

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

(тема)

Розроблення методу автоматизованої оцінки поточного технічного стану колісної
електромеханічної платформи на основі параметричної ідентифікації

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВМ-22-2
Нарожний О.О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно – інтегровані технології
освітньої програми Комп'ютерно -
інтегровані технологічні процеси та виробництва
(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ромашов Ю.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

Невлюдов І.Ш.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2024 р

Я Нарожний Олександр Олександрович, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки до кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

« 15 » Січня 2024р.

Нарожний О.О.



Харківський національний університет радіоелектроніки	
Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	151 Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництво (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Нарожному Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення методу автоматизованої оцінки поточного Технічного стану колісної електромеханічної колісної платформи на основі Параметричної ідентифікації

затверджена наказом по університету від _____ 03.11. 2023 р. № 1287 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 14.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Електромеханічні аналогії, рівняння динаміки систем

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Стан проблеми оцінки технічного стану колісних електромеханічних платформ
4.1.1 Колісні електромеханічні платформи 4.1.2 Метод автоматизованої оцінки технічного стану колісної платформи 4.1.3 Комп'ютерне моделювання процесів автоматизованої оцінки поточного технічного стану

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем плакатів комп'ютерних ілюстрацій. Демонстраційний матеріал представлений у вигляді у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 10 с. формату А4

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження та аналіз теми кваліфікаційної роботи	02.09 – 21.09	виконано
2	Розробка методу автоматизованої оцінки поточного стану	21.09 – 21.11	виконано
3	Розробка комп'ютерної моделі для параметричної ідентифікації	21.11 – 01.12	виконано
4	Розробка розрахункової схеми	01.12 – 11.12	виконано
5	Аналіз можливостей автоматизації оцінки поточного стану колісної платформи	11.12 – 01.01	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	01.01 – 15.01	виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів комп'ютерного	15.01 – 22.01	виконано
8	Представлення на рецензування	22.01 – 23.01	виконано

Дата видачі завдання 02.09.2023

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Нарожний О.О.

(прізвище, ініціали)

проф. Ромашов Ю.В

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79с., 1 табл., 27 рис ., 2 дод., 10 джерел

ІДЕНТИФІКАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДІАГНОСТИКА,
ОЦІНКА

Мета роботи – подальший розвиток методів автоматизованої діагностики поточного технічного стану електромеханічних колісних платформ.

Об’єкт розробки – електромеханічні колісні платформи.

Предмет розробки – оцінка поточного технічного стану колісної платформи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз стану проблеми оцінки технічного стану колісних електромеханічних платформ;
- розглянути способи побудови математичної моделі;
- розглянути способи автоматизації визначення поточного технічного стану колісних платформ;
- оформлення пояснювальної записки керуючись методичними вказівками кваліфікаційної роботи магістра [1] та ДСТУ 3008-15 [2].

ABSTRACT

Explanatory note: 79 pages, 1 table, 27 pictures, 10 sources, 2 applications

IDENTIFICATION, MATHEMATICAL MODEL, DIAGNOSTICS,
EVALUATION

The purpose of the work is the further development of methods of automated diagnostics of the current technical condition of electromechanical wheeled platforms.

The object of development is electromechanical wheeled platforms.

The subject of the development is an assessment of the current technical condition of the wheeled platform.

To achieve the goal, the following tasks must be solved:

- analyze the state of the problem of assessing the technical condition of wheeled electromechanical platforms;
- consider methods of building a mathematical model;
- consider methods of automating the determination of the current technical condition of wheeled platforms;
- drawing up an explanatory note guided by the methodological instructions of the Master's qualification work [1] and DSTU 3008-15 [2];

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Стан проблеми оцінки технічного стану колісних електромеханічних платформ.....	10
1.1 Колісні електромеханічні платформи	10
1.2 Експлуатація та оцінка поточного технічного стану	13
1.3 Показники надійності та моделі пошкоджень	17
1.4 Висновки до розділу.....	20
2 Метод автоматизованої оцінки технічного стану колісної платформи.....	21
2.1 Використання параметричної ідентифікації для автоматизованої оцінки поточного стану електромеханічних колісних платформ.....	21
2.2 Узагальнена розрахункова схема та математична модель електромеханічної колісної платформи	33
2.3 Оцінка поточного стану електромеханічної колісної платформи на основі параметричної ідентифікації.....	40
2.4 Висновки по розділу.....	45
3 Комп'ютерне моделювання процесів автоматизованої оцінки поточного стану електромеханічної восьми колісної платформи	46
3.1 Розрахункова схема та комп'ютерна модель електромеханічної восьми колісної платформи.....	46
3.2 Параметрична ідентифікація електромеханічної колісної платформи ..	53
3.3 Можливості щодо автоматизованого виявлення типових пошкоджень електромеханічної восьми колісної платформи	59
3.4 Безпека життєдіяльності та охорона праці	66

3.5 Висновки до розділу.....	68
Висновки.....	69
Перелік джерел посилання	70
Додаток А Фрагмент коду програми.....	72
Додаток Б Публікація до кваліфікаційної роботи	74
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	80

ВСТУП

В сучасному світі широко поширення займають електромеханічні колісні платформи. При цьому слід пам'ятати що ці засоби несуть за собою небезпеку при експлуатації їх.

Для вирішення цієї проблеми потрібно мати засоби автоматизації поточного технічного стану колісної електромеханічної платформи, щоб вчасно дізнатися про порушення в роботі колісного засобу.

Тема розробки методу для автоматизації оцінки поточно технічного стану є актуальною, бо є складною, та в сучасності не так багато досліджень і цій сфері котрі можуть на прикладі математичної моделі автоматизувати процес моніторингу технічного стану.

Також це стосується роботизованих систем, що мають колісне шасі та рухаються за допомогою пар колес, котрі розташовані на ньому.

Виходячи з цього.

– метою роботи є подальший розвиток методів автоматизованої діагностики поточного технічного стану електромеханічних колісних платформ;

– об'єктом дослідження є електромеханічні колісні платформи;

– предметом дослідження є оцінка поточного стану колісної електромеханічної платформи на основі параметричної ідентифікації.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз стану проблеми оцінки технічного стану колісних електромеханічних платформ;

– розглянути способи побудови математичної моделі;

– розглянути способи автоматизації визначення поточного технічного стану колісних платформ;

– оформлення пояснювальної записки керуючись методичними вказівками кваліфікаційної роботи магістра [1] та ДСТУ 3008-15 [2].

1 СТАН ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЛАТФОРМ

Оцінка технічного стану колісних електромеханічних платформ є досить важливою проблемою з якою пов'язані значні ризики безпечного використання засобів, що мають колісну платформу. Пошкодження які вчасно не будуть виявлені можуть призвести до високих витрат на відновлення нормальної роботи або ремонт засобу. Доцільним є підхід моніторингу поточного стану колісних електромеханічних платформ, що дозволить вчасно виявити та уникнути більш тяжких проблем та менших фінансові витрати на їх усунення.

1.1 Колісні електромеханічні платформи

За приклад можна розглянути автомобіль, що має колісну платформу та проаналізувати важливість проблеми з оцінкою його стану. Автомобіль є активним учасником дорожнього руху який потрібно розглянути з призмою важливості оцінки технічного стану.

Безпека дорожнього руху є актуальною темою, яка привертає все більше уваги у всьому світі. Через різноманітні фактори, які впливають на рівень безпеки дорожнього руху в країні, це складна тема для вивчення. Безпеку дорожнього руху можна оцінити з огляду на соціальну вартість аварій і травм. Однак простий підрахунок аварій або травм не є досконалим показником рівня безпеки дорожнього руху. Коли трапляються аварії, це частіше за все виникає через невідповідність належного стану та недостатній моніторинг колісних електромеханічних платформ. руху.

Якщо ми хочемо визначити реальний технічний стан автомобіля, необхідно проаналізувати деякі показники автомобіля, а потім визначити їх точність і надійність за допомогою математичних моделей. Математично-

статистичними моделями в області аналізу технічного стану транспортних засобів ми можемо точно довести важливість цих показників [3].

Колісні електромеханічні платформи широко використовуються у сучасному світі до представників належать колісні роботи, автомобілі, літаки та інша техніка що використовує електромеханіку та колісну базу для свого руху. Також в якості складових мобільних автономних робото-технічних систем різного призначення.

Для автономності платформ потрібне забезпечення за рахунок автоматизованого визначення стану швидкості, координат та прискорення, також взаємодії із зовнішнім середовищем, які потребують наявності складних бортових вимірювальних пристроїв та систем. Серед найбільш розповсюджених можна виділити легкові автомобілі що мають чотириох колісну базу та двигун внутрішнього згорання який забезпечує рух цієї конструкції.

Найпоширенішим типом транспортного засобу, який використовується сьогодні, є автомобіль в основному чотириколісна платформа з принаймні однією ведучою віссю, напрямною віссю та певною формою підвіски для кожного колеса. Більшість удосконалень цього типу платформи було зроблено в підвісці та рульовому управлінні.

Сучасні чотириколісні транспортні засоби насамперед мають значні переваги від незалежної підвіски які стосуються для кожного колеса, не зважаючи на те, що існує багато типів систем підвіски, усі вони в більшості складаються з пружин, амортизаторів і сполучних елементів у певних комбінаціях, мета яких є максимальне забезпечення оптимальних динамічних характеристик для кращого контролю над вашим транспортним засобом.

По відношенню до безлічі факторів, таких як рельєф місцевості, тип або призначення автомобіля, структурні навантаження на шасі тощо.

Звичайний чотириколісний транспортний засіб що має незалежну підвіску, на перший погляд здається, що торкається землі з однаковою силою всіма чотирма колесами, але колеса, що рухаються через нерівності, насправді

витримують більшу вагу, і це може призвести до зниження тяги для легких транспортних засобів.

Чориколісний робот зображений на рисунку 1.1 в свою чергу не має диференціального механізму, через це всі колеса мають фіксовану орієнтацію щодо шасі, тобто ніяк не повертаються. Замість цього колеса на одній стороні шасі приводяться в дію разом, а напрямок можна змінювати за допомогою міні-кермування колеса на одній стороні отримують різну силу приведення в дію, ніж колеса з іншого боку шасі, змушуючи платформу змінювати свою орієнтацію.

Незважаючи на притаманну неефективність через ковзаючі колеса, ці платформи мають можливості повного приводу, що підвищує їх мобільність, прості у виготовленні та надзвичайно міцні.

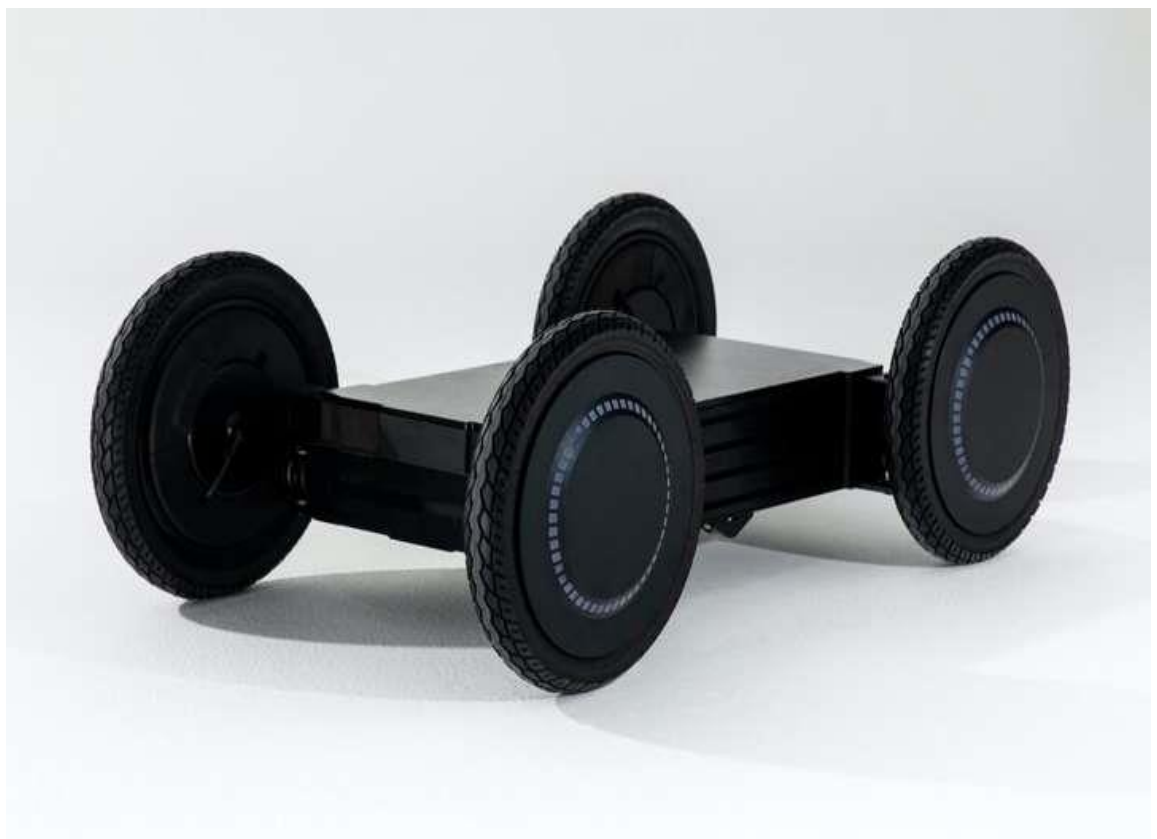


Рисунок 1.1 – Чотириколісний робот

Основним недоліком цього транспортного засобу є те, що коли колесо проїжджає через перешкоду, підвішуючи автомобіль, то інше колесо втрачає контакт із землею. Ця проблема характерна для платформ з більш ніж трьома колесами. Хоча хороша рухливість не обов'язково означає, що всі колеса стикаються з рельєфом, найкраще використовувати механізми, які дозволяють утримувати всі колеса на землі.

Хорошим способом вирішення цієї проблеми є використання шасі, розділеного поперечно, дві частини з'єднані пасивним центральним шарніром [4].

1.2 Експлуатація та оцінка поточного технічного стану

Електромеханіка поєднує процеси та процедури, взяті з електротехніки та машинобудування. Електромеханіка зосереджується на взаємодії електричних і механічних систем у цілому та на тому, як ці дві системи взаємодіють одна з одною. Цей процес особливо помітний у таких системах, як обертові електричні машини постійного або змінного струму, які можуть бути сконструйовані та експлуатовані для генерування енергії від механічного процесу (генератор) або використані для живлення механічного ефекту (двигун).

Електротехніка в цьому контексті також включає електроніку.

Електромеханічні пристрої – це пристрої, які мають як електричні, так і механічні процеси. Власне кажучи, ручний перемикач є електромеханічним компонентом, оскільки механічний рух викликає електричний вихід. Хоча це правда, цей термін зазвичай розуміється як позначення пристроїв, які включають електричний сигнал для створення механічного руху або, навпаки, механічний рух для створення електричного сигналу.

Часто використовують електромагнітні принципи, як-от у реле, які дозволяють напрузі чи струму контролювати іншу, зазвичай ізольовану напругу або струм ланцюга шляхом механічного перемикання наборів

контактів і соленоїдів, за допомогою яких напруга може активувати рухомий зв'язок, як у електромагнітних клапанах.

До розвитку сучасної електроніки електромеханічні пристрої широко використовувалися в складних підсистемах частин, включаючи електричні друкарські машинки, телепринтери, годинники, початкові телевізійні системи та дуже ранні електромеханічні цифрові комп'ютери.

Твердотільна електроніка замінила електромеханіку в багатьох додатках [5].

У загальному випадку задача ідентифікації формулюється так: на основі результатів спостереження за вхідними і вихідними змінними системи потрібно побудувати оптимальну в деякому розумінні математичну модель.

Задача ідентифікації в широкому розумінні виконується в умовах апріорної невизначеності структури моделі системи "чорний ящик". Клас і структура математичної моделі вибираються на основі результатів теоретичного аналізу з використанням загальних закономірностей процесів, які протікають у системі, або на основі загальної інформації про подібні системи.

У цьому випадку для побудови математичної моделі можна використовувати непараметричні методи. Вони розроблені для тих ситуацій, що досить часто виникають на практиці, коли дослідник нічого не знає про параметри досліджуваної системи (звідси і назва методів – непараметричні). Задача ідентифікації у вузькому розумінні полягає в оцінюванні параметрів і станів системи, якщо відома структура моделі "сірий ящик".

Задачею ідентифікації є кількісне оцінювання певних параметрів моделі.

Для цього використовується параметрична ідентифікація математичної моделі. Прикладами таких моделей можуть бути диференціальні і різницеві рівняння, моделі типу "вхід – стан – вихід".

Взаємозв'язок основних етапів розв'язання задачі ідентифікації можна вирішити за допомогою методу найменших квадратів.

Метод найменших квадратів для ідентифікації параметрів моделі

Найбільш відомим та досить ефективним методом розв'язання задачі ідентифікації параметрів моделі є метод найменших квадратів. Задача ідентифікації параметрів моделі типу "вхід – вихід" в загальному вигляді формулюється таким чином.

Нехай деяка система описується вхідними x і вихідними y змінними і яким-небудь чином обрана структура моделі (тобто вид залежності y від x).

Необхідно на основі результатів спостереження за вхідними й вихідними змінними системи даних експерименту знайти оцінку параметрів моделі, тобто побудувати оптимальну в деякому розумінні математичну модель.

В сучасному світі промислові роботи є відповідною технологією для розробки гнучких виробничих систем, які сприяють автоматичному виконанню таких операцій, як фрезерування, різання, свердління, шліфування, видалення задирок і полірування [6].

Підхід на основі параметричної ідентифікації для оцінки технічного стану електромеханічних колісних платформ взятий за основу.

Параметрична ідентифікація дозволяє мати безперервну оцінку поточного технічного стану електромеханічної колісної платформи під час експлуатації без необхідності окремого спеціального технічного контролю. Реалізація такої параметричної ідентифікації дозволить оптимізувати часовий графік техобслуговування електромеханічних колісних платформ [7].

Для вирішення проблеми оцінки поточного технічного стану доцільним буде використовувати комп'ютерне моделювання.

Комп'ютерне моделювання — це процес створення абстрактної моделі для імітації поведінки та реакції широкого діапазону систем і прототипів. Ця технологія використовується у фізичних науках, медицині та архітектурі як помічник у процесі проектування. За останні кілька років якість програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання значно зросла.

У будь-якій програмі комп'ютерного моделювання є три основні аспекти: обчислювальна потужність, багатовимірність і логіка моделювання. Хоча цей тип технології вже багато років використовується в академічних

колах, зниження вартості комп'ютерної обробки підвищило популярність цього типу інструментів у промисловості.

Програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання зазвичай потребує значної пам'яті, процесорів і потужності.

Зазвичай створюють кілька версій потенційного рішення, усі з яких потрібно зберегти для перегляду.

Тривимірне моделювання є стандартною вимогою в інженерії, архітектурі та медицині. Завдяки цій функції значно підвищується точність моделі, яка може надати цінну інформацію про ризики та переваги моделі. Навички, необхідні для використання цього типу програмного забезпечення, включають керування даними, дизайн і вдосконалену логіку програмування. Важливо зазначити, що програмне забезпечення передбачає, що користувач є кваліфікованим професіоналом у своїй дисципліні.

Кожна програма містить різні логічні запити моделювання. Шаблони використовуються для типових ситуацій і відрізняються залежно від основної аудиторії програмного забезпечення. Наприклад, програма комп'ютерного моделювання архітектури матиме шаблони для нових будинків, житлових об'єктів і конструкцій.

Деякі програми включають додаткові функції, такі як створення детальних схем з моделі.

Однією з великих переваг комп'ютерного моделювання є можливість досить швидко тестувати кілька сценаріїв і проектів. Комп'ютерна програма може взяти існуючу модель і внести незначні або великі зміни. Ці зміни дозволяють дизайнеру досліджувати інші варіанти, випробувати нові ідеї та перевірити теорії.

Без комп'ютерної моделі кожен концепцію потрібно було б будувати з нуля, що вимагало б значної кількості часу, зусиль та енергії.

Серед існуючих програм для комп'ютерного моделювання була обрана програма – це Scilab [8].

1.3 Показники надійності та моделі пошкоджень

Показник надійності – це комплексна характеристика однієї або декількох властивостей, які у сукупності складають надійність об'єкта.

Показники надійності можна класифікувати наступним чином.

За кількістю властивостей надійності:

- одиничні – це показники надійності, що характеризують одну з властивостей надійність об'єкта;

- комплексні – це показники надійності, що характеризують декілька властивостей надійність об'єкта.

За джерелом отримання інформації:

- експлуатаційні – це показники надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають за результатами експлуатації;

- експериментальні – це показники надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають за даними випробувань;

- розрахункові – це показники надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають шляхом розрахунків.

- екстрапольовані – це показники надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають шляхом розрахунків, експерименту або в результаті експлуатації, а потім переносять (екстраполюють) на нові умови використання, час роботи, тощо.

За властивістю надійності:

- показники безвідмовності;

- показники ремонтпридатності;

- показники збережуваності;

- показники довговічності.

За кількістю характеризуємих об'єктів:

- групові показники – показники, які можуть бути визначені і встановлені тільки для сукупності об'єктів; рівень надійності окремого

примірника об'єкта вони не регламентують;

– індивідуальні показники – показники, які встановлюють норму надійності для кожного екземпляра об'єкта з розглянутої сукупності (або одиничного об'єкта);

– змішані показники – можуть виступати як групові або індивідуальні. Слід враховувати, що одиничні показники надійності для відновлюваних і невідновлюваних об'єктів можуть бути різними.

Показники надійності дозволяють проводити розрахунково-аналітичну оцінку кількісних характеристик окремих властивостей при виборі різних схемних і конструктивних варіантів обладнання при їх розробці, випробуваннях і експлуатації.

Комплексні показники надійності використовуються головним чином на етапах випробувань і експлуатації при оцінці та аналізі відповідності експлуатаційно-технічних характеристик технічних пристроїв заданим вимогам. На стадіях експериментального відпрацювання, випробувань і експлуатації, як правило, роль показників надійності виконують статистичні оцінки відповідних імовірнісних характеристик [9].

Щодо матеріалів та моделей пошкоджень можна додати що композиційні матеріали використовуються в багатьох галузях промисловості.

Це матеріали, які використовуються в суднобудуванні, залізниці, авіації, а також у медицині та багатьох інших галузях.

Це будівельні матеріали, які все частіше використовуються через їхню міцність і відносно невелику вагу. Це матеріали, міцність яких можна формувати в будь-якому напрямку, що додатково робить їх привабливішими, але ускладнює процес проектування.

Основною перевагою цих матеріалів є легкість отримання складних форм, в більшості випадків без використання складної технології. Композити виявляють стійкість до старіння, тобто впливу навколишнього середовища, що дозволяє використовувати їх у місцях, де сталь і алюмінієві сплави не працюють так добре, наприклад, арматура в морській воді.

Найбільш часто використовуваними композитами є полімери, армовані скловолокном, тобто склопластики (GFRP), а також з армуванням у вигляді вуглецевих волокон, тобто вуглепластики (CFRP). Перевагою GFRP та CFRP є їх здатність проектувати та комбінувати різноманітні структури, а також змінювати механічні та фізичні властивості за допомогою нанонаповнювачів, що робить їх цікавим матеріалом для проектування та дослідження.

Процес руйнування цих матеріалів набагато складніший, ніж металів; він включає низку механізмів, таких як розтріскування на межі армування–матриця, розшарування тощо.

Наприклад, вплив типів гібридизації волокон на механічні властивості (міцність на зсуві межі розділу або короткої балки, триточковий згин міцність і міцність на розтяг) було експериментально представлено. Деформацію було показано за допомогою цифрової кореляції. Гібридизація волокон допомогла отримати підвищення міцності на зсув, вигин і розтягування композиту. Крім того, було підтверджено, що пошкодження гібридних стрижнів ядро-оболонка (CSH) відбувається безпосередньо від межі оболонка-ядро.

У разі рівномірно диспергованих гібридних (UDH) стрижнів механічне пошкодження виникло в результаті розриву вуглецевого волокна, а міжфазні зв'язки залишилися непошкодженими. Дослідження зосереджено на аналізі впливу розміру стрижня та гібридизації волокна на міцність на зсув в умовах замерзання та відтавання та зовнішнього середовища.

Адсорбція води для випадкової гібридизації волокон дещо зросла порівняно з режимом ядро-оболонка волокон. Збільшення діаметра стрижня призвело до збільшення часу поглинання насиченої води. Зменшення міцності на зсув відбулося внаслідок гідролізу та пластифікації смоли, що, у свою чергу, стало результатом поглинання води та утворення мікротріщин. Випробування стрижнів із випадковою гібридизацією волокон показали корозійну стійкість цих матеріалів [10].

1.4 Висновки до розділу

Було розглянуто актуальність проблеми оцінки поточного стану колісних електромеханічних платформ, розглянутий концепт математичної моделі, розділ електромеханіки та показники надійності в об'єктах.

2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНОЇ ПЛАТФОРМИ

2.1 Використання параметричної ідентифікації для автоматизованої оцінки поточного стану електромеханічних колісних платформ

Для ефективної експлуатації електромеханічних колісних платформ, які широко використовуються в даних час для різних цілей, важливою є розробка відповідного графіка технічного обслуговування.

Для електромеханічних колісних платформ доцільніше забезпечити безперервну оцінку технічного стану під час експлуатації, оскільки такий спосіб дає повні дані, необхідні для створення найбільш оптимального графіка технічного обслуговування.

Один підхід, що забезпечує безперервну оцінку технічного стану колісних платформ, може базуватися на вдосконалених вимірюваннях на основі складних математичних моделей у поєднанні з процедурами ідентифікації.

Для використання математичних моделей ідентифікації для отримання оцінок технічного стану електромеханічних колісних платформ необхідно розробити деякі особливості перетворення результатів ідентифікації для отримання оцінок технічного стану електромеханічних колісних платформ необхідно розробити деякі особливості перетворення результатів ідентифікації і оцінки технічного стану, про що й буде дане дослідження.

Таким чином, метою даного дослідження є розробка підходів на основі математичного моделювання та процедур ідентифікації для оцінки технічного стану електромеханічних колісних платформ.

Далі будемо вважати, що технічний стан електромеханічної колісної платформи можна охарактеризувати набором деяких числових параметрів.

Зміна технічного стану досліджуваної електромеханічної колісної платформи в процесі експлуатації можна уявити так, що числові параметри,

що визначають технічний стан, є функціями часу. Таким чином, технічний стан досліджуваної електромеханічної платформи можна визначити в процесі експлуатації через задані функції, що залежать від часу:

$$\alpha_k = \alpha_k(t), \quad k = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.1)$$

де α_k і N_α є одними із параметрів, що визначає технічний стан колісної платформи та кількість таких параметрів; t та $\alpha_k(t)$, час і функція, що визначає часову залежність α_k параметра.

Враховуючи значення кожного з параметрів (2.1) можна визначити допустимі технічні стани, що забезпечують нормальні режими експлуатації досліджуваної електромеханічної колісної платформи, за допомогою наступних нерівностей:

$$\alpha_k^{min} \leq \alpha_k \leq \alpha_k^{max}, \quad k = 1, 2, \dots, N_\alpha, \quad (2.2)$$

де α_k^{min} і α_k^{max} є параметрами α_k , що являються граничними значеннями параметрів, що обмежують допустимі технічні стани, що забезпечують нормальні режими експлуатації електромеханічної колісної платформи.

Оцінка технічного стану деякої колісної електромеханічної платформи У формі (2.1), (2.2) дає повні дані, що дозволяють оптимізувати часовий графік, витрати та інші умови технічного обслуговування.

Таким чином, оцінка технічного стану колісних платформ буде спрямована на знаходження його у вигляді (2.1), (2.2).

Природно, що теоретичні оцінки (2.1), (2.2) технічного стану повинні ґрунтуватися на математичному моделюванні досліджуваних електромеханічних колісних платформ. Щоб мати математичну модель деякої електромеханічної колісної платформи, необхідно ввести параметри керування та параметри стану, що характеризують цю досліджувану колісну платформу і розглядають все ці введені параметри як функції часу:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(t), \quad \mathbf{x} = \mathbf{x}(t), \quad (2.3)$$

де \mathbf{u} - вектор параметрів керування;

\mathbf{x} – вектор параметрів стану досліджуваної електромеханічної колісної платформи.

Математичну модель електромеханічної колісної платформи, яка характеризується параметрами керування та стану (2.3), у загальному вигляді можна представити у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь з відповідними початковими умовами:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}; \mathbf{u}(t); a_1, a_2, \dots, a_{N_a}), \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \quad (2.4)$$

де $\mathbf{f}(\dots)$ – задана функція, що визначає швидкості параметрів стану для досліджуваної електромеханічної колісної платформи;

a_1, a_2, \dots, a_{N_a} та N_a – параметри математичної моделі та кількість таких параметрів;

t_0 та \mathbf{x}_0 параметри часу та стану для початкового моменту часу.

Математична модель (2.4) дозволяє змоделювати стан досліджуваної електромеханічної колісної платформи за заданого керування, заданих початкових значень і заданих параметрів, таким чином, таке моделювання можна уявити у вигляді наступного відображення:

$$\mathbf{u}(t); a_1, a_2, \dots, a_{N_a}; t_0, \mathbf{x}_0 \xrightarrow{f} \mathbf{x}(t) \quad (2.5)$$

У нас є багато підходів до реалізації відображення (2.5) для імітації досліджуваної електромеханічної колісної платформи, але найбільш загальні підходи базуються на добре відомому чисельному розв'язанні початкової задачі (2.4) за допомогою різних комп'ютерних технологій зі спеціалізованим

науковим програмним забезпеченням.

Зрозуміло, що математична модель (2.4) може дати більше ніж комп'ютерне моделювання (2.5), оскільки за допомогою цієї математичної моделі (2.4) можна оцінити поточний технічний стан досліджуваної електромеханічної колісної платформи.

Основна ідея оцінки технічного стану електромеханічної колісної платформ полягає в залежності між параметрами математичної моделі та параметрами технічного стану:

$$a_k = a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_\alpha}), k = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.6)$$

де $a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_\alpha})$ – це відомі функції.

Вигляд співвідношень (2.6) визначається конструкцією досліджуваної електромеханічної колісної платформи, спрощенням, що призводять до математичної моделі (2.4), а також обраними параметрами технічного стану (2.1).

Завдяки співвідношення (2.6) бачимо, що зміна технічного стану (2.1) призведе до зміни параметрів математичної моделі досліджуваної електромеханічної колісної платформи, тому матимемо параметри математичної моделі (2.4) як функції часу:

$$a_k = a_k(t), k = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.7)$$

де $a_k(t)$ – це деяка функція, що визначає залежність параметра a_k від часу зміни технічного стану.

Нехай ми маємо інформацію про керування $\mathbf{u}(t)$ та відповідний цьому керуванню стан $\mathbf{x}(t)$ при відомих значеннях (t_0) та \mathbf{x}_0 для визначення початкових умов досліджуваної електромеханічної колісної платформи.

У цьому випадку можна розглядати параметричну ідентифікацію, яку можна уявити як таке відображення:

$$\mathbf{u}(t); x(t); t_0, \mathbf{x}_0 \xrightarrow{M_{PI}} a_1(t), a_2(t), \dots, a_{N_a}(t) \quad (2.8)$$

де M_{PI} – це є відповідним методом для параметричної ідентифікації.

Зрозуміло, що параметрична ідентифікація (2.8) дозволить нам мати оцінку зміни часу (2.7) параметрів математичної моделі. Таким чином, завдяки результатам параметричної ідентифікації (2.8), а також через відомі співвідношення (2.6) ми матимемо представлення параметрів технічного стану (2.1) у такому неявному вигляді:

$$a_k(t) = a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_a}), k = 1, 2, \dots, N_a \quad (2.9)$$

У випадку $N_a = N_\alpha$ співвідношення (2.9) можна розглядати як систему рівнянь, та що технічний стан параметрів (2.1) будуть представленні розв'язуванням цієї системи рівнянь у кожен момент часу.

Звичайно, що в загальному випадку система рівнянь (2.9) буде нелінійною, і для її розв'язання необхідно використовувати відповідні чисельні методи, але в деяких випадках система рівнянь (2.9) може бути і лінійною, а в цих випадках буде простіше оцінити параметри технічного стану (2.1), тому, що вирішення лінійних систем є типовою задачею, яка передбачається в сучасних автоматизованих технологіях для наукових та інженерних цілей.

Водночас у більш загальному випадку $N_a \neq N_\alpha$ неможливо розглядати співвідношення (2.9) як повністю визначену систему рівнянь для знаходження параметрів технічного стану (2.2), оскільки матимемо різну кількість невідомих і рівнянь, щоб їх знайти.

У цьому загальному випадку ми пропонуємо використовувати метод найменших квадратів для знаходження параметрів технічного стану (2.1) із співвідношень (2.9).

Для цього пропонуємо ввести суми квадратів відхилень співвідношень у вигляді:

$$S = \sum_{k=1}^{N_a} (a_k(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_\alpha}) - a_k(t))^2 \quad (2.10)$$

Сума квадратів (2.10) заданих параметрів (2.7) і співвідношень (2.6) будуть функцією параметрів технічного стану (2.1) на кожен момент часу:

$$S = S(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_\alpha}; t), \quad (2.11)$$

де $S(\dots)$ – це деяка задана функція.

Завдяки квадратичній сумі відхилень (2.11) і методу найменших квадратів ми можемо мати систему рівнянь для знаходження параметрів технічного стану (2.1) у такому вигляді:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_i} = 0, i = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.12)$$

здається, що система рівнянь (2.12) має бути нелінійною, але ми маємо багато можливостей для введення параметрів технічного стану (2.1), і доцільного вибрати такі параметри (2.1), щоб мати систему (2.12) лінійною, оскільки це спростить розв'язування цієї системи (2.12).

Щоб система (2.12) була лінійною, достатньо мати лінійні співвідношення (2.6):

$$a_k = \sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj} \alpha_j, k = 1, 2, \dots, N_a \quad (2.13)$$

де A_{kj} – це задані числові параметри.

Підставимо співвідношення (2.13) до загально визначеної суми квадратів відхилень:

$$S = \sum_{k=1}^{N_a} \left(\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj} \alpha_j - a_k(t) \right)^2 \quad (2.14)$$

Система рівнянь (2.12), що відповідає сумі квадратів відхилень (2.14), матиме такий вигляд:

$$\sum_{k=1}^{N_a} \left(\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{kj} \alpha_j - a_k(t) \right) A_{ki} = 0, i = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.15)$$

Для перетворення системи лінійних рівнянь (2.15) до більш прийняттого вигляду доцільно буде ввести такі значення:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{N_a} A_{ki} A_{kj}, \quad \beta_i(t) = \sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{ki} \alpha_k(t) \quad (2.16)$$

де $i, j = 1, 2, \dots, N_\alpha$.

Введені значення (2.16) дозволять представити лінійну систему (2.16):

$$\sum_{j=1}^{N_\alpha} A_{ij} \alpha_j = \beta_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N_\alpha \quad (2.17)$$

Завдяки лінійній системі (2.17) матимемо оцінки для параметрів технічного стану (2.1):

$$\alpha_k(t) = \sum_{j=1}^{N_a} A_{kj}^{-1} \beta_j(t), \quad k = 1, 2, \dots, N_a \quad (2.18)$$

де A_{kj}^{-1} – це є елементами матриці, оберненої до матриці з елементами A_{ij} .

Хоча він практично непридатний для знаходження елементів оберненої матриці, тому що зручніше використовувати методи розв'язування лінійних систем, такі як метод Гауса чи інші подібні, але співвідношення (2.18) придатні з теоретичної точки зору бо показують безпосередньо оцінки параметрів технічного стану.

Таким чином математична модель (2.4), метод ідентифікації, що дозволяє мати відображення (2.8), а також співвідношення (2.16), (2.18) дають нам метод безперервної оцінки технічного стану (2.1) електромеханічної колісної платформи на базу вимірювань щодо фактичного реалізованих контролів та відповідних їм станів під час експлуатації.

Слід зазначити, що побудова відповідної математичної моделі (2.4), вибір відповідних параметрів (2.1) для представлення технічного стану досліджуваної колісної платформи, розробка відповідного методу ідентифікації, а також забезпечення необхідних вимірювань це складні проблеми, які необхідно розглядати у взаємозв'язку, а не окремо, і цей розгляд буде істотно унікальним для кожного конкретного класу електромеханічних колісних платформ.

Типове застосування запропонованого підходу для оцінки технічного стану електромеханічних колісних платформ буде розглянуто далі на відповідному прикладі.

Розглянемо спочатку загальні зауваження щодо принципової конструкції електромеханічних колісних платформ у зв'язку з представлення їх технічного стану та математичним моделювання. Принципова точка зору на електромеханічних колісних платформах полягає в наявності взаємно з'єднаних, але виконаних окремо механічної та електричної частин.

Як наслідок, математична модель (2.4) повинна включати математичні моделі як механічних так і електричних частин, а також зв'язки між цими частинами. Крім того, математична модель (2.4) повинна узгоджуватися з можливостями інструментальних вимірювань стану електромеханічних колісних платформ.

Враховуючи всі ці обставини, можна стверджувати, що кути повороту коліс є найбільш придатними узагальненими координатами для представлення механічних частин досліджуваної колісної платформи, в тому числі, що вони придатні для вимірювання кутової швидкості.

Електричні заряди в обмотці роторів приводних електродвигунів є найбільш придатними узагальненими координатами для відображення стану електричних частин електромеханічних колісних платформ, у тому числі тому, що вони придатні для вимірювання електричних струмів.

Електричні напруги, що подаються на приводні електродвигуни, є найбільш придатними для представлення керування електромеханічними колісними платформами, у тому числі тому, що вони придатні для вимірювання електричної напруги.

Таким чином, для представлення управління та відповідного стану електромеханічної колісної платформи за простою схематизацією необхідно використовувати принаймні такий вектор керування та стану:

$$\mathbf{u}(t) = u(t), u(t) = U_e(t) \quad (2.19)$$

$$\mathbf{x}(t) = (x_1(t) \ x_2(t))^T, x_1(t) = \omega(t), x_2(t) = I(t) \quad (2.20)$$

де $U_e(t)$ – електрична напруга що подається на приводні електродвигуни;

$\omega(t)$ – кутова швидкість коліс досліджуваної платформи;

$I(t)$ – електричний струм в обмотці ротора приводних електродвигунів.

Математична модель, що відповідає найпростішій схематизації електромеханічної колісної платформи з керуванням (2.19) і параметрами стану (2.20), може бути побудоване за допомогою електромеханічних аналогій

і рівнянь Лагранжа 2-го роду і представлена у такому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{B_e}{J} x_2 - \frac{b}{J} x_1^2 - \frac{mg\delta}{J}, \\ \frac{dx_2}{dt} = -\frac{R_e}{L_e} x_2 - \frac{B_e}{L_e} x_1 + \frac{u(t)}{L_e}, \end{cases} \quad (2.20)$$

$$x_1(t_0) = \omega_0; x_2(t_0) = I_0 \quad (2.21)$$

де J – момент інерції електромеханічної колісної платформи відносно осі обертання колеса;

b – узагальнений параметр, що визначає в'язке тертя електромеханічної колісної платформи відносно осі обертання її колеса;

mg – загальне значення маси електромеханічної колісної платформи;

δ – коефіцієнт тертя кочення коліс;

B_e – електромеханічний параметр;

R_e – опір;

L_e – це індуктивність обмотки роторів приводних електродвигунів;

ω_0 та I_0 – задані значення кутової швидкості коліс та електричного струму в обмотці ротора приводних електродвигунів початковий момент часу $t = t_0$.

Щоб представити математичну модель (2.20) у вигляді (2.4), введемо такі параметри:

$$a_1 = \frac{B_e}{J}; a_2 = \frac{b}{J}, a_3 = \frac{mg\delta}{J}, a_4 = \frac{R_e}{L_e}, a_5 = \frac{B_e}{L_e}, a_6 = \frac{1}{L_e} \quad (2.22)$$

Співвідношення (2.22) відповідають випадку диференціальних рівнянь (2.4) зі значенням. Завдяки введеним параметрам (2.22) диференціальні рівняння (2.2) матимуть вигляд, як у загальному зображенні (2.4):

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_2 - a_2 x_1^2 - a_3, \frac{dx_2}{dt} = -a_4 x_2 - a_5 x_1 + a_6 u(t) \quad (2.23)$$

Таким чином, у вигляді (2.23) ми маємо найпростіший приклад узагальненої моделі (2.4). Звичайно, можна мати й інші, складніші, ніж (2.23) математичні моделі дозволяють представити електромеханічні колісні платформи.

З диференціальних рівнянь (2.20) видно, що технічний стан механічних частин досліджуваних електромеханічних колісних платформ визначається значеннями узагальненого моменту інерції J , узагальненого параметра b , що визначає в'язке тертя, загальної ваги mg а також коефіцієнта тертя кочення δ .

У той же час, загальну вагу електромеханічної колісної платформи можна легко визначити за допомогою простих вимірювань, наприклад, деформації пружини. Крім того, узагальнений момент інерції змінюється внаслідок зміни загальної ваги, а не технічного стану, тому ми можемо оцінити узагальнений момент інерції через загальну вагу.

Таким чином, маємо основні параметри b та δ для відображення технічного стану досліджуваних колісних платформ відповідно до математичної моделі (2.20), (2.21).

З диференціальних рівнянь (2.20) також видно, що технічний стан електричних частин досліджуваних електромеханічних колісних платформ визначається значеннями електромеханічного параметра B_e , опору R_e та індуктивності L_e та обмотки роторів електродвигуна.

У той же час опір обмотки ротора можна легко виміряти, тому основні параметри R_e та L_e узгоджуються з математичною моделлю (2.20), (2.21).

Таким чином, для досліджуваної електромеханічної колісної платформи представленої математичною моделлю (2.20), (2.21) параметри (2.1) технічного стану доцільно визначити в окремому вигляді:

$$\alpha_1 = b, \alpha_2 = \delta, \alpha_3 = B_e, \alpha_4 = 1/L_e. \quad (2.24)$$

Параметри (2.24) відповідають частковому випадку параметрів (2.1) зі значенням $N_\alpha = 6$. Порівнюючи співвідношення (2.22) та (2.24) можна записати наступний вираз:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\alpha_3}{J}, a_2 = \frac{\alpha_1}{J}, a_3 = \frac{mg}{J} \alpha_2, \\ a_4 &= R_e \alpha_4, a_5 = \alpha_3 \alpha_4, a_6 = \alpha_3 \end{aligned} \quad (2.25)$$

Співвідношення (2.25) насправді є окремим випадком загальним співвідношень (2.6). Ми бачимо, що не все співвідношення (2.25) є лінійними, як загальні лінійні співвідношення (2.13).

Водночас для оцінок технічного стану електромеханічної колісної платформи представленої найпростішою математичною моделлю (2.20), (2.21), необов'язково використовувати всі співвідношення (2.25), через нерівність $N_\alpha < N_a$.

Дійсно, очевидно, що не обов'язково використовувати нелінійне співвідношення з (2.25), тому що достатньо використовувати тільки перші три співвідношення (2.25) з четвертим і шостим співвідношення з (2.25).

Таким чином, розглянутий приклад дозволяє показати, що запропоновані на основі ідентифікації узагальнені підходи до оцінки технічного стану електромеханічних колісних платформ можуть бути принципово використані, зоб можна було забезпечити безперервні оцінки технічного стану в процесі експлуатації електромеханічних колісних платформ.

Звичайно, для реалізації цього запропонованого підходу необхідно буде вибрати або розробити відповідний метод ідентифікації, щоб мати відображення (2.8) [7].

2.2 Узагальнена розрахункова схема та математична модель електромеханічної колісної платформи

Електричні колісні платформи мають велику різноманітність конструкцій.

Неможливо представити одну математичну модель котра буде репрезентувати всі існуючі різноманітні конструкції колісних електромеханічних платформ.

Тим паче всі електромеханічні колісні платформам властиві деякі загальні риси і співвідношення цих рис можемо представити у вигляді узагальненої розрахункової схеми, та математичної моделі електромеханічних колісних платформ.

Конструкцію нашої досліджуваної електромеханічної колісної платформи можна порахувати шляхом відповідної ідентифікації загальної розрахункової схеми та математичної моделі.

Характерної рисою всіх колісних електромеханічних платформ є наявність електричної та механічної частини, котрі не являються незалежними, а взаємодіють друг з другом.

Електрична частина колісної електромеханічної платформи по суті зводиться до паливного електродвигуна та джерела електроживлення.

Для прикладу нижче, рис 2.1 зображена схема для узагальненого представлення компонентів електромеханічної колісної платформи та їх залежності та взаємодія.

Електрична частина пов'язана з механічною частиною, та електродвигун тісно зв'язаний в своїй роботі з колісним двигуном в електромеханічній колісній платформі.



Рисунок 2.1 – Узагальнене представлення колісної платформи

Найбільш загальним підходом до моделювання електромеханічних систем можна вважати електромеханічні аналогії рівняння Лагранжа другого роду котра зображена на рисунку 2.2.

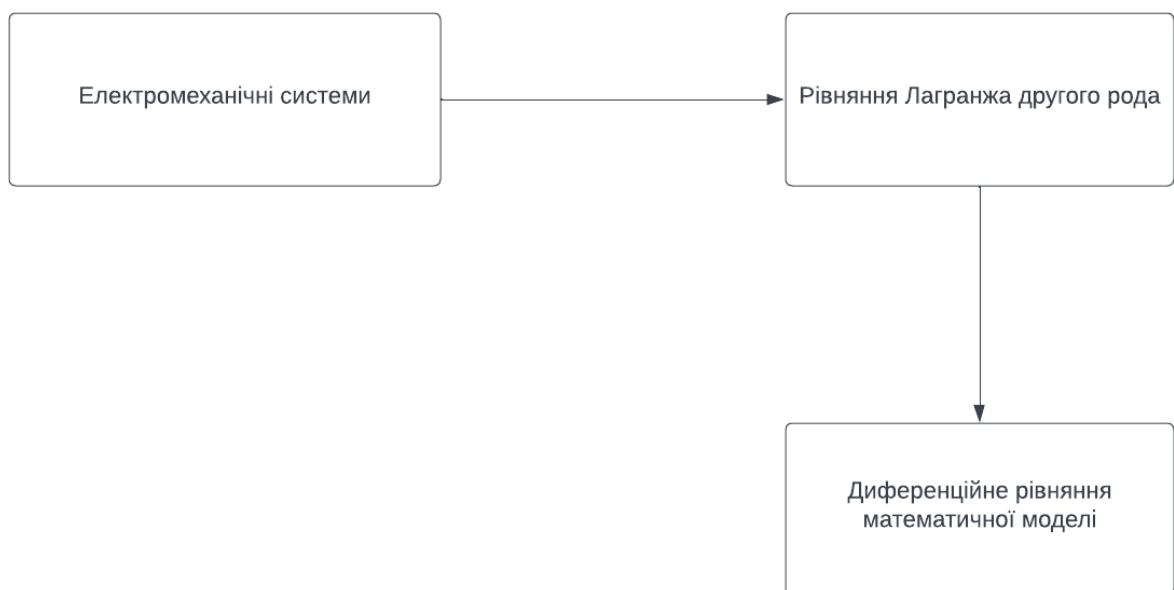


Рисунок 2.2 – Моделювання електромеханічних систем

Електромеханічні аналогії засновані на різних фізичних системах, часто описують схожі математичні рівняння. Це дає нам можливість встановити аналогію між системами різної фізичної природи.

Найкраще для цього підходить аналогії котрі встановлюються між механічними та електричними системами.

Для прикладу візьмемо масу з'єднану з пружними та десипативними елементами:

$$ma = -ex - Bx + F(x) \quad (2.26)$$

$$\frac{1}{c} \int Idt + R_e I + L_e \frac{dI}{dt} = U_e \quad (2.27)$$

$$\sigma = \int Idt \quad (2.28)$$

$$L_e \sigma + R_e \sigma + \frac{1}{c} x = U_e \quad (2.29)$$

де m – це маса;

B – це периметр в'язкості;

x – це координата;

$F(x)$ – це сила;

R_e – це опір;

I – це сила струму;

U_e – це напруга;

L_e – це індуктивність;

σ – це заряд;

c – це ємність.

Рівняння Лагранжа другого роду це від самого початку найбільш загальна теорія диференціальних рівнянь зближення голономних механічних систем.

В багатьох різних рух, а сама механічна частина електричних колісних платформ може бути розглянута як голономна система.

Тому представлена відцентрованої сили для представлення математичних моделей електромеханічних колісних платформ краще за все приводити до рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_k} + Q_k, k = 1, 2, \dots, n \quad (2.30)$$

де L – функція Лагранжа, що визначається як різниця кінетичної та потенційної енергії досліджуваної системи;

n – кількість ступенів вільності досліджуваних систем;

$q_1, q_2, \dots, q_k, \dots, q_n$ – це узагальнені координати, що виділяються силами досліджуваної системи;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_k, \dots, Q_n$ – це узагальнені сили відповідні узагальненим координатам, тим що є потенціальними та властиві в'язкому опору;

R – це функція Релея, що характеризує сили в'язкого опору та встановлюється як потужність цих сил.

Таким чином відмінності електричних системи колісних електромеханічних платформ зводиться до різноманітних типів електродвигунів.

Двигун постійного струму – це електрична машина постійного струму або ж електродвигун, що перетворює електричну енергію постійного струму на механічну.

Конструкція електродвигуна постійного струму така сама, як і генератора постійного струму. В електродвигуні явище електромагнітної індукції при взаємодії струму обвитки ротора (якоря) з основним магнітним полем зумовлює появу електромагнітного обертового моменту. Розрізняють ДПС з незалежним збудженням і з залежним. Потужність електродвигуна постійного струму – від часток вата до тисяч кіловат, ККД – від 0,02-0,03 до 0,93. Електродвигуни постійного струму дають змогу плавно і в широких межах керувати частотою обертання, вдаючись до зміни струму в колі ротора за допомогою додаткового електричного опору, до зміни живильної напруги, а також до зміни магнітного потоку реостатом [11].

Далі розглянемо електричний двигун постійного струму, який частіше всього використовується в колісних матеріалах.

Розрахункова схема електродвигуна постійного струму зображена на рисунку 2.3.

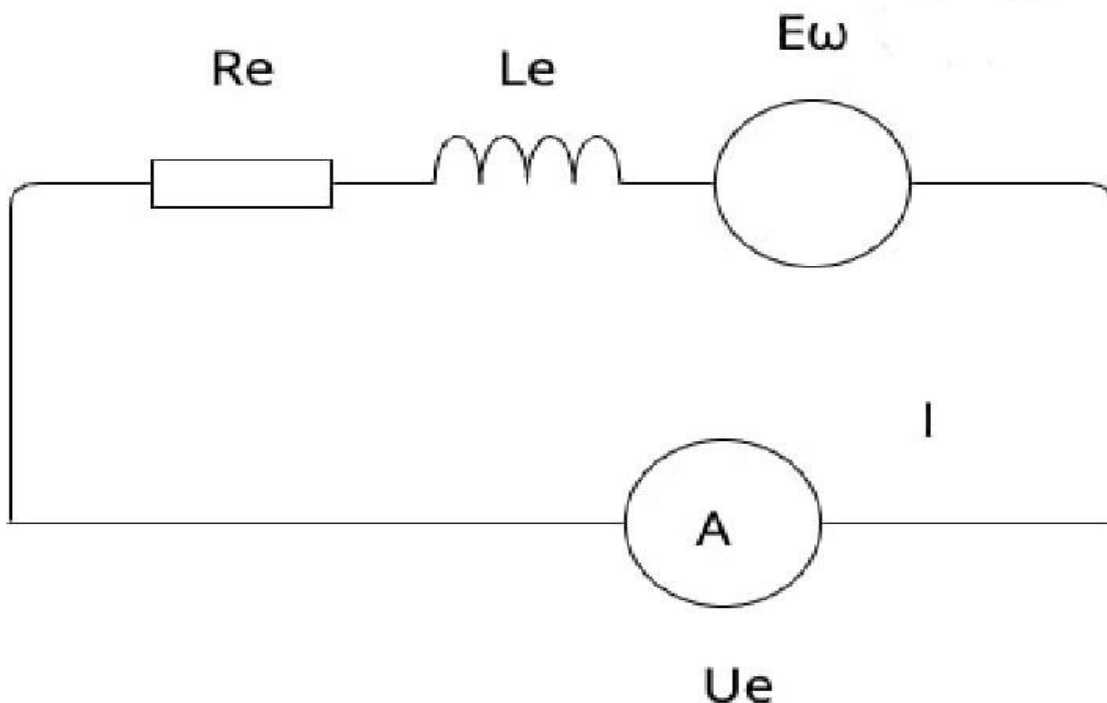


Рисунок 2.3 – Розрахункова електрична схема електродвигуна постійного струму

На рисунку 2.3 прийняті такі позначення:

R_e – це опір обмотки ротора електродвигуна;

L_e – це індуктивність обмотки ротора електродвигуна;

U_e – це напруга живлення електродвигуна;

I – це сила струму в електродвигуні.

Також нам знадобиться знайти електрорушійну силу самоіндукції:

$$E_\omega = B_e \omega \quad (2.31)$$

де E_ω – це електрорушійна сила самоіндукції;

B_e – це електромеханічна характеристика електродвигуна;

ω – це кутова швидкість;

Електромеханічний двигун за рахунок напруги, що подається можна виміряти електромагнітний момент в обмотці ротора:

$$M_e = B_e I \quad (2.32)$$

де M_e – це електромагнітний момент електродвигуна;

I – це сила струму в цьому роторі електродвигуна.

Механічна частина колісної електромеханічної платформи вимагає аналізу вузлів та деталей, що здійснюють механічний рух.

Основними такими вузлами та деталями виявляються їх радіус, що здійснює прямолінійний поступальний рух колеса, котрий здійснює плоско паралельний рух.

На рухому колісну платформу діє сила в'язкого супротиву, котра залежить від сили тертя а також сили тяжіння яке є самостійним:

$$F_v = F_v(v) \quad (2.33)$$

де F_v – це сила в'язкого супротиву;

v – це швидкість колісної платформи.

Обертання коліс заважає моменту тертя коліс, величина

$$M_\delta = \delta * N_k \quad (2.34)$$

де M_δ – це момент тертя кочення;

N_k – це сила тиску на ґрунтову дорогу;

δ – це момент тертя кочення колеса.

Момент M_δ дорівнює протилежно рівнянню стану ω_k обертаючого колеса.

Для прямолінійної схематизації колісних платформ таких як електромеханічні системи слід передбачити два узагальнення:

$$q_1 = \varphi, \quad q_2 = \int I dt \quad (2.35)$$

де q_1 та q_2 узагальнені координати;

φ – це кут повороту колеса;

I – це сила струму в обмотці роторів електродвигунів.

З урахуванням отриманих узагальнень маємо:

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{2} J \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} N_e L_e \dot{q}_2^2 + q_1 m g r_w \sin \alpha; \\ R &= \frac{1}{2} b \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} N_e R_e \dot{q}_2^2; \\ Q_1 &= N_e B_e q_2 - m g \delta; \quad Q_2 = N_e U_e - N_e B_e q_1; \end{aligned} \quad (2.36)$$

де J – це момент інерції колісної платформи відносно осі обертання коліс;

b – це параметр в'язкого тертя, приведений до осі обертання коліс;

m – це маса платформи;

r_w – це радіус колеса платформи;

α – це кут повороту дороги;

N_e – це кількість електродвигунів.

Момент інерції колісної платформи J залежить від осі обертання її кінетичної енергії та прийме вигляд:

$$J = mr_2^2 + N_e J_e + n_w J_w \quad (2.37)$$

де J_e – це момент інерції ротора електродвигуна;

n_w – це число коліс;

J_w – це момент інерції колеса відносно осі обертання;

ω – це кутова швидкість колес.

$$v = r_w \omega \quad (2.38)$$

Для розрахунку кінетичної енергії потрібно використати наступний вираз:

$$T = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} n_w J_w \omega^2 + \frac{1}{2} N_e J_e \omega^2 \quad (2.39)$$

де T – це кінетична енергія.

2.3 Оцінка поточного стану електромеханічної колісної платформи на основі параметричної ідентифікації

Стан електромеханічної платформи характеризується набором параметрів а саме параметрами математичної моделі J , m , r_w , b , $\sin \alpha$, B_e , L_e , R_e , U_e , N_e , δ .

Вважаємо, що параметр N_e визначений конструкцією самої платформи, однак в процесі експлуатації значення N_e може змінюватися в деяких

випадках, наприклад через відмову електродвигунів.

Параметр m не може змінюватися під час експлуатації. Також не містить принципових труднощів і може бути визначений аналізуючи деформацію ресорного підвісу.

Хоча такий шлях містить ряд труднощів пов'язаних з урахуванням поточної жорсткості пружних елементів ресорного підвішування, проте ми вважаємо, що величина m відома.

Значення U_e може бути визначена за допомогою вольтметра, хоча точність оцінки величини U_e залежить від технічного стану вольтметра, ми приймаємо, що величина U_e відома, оскільки оцінка технічного стану електровимірювальних приладів можна вважати вирішеним завданням.

Таким чином невідомими вважаємо параметри $J, r_w, b, \sin \alpha, B_e, L_e, R_e, N_e, \delta$.

Параметри δ та $\sin \alpha$ характеризують стан дороги опорної поверхні на якій рухається колісна платформа.

Параметри J, r_w, b характеризують механічну частину колісної платформи.

Параметри B_e, L_e, R_e, N_e характеризують стан електричної частини колісної платформи.

Завдання полягає в тому, щоб при заданій m та відомому U_e від T визначити параметри колісної платформи, що характеризує поточний стан на основі результатів поточних вимірювань стану.

Для цього необхідно запропонувати метод вимірювання необхідний для визначення поточного технічного стану.

Для оцінки поточного стану колісної платформи використовуємо математичну модель (2.22), котру спростимо за рахунок введення нових змінних.

$$\omega = \dot{q}_1; I = \dot{q}_2; \quad (2.40)$$

де ω – кутова швидкість колеса;

I – сила струму в ланцюзі ротора електродвигуна.

В результаті вибір змінних обумовлений тим, що величину ω можна легко виміряти за допомогою тахометра, а величину I за допомогою амперметра.

З урахування введених нових змінних диференціальне рівняння (2.40) матиме такий вигляд:

$$J \frac{dx}{dt} + b\omega - N_e B_e I = -mg(r_w \sin \alpha + \delta) \quad (2.41)$$

$$L_e \frac{dI}{dt} + B_e \omega + R_e I = U_e(t) \quad (2.42)$$

Рівняння (2.41) показує, що практично неможливо визначити параметри $r_w \sin \alpha + \delta$, але при цьому можна визначити їх за допомогою комбінації:

$$\delta_{w\alpha} = r_w \sin \alpha + \delta \quad (2.43)$$

де $\delta_{w\alpha}$ – узагальнений параметри, що характеризує стан опорної поверхні, а також взаємодію колес.

Для величини U_e можемо дати більш зручніше визначення як $U = U_e$.

Вважаємо, що величини $\omega = \omega(t)$, $I = I(t)$ та $U = U(t)$ нам відомі, і вважаємо, що змінні визначаються шляхом відповідних вимірювань.

Припускаємо, що результат таких вимірювань подається в дискретній формі в момент часу:

$$t = t_1, t_2, \dots, t_n \quad (2.44)$$

Також вважаємо, що момент часу (2.44) віддалені один від одного в цьому випадку ми можемо привести до вигляду:

$$t_{k+1} - t_k = \Delta t; \forall k = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2.45)$$

де Δt – період диференціальних вимірювань сигналів.

Для моменту часу (2.34) будемо спів ставляти результати вимірювань результуючих сигналів.

$$\omega = \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n \quad (2.46)$$

$$I = I_1, I_2, \dots, I_n \quad (2.47)$$

$$U = U_1, U_2, \dots, U_n \quad (2.48)$$

де $\omega_k = \omega(t_k), I_k = I(t_k), U_k = U(t_k)$, а вимірювання значень в відповідності моменту часу $t = t_k, n = n_1, n_2, \dots, n$.

Розв'язання задачі ідентифікації розглядаємо з рівняння (2.42), котре представимо у такому вигляді:

$$L_e \frac{I_{k+1} - I_k}{\Delta t} + B_e \omega_k + R_e I_k - U_k = 0 \quad (2.49)$$

Наводимо подібні доданки:

$$L_e I_{k+1} + (R_e \Delta t - L_e) F_t B_e \Delta t \omega_k - U_k \Delta t = 0 \quad (2.50)$$

Введемо позначення:

$$L_e = x_1, R_e \Delta t - L_e = x_2, R_e \Delta t = x_3 \quad (2.51)$$

Вирішення задачі ідентифікації зводиться до визначення параметрів (2.40):

$$L_e = x_1, R_e = \frac{x_2 + x_1}{\Delta t}, B_e = \frac{x_3}{\Delta t} \quad (2.52)$$

$$x_1 I_{k+1} + x_2 I_{k+2} + x_3 \omega_k + U_k \Delta t = 0; \quad (2.53)$$

Приведемо рівняння до наступного рівняння найменших квадратів:

$$S = \sum_{n=1}^{n-1} (x_1 I_{k+1} + x_2 I_{k+2} + x_3 \omega_k + U_k \Delta t)^2 \quad (2.54)$$

$$\frac{\delta S}{\delta x_1} = 0, \frac{\delta S}{\delta x_2} = 0, \frac{\delta S}{\delta x_3} = 0 \quad (2.55)$$

Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{n-1} (x_1 I_{k+1} + x_2 I_{k+2} + x_3 \omega_k + U_k \Delta t) I_{k+1} &= 0 \\ \sum_{n=1}^{n-1} (x_1 I_{k+1} + x_2 I_{k+2} + x_3 \omega_k + U_k \Delta t) I_k &= 0 \\ \sum_{n=1}^{n-1} (x_1 I_{k+1} + x_2 I_{k+2} + x_3 \omega_k + U_k \Delta t) \omega_k &= 0 \end{aligned} \quad (2.56)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \sum_{n=1}^{n-1} I_{k+1}^2, & a_{12} &= \sum_{n=1}^{n-1} I_k - I_{k+1}, & a_{13} &= \sum_{n=1}^{n-1} \omega_k I_{k+1} \\ a_{21} &= \sum_{n=1}^{n-1} I_k^2, & a_{22} &= \sum_{n=1}^{n-1} \omega_k I_k, & a_{23} &= \sum_{n=1}^{n-1} \omega_k^2 \\ b_1 &= \Delta t \sum_{n=1}^{n-1} U_k I_{k+1}, & b_2 &= \sum_{n=1}^{n-1} U_k I_k, & b_3 &= \sum_{n=1}^{n-1} U_k \omega_k \end{aligned} \quad (2.57)$$

З урахування узагальнень (2.57) рівняння (2.56) прийме такий вигляд:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1 \\ a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2 \\ a_{13}x_1 + a_{23}x_2 + a_{33}x_3 = b_3 \end{cases} \quad (2.58)$$

Таким чином вирішення задачі ідентифікації для оцінки технічного стану електричної колісної платформи зводиться до вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (2.48) на основі даних вимірювань поточного стану.

Аналогічно можна розглянути завдання ідентифікації для оцінки поточно стану механічної частини.

2.4 Висновки ро розділу

Було розроблено узагальнену розрахункову схема для колісних електромеханічних платформ, на основі параметричної ідентифікації розроблений метод оцінки поточного стану колісної електромеханічної платформи.

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОЦІНКИ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ВОСЬМИ КОЛІСНОЇ ПЛАТФОРМИ

3.1 Розрахункова схема та комп'ютерна модель електромеханічної восьми колісної платформи

Оцінка поточного стану восьми колісної платформи здійснюється на основі математичної моделі (2.41), (2.42) з використання результатів вимірювання кутової швидкості коліс, сили струму в обмотці роторів електродвигунів і напруги, що подається.

Далі як результати вимірювань використовуємо результати комп'ютерного моделювання восьми колісної платформи за допомогою математичної моделі, котру можна представити у вигляді:

$$\ddot{q}_1 = -\frac{b}{J} \dot{q}_1 + N_e \frac{B_e}{J} \dot{q}_2 - \frac{mg}{J} (\delta + r_w \sin \alpha) \quad (3.1)$$

$$\dot{q}_2 = -\frac{B_e}{L_e} \dot{q}_1 - \frac{R_e}{L_e} \dot{q}_2 + \frac{1}{L_e} U_e(t) \quad (3.2)$$

$$q_1(t_0) = \varphi_0, \quad \dot{q}_1(t_0) = \omega_0, \quad q_2(t_0) = x_0, \quad \dot{q}_2(t_0) = I_0 \quad (3.3)$$

де t_0 – момент часу, прийmemo за початковий;

$\varphi_0, \omega_0, x_0, I_0$ – задані значення для кута повороту колес, кутової швидкості колес, електричного заряду, сили струму в початковий момент часу $t = t_0$.

У випадку восьми колісної платформи зі всіма колесами, що обертаються ми маємо:

$$N_e = 8 \quad (3.4)$$

де N_e – це кількість колес.

Початковий ривок моделювання восьми колісної платформи зводиться до вирішення диференціальних рівнянь (3.1), (3.2) з урахуванням початкових

рівнянь (3.3) для значення (3.4).

Для вирішення рівнянь (3.1), та (3.2) їх потрібно представити у вигляді рівнянь першого порядку.

Для цього введем нові невідомі:

$$x_1 = q_1, x_2 = q_2, x_3 = \dot{q}_1, x_4 = \dot{q}_2 \quad (3.5)$$

з урахуванням введених позначень (3.5) та рівнянь (3.1), (3.2) та рівняння (3.3) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_3 \\ \dot{x}_2 &= x_4 \\ \dot{x}_3 &= -\frac{b}{J}x_3 - \frac{B_e}{J}x_4 - mg(\delta + r_w \sin \alpha) \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_4 &= -\frac{B_e}{L_e}x_3 - \frac{R_e}{L_e}x_4 + \frac{1}{L_e}U_e \\ x_1(t_0) &= \varphi_1, \quad x_2(t_0) = \varphi_1, \quad x_3(t_0) = x_0, \quad x_4(t_0) = I_0 \end{aligned} \quad (3.7)$$

У вигляді (3.6) та (3.7) отримуємо математичну модель восьми колісної платформи зображену на рис (3.1).

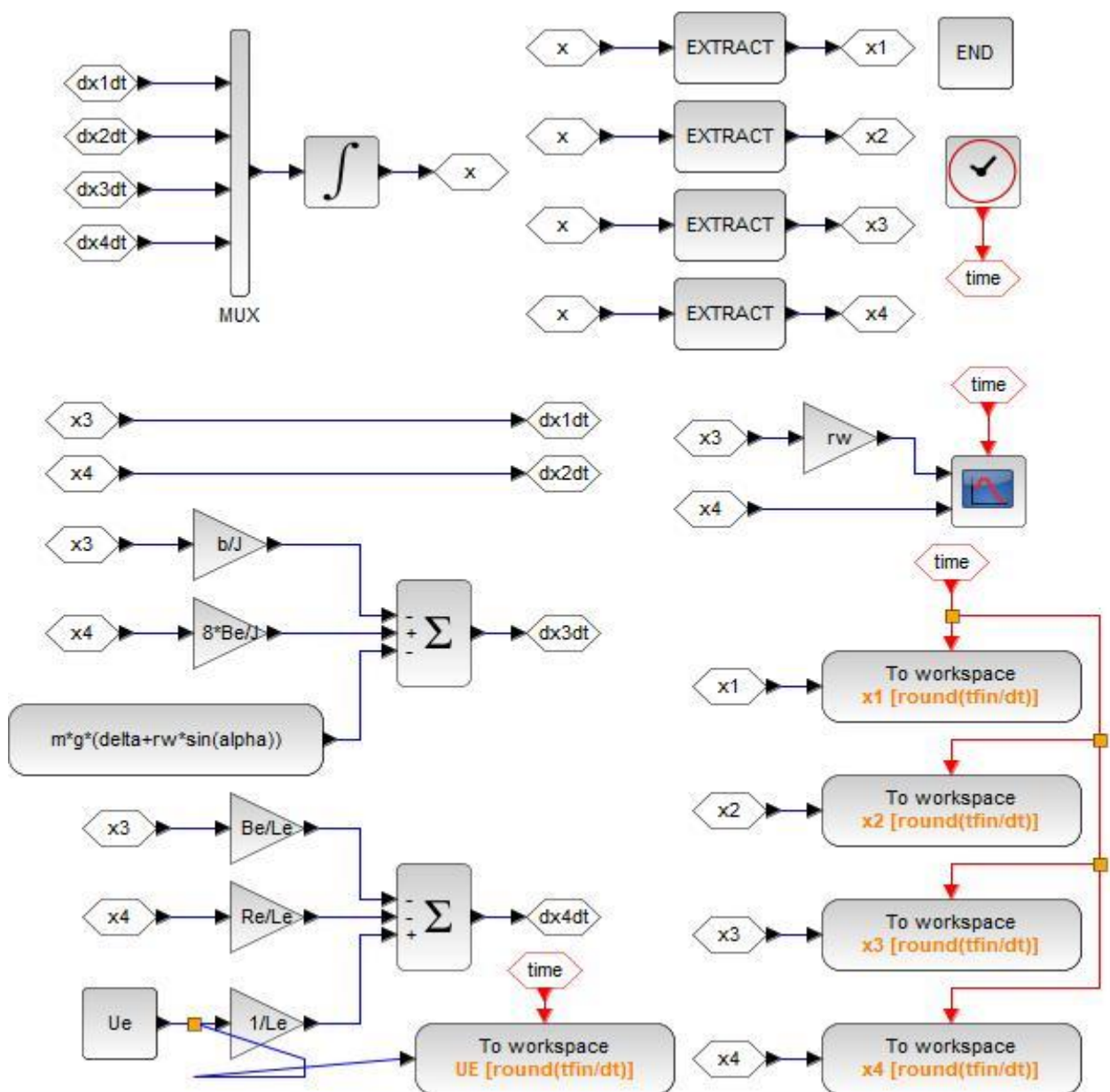


Рисунок 3.1 – Побудована математична модель для розрахунку поточного стану

Введення даних для побудованої математичної моделі здійснюється в панелі встановити контекст.

Далі вводимо вихідні дані для нашої моделі (рис 3.2, рис.3.3).

```
J=20; b=1.5; m=1000; g=9.81; delta=0.008; rw=0.25; alpha=0;
Le=2.3E-3; Re=1.8; Be=2.5; Ue=180;
f0=0; w0=0; k0=0; I0=0;
u1=m*g*(delta-rw*sin(alpha)); u2=Ue;
tfin=100; dt=0.01;
```

Рисунок 3.2 – Дані для контексту комп'ютерного моделювання

```
5 function res=simulation(Ue);
6 --- importKcosDiagram("compl.zcos");
7 --- typeof(scs_m);
8 --- scs_m.props.context;
9 --- Context.Ue=Ue;
10 --- scicos_simulate(scs_m,Context);
11 --- res=[x1,x2,x3,x4,Ue];
12 endfunction
13
14 titlex="$t, \mathrm{s}$";
15 LEG=["$U_e=170 \mathrm{B}$", "$U_e=180 \mathrm{B}$", "$U_e=190 \mathrm{B}$"];
16
17 res=simulation(170);
18 show_window(1); t=res(1).time; x=res(1).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
19 show_window(2); t=res(2).time; x=res(2).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
20 show_window(3); t=res(3).time; x=res(3).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
21 show_window(4); t=res(4).time; x=res(4).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
22 show_window(5); t=res(5).time; x=res(5).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
23 res=simulation(180);
24 scf(1); t=res(1).time; x=res(1).values; plot(t,x,"k--", "linewidth",2);
25 scf(2); t=res(2).time; x=res(2).values; plot(t,x,"k--", "linewidth",2);
26 scf(3); t=res(3).time; x=res(3).values; plot(t,x,"k--", "linewidth",2);
27 scf(4); t=res(4).time; x=res(4).values; plot(t,x,"k--", "linewidth",2);
28 scf(5); t=res(5).time; x=res(5).values; plot(t,x,"k--", "linewidth",2);
29 res=simulation(190);
30 scf(1); t=res(1).time; x=res(1).values; plot(t,x,"k:", "linewidth",2);
31 FormatCharts(titlex,"$x_1(t)$", "", LEG,2); xsave("compl_x1.scg");
32 scf(2); t=res(2).time; x=res(2).values; plot(t,x,"k:", "linewidth",2);
33 FormatCharts(titlex,"$x_2(t), \mathrm{Kl}$", "", LEG,4); xsave("compl_x2.scg");
34 scf(3); t=res(3).time; x=res(3).values; plot(t,x,"k:", "linewidth",2);
35 FormatCharts(titlex,"$x_3(t), \mathrm{l/c}$", "", LEG,4); xsave("compl_x3.scg");
36 scf(4); t=res(4).time; x=res(4).values; plot(t,x,"k:", "linewidth",2);
37 FormatCharts(titlex,"$x_4(t), \mathrm{A}$", "", LEG,4); xsave("compl_x4.scg");
38 scf(5); t=res(5).time; x=res(5).values; plot(t,x,"k:", "linewidth",2);
39 SetYAxesBounds(0,200);
40 FormatCharts(titlex,"$U_e(t), \mathrm{B}$", "", LEG,4); xsave("compl_Ue.scg");
..
```

Рисунок 3.3 – Програма-сценарій досліджуваної математичної моделі для розрахунку поточного стану

Розглянемо результати досліджень щодо можливості автоматизованої оцінки виявлення поточного стану колісної платформи на основі параметричної ідентифікації:

На рис. 3.4 показані результати моделювання напруги $U_e(t)$ під час руху колісної платформи.

Під час руху електромеханічної колісної платформи напруга не змінюється при нормальних обставинах, щ можна побачити на (рис. 3.4) та є постійною.

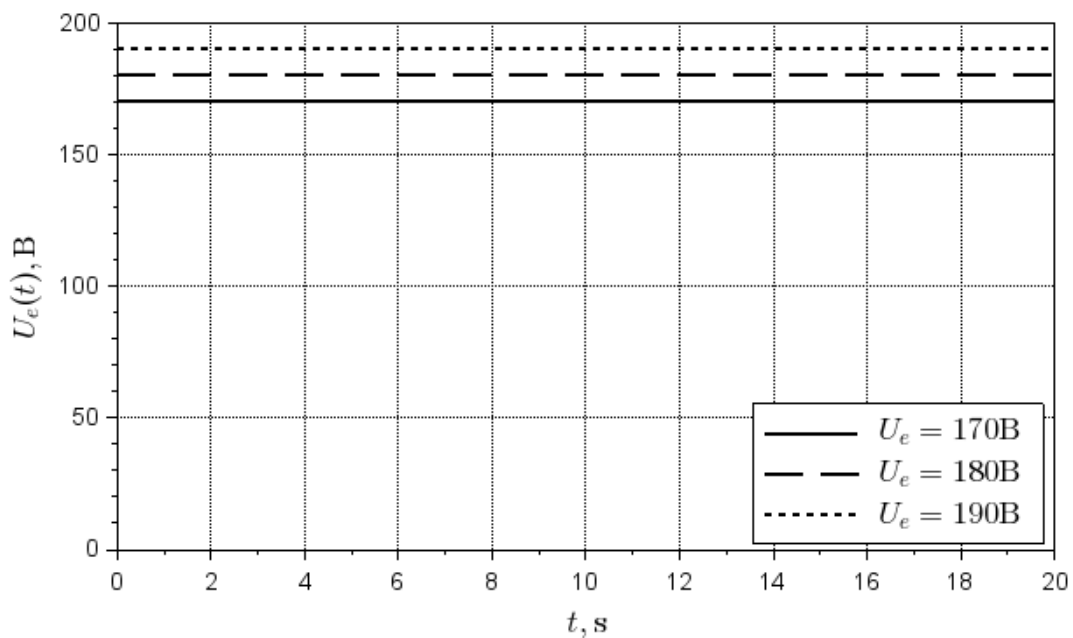
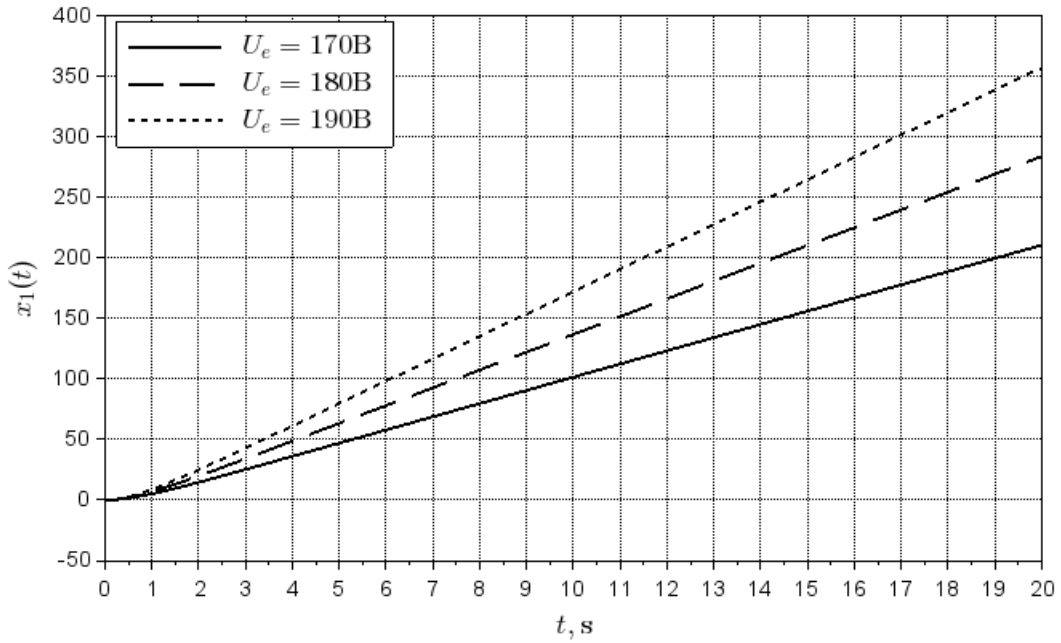
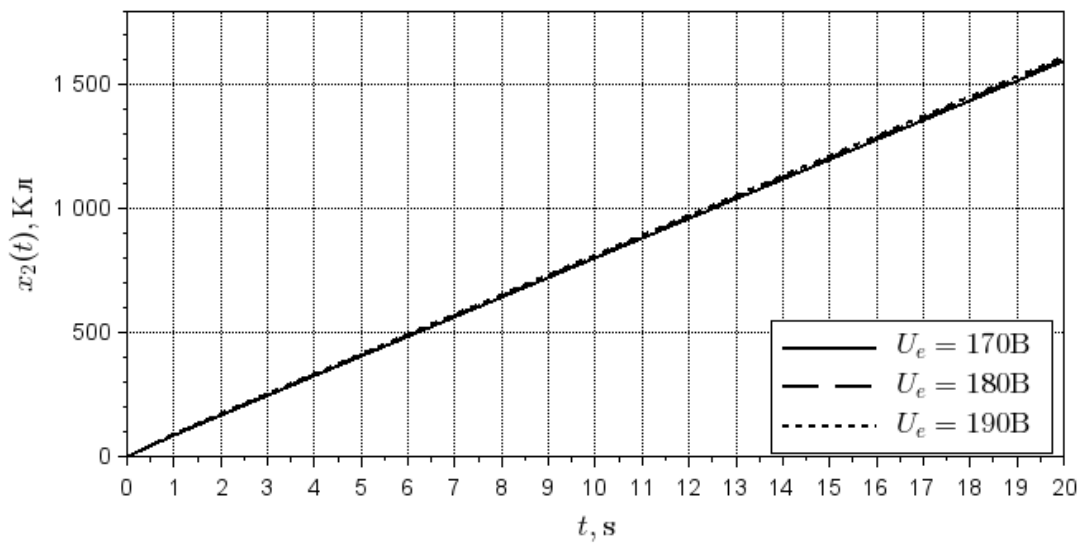


Рисунок 3.4 – Графік напруги $U_e(t)$

На (рис. 3.5) показані результати розрахунку сценарію $x_1(t)$ для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

Рисунок 3.5 – Графік сценарію $x_1(t)$

На (рис. 3.6) показані результати розрахунку сценарію $x_2(t)$ електричного заряду для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

Рисунок 3.6 – Графік $x_2(t)$

На (рис. 3.7) показані результати розрахунку сценарію $x_3(t)$ заряду для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

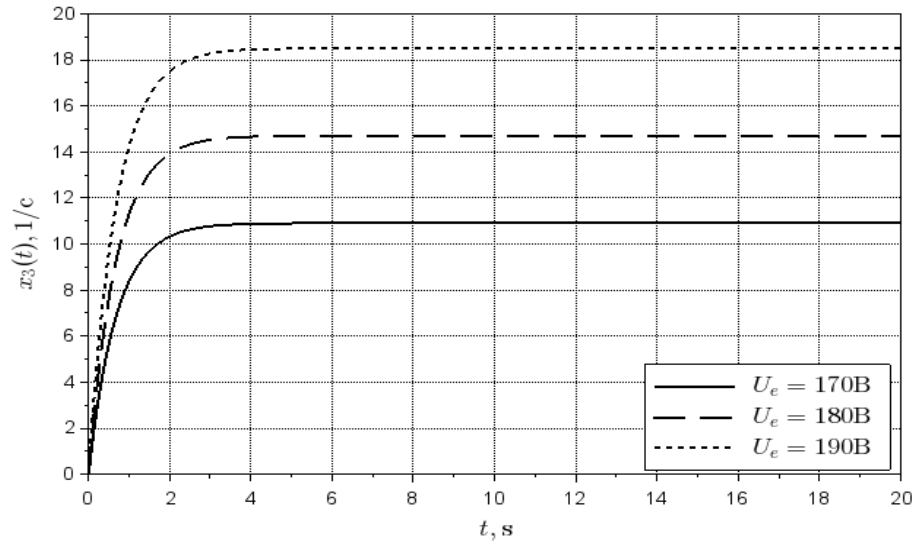


Рисунок 3.7 – Графік $x_3(t)$

На (рис. 3.8) показані результати розрахунку сценарію $x_4(t)$ ампер для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

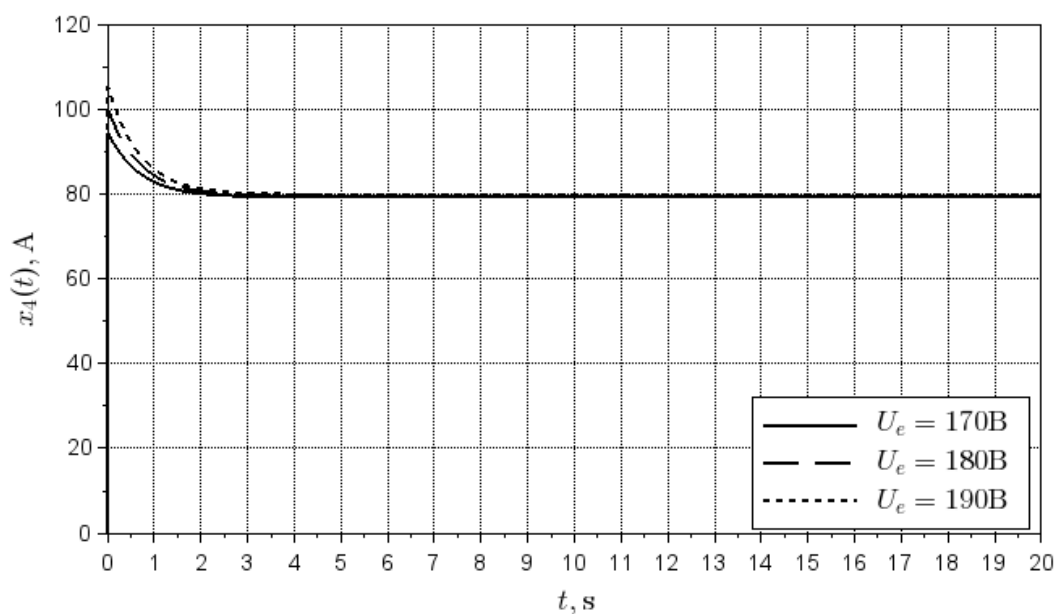


Рисунок 3.8 – Графік $x_4(t)$

3.2 Параметрична ідентифікація електромеханічної колісної платформи

Для розрахунку погрішностей нашої математичної моделі модель (рис. 3.1) була модифікована та тепер має вигляд зображений на (рис. 3.2).

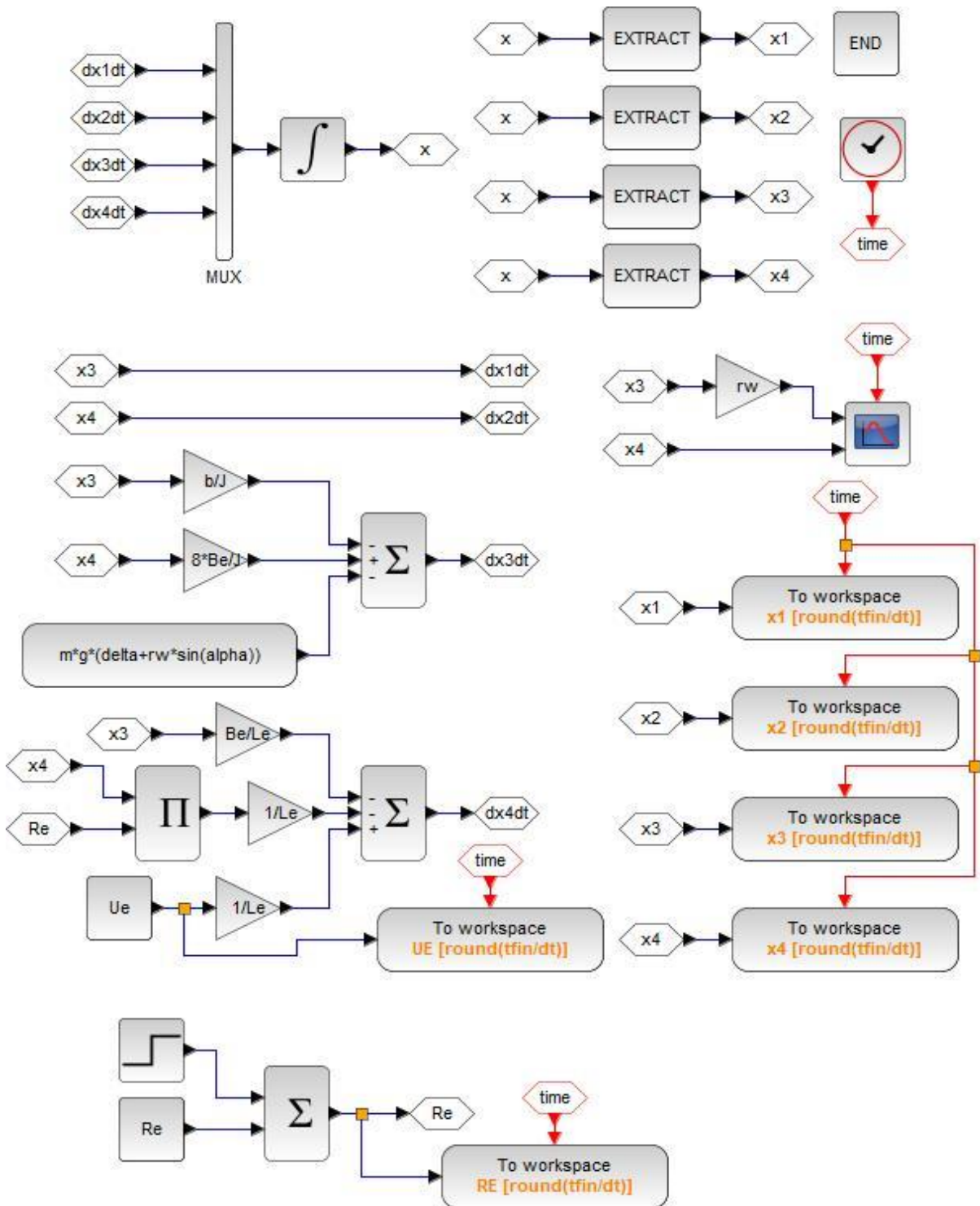


Рисунок 3.9 – Модифікована математична модель для розрахунку поточного стану

Введення даних для побудованої математичної моделі здійснюється в панелі встановити контекст.

Далі вводимо вихідні дані для нашої моделі (рис. 3.10, рис. 3.11).

```

1 clear;clc;
2
3 loadXcosLibs(); loadScicos(); exec('FormatCharts.sce',-1)
4
5
6 function res=simulation(Ue,dt);
7 ... importXcosDiagram("compl.scos");
8 ... typeof(scs_m);
9 ... scs_m.props.context;
10 ... Context.Ue=Ue; Context.dt=dt;
11 ... scicos_simulate(scs_m,Context);
12 ... res=[x1,x2,x3,x4,UE];
13 endfunction
14
15 function res=identification(t,w,I,u)
16 ... n=round(length(t)); dt=t(2)-t(1);
17 ... a11=sum(I(2:n).^2); a12=sum(I(1:n-1).*I(2:n)); a13=sum(w(1:n-1).*I(2:n));
18 ... a22=sum(I(1:n-1).^2); a23=sum(w(1:n-1).*I(1:n-1)); a23=sum(w(1:n-1).^2);
19 ... b1=dt*sum(u(1:n-1).*I(2:n)); b2=dt*sum(u(1:n-1).*I(1:n-1));
20 ... b3=dt*sum(u(1:n-1).*w(1:n-1));
21 ... A=[a11,a12,a13;a12,a22,a23;a13,a23,a33]; b=[b1;b2;b3];
22 ... x=A\b; Le=x(1); Re=(x(1)+x(2))/dt; Be=x(3)/dt;
23 ... res=[Le,Re,Be];
24 endfunction
25
26 actual=[2.3E-3,1.8,2.5];
27 disp(actual);
28 res=simulation(170,0.01);
29 t=res(1).time; w=res(3).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
30 res1=identification(t,w,I,u)
31 disp(res1); res1=abs(res1-actual)./actual*100;
32 disp(res1);
33 res=simulation(170,0.001);
34 t=res(1).time; w=res(3).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
35 res2=identification(t,w,I,u)

```

Рисунок 3.10 – Програма-сценарій досліджуваної математичної моделі для розрахунку похибки при оцінюванні поточного

```

26 actual=[3.3E-3,1.8,2.5];
27 disp(actual);
28 res=simulation(170,0.01);
29 t=res(1).time; w=res(3).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
30 res1=identification(t,w,I,u)
31 disp(res1); res1=abs(res1-actual)./actual*100;
32 disp(res1);
33 res=simulation(170,0.001);
34 t=res(1).time; w=res(3).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
35 res2=identification(t,w,I,u)
36 disp(res2); res2=abs(res2-actual)./actual*100;
37 disp(res2);
38 res=simulation(170,0.0001);
39 t=res(1).time; w=res(3).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
40 res3=identification(t,w,I,u)
41 disp(res3); res3=abs(res3-actual)./actual*100;
42 disp(res3);
43 dt=[0.01,0.001,0.0001]; titlex='\Delta t$';
44 DLe=[res1(1),res2(1),res3(1)]; titley='\varepsilon_L,%$';
45 show_window(1); plot(dt,DLe,"ko-","linewidth",2);
46 FormatCharts(titlex,titley,[],1); xsave("comp2_res1.scg");
47 DRe=[res1(2),res2(2),res3(2)]; titley='\varepsilon_R,%$';
48 show_window(2); plot(dt,DRe,"ko-","linewidth",2);
49 FormatCharts(titlex,titley,[],1); xsave("comp2_res2.scg");
50 DBe=[res1(3),res2(3),res3(3)]; titley='\varepsilon_B,%$';
51 show_window(3); plot(dt,DBe,"ko-","linewidth",2);
52 FormatCharts(titlex,titley,[],1); xsave("comp2_res3.scg");
53
54

```

Рисунок 3.11 – Продовження програми-сценарію досліджуваної математичної моделі для розрахунку похибки для оцінки поточного стану

Для оцінки погрішності індуктивності L_e та моменту часу Δt нам знадобиться наступний вираз:

$$\varepsilon_L = \frac{|\hat{L}_e - L_e|}{L_e} 100\% \quad (3.8)$$

де ε_L – це відносна погрішність величини L_e ;

\hat{L}_e – це результат розв’язання задачі ідентифікації;

L_e – це точне значення, $L_e = 2,3 * 10^{-3}$ Гн.

Результатом розрахунку для відносної погрішності ε_L можемо спостерігати на (рис 3.12).

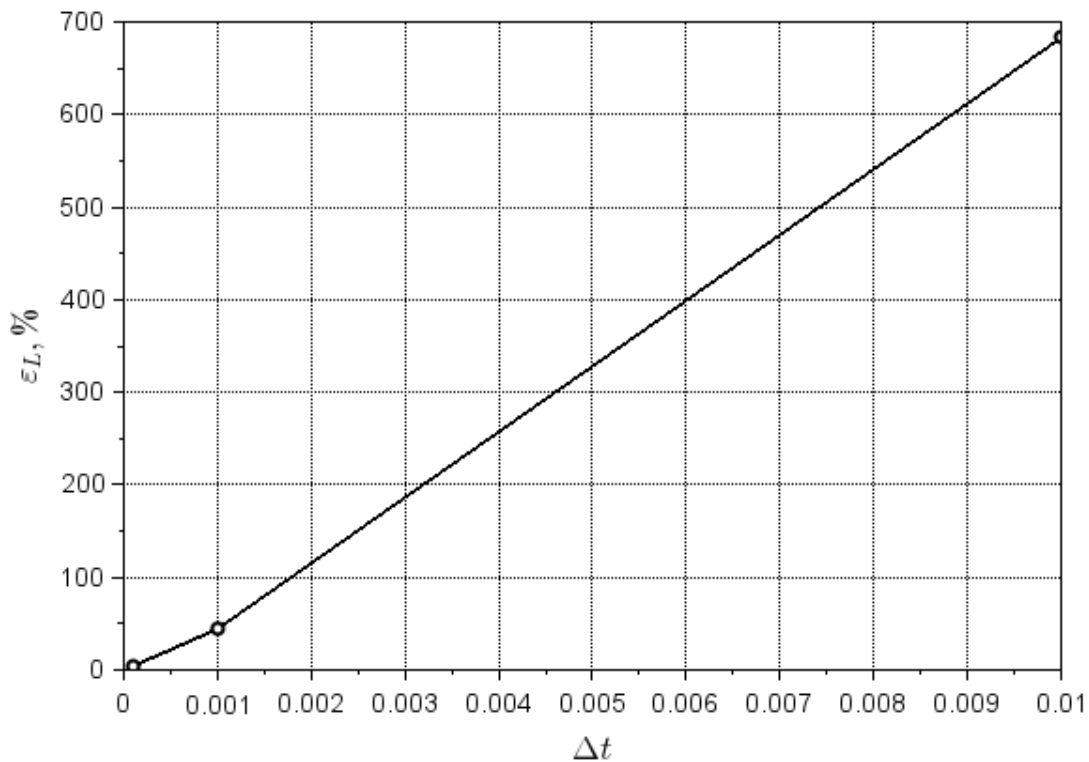


Рисунок 3.12 – Графік відносної погрішності індуктивності L_e

На рисунку 3.12 можна спостерігати як відносна погрішність індуктивності L_e залежить від Δt .

Чим менше значення Δt тим погрішність наших розрахунків вище.

Для оцінки погрішності опору R_e , та моменту часу Δt нам знадобиться наступний вираз:

$$\varepsilon_R = \frac{|\hat{R}_e - R_e|}{R_e} 100\% \quad (3.9)$$

де ε_R – це відносна погрішність величини R_e

\hat{R}_e – це результат розв'язання задачі ідентифікації;

$R_e = 1,8 \text{ Ом}$.

Результатом розрахунку для відносної погрішності ε_R можемо спостерігати на (рис 3.13).

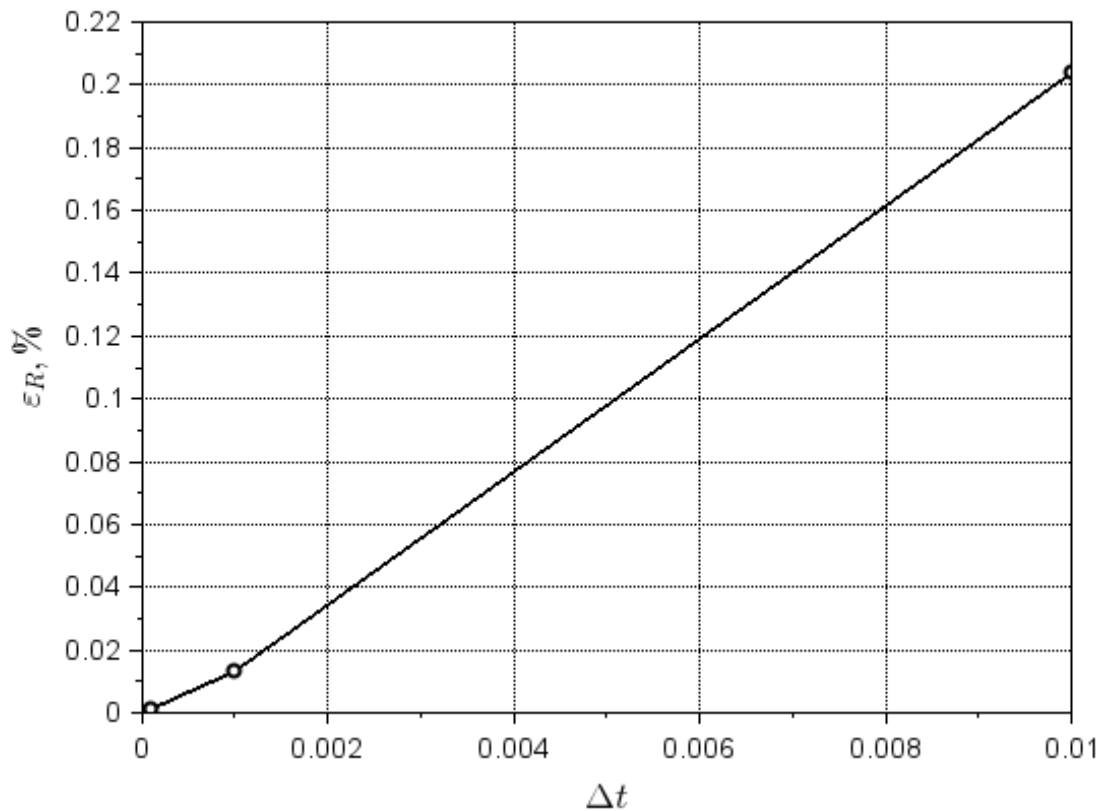


Рисунок 3.13 – Графік відносної погрішності опору R_e

На рис. (3.13) можна спостерігати як відносна погрішність опору R_e залежить від Δt .

Чим менше значення Δt тим погрішність наших розрахунків вище.

Для оцінки погрішності ε_B та моменту часу Δt нам знадобиться наступний вираз:

$$\varepsilon_B = \frac{|\dot{B}_e - B_e|}{B_e} 100\% \quad (3.10)$$

де ε_B – це відносна погрішність величини B_e ;

\dot{B}_e – це результат розв'язання задачі ідентифікації;

$$B_e = 2,7 \frac{H^*M}{\Delta}.$$

Результатом розрахунку для відносної погрішності ε_B можемо спостерігати на (рис. 3.14).

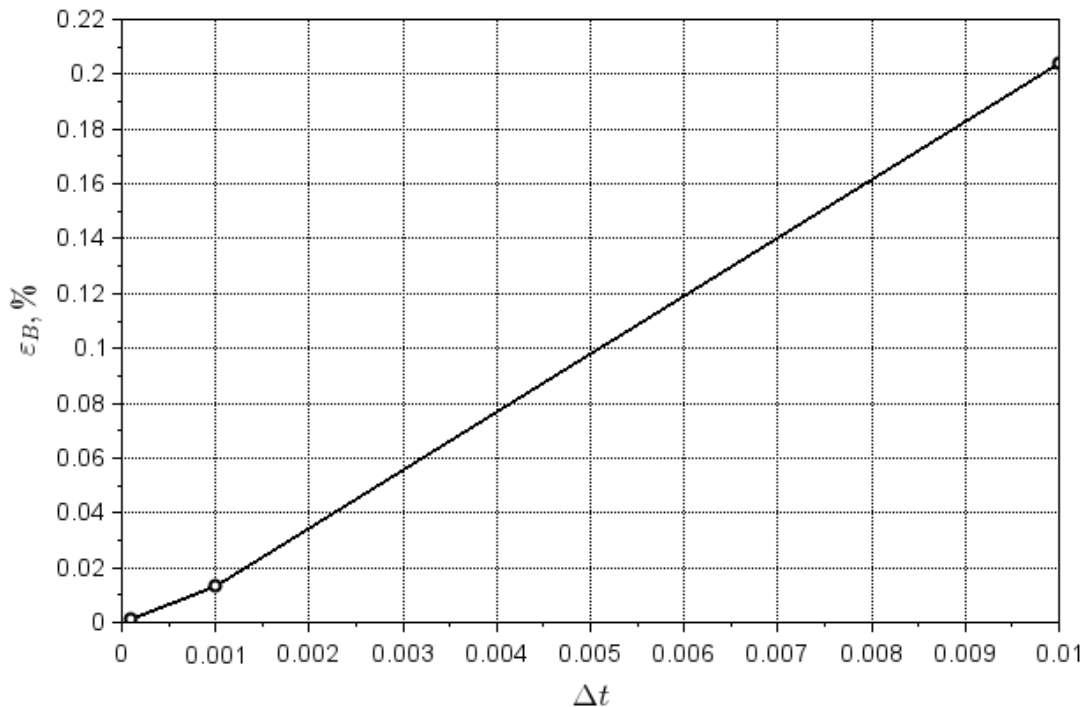


Рисунок 3.14 – Графік відносної погрішності електромеханічної характеристика електродвигуна B_e

На рис. 3.14 можна спостерігати як відносна погрішність опору B_e залежить від Δt .

Чим менше значення Δt тим погрішність наших розрахунків вище.

Для узагальнення всі результатів розрахунків погрішностей для нашої математичної моделі була створена таблиця 3.1, на якій можна спостерігати результати наших розрахунків.

Як ми можемо бачити у нас є чітка залежність погрішності від параметра Δt та всі результати було розділені по параметрам для яких проводились розрахунки погрішностей в даному дослідженні.

Таблиця 3.1 – Результати ідентифікації та її погрішності

Δt	$L_e, \text{Гн}$		$R_e, \text{Ом}$		$B_e, \frac{\text{Н} * \text{М}}{\Delta}$	
	результат	погрішність	результат	погрішність	результат	погрішність
0,01	0.0180124	683.14664	1.8036699	0.2038826	2.4733147	1.0674117
0,001	0.0033146	44.114991	1.8002382	0.0132323	2.4982681	0.0692765
0,0001	0.002391	3.9577865	1.8000221	0.0012269	2.4998393	0.0064263

3.3 Можливості щодо автоматизованого виявлення типових пошкоджень електромеханічної восьми колісної платформи

В якості прикладу розглянемо типове пошкодження у вигляді деформації опору електричної обмотки роторів електродвигуна. Для цього нам знадобиться програма-розрахунок зображена на (рис. 3.15, рис. 3.16) котра показує програмний код для виконання розрахунку моделі.

```

3 loadXcosLibs(); loadScicos(); exec('FormatCharts.sce',-1)
4
5
6 function res=simulation(Ue,dt);
7   ...importXcosDiagram("comp2.scos");
8   ...typeof(scs_m);
9   ...scs_m.props.context;
10  ...Context.Ue=Ue; Context.dt=dt;
11  ...scicos_simulate(scs_m,Context);
12  ...res=[x1,x2,x3,x4,UE,RE];
13 endfunction
14
15 function res=identification(t,w,I,u)
16   ...n=round(length(t)); dt=t(2)-t(1);
17   ...a11=sum(I(2:n).^2); a12=sum(I(1:n-1).*I(2:n)); a13=sum(w(1:n-1).*I(2:n));
18   ...a22=sum(I(1:n-1).^2); a23=sum(w(1:n-1).*I(1:n-1)); a23=sum(w(1:n-1).^2);
19   ...b1=dt*sum(u(1:n-1).*I(2:n)); b2=dt*sum(u(1:n-1).*I(1:n-1));
20   ...b3=dt*sum(u(1:n-1).*w(1:n-1));
21   ...A=[a11,a12,a13;a12,a22,a23;a13,a23,a33]; b=[b1;b2;b3];
22   ...x=A\b; Le=x(1); Re=(x(1)+x(2))/dt; Be=x(3)/dt;
23   ...res=Re;
24 endfunction
25
26
27 res=simulation(170,0.001);
28 t=res(1).time; w=res(2).values; I=res(4).values; u=res(5).values;
29 dt=t(2)-t(1); n=length(t);
30 Dt=1; .....N=round(Dt/dt);
31
32
33 Ni=round(n/N);
34 T=[]; Re=[];
35 for i=1:1:Ni
36   ...n1=(i-1)*N+1; n2=n1+N-1;
37   ...T=[T, (t(n1)+t(n2))/2];
38   ...res1=identification(t(n1:n2),w(n1:n2),I(n1:n2),u(n1:n2));
39   ...Re=[Re,res1];
40   ...disp(res1);
41 end

```

3.15 – Програма-сценарій досліджуваної математичної моделі для розрахунку сценарію пошкодження

```

41 exit
42
43 show_window(1);
44 t=res(6).time; x=res(6).values; plot(t,x,"k-", "linewidth",2);
45 plot(T,Re,"k-", "linewidth",2);
46 titlex="$t, \mathrm{c}$"; titley="$R_e(t), \mathrm{Om}$";
47 LEG=["actual-value", "identified-value"];
48 FormatCharts(titlex,titley,"",LEG,2); xsave("comp4_res1.scg");
49
50
51
52
53

```

3.16 – Продовження програми-сценарію досліджуваної математичної моделі для розрахунку сценарію пошкодження

Результати виконання моделювання програми зображено на (рис. 3.17).

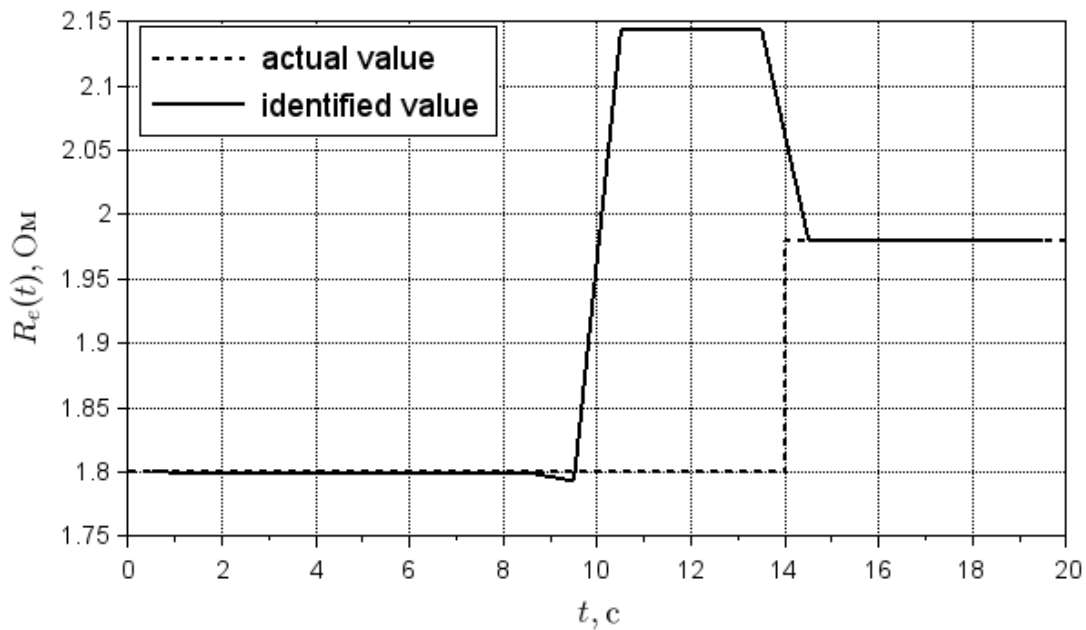


Рисунок 3.17 – Результат моделювання опорного моменту при пошкодженні обмотки ротора

Як можна бачити на рисунку 3.17 з початковим опором 1.8 Ом через певний проміжок часу значення змінилося, що відображає проблему в роботі колісної платформи.

Під час моделювання було додано зміни до нормальної роботи електромеханічної колісної платформи та результати значення, що ми ідентифікували можна побачити на рисунку 3.17.

На (рис. 3.18) показані результати розрахунку напруги для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

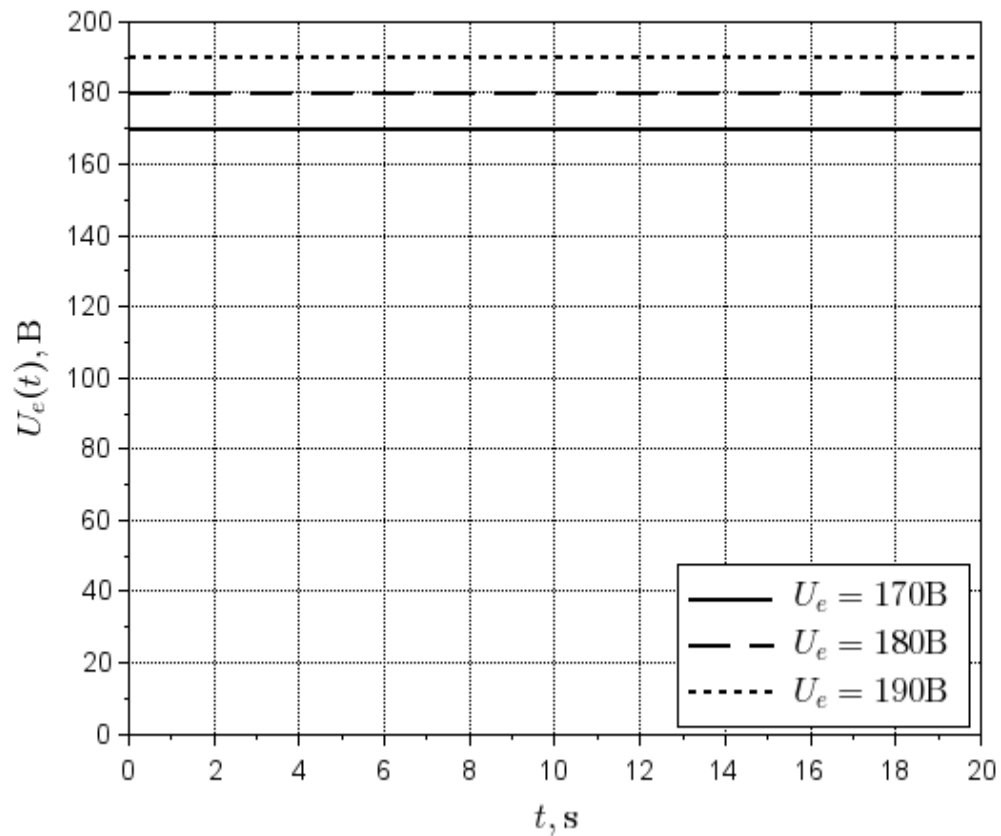


Рисунок 3.18 – Результат моделювання напруги при пошкодженні обмотки ротора

На (рис. 3.19) показані результати виконання моделювання опору для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170 вольт.

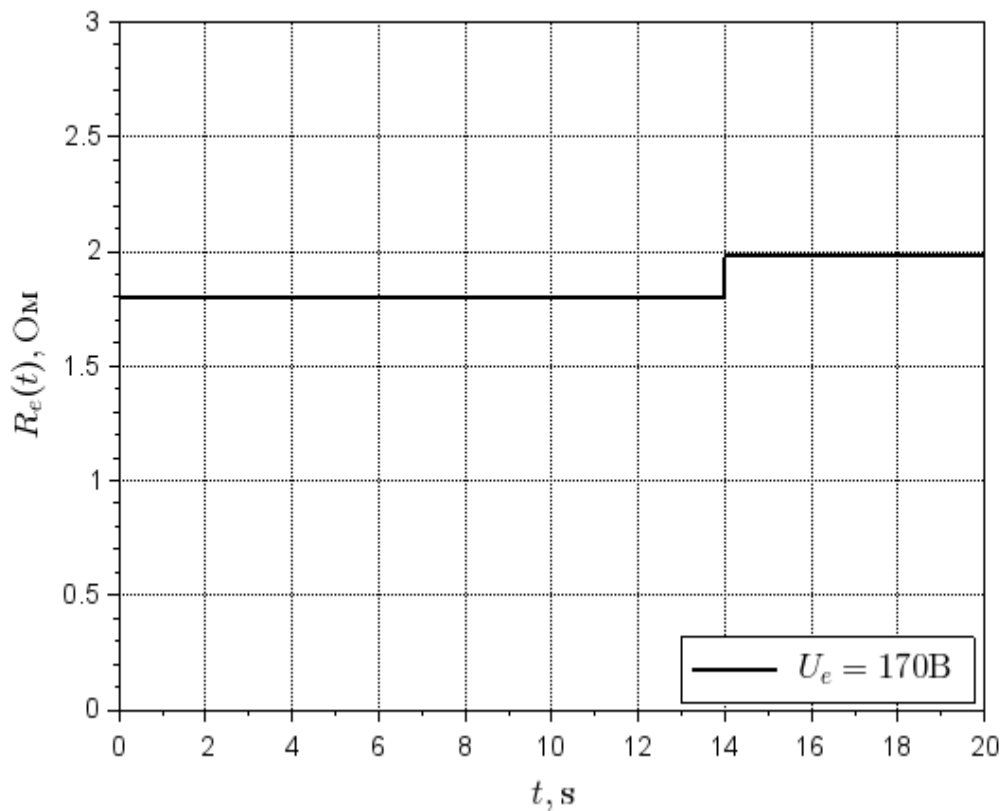


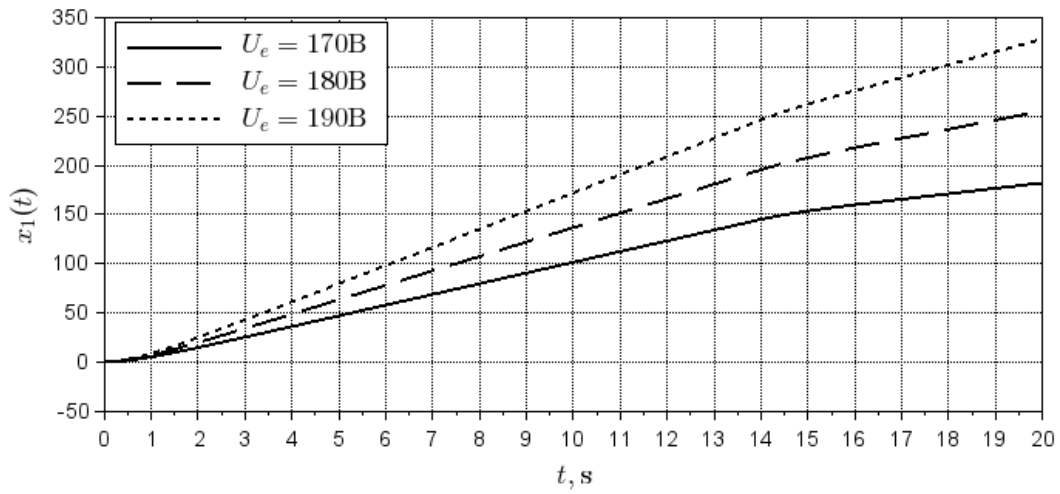
Рисунок 3.19 – Результат моделювання опору при пошкодженні обмотки ротора

Як можна бачити на рисунку 3.19 з початковим опором 1.8 Ом та напругу 170 вольт через певний проміжок часу значення змінилося, що відображає проблему в роботі колісної платформи.

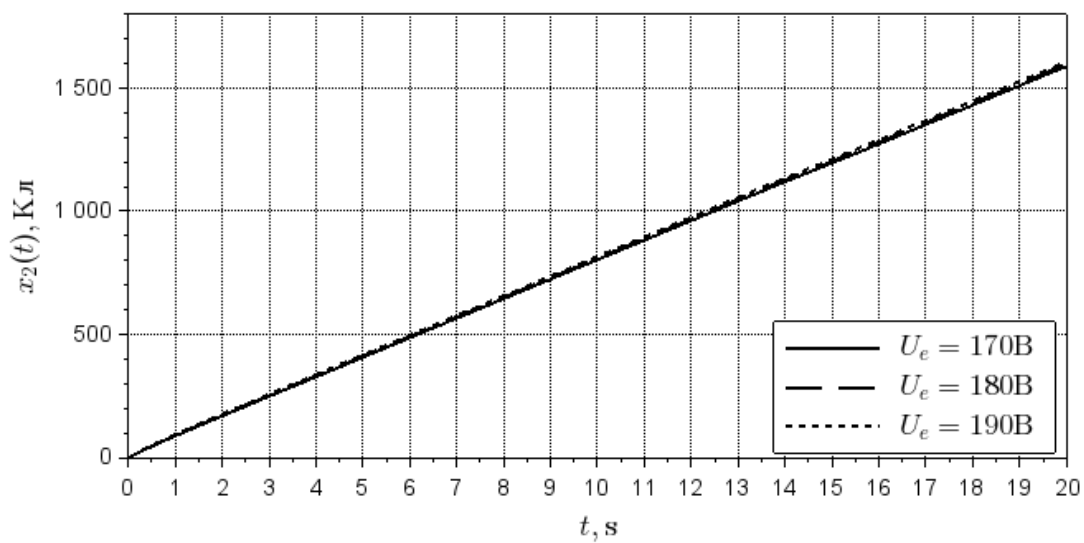
Під час моделювання було додано зміни до нормальної роботи електромеханічної колісної платформи та результати значення, що ми ідентифікували можна побачити на рисунку 3.19.

На (рис. 3.20) показані результати розрахунку коливання опору при пошкодженні обмотки ротора. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190.

електромеханічної колісної платформи та результати значення, що ми ідентифікували можна побачити на (рис. 3.20).

Рисунок 3.20 – Графік $x_1(t)$

На (рис. 3.21) показані результати розрахунку сценарію $x_2(t)$ заряду для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

Рисунок 3.21 – Графік $x_2(t)$

На (рис. 3.22) показані результати розрахунку сценарію $x_3(t)$ заряду для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

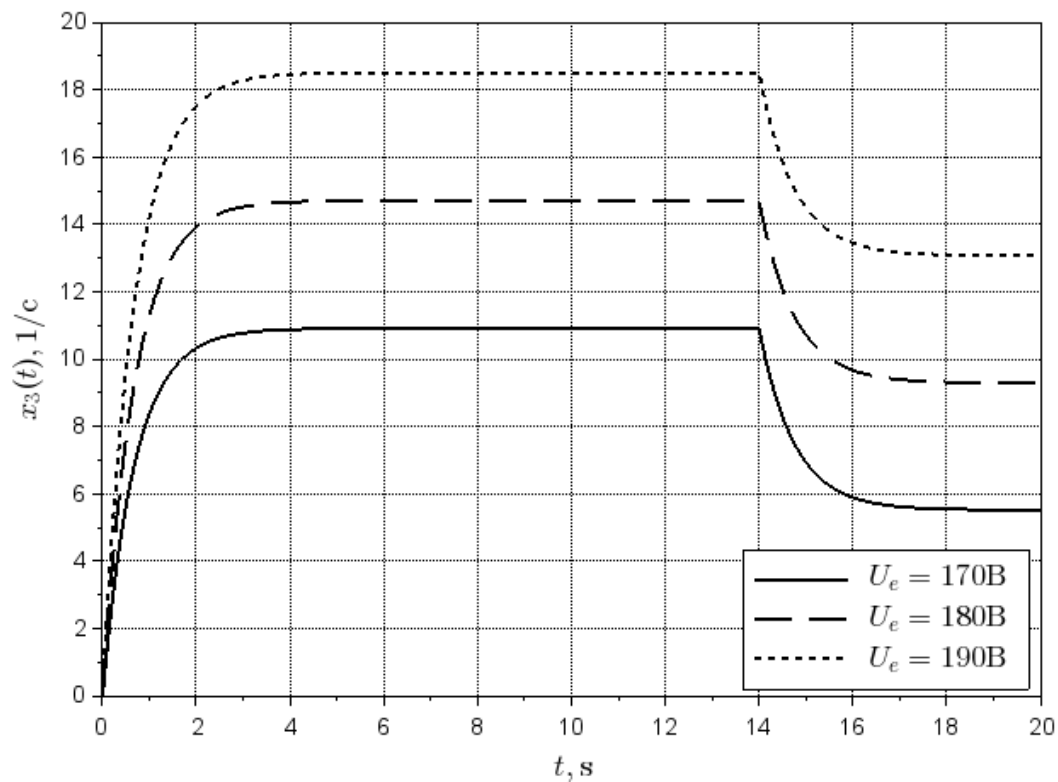
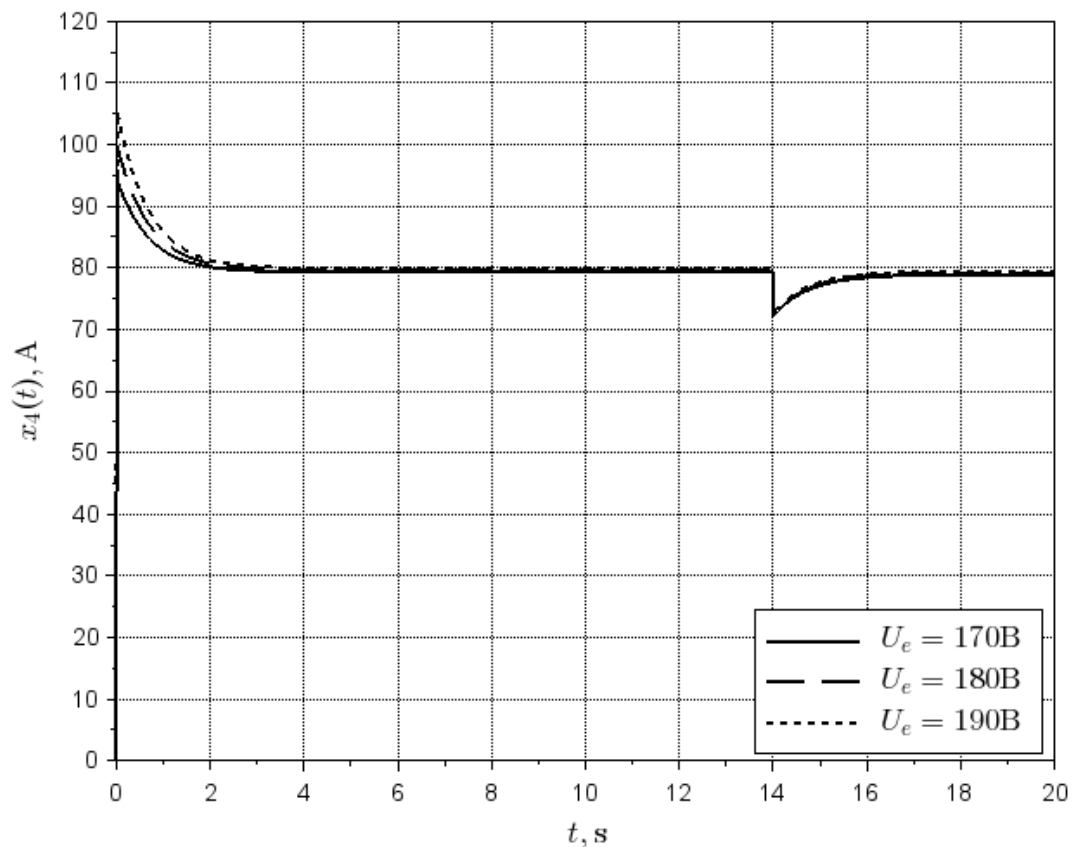


Рисунок 3.22 – Графік $x_3(t)$

На (рис. 3.23) показані результати розрахунку сценарію $x_4(t)$ заряду для колісної електромеханічної платформи. В якості параметру U_e були взяті значення 170, 180 та 190 вольт.

Рисунок 3.23 – Графік $x_4(t)$

3.4 Безпека життєдіяльності та охорона праці

Робота в приміщенні проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/год). З метою забезпечити комфортні умови для працівників та відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 в лабораторії встановлені наступні метеорологічні параметри для холодного періоду:

- температура повітря від 22 °С до 24 °С;
- вологість повітря від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря $\leq 0,1$ м/с. А для теплого періоду року:
- температура повітря від 23 °С до 25 °С;

- вологість повітря від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря $\leq 0,1$ м/с.

Нормалізація мікрокліматичних умов здійснюється за рахунок раціонального планування приміщення і оптимального розміщення в ньому обладнання, а також приладів регулювання тепловиділення, холодовиділення і вологовиділення.

До роботи з ПК допускаються працівники, які не мають медичних протипоказань, пройшли інструктаж з питань охорони праці. Особи, що працюють з ПК більше 50 % робочого часу, повинні проходити обов'язкові попередні при вступі на роботу і періодичні медичні огляди в установленому порядку.

Організація робочого місця з ПК повинна враховувати вимоги безпеки, зручність положення, рухів і дій працівника. Робочий стіл з урахуванням характеру виконуваної роботи повинен мати достатній розмір для раціонального розміщення монітора, клавіатури, іншого використовуваного обладнання і документів, поверхню, що володіє низькою здатністю, що відображає.

Клавіатура розташовується на поверхні столу таким чином, щоб про- 92 стір перед клавіатурою було достатнім для опори рук працівника (на відстані не менше ніж 300 мм від краю, зверненого до працівника). Щоб забезпечувалося зручність зорового спостереження, швидке і точне зчитування інформації, площа екрану монітора розташовується нижче рівня очей працівника переважно перпендикулярно до нормальної лінії погляду працівника (нормальна лінія погляду – 15 градусів. Вниз від горизонталі).

Для виключення впливу підвищених рівнів електромагнітних випромінювань відстань між екраном монітора і працівником повинна становити не менше 500 мм.

Робочий стілець (крісло) повинен бути стійким, місце сидіння має регулюватися по висоті, а спинка сидіння по висоті, кутах нахилу, а також

відстані спинки від переднього краю сидіння. Регулювання кожного параметра має бути незалежною, легко здійснюваною плюс надійну фіксацію.

Лабораторія, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

- площа приміщення 18 м² (6 м × 3 м);
- висота 2,5 м;
- кількість робочих міст – 2;
- обладнання – стіл з ПК і периферією – 2 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м² площі і 20 м³ об'єму на одне окреме робоче місце з ПК. Фактичне значення корисної площі приміщення сягає 18 м², а об'єм складає 45 м³ таким чином видно, що вимоги щодо площі та об'єму робочого місця виконано. Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %

3.5 Висновки до розділу

Було створено розрахункову схему для нашої математичної моделі та проведено моделювання зі встановленими параметрами для оцінки поточного технічного стану колісної електромеханічної платформи.

ВИСНОВКИ

В роботі було розглянуто актуальність розробки методу автоматизованої оцінки поточного стану колісних електромеханічних платформ. Дослідження математичних моделей для вирішення задачі ідентифікації колісних платформ.

Створена узагальнена розрахункова схема для створеної математичної моделі та використання параметричної ідентифікації.

За допомогою рівняння Лагранжа 2-го роду побудована система диференціальних рівнянь зближення голономних механічних систем.

Розглянута механічна частина електричних колісних.

Побудована математична модель для аналізу поточного технічного стану електромеханічних колісних платформ.

Розроблено програму для розрахунку стану колісної платформи за допомогою параметрів, що характеризують взаємодію механічної та електричної частини колісного засобу.

Проаналізовані показники надійності для системи та можливі фактори для погіршення стану конструкцій електромеханічної колісної платформи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 65 с.
3. Assessment of the impact of vehicle technical condition on road safety by means of: [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/271851465> дата звернення [02.10.2023].
4. An overview of wheeled mobile platform systems: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.smashingrobotics.com/an-overview-of-wheeled-mobile-platform-systems/> дата звернення [02.10.2023].
5. Електромеханіка: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electromechanics> дата використання [02.10.2023].
6. Ідентифікація параметрів математичної моделі: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://pns.hneu.edu.ua/pluginfile.php/293325/mod_resource/1/Тема%2018.pdf дата звернення [02.10.2023].
7. Narozhnyi O., Romashov Y. Technical State Estimation for Electromechanical Wheeled Platforms with Parametric Identification Using // матеріали VII-ої Міжнародної конференції "Виробництво & Мехатронні Системи 2023:", Харків, 19-20 жовтня 2023 -С. 99-103.

8. Комп'ютерне моделювання: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.easytechjunkie.com/what-is-computer-modeling.htm> дата звернення [02.10.2023].
9. Показники надійності: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/235447/mod_resource/content/1/одиничні%20показники%20надійності.pdf дата звернення [02.10.2023].
10. Моделі пошкоджень: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/1/313> дата використання [02.11.2023].
11. Двигун постійного струму: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Двигун_постійного_струму дата звернення [02.11.2023].