систему керування за швидкістю.

У роботі було проведено розрахунок обладнання, обрано механічні елементи в приводах пересування крана, транспортування візка і підйому вантажу. Спроектовано майданчик, на якому перебуває людина-оператор під час керування всіма рухами козлового крана.

Проведені аналітичні дослідження дали змогу визначити оптимальні налаштування регуляторів системи керування. Для системи переміщення крана та транспортування візка були розроблені зміни вхідного впливу. Розроблені системи задовольняють усім встановленим вимогам. Виконано розрахунок надійності всіх систем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с. ISBN 978-966-2007-12-1.
2. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
3. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів / Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. – Кіровоград: Видавець – Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с.
4. Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. – 506 с.
5. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В.М. Сідлецький, С. М. Швед ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. – Київ : Ліра-К, 2015, 2019. – 378 с.
6. Гончаренко Б. М., Ладанюк А. П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: Підруч. – К.: НУХТ, 2014. – 530 с.
7. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: Навч. посіб. / – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.
8. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
9. Будівельні та колійні машини. Ч.2. Будівельна техніка: Навч. посіб. / А.М. Кравець, А.В. Євтушенко, А.В. Погребняк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 274 с., рис. 115, табл. 1. ISBN 978-617-654-058-8
10. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини: Навч. посіб. - Харків НТУ «ХПІ», 2005. - 304 с.

11. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: Підручник. - Старобільськ: ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2018. - 277 с.
12. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. - К.: Вища школа, 1993. - 413 с.
13. Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство. Підручник. – Рівне : НУВГП, 2016. – 448 с. ISBN 978-966-327-283-2
14. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції: довідник. / За ред. К. К. Пушкарьової). – К. : Асоціація "ВСВБМВ", 2012. – 664 с.
15. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів: НПАОП 0.00-1.01-07.- К.: Основа, 2007. - 312 с.
16. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт: НПАОП 0.00-1.75-15. – К.: Основа, 2015. – 30 с.
17. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12) – К.: МінРегіон, 2012. – 120 с.
18. Cranes-Measurement of wheel alignment. International Standard ISO 11630:1997(E). Printed in Switzerland. ICS 53.020.20 / Lipatov A., Forsander L. – 10 p.
19. ДСТУ 2484-94 Рейки кранові. Технічні умови (ГОСТ 4121-96, IDT). З Поправкою (ІПС № 2-2005) – К.: Держстандарт, 1997. – 15 с.
20. РЕДУКТОРИ, МОТОР-РЕДУКТОРИ [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CAIQw7AJahcKEwiwsYTnnraAAxUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.transtecno.com.ua%2Fknowledge-base%2Fcatalogs.raw%3Ftask%3Dcallelement%26item\\_id%3D56%26element%3Dd682ce17-47fa-4d2d-a6eb-23a37861c5e9%26method%3Ddownload&psig=AOvVaw3IeaJzCH3Tc0u7TZ76BffB&ust=1690799823256030&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CAIQw7AJahcKEwiwsYTnnraAAxUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.transtecno.com.ua%2Fknowledge-base%2Fcatalogs.raw%3Ftask%3Dcallelement%26item_id%3D56%26element%3Dd682ce17-47fa-4d2d-a6eb-23a37861c5e9%26method%3Ddownload&psig=AOvVaw3IeaJzCH3Tc0u7TZ76BffB&ust=1690799823256030&opi=89978449)

21. ДСТУ EN ISO 3580:2019 Зварювальні матеріали. Електроди з покриттям для ручного дугового зварювання жароміцних сталей. Класифікація (EN ISO 3580:2017, IDT; ISO 3580:2017, IDT) – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 40 с.
22. Лазарєв Ю. Ф. Довідник з MATLAB / Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.
23. Гаєв Є.О., Нестеренко Б.М. Універсальний математичний пакет MATLAB і типові задачі обчислювальної математики. Навчальний посібник.– К.: НАУ, 2004. – 176 с.
24. Лазарєв Ю. MATLAB 5.x. – К.: BVH, 2000. – 384 с.
25. Буката Л.Н. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: навчальний посібник. – Ч. 1. – Модуль 2 / Буката Л.Н., Глазунова Л.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 84 с.
26. Шаповаленко В. А. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: Навчальний посібник. Модуль 1. / В. А. Шаповаленко, Л. М. Буката, О. Г. Трофименко. – Одеса : ВЦ ОНАЗ, 2010. – Ч. 1. – 95 с.
27. Гурко О.Г., Єрмоєнко І.Ф. Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навч. посіб. / О.Г. Гурко, І.Ф.Єрмоєнко. – Харків: ХНАДУ, 2011. - 286 с.
28. Getting Started with MATLAB. Version 6.5. The MathWorks, Inc., 2002.
29. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink>
30. Matlab Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: - <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/control>
31. Теорія механізмів і машин. Деталі машин: розрахунки механічних передач / Кірієнко О.А., Гузенко Ю.М. Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін.-т». – К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 188 с.
32. Кірієнко О.А. Прикладна механіка: навчальний посібник для студ. ВНЗ / О.А.Кірієнко, В.І.Коломієць ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України,

Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін.-т». – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 208 с.

33. Кірієнко О.А. Теорія механізмів і машин: навчальний посібник для студентів ВНЗ / О.А.Кірієнко ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін.-т». – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 232 с.

34. ЗМП-31,5 (4МП-31,5) мотор-редуктор планетарний [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://systemax.ua/ua/reduktory/planetarnie-reduktori/3mp/3mp-31-5.html>

35. Зубчаста муфта типу МЗ-3-Н40 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://aip.com.ua/dlya-krana/mufta-zub-mz/mz-3>

36. Електропривод: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.

37. Назар'ян Г.Н. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник / Г.Н. Назар'ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотник, О.В. Ковальов // – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 201 с.

38. Електродвигуни асинхронні. Каталог. – Х.: «Торговий дім «Helz». 2009. – 44 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.td-helz.com.ua](http://www.td-helz.com.ua)

39. Бондаренко В.І. Основи електропривода: Навч. посіб. / В.І. Бондаренко, Ю.О. Крисан. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 402 с.

40. Крановий електродвигун МТН 311-8 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://slemz.com.ua/elektrodriguni/kranovi/mtn-311-8>

41. Мотор-редуктор ЗМП-125 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://slemz.com.ua/motor-reduktory/planetarnyy-motor-reduktor-3mp-125>

42. Редуктори вертикальні кранові триступеневі типу В-100...В-250 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://sdm-group.com.ua/reduktory-vertikalnye-kranovye-trekhstupenchatye-tipa-v-100-v-250/>

43. Електродвигун АІР71А4/АІР71А4 [Електронний ресурс] – Режим

доступу:

<https://slemz.com.ua/elektrodiviguni/zagalnopromyslovi/elektrodivygun-air-71a4-055kvt-1500obhv>

44. Гальмо ТКТ-100 (з МО-100) [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://220-energy-380.com/ua/p3992867-tormoz-tkt-100.html>

45. Частотні перетворювачі серії ЕПВ [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://chastotnik.pro/upload/iblock/bbe/bbe20598103b037ae6ee6d5e929d55cf.pdf>

46. Мікроконтролери SIMATIC S7-200 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rts.ua/rus/catshop/604/Kontrollery-PLC-SIMATIC-S7-200/>

47. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб./ М.В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 436 с.

48. Технічні засоби автоматизації / В.В. Ткачов, В.П. Чернишев, М.М. Одновол; Нац. гірн. ун-т. - Д. : НГУ, 2007. - 174 с.

49. Промислові засоби автоматизації. Ч.1. Вимірювальні пристрої: навч. посіб. / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін.; Х.: НТУ «ХПІ», 2001. - 470с.

50. Промислові засоби автоматизації. Ч.2. Регулюючі і виконавчі пристрої: навч. посіб. / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін.; Х.: НТУ «ХПІ», 2001. - 658с.

51. Центральний процесор CPU224XP [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.avigan.com.ua/page/cpu-224-xp/mp/4163/>

52. Модуль вводу-виводу дискретних сигналів Siemens Simatic S7-200 EM223 6ES7 223-1BL22-0XA0 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

[https://www.promstock.com.ua/index.php?route=product/product&product\\_id=4052](https://www.promstock.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=4052)

53. Модуль позиціонування EM253 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.avigan.com.ua/page/modul-pozicionirovaniya-em-253/mp/4164/>

54. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. - К.: Держстандарт, 1995. – 32 с.

55. Міляєв Ю. П. Основи надійності технічних систем: навч. посіб. / Ю. П. Міляєв, О. М. Нечипоренко. – К.: Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2008. – 246 с. – Бібліогр.: с. 242–245. – 300 пр. – ISBN 978- 966-96983-5-3.

56. Канарчук В. Є. Надійність машин: підруч. / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – К.: Либідь, 2003. – 424 с. – Бібліогр.: с. 418. – 2000 пр. – ISBN 966-06-0215-4.

57. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

### Тези конференції

УДК 681.52

Технологічні процеси виробництва виробів

#### ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ

Євдокимов О.,  
Форкун І.В.

*Хмельницький національний університет*

Спеціалізоване кранове електрообладнання є одним з основних технологічних засобів комплексної механізації та автоматизації всіх галузей господарства. Переважна більшість спеціалізованих вантажопідіймальних машин, що виготовляються нашою промисловістю, оснащено електроприводом основних робочих механізмів, і тому дії даних спеціалізованих машин значною мірою залежать саме від якісних показників кранового обладнання, що використовуються в технологічному процесі [1-4].

Транспортування вантажів, пов'язане із застосуванням вантажопідійомних операцій, у всіх галузях господарства, на транспорті та в будівництві виконується за допомогою використання різнопланових вантажопідійомних машин (ВПМ).

ВПМ застосовують для вантажно-розвантажувальних робіт, транспортування вантажів у технологічному процесі виробництва чи будівництва або при виконанні ремонтно-монтажних робіт із застосуванням великогабаритних агрегатів. ВПМ із використанням електричних приводів мають надзвичайно широкий діапазон застосування, що характеризується досить широким інтервалом потужностей електроприводів від сотень ват до 1 МВт.

Електропривод більшості ВПМ характеризується повторно-короткочасним режимом роботи за більшої частоти ввімкнення, широкого діапазону регулювання швидкості та значних перевантажень, які постійно виникають під час розгону та гальмування механізмів. Особливі умови застосування електроприводу у ВПМ стали базою для розробки спеціальних серій електричних двигунів та апаратів саме для кранового виконання [1-4].

Оскільки в більшості випадків одні й ті самі типи робіт можуть бути виконані різними типами кранового обладнання, то в кожному конкретному випадку необхідно виконувати вибір оптимального типу кранового обладнання на основі порівняння декількох варіантів. Під час порівняння декількох варіантів необхідно враховувати, що вибір типу кранового обладнання в низці випадків суттєво впливає на загальну технологію виконуваних робіт [1-4].

Найчастіше виконується вибір та порівняння кранового обладнання між першою та другою групою обладнання.

Перша група обладнання - повно-поворотні самохідні крани загального призначення. Дана група використовується найширше, головні особливості - наявність автономних електродвигунів, суттєво вища початкова вартість, знижені трудомісткість та вартість приведення з транспортного положення в робоче [1-4].

Друга група обладнання - спеціалізовані універсальні крани загального призначення, або так звані жорстконогі та козлові крани. Крани даної групи відрізняються живленням електродвигунів від зовнішніх джерел, суттєво вужчою сферою використання, нижчою початковою вартістю, підвищеними трудомісткістю та вартістю приведення з транспортного положення в робоче.

При рівній вантажопідійомності вартість машино-зміни кранового обладнання другої групи буде суттєво нижчою, ніж для першої групи в випадку використання крана без перебазування протягом тривалого часу. При використанні кранового обладнання із частими перебазуваннями та короткочасною роботою більш економічним є саме кран першої групи.

Враховуючи те, що склад будівельних вантажів та матеріалів представляє собою будівлю, використання повно-поворотних самохідних кранів не представляється можливим. Більш доцільним варіантом буде встановлення кранового обладнання саме другої групи (наприклад, козлового), оскільки часте переустановлення не потрібне, а потрібне саме стаціонарне розташування [1-4].

Будова козлового крана заснована на балковому мосту, який закріплюється на рейковому шляху та талі. Кран працює від електродвигуна змінного струму, встановленого на так званій галереї моста. Пристрій пересування козлового крана може бути як центральним, так і роздільним за видом виконання. На них встановлюють рейки, для забезпечення транспортування кранового візка, закріпленого талю та іншими підйомними пристроями [1-4].

Вантажний візок козлового крана, за звичай, однорейковий, транспортується при використанні нижнього поясу, на ньому розміщені механізми підйому вантажу та транспортування талі.

По кінцях поздовжніх балок ніг розміщено ходові візки. Електропривід ходових коліс виконується за допомогою індивідуальних кранових електродвигунів через спеціальну систему зубчастих передач, в якості приводних використовується половина ходових коліс крана.

Енергопостачання козлових кранів виконується за допомогою використання гнучкого кабелю. Даний кабель намотується на спеціальний кабельний барабан, що закріплено на одній з ніг крана, що виконує обертання синхронно швидкості руху всього крана.

Усі козлові крани, що транспортуються рейковими коліями, забезпечені протиугінними захватами, що розраховані на утримання всієї конструкції крану в неробочому стані від дії сили вітру.

Для пом'якшення ударів козлових кранів об упори під час переміщення, на кінцевих ділянках підкранових колій встановлені спеціалізовані пружинні або пружинно-фрикційні буфери. Оскільки на даних ділянках також розташовані і кінцеві вимикачі, що переривають подачу струму до механізмів транспортування під час підходу крана до упорів, то під час розрахунку даних буферів приймають, що кран може виконати удар об встановлений буфер, рухаючись зі швидкістю, що не перевищує 70% від нормальної швидкості руху крану.

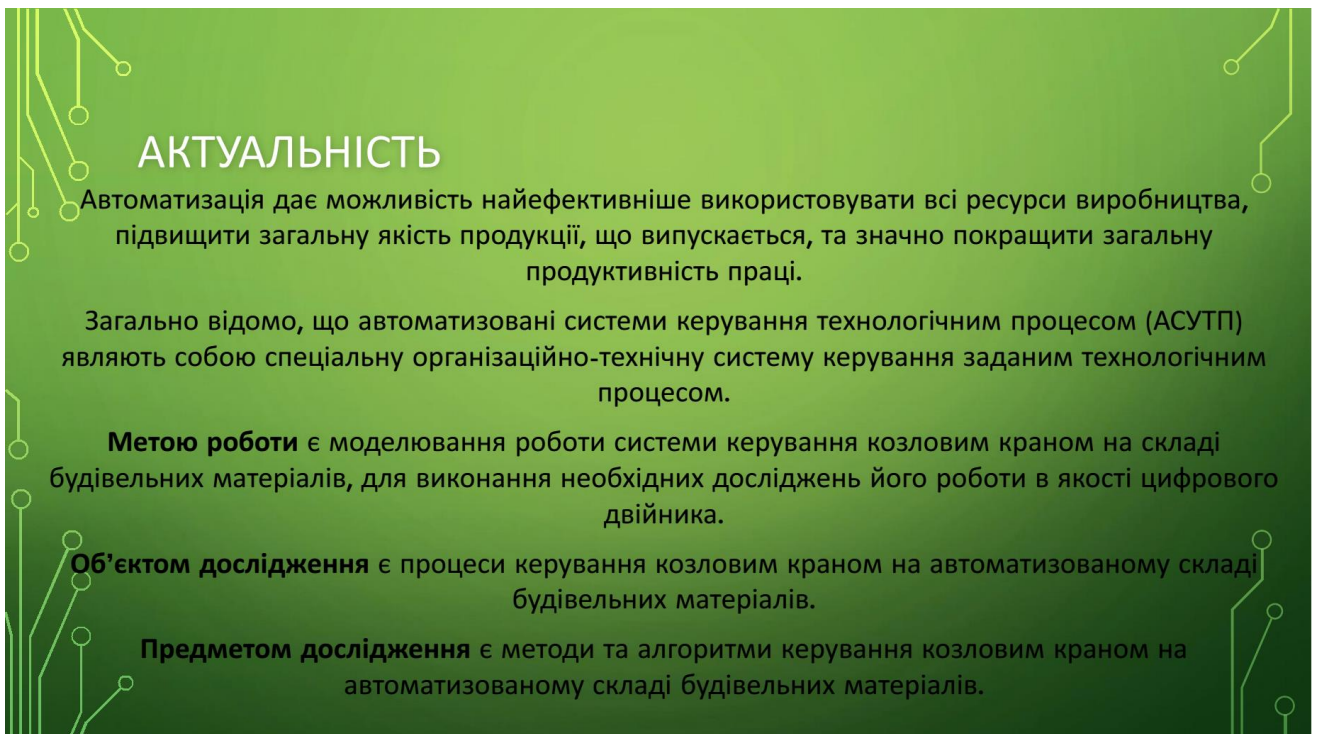
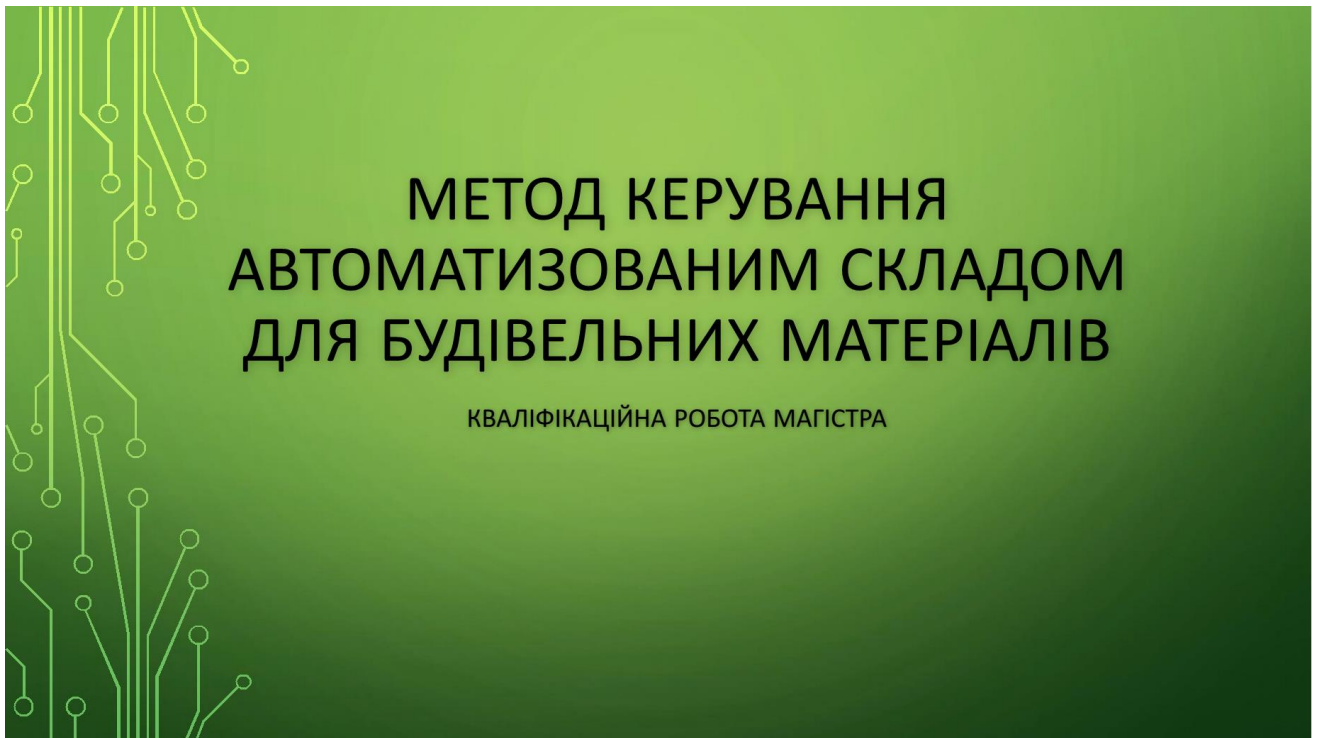
Козлові крани здатні виконувати транспортування досить габаритних будівельних вантажів, завдяки чому вони є незамінними для застосування на території відкритого складу, перевантажувальної бази чи, навіть, контейнерному терміналі. Тому, що навантаження підйому будівельного вантажу є саме стискаючим, а не розтягуючим зусиллям, а кран-балки отримали репутацію довговічних, безпечних та надійних конструкцій [1-4].

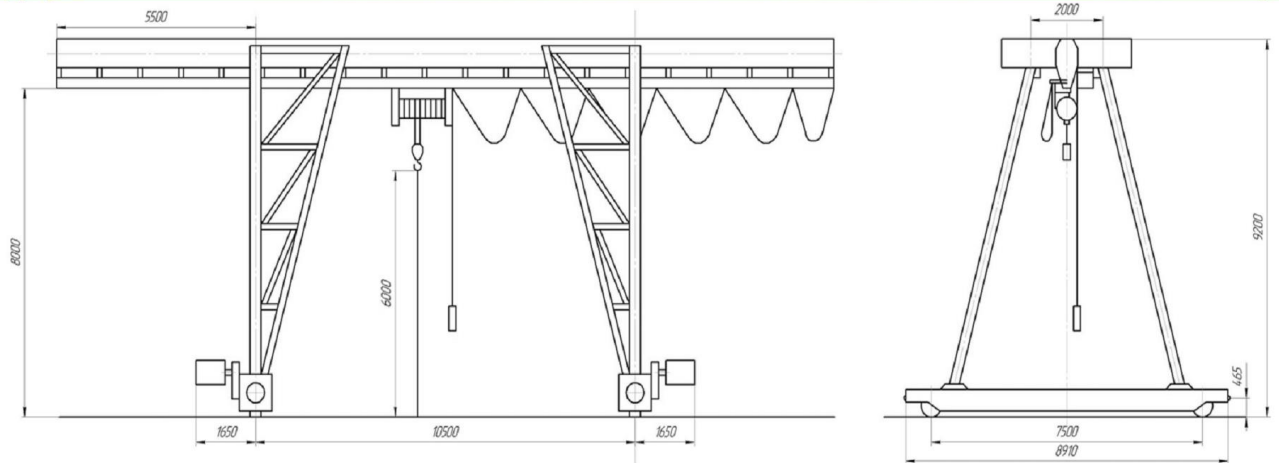
#### Перелік посилань

1. Будівельні та колійні машини. Ч.2. Будівельна техніка: Навч. посіб. / А.М. Кравець, А.В. Євтушенко, А.В. Погребняк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 274 с., рис. 115, табл. 1. ISBN 978-617-654-058-8
2. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини: Навч. посіб. - Харків НТУ «ХПІ», 2005. - 304 с.
3. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: Підручник. - Старобільськ: ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2018. - 277 с.
4. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. - К.: Вища школа, 1993. - 413 с.

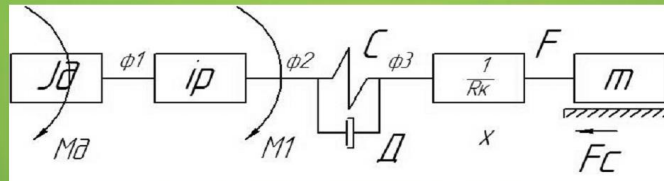
## Додаток Б

## Презентаційні слайди





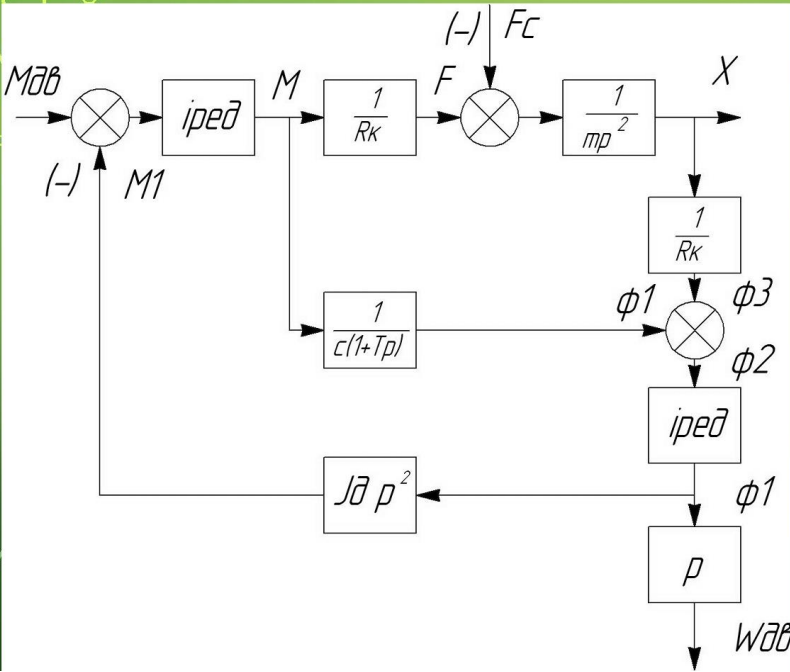
### РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНOM НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ



$$\begin{cases} M_1 = \left( M_d - J_d \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \right) \cdot i_{\text{РЕД}} \\ M_1 = C \cdot \varphi_1 + D \frac{d\varphi_1}{dt} \\ M_1 = \left( m \frac{d^2 X}{dt^2} + F_c \right) \cdot \frac{1}{R_k} \\ \varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_3 \\ \varphi_2 = \varphi_1 / i_{\text{РЕД}} \\ \varphi_3 = \frac{1}{R_k} \cdot X \end{cases}$$

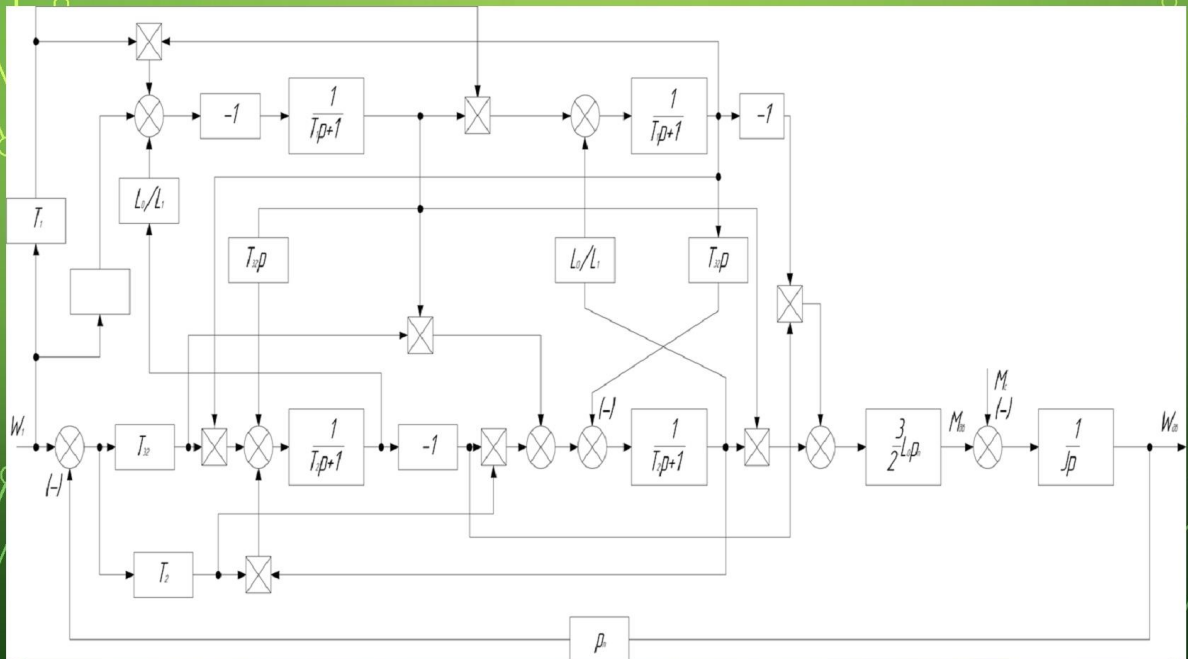
$$\begin{cases} M_1(p) = \left( M_d(p) - J_d p^2 \cdot \varphi_1(p) \right) \cdot i_{\text{РЕД}} \\ M_1(p) = C \cdot (T \cdot p + 1) \cdot \varphi_1(p) \\ M_1(p) = \left( m \cdot p^2 \cdot X(p) + F_c(p) \right) \cdot \frac{1}{R_k} \\ \varphi_1(p) = \varphi_2(p) - \varphi_3(p) \\ \varphi_2(p) = \varphi_1(p) / i_{\text{РЕД}} \\ \varphi_3(p) = \frac{1}{R_k} \cdot X(p) \end{cases}$$

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОК

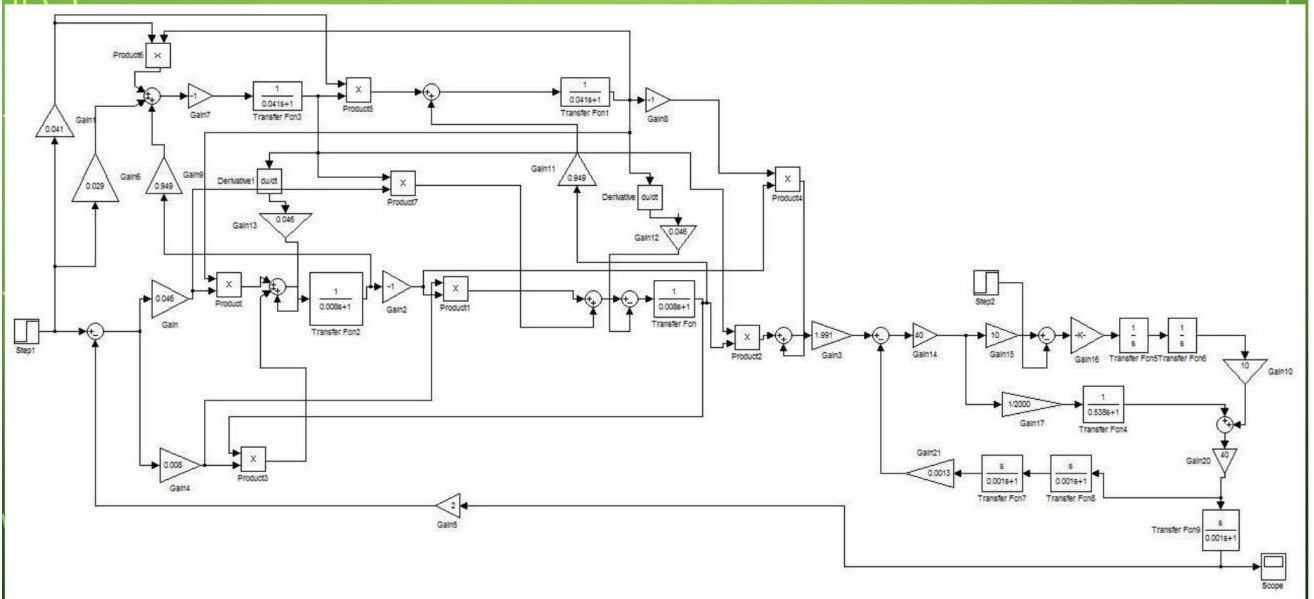


$$\begin{aligned}
 -(1+T_1 \cdot p) \cdot i_{\mu\alpha} &= \gamma^* \cdot \omega_1 - \frac{L_0}{L_1} \cdot i_{2\alpha} - T_1 \cdot \omega_1 \cdot i_{\mu\beta} \\
 -(1+T_1 \cdot p) \cdot i_{\mu\beta} &= \frac{L_0}{L_1} \cdot i_{2\beta} + \omega_1 \cdot T_1 \cdot i_{\mu\alpha} \\
 -(1+T_2 \cdot p) \cdot i_{2\alpha} &= T_{32} \cdot p \cdot i_{\mu\alpha} - (\omega_1 - \omega) \cdot T_{32} \cdot i_{\mu\beta} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_2 \cdot i_{2\beta} \\
 (1+T_2 \cdot p) \cdot i_{2\beta} &= T_{32} \cdot p \cdot i_{\mu\beta} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_{32} \cdot i_{\mu\alpha} + (\omega_1 - \omega) \cdot T_2 \cdot i_{2\alpha} \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot p_{II} \cdot L_0 \cdot (i_{\mu\beta} \cdot i_{2\alpha} + i_{\mu\alpha} \cdot i_{2\beta}) \\
 M &= J \cdot p \cdot \omega + M_C \\
 \omega &= p_{II} \cdot \omega_{dB}
 \end{aligned}$$

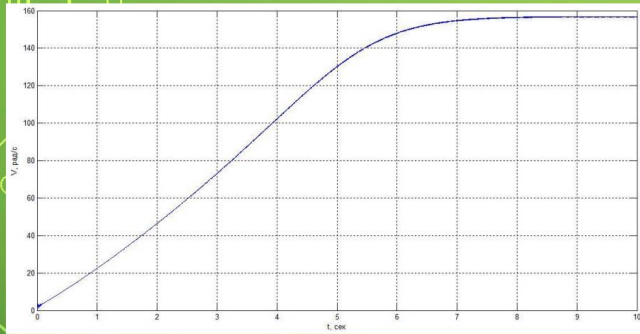
РОЗРОБЛЕНА ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ВИКОНАВЧОГО АД



ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

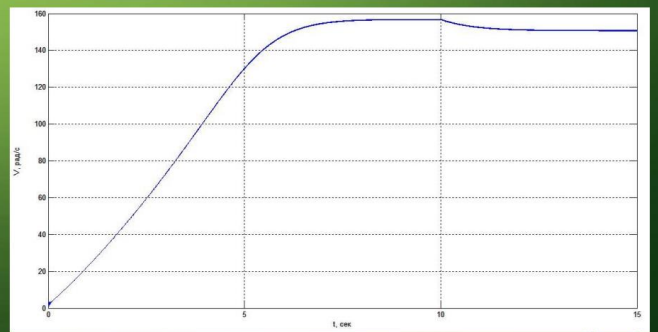


ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

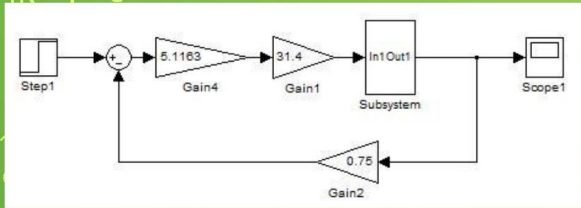


Графік перехідного процесу ОК без навантаження

Графік перехідного процесу ОК з навантаженням

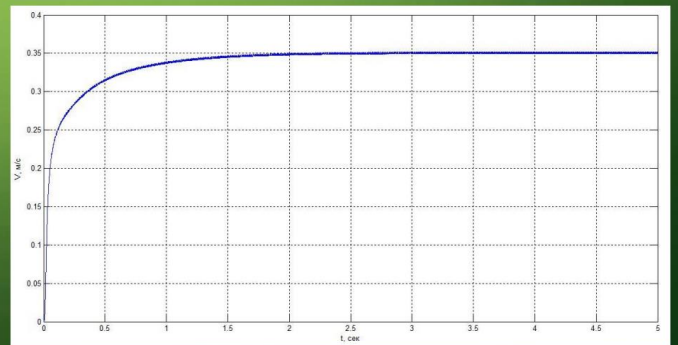


ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

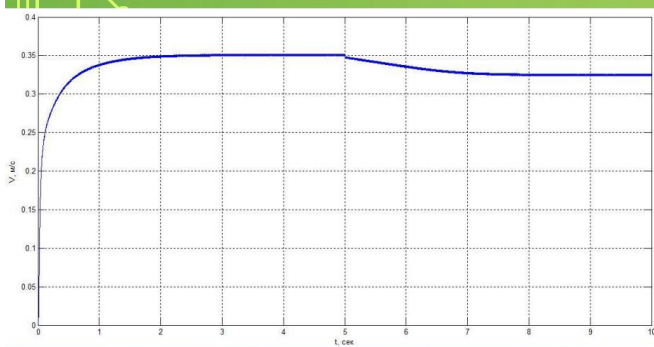


Запропонована обчислювальна модель приводу транспортування козлового крана із регулятором

Графік зміни швидкості в ОК транспортування козлового крана без навантаження

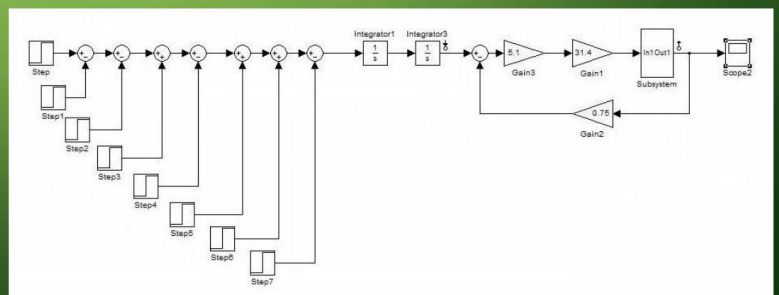


ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

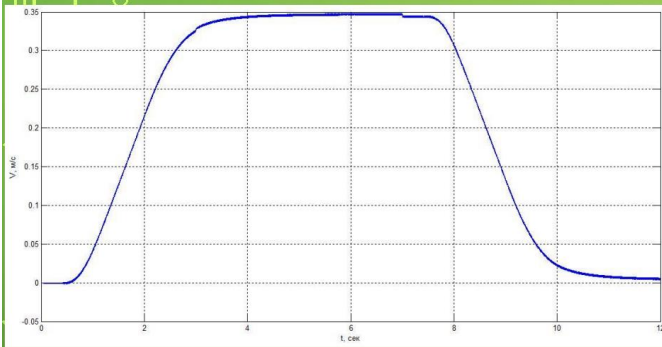


Запропонована обчислювальна модель приводу транспортування козлового крана із задавачем

Графік зміни швидкості в ОК транспортування козлового крана з навантаженням

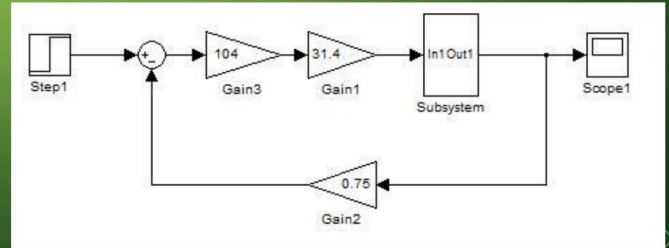


ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

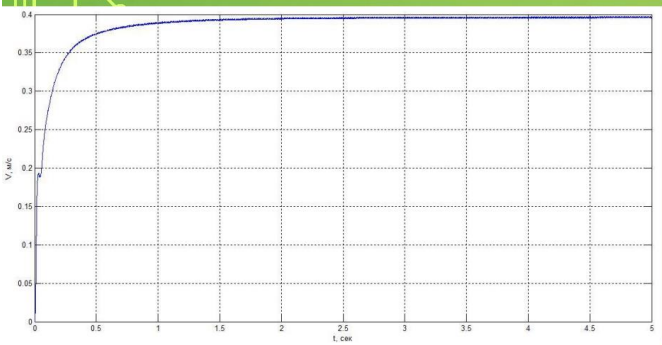


Графік зміни швидкості в ОК транспортування козлового крана із задавачем, без навантаження

Запропонована обчислювальна модель приводу транспортування візка з регулятором

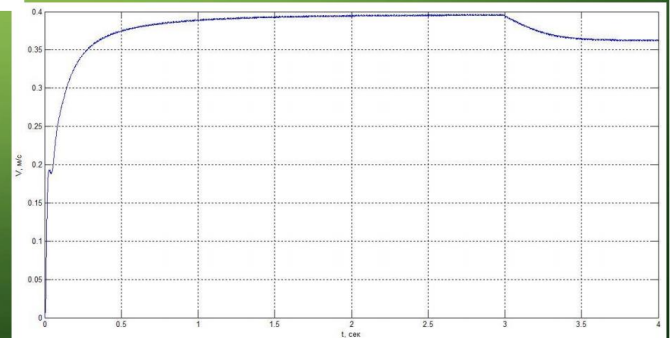


ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК

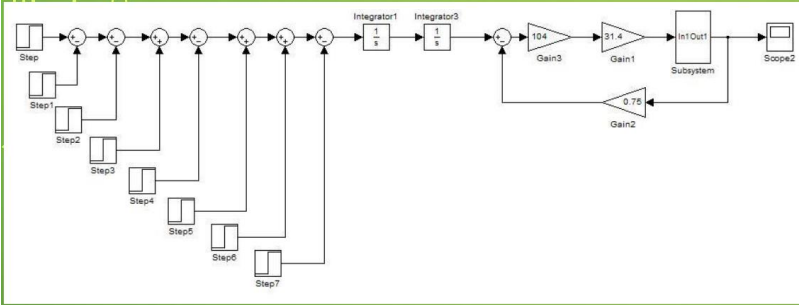


Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщенням крана із навантаженням

Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщенням візка без навантаження

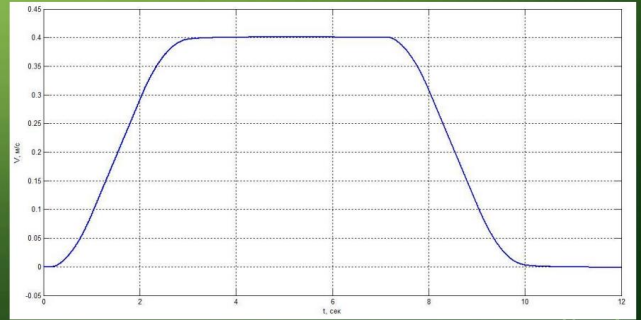


**ЗАПРОПОНОВАНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ ОК**

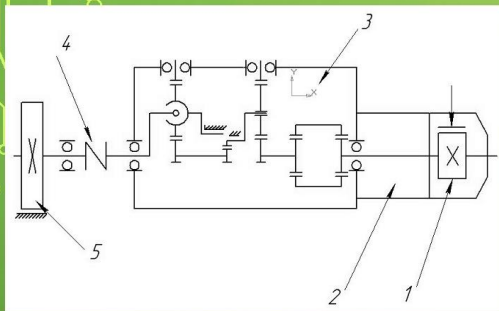


Запропонована обчислювальна модель приводу для переміщення візка із задавачем

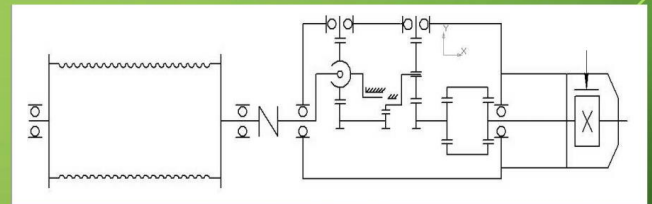
Графічна залежність зміни швидкості в ОК переміщення візка із задавачем, без навантаження



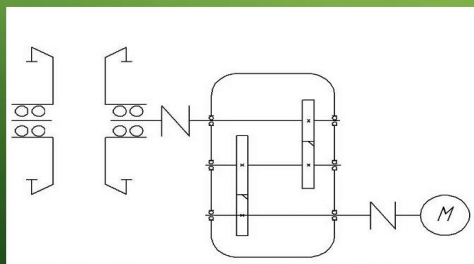
**РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ КОЗЛОВИГО КРАНУ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**



Кінематична схема приводного механізму для переміщення козлового крану



Кінематична схема механізму для підйому вантажів в козловому крані



Кінематична схема приводу переміщення візка козлового крану

**АПАРАТНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

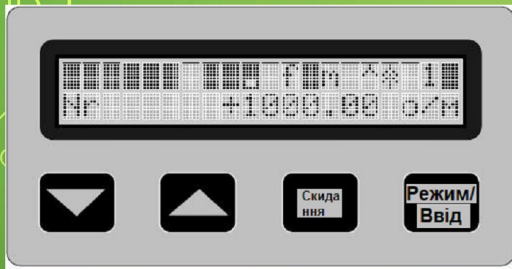


Загальний вигляд комплектного електроприводу

Загальний вигляд плат частотного перетворювача

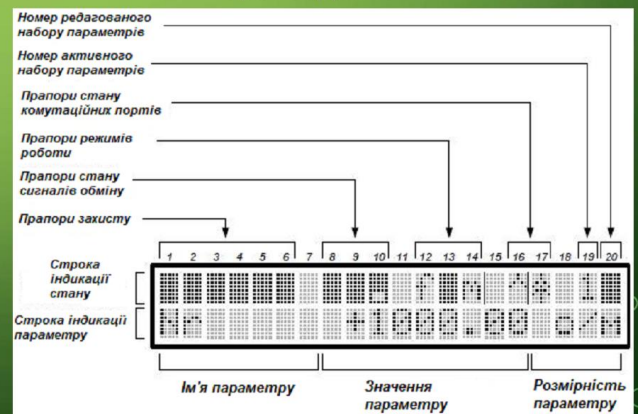


**АПАРАТНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА СКЛАДІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**



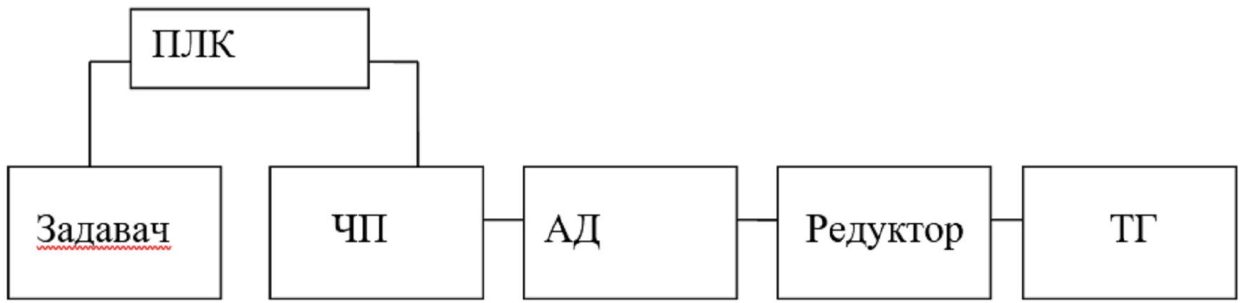
Загальний вигляд пульту керування частотного перетворювача

Загальний вигляд структури інформації на пульті керування





ПЕРЕВІРКА СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА НАДІЙНІСТЬ



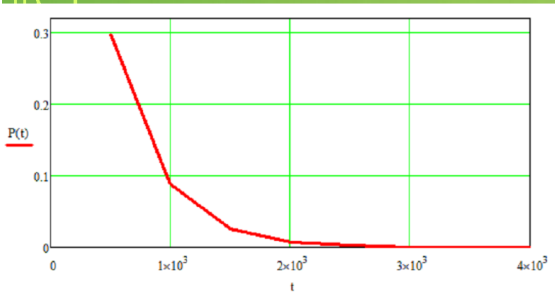
$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6,$$

$$K_\lambda = K_{\text{екс}} + K_{\text{наван}} + K_{\text{покр}}$$

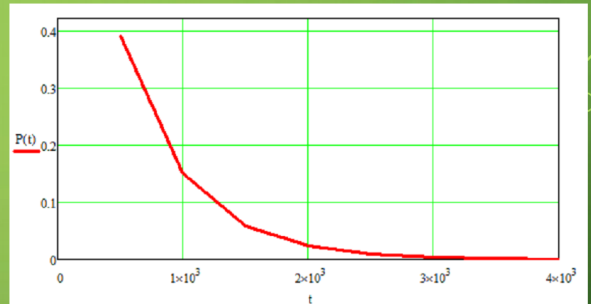
$$\lambda_o = \lambda \cdot K_\lambda;$$

$$P(t) = e^{-\lambda_o t}.$$

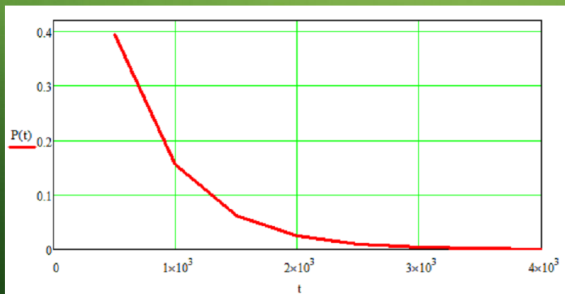
ПЕРЕВІРКА СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОЗЛОВИМ КРАНОМ НА НАДІЙНІСТЬ



Графічна залежність величини P(t) механізму підйому будівельних матеріалів



Графічна залежність величини P(t) механізму транспортування візка



Графічна залежність величини P(t) механізму транспортування козлового крана

Додаток В  
(вибірковий)

Короткі технічні характеристики козлового крану

Таблиця В.1 – Характеристики крану

Назва параметру	Значення параметру
Вантажопідйомність головного крюка	5 т
Швидкість підйому головного крюка	5 м/хв
Швидкість руху крана	16 м/хв
Швидкість переміщення візка	15 м/хв
Висота підйому головного крюка	6 м
Відстань переміщення крана	34 м
Режим роботи крана середній	С
Тривалість вмикання крана %	25%

Таблиця В.2 – Підвищення робочих швидкостей

Швидкість підйому головного крюка	8 м/хв
Швидкість руху крана	21 м/хв
Швидкість переміщення візка	24 м/хв

Додаток Г  
(вибірковий)

Параметри математичної моделі

Таблиця Г.1 – Параметри електродвигуна для переміщення козлового крану

Номінальна частота обертання	$n_n$	об/хв	1500
Номінальна напруга	$U_n$	В	380
Момент інерції ротора	$J_{об}$	кг·м <sup>2</sup>	0,0013
Номінальна потужність	$P_n$	Вт	0,55
Номінальне проковзування	$s_n$		0,073
ККД	$\eta$		0,705
cosφ			0,70
Число пар полюсів	$p_n$		2
Активний опір статора	$R_1$	Ом	16,937
Реактивний опір статора	$X_1$	Ом	11,204
Активний опір ротора	$R_2$	Ом	14,331
Реактивний опір ротора	$X_2$	Ом	26,057
Реактивний опір ланцюга намагнічування	$X_\mu$	Ом	208,454

Таблиця Г.2 – Параметри електродвигуна для переміщення візка

Номінальна частота обертання	$n_n$	об/хв	1500
Номінальна напруга	$U_n$	В	380
Момент інерції ротора	$J_{об}$	кг·м <sup>2</sup>	0,00079
Номінальна потужність	$P_n$	Вт	0,18
Номінальне проковзування	$s_n$		8,9
ККД	$\eta$		0,64
cosφ			0,64
Число пар полюсів	$p_n$		2
Активний опір статора	$R_1$	Ом	59,474
Реактивний опір статора	$X_1$	Ом	29,737
Активний опір ротора	$R_2$	Ом	58,866
Реактивний опір ротора	$X_2$	Ом	56,17
Реактивний опір ланцюга намагнічування	$X_\mu$	Ом	429,534

Додаток Д  
(вибірковий)  
Параметри обладнання

Таблиця Д.1 – Технічні параметри електродвигуна типу МТФ311-8

Параметри електродвигуна	Значення параметра
Потужність номінальна, $P_n$	7,5 кВт
Частота обертання номінальна, $n_n$	715 об/хв
Струм статора, $I_1$	23 А
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	0,68
ККД номінальне, $\eta_n$	73 %
Струм ротору, $I_2$	21 А
Напруга ротору, $U_2$	245 В
Максимальний момент, $M_{max}$	264,8 Нм
Маховий момент, $GD^2$	1,1 кг·м <sup>2</sup>
Напруга живлення, $U$	380 В
Частота, $f$	50 Гц
Тривалість вмикання, $PВ_{ст}$	40 %

Таблиця Д.2 – Параметри мотор-редуктора типу ЗМП-125

$n_{дв} = 715$ об/хв	$n_{вих} = 9$ об/хв	$i = 120$
$P_{дв} = 7,5$ кВт		$M_{max} = 7500$ Н·м

Таблиця Д.3 – Параметри електродвигуна та редуктора

$n_{дв} = 1500$ об/хв	$n_{вих} = 45$ об/хв	$i = 40$
4АА56В4У3 $P_{дв} = 0,18$ кВт		$J = 0,00079$ кг·м <sup>2</sup>

Таблиця Д.4 – Параметри частотного перетворювача

Параметр	Розмірність	Механізм переміщення ЕПВ-ТТПТ-5-380
Габаритні розміри (ШхВхГ)	мм	180x260x170
Номінальна вихідна потужність	кВ·А	3,3
Типова потужність електродвигуна для виконання №2	кВт	1,5
Напруга живлення	В	380 +10/-15%
Частота напруги живлення	Гц	48..63
Вихідна напруга	В	0...вихідна напруга
Вихідна частота	Гц	0..400
Номінальний вихідний струм $I_{НОМ}$ (дійсн.)	А	5
Максимальний вихідний струм $I_{МАХ}$ (дійсн.)	А	6,5
Струм спрацювання захисту $I_{МТЗ}$ (абсолютне значення)	А	12
Максимальний струм гальмування	А	10
Робочий діапазон температур навколишнього середовища	°С	0..+40

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Євдокимов О.В.

ПІВ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТм-22-1

### ЗАЯВА

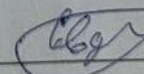
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2023

дата



підпис

Автоматизація технологічних процесів та  
РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів  
Автор: Свдокимов Олександр Володимирович  
Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 2,95% і адресується до 192 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 21.12.2023

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Ірина ФОРКУН

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Свдокимов Олексій Володимирович

Тема: Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень \_\_\_\_\_ Кількість сторінок записки \_\_\_\_\_ 88 \_\_\_\_\_

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено систему керування козловим краном на складі будівельних матеріалів
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій кранового обладнання для переміщення будівельних матеріалів на автоматизованому складі. Обрано необхідне механічне обладнання для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів. Виконано постановку завдань для автоматизації роботи складу будівельних матеріалів. У другому розділі розроблено модель системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів, виконано її математичний опис. Проведено дослідження динаміки об'єкта керування автоматизованої системи. У третьому розділі виконано розрахунок навантажень в електроприводах козлового крану на складі будівельних матеріалів та проведено підбір мотор-редукторів для переміщення козлового крану, підбір приводного механізму для підйому будівельних матеріалів на козловому крані, підбір приводного механізму переміщення візка козлового крану. У четвертому розділі описано апаратно-технічну реалізацію проєкту автоматизації системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Розроблено алгоритм керування козловим краном на складі будівельних матеріалів. Виконано розрахунок надійності всіх систем та запропоновано пропозиції щодо підвищення надійності системи керування козловим краном на складі будівельних матеріалів.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється програмній реалізації та техніці безпеки при роботі автоматизованої системи

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

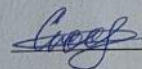
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,0/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Юлія Сергіївна Соколан, кандидат технічних наук, доцент, кафедра Будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет

“15” 12 2023 р.

 (підпис)

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:  
1015983889

Дата перевірки:  
08.12.2023 12:55:22 EET

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
15.12.2023 11:18:55 EET

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Євдокимов\_антиплаг (1)

Кількість сторінок: 90 Кількість слів: 12694 Кількість символів: 94086 Розмір файлу: 2.68 MB ID файлу: 1015664558

1933 слова позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

## 2.95% Схожість

Найбільша схожість: 1.51% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015664564)

2.39% Джерела з Інтернету 192 ..... Сторінка 92

2.18% Джерела з Бібліотеки 33 ..... Сторінка 94

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Не знайдено жодних посилань

## 0.04% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.04% Вилучення з Інтернету 23 ..... Сторінка 95

Немає вилучених бібліотечних джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 29

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3,0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 122177 Назва: Метод керування автоматизованим складом для будівельних матеріалів Додано в БД: 2023-12-08 Автора: Олексій Євдокімов Керівник: Ірина Форкун Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	69547	1021	4038 (6%)	59 (6%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми