

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Навчально-науковий інститут прикладного системного аналізу**  
**Кафедра системного проектування**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Вадим МУХІН

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Дипломна робота**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою**  
**“Інтелектуальні сервіс-орієнтовані розподілені обчислювання”**  
**зі спеціальності 122 "Комп'ютерні науки"**  
**на тему: «Комп'ютерне моделювання антиблокітнгової гальмівної**  
**системи автомобіля»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ДА-81  
Трифанов Дмитро Олександрович

\_\_\_\_\_

Керівник:

доцент, к.т.н., с.н.с.  
Чкалов Олексій Валерійович

\_\_\_\_\_

Консультант з економічного розділу:

доцент, к.е.н.  
Рощина Надія Василівна

\_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н. , доцент каф. АУТС ФІОТ КПІ  
Фіногенов Олексій Дмитрович,

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2022

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий інститут прикладного системного аналізу**  
**Кафедра системного проектування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 122 "Комп'ютерні науки"

Освітньо-професійна програма – "Інтелектуальні сервіс-орієнтовані розподілені обчислення"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Вадим МУХІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломну роботу студенту**  
**Трифанову Дмитру**

1. Тема роботи «Комп'ютерне моделювання антиблокітрової гальмівної системи автомобіля», керівник роботи Чкалов Олексій Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «06» \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2022р. № 906-с

2. Термін подання студентом роботи – 10 червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи:

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) :

6. Консультанти розділів роботи<sup>1\*</sup>

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

<sup>1\*</sup> Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

		завдання видав	завдання прийняв
Економічний	Рощина Н.В.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Прибуття студента на практику, оформлення і отримання перепусток		
2	Проведення інструктажу з техніки безпеки		
3	Проведення екскурсій по підприємству		
4	Вивчити конструкцію та принципи роботи антиблокітнгової гальмівної системи		
5	Вивчити методику моделювання динамічних об'єктів в середовищі MATLAB Simulink		
6	Побудувати модель антиблокітнгової гальмівної системи в середовищі MATLAB Simulink		
7	Виконати тестування моделі, що побудована		
8	Виконати моделювання основних робочих режимів антиблокітнгової гальмівної системи.		
9	Оформлення дипломної роботи та супроводжуючих документів		

Студент

Трифанов Д.О.

Керівник

Чкалов О.В.

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської дипломної роботи Трифанова Дмитра Олександровича  
на тему: «Комп'ютерне моделювання антиблокітнгової гальмівної системи  
автомобіля»

Дана робота присвячена дослідженню рішень у сфері автомобільного моделювання зокрема антиблокувальної гальмівної системи автомобіля. Актуальність роботи впливає зі зростання та загального розвитку різноманітних методів та засобів, що забезпечують безпеку життя та здоров'я всіх хто користується транспортним засобом.

Метою роботи є огляд та вивчення засобу, що дозволяє спростити введення в експлуатацію та масове виробництво у сферу автомобільних систем шляхом використання комп'ютерного моделювання, на прикладі антиблокувальної системи автомобіля.

Предметом дослідження є модель антиблокітнгової гальмівної системи автомобіля створена у додатку MATLAB Simulink.

У роботі було розглянуто засоби середовища моделювання MATLAB Simulink та методика моделювання динамічних систем. Було розроблено та протестовано робочу модель антиблокувальної гальмівної системи автомобіля.

## ABSTRACT

for the bachelor's thesis by Tryfanov Dmytro Oleksandrovykh

on the topic: «Computer-aided simulation of a car anti-locking brake system»

This work is devoted to the study of solutions in the field of automotive modeling, in particular the anti-lock braking system of the car. The urgency of the work stems from the growth and general development of various methods and tools that ensure the safety of life and health of all who use the vehicle.

The aim of the work is to review and study the tool that simplifies the commissioning and mass production in the field of automotive systems through the use of computer simulation, on example of anti-lock braking system.

The subject of the study is a model of anti-lock braking system of the car created in the application MATLAB Simulink.

The tools of MATLAB Simulink modeling environment and methods of modeling dynamic systems were considered in the work. A working model of the car's anti-lock braking system was developed and tested.

## ЗМІСТ

Вступ	8
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БУДОВИ ТА ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ</b>	10
<b>1.1 Огляд сутності та застосування антиблокувальної гальмівної системи</b>	
1.1.1 Поняття антиблокувальної гальмівної системи	10
1.1.2 Історія та передумови виникнення ABS	12
<b>1.2 Основні типи ABS</b>	14
1.2.1 Чотириколісна та задньоколісна ABS	14
1.2.2 Чотириканальна чотирисенсорна ABS	15
1.2.3 Триканальна трисенсорна ABS	15
1.2.4 Двоканальна ABS	15
1.2.5 Одноканальна односенсорна ABS	15
<b>1.3 Принцип роботи та компоненти ABS</b>	16
1.3.1 Фізичне обґрунтування та загальне розуміння системи	16
<b>1.4 Компоненти ABS</b>	18
<b>1.5 Переваги та недоліки системи ABS</b>	23
1.5.1 Основні переваги	23
1.5.2 Основні недоліки	24
<b>МОЖЛИВОСТІ СЕРЕДОВИЩА MATLAB SIMULINK. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ</b>	24
2.1 Існуючі засоби моделювання динамічних систем	24
2.2 Опис середовища та мови програмування MATLAB	27
2.3 Компоненти, що використовуються в моделюванні Simulink	28
2.3.1 Блок додавання	29
<b>РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ГАЛЬМУВАННЯ ТА АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK</b>	35
<b>3.1 Моделі антиблокувальної системи у середовищі MATLAB Simulink</b>	37
3.1.1 Модель колеса	39
3.1.2 Модель транспортного засобу	40
3.1.2.1 Одноколісна модель (модель чверті автомобіля)	44
3.1.2.2 Коефіцієнт тертя ( $\mu$ )	46
3.1.3 Модель пробуксовки дорожніх шин	47
3.1.4 Модель гальмування	47
3.1.5 Модель релейного контролера	48
<b>РОЗДІЛ 4. ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТУ</b>	51
4.1 Постановка задачі проектування	53
4.2 Обґрунтування функцій програмного продукту	60
4.3 Обґрунтування системи параметрів ПП	62

	7
<b>4.4 Аналіз експертного оцінювання параметрів</b>	64
<b>4.5 Аналіз рівня якості варіантів реалізації функцій</b>	65
<b>4.6 Економічний аналіз варіантів розробки ПП</b>	66
<b>4.7 Вибір кращого варіанту ПП техніко-економічного рівня</b>	68
<b>4.8 Висновки до розділу 4</b>	69
<b>Висновки</b>	70

## Вступ

Гальмівна система у автомобілі надзвичайно важлива через запобігання аварійних ситуацій у самих транспортних засобів та безпосередньо безпеку життя та здоров'я пасажирів та водія. Це є критичним фактором з точки зору аналізу поведінки та моделювання гальмівної системи автомобіля. Різні типи ситуацій, які загрожують безпеці транспортного засобу, що рухається, виникають, коли водій намагається уповільнити або зупинити транспортний засіб під час гальмування чи повороту або одночасно на слизьких поверхнях та на поверхні з асиметричними коефіцієнтами тертя. У більшості аварій перед транспортним засобом з'являється перешкода, і водій повинен вжити заходів після того, як розпізнає небезпеку. Ця дія залежить від багатьох параметрів, таких як відстань між транспортним засобом і перешкодою, чи зайняті інші смуги, стан дорожнього покриття тощо. Автомобіль без антиблокувальної системи (ABS) безпечний лише тоді, коли є достатній простір перед перешкодою, дорога пряма, а коефіцієнт тертя однаковий для обох сторін автомобіля. Якщо будь-яка з цих умов не виконується, можуть статися одиночні або навіть масові ДТП. Навіть у автомобілі з наявною ABS лише з можливістю контролю позовжнього руху, виникнення аварійних ситуацій є достатньо вірогідним.

У сучасних мотоциклах, автомобілях і вантажівках застосування автомобільної безпеки стало дуже поширеним. Системи стабілізації транспортних засобів ABS та електронні системи стабілізації вже стали стандартними майже у всіх легкових автомобілях. Прикладна ABS у сьогоdnішній час — це система керування, яка заснована на правилах і має вичерпні таблиці для різних сценаріїв гальмування. Налаштування контролерів зазвичай відбувається використовуючи вичерпні польові випробування та моделювання методом проб і помилок. Подальший розвиток і аналіз існуючих ABS та їх подальшого виробництва серйозно обмежені через рівень складності цих систем. Контроль пробуксовування коліс є дуже

складною проблемою. Це пов'язано з невизначеністю моделі, нелінійною динамікою процесу гальмування та складною поведінкою взаємодії шини та дороги.

## **РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БУДОВИ ТА ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ**

### **1.1 Огляд сутності та застосування антиблокувальної гальмівної системи**

#### **1.1.1 Поняття антиблокувальної гальмівної системи**

ABS (Антиблокувальна система) - це гальмівна система, яка забезпечує повний контроль над кермом, запобігаючи блокуванню колеса автомобіля при раптовому гальмуванні в будь-яких дорожніх умовах і на будь-якій швидкості. Система ABS розроблена для запобігання блокування коліс на наземних транспортних засобах. У разі гальмування ABS змінить значення кількості обертів на кожному колесі, завдяки контролю електронного блоку управління. Під час руху може знадобитися терміново натиснути на педаль гальма через різні перешкоди, які з'являються перед автомобілем. У таких випадках і зчеплення, і педаль гальма або тільки педаль гальма повинні бути натиснуті одночасно та досить сильно, щоб зупинити автомобіль. Інакше автомобіль може вдаритися об об'єкт або може призвести до аварії, яка може призвести до величезних збитків.

При раптовому натисканні на педаль гальма, колеса транспортних засобів, які не мають систему ABS втрачають зв'язок з кермом і блокуються. тому в цьому випадку колеса не можуть сприймати команди з керма. Ці замкнені колеса знижують маневреність автомобіля до нуля. Однак транспортні засоби з ABS системою не блокують колеса при різкому гальмуванні. Водій може легко позбутися перешкоди за допомогою простого маневру, злегка повернувши кермо під час руху автомобіля з буксуванням.

ABS - це система, яка не втрачає зв'язку коліс з рульовим управлінням колеса при натисканні на педаль гальма. Вона призупиняє колеса, надсилаючи команди до колеса з дуже короткими інтервалами, і через дуже короткий час він знову надсилає команду деактивувати стиснуті гальмівні супорти. Ця послідовність повторюється двадцять разів у секунду. Зрештою, автомобіль на великій швидкості не може раптово зупинитися, він не може

залишитися прямо там на місці, обумовлений моментом інерції. Отже, він продовжує раптово ковзати вперед. Таким чином, пасажери всередині автомобіля можуть навіть вистрибнути через лобове скло. Однак ABS сповільнює колеса та керовано зупиняє автомобіль.

Система працює під керуванням комп'ютерів. Водій тільки взаємодіє з педаллю гальма і, при необхідності, маневрує автомобілем за допомогою керма. Будь-який водій-початківець з автомобілем обладнаним ABS порівняно з досвідченими водіями на автомобілях без ABS зупиняє автомобіль набагато безпечніше та комфортніше і позбавляється від зайвих дорожніх пригод. В робочій системі ABS – коли датчики виявляють що колеса починають буксувати, посилається команда на гальма щоб негайно збавити гальмівну силу. Зрозуміло, що робоча формула системи базується на обмеженні тиску. На рисунку 1.1 показано гальмівне стиснення між автомобілем з та без ABS. Завдяки ABS автомобіль отримує кращу стабільність і контроль під час гальмування

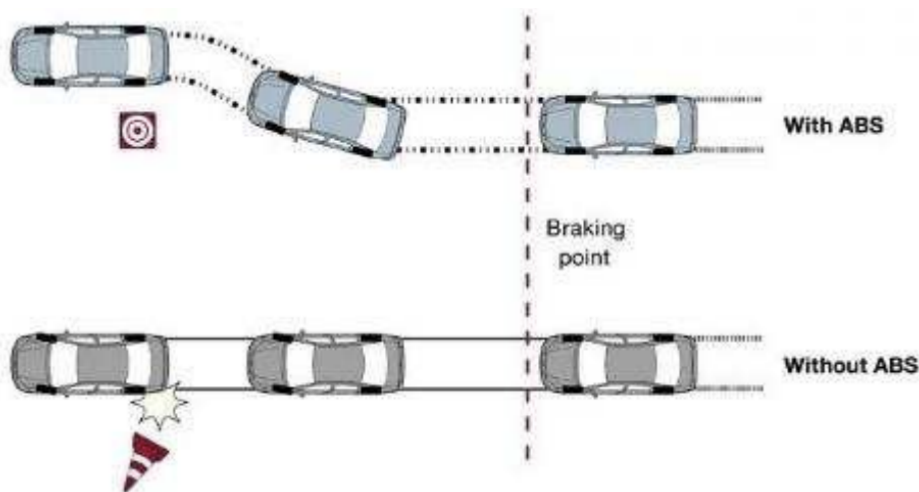


Рисунок 1.1 – Порівняння гальмівних шляхів автомобіля з ABS та без неї

Транспортні засоби з ABS зупиняються на меншій відстані, ніж інші транспортні засоби, є більш стійкими та надійними. Особливо важливе значення ABS має при раптовому виїзді на викривлені дороги та при

неминучому екстремному гальмуванню. Автомобіль з ABS може безпечно гальмувати та водночас, в такій самій ситуації автомобіль без ABS має великий ризик бути викинутим з дороги. Тому що автомобіль з ABS продовжує перебувати під контролем водія навіть на кривих дорогах.

### **1.1.2 Історія та передумови виникнення ABS**

Після того, як у 1769 році був запущений перший автомобіль з двигуном, і перша автомобільна аварія сталася в 1770 році, з того часу безпека транспортних засобів стала предметом занепокоєння, і виробники автомобілів були мотивовані виключити травми водіння та зменшити кількість аварій, а також збільшити кількість дорожніх безпеки, шляхом пошуку деяких активних систем для підвищення безпеки[1]. За даними опитування Всесвітньої організації охорони здоров'я, щороку від дорожньо-транспортних пригод гине близько 1,35 мільйона людей[2], тому транспорт і громадська безпека вважаються одними з найбільших викликів сучасного суспільства щодо дорожньо-транспортних пригод. світових причин смерті. У 1930 році вчені-автомобілі винайшли першу активну систему, яка отримала назву механічної антиблокувальної системи (ABS), її застосували в аерокосмічній галузі [3].

Перша робоча система ABS була вставлена на Boeing B-47 в 1945 році, щоб шини не крутилися без вибуху або ковзання, а потім, у 1950-х роках, гальма ABS були широко встановлені у всіх літаках [4]. Після цього в 1960-х роках випускалися транспортні засоби високого класу лише з заднім ABS, а зі швидким розвитком обчислювальних технологій це явище прискорилося в 1980-х. У 1978 році компанія Bosch розробила перший у світі контроллер ABS для легкових автомобілів, основною метою якого є уникнення пробуксовування транспортного засобу, зменшення дистанції зупинки та підвищення керованості при гальмуванні [5].

На сьогоднішній день чотириканальні ABS присутні на більшості сучасних автомобілів, машин, а також на деяких специфікованих мотоциклах

[6]. В даний час існує кілька реалізацій систем динамічного керування, таких як активна підвіска, динамічне рульове керування та контроль тяги. Більшість виробників автомобілів зосереджується на установці активних і пасивних систем безпеки на своїх автомобілях, особливо ABS, системи можуть захистити автомобіль від аварії, можна визначити активну систему, тоді як системи можуть рятувати життя водія і пасажирів під час змови можна визначити як пасивні. системи [7].

ABS можна вважати значним доповненням до безпеки руху та дорожнього руху, оскільки вона може зберегти стійкість і керуваність автомобіля в разі раптового або екстреного гальмування, запобігати пробуксовці в результаті блокування колеса. Відомо, що водій втрачає контроль над транспортним засобом під час руху по слизькій або мокрій дорозі під час гальмування або різкого гальмування. Зазвичай це призводить до зупинки на великій відстані, тому транспортний засіб може часто втрачати стабільність [8].

ABS намагається уникнути пробуксовування колеса, щоб досягти максимального тертя між дорогою та колесом, тому стійкість керма та поперечна стійкість будуть збільшені. Тобто, щоб переконатися, що транспортний засіб зупиняється в найближчій точці маршруту під час контролю за напрямком.

Ідеальним основним завданням для системи керування, яка контролює швидкість коліс, технології системи контролю тяги (TCS) і динамічного контролю стабільності (DSC), можна вважати застосування технології ABS.

ABS зазвичай складається з основних підсистем у всіх транспортних засобах: звичайні фізичні гальма, які розділені на дискові та барабанні гальма, головний циліндр, блок гідравлічного модулятора, що містить насос і клапан для лінії кожного колеса, датчик швидкості, встановлений на кожному колесі, і електронний блок керування (ECU). Існують деякі специфічні складні ABS, що містять акселерометр для оцінки уповільнення автомобіля [9].

## 1.2 Основні типи ABS

### 1.2.1 Чотириколісна та задньоколісна ABS

Мета чотириколісної ABS – забезпечити максимальну стійкість в умовах зупинки автомобіля та маневреність водія. На автомобілях з ABS на всіх чотирьох колесах гальмівна система автомобіля запобігає блокуванню коліс на всіх чотирьох колесах. Водій може краще керувати транспортним засобом, і його легше тримати під контролем. У цей час встановлюється гальмівний тиск, необхідний для гальмування. Якщо тільки два задні колеса мають ABS; така ситуація зазвичай зустрічається в вантажівках, мікроавтобусах і спортивних автомобілях. Автомобіль не блокується тільки на задніх колесах.

Якщо доступна тільки задня двоколісна система ABS; Якщо водій натискає на педаль гальма і блокує колеса, водій повинен знати, що гальмівна система не настільки ефективна, як ABS чотирьох коліс. У цьому випадку водій повинен вручну відрегулювати тиск на педаль гальма. Таким чином, водій може зручно орієнтувати автомобіль в потрібному напрямку і забезпечити безпечне водіння. На рисунку 1. показані відмінності між чотириканальним, триканальним та одноканальним ABS.

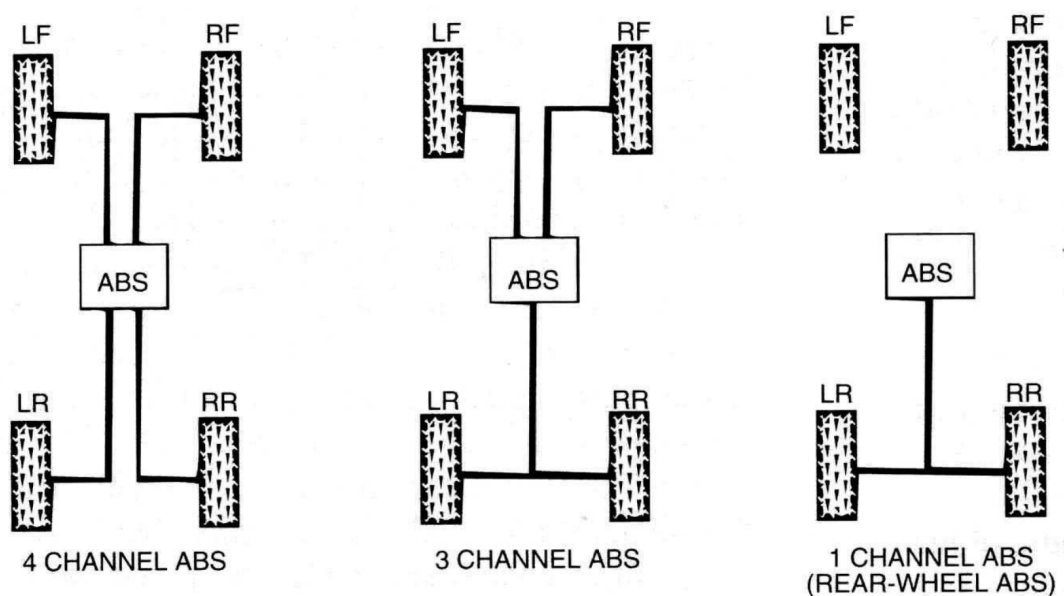


Рисунок 1.2 – Відмінності між чотириканальним, триканальним та одноканальним ABS.

одноканальним ABS.

### **1.2.2 Чотириканальна чотирисенсорна ABS**

Даний тип має датчики на чотири колеса і чотири гідравлічні канали управління. Кожне колесо керується незалежно. Безпека керма та гальмівний шлях захищені на будь-яких дорожніх умовах. У передньопривідних автомобілях більша частина ваги припадає на передні колеса завдяки двигуну та трансмісії, розташованим попереду автомобіля. Передні колеса контролюють майже 70% гальмівного зусилля. Решта 30% гальмівного зусилля надається на задні колеса та є дуже важливою для захисту стійкості автомобіля. Момент ризикання, який викликає різницю швидкостей на колесах на задній осі на рівній дорожній поверхні може призвести до порушення рівноваги автомобіля. З цієї причини автомобілі з чотириканальним ABS мають низький логічний вибір на задніх колесах, щоб підтримувати баланс автомобіля вцілому.

### **1.2.3 Триканальна трисенсорна ABS**

Три датчики швидкості вимірюють кількість обертів як колеса, так і сонячної шестерні диференціала. Гальмівне зусилля на передньому колесі регулюється окремо за допомогою електромагнітних клапанів. Гальмівне зусилля задніх коліс регулюється одним електромагнітним клапаном. Гідравлічні агрегати цього типу використовуються в паралельних гальмівних контурах.

### **1.2.4 Двоканальна ABS**

Цей тип гідравлічного блоку використовується на важких транспортних засобах або на вантажопідійомних транспортних засобах, таких як вантажівки. За різкого гальмування залишаються керованими лише два задні колеса.

### **1.2.5 Одноканальна односенсорна ABS**

Цей тип антиблокувальної системи зазвичай зустрічається в позашляховиках, мікроавтобусах та пікапах. Є тільки один клапан і один датчик, який керує задніми колесами. За способом роботи схожа на триканальну систему ABS. Відмінною особливістю системи є відсутність незалежного датчика швидкості для кожного колеса.

## **1.3 Принцип роботи та компоненти ABS**

### **1.3.1 Фізичне обґрунтування та загальне розуміння системи**

Сьогодні більшість сучасних автомобілів на дорозі оснащені антиблокувальною системою, яка значно зменшує і запобігає ДТП. Більшість цих аварій трапляються, коли автомобіль вийшов з-під контролю і не може керувати, натискаючи на педаль гальма. Але з наявністю ABS водій зможе керувати транспортним засобом і уникати перешкод перед ним, якщо раптово і сильно натиснути гальма. Щоб правильно зрозуміти цю систему, спочатку потрібно зрозуміти, як відбувається гальмування та керування. Спочатку, коли водій натискає на гальмівні колодки, гальмівні колодки, розташовані з обох боків диска, будуть рухатися, застосовуючи тиск на диск з обох сторін, і, таким чином, виникне тертя між гальмівними колодками і диском, викликаючи зупинку обертання колеса. Різке та сильне натискання на педаль гальма призводить до блокування колеса, що в свою чергу призводить до пробуксовування в найслабшому місці, яке знаходиться між колесом і дорогою, де транспортний засіб зупиняється внаслідок цього тертя. Що стосується розуміння рульового механізму, то воно залежить від простого принципу, який полягає в тому, щоб підтримувати узгодженість колеса під час гальмування з землею, тому колесо котиться під час гальмування, а це означає, що різниця швидкостей у точці контакт між колесом і землею дорівнює нулю.

Існує два види руху для коліс, що обертаються, вони обертаються навколо своєї осі, а також рухаються вздовж напрямку автомобіля. Завдяки цим двом видам руху будуть існувати два види швидкості: поступальна та обертальна. Для умов прокатки проти ковзання сума цих двох швидкостей у точці контакту повинна дорівнювати нулю [22].

У всіх автомобілях усі чотири колеса повинні обертально рухатися весь час, щоб запобігти ковзанню автомобіля. В результаті сили, створеної тертям між колодками і диском, колесо перестане обертатися, отже, швидкості обертання колеса не буде взагалі, і в цьому випадку автомобіль продовжить ковзати в тому ж напрямку в якому він їде, незалежно від наказів водія щодо керування або повороту, це призведе до неминучої аварії.

Крім нездатності водія керувати транспортним засобом під час гальмування, ще одна велика проблема, з якою можуть зіткнутися автомобілі, які не мають антиблокувальної системи, - це гальмування на поверхнях з різним рівнем зчеплення, і застосування тиску на гальма в цьому випадку створює різне зусилля тертя на колеса. Це створить крутний момент на краях автомобіля і таким чином введе автомобіль в неконтрольоване обертання. Простіше кажучи, антиблокувальна гальмівна система не дає колесам повністю блокуватися.

Ця система включає в себе кілька датчиків, так що кожен датчик швидкості підключений тільки до одного колеса. Ці датчики постійно зчитують швидкість обертання коліс окремо, а потім порівнюють ці швидкості один з одним, щоб побачити, чи є колесо, яке зупинилося чи збирається зупинитися, і коли це виявлено, модулятор тиску зменшує тиск гальма на цьому колесо і відпускає гальмівну колодку, і цей процес повторюється кілька разів кожен секунду, поки автомобіль не зупиниться без ковзання.

Як вже було сказано, необхідність ABS полягає в тому, щоб зупинити

транспортний засіб як якомога швидше і при цьому зберегти контрольованість при застосуванні передбачуваного гальмування. Коли транспортні засоби без ABS гальмують, одне або більше одного колеса можуть бути заблоковані, що призводить до довшого гальмівного шляху та втрати керування кермом.

Існує багато деталей, що входять до складу ABS. Ця система отримує інформацію від датчиків, та впливає на гідравліку гальм. Коли виявлено раптове блокування, антиблокувальна система знижує гідравлічний тиск у гальмівних циліндрах, відпускаючи гальма на певному колесі та запобігає його блокуванню. Головний циліндр відповідає за гідравлічний тиск в гальмівному циліндрі. Гідравлічна система підключається до головного циліндру з гальмівним циліндром. Гідравлічна рідина повинна пройти через камеру, щоб досягти головного і гальмівного циліндру. Коли гальма працюють у нормальному режимі, клапан відкритий і тиск у резервуарі такий самий, як і тиск у головному циліндрі. У цьому випадку антиблокувальна система не працює, оскільки немає раптового гальмування.

Коли датчик виявляє раптове гальмування, регулюючий клапан зрушується. Контролюючий клапан визначає тиск у зазорі перед приводом. Більший тиск в камері перед приводом викликає зворотне ковзання і закриває клапан між головним циліндром і камерою. Коли привод ковзає назад, об'єм рідини в резервуарі збільшується. Це знижує тиск гідравлічної рідини і вивільняє гальма, які запобігають блокуванню.

Таким чином, колеса можуть періодично обертатися, забезпечуючи можливість керувати автомобілем і не ковзати на дорозі в разі раптового гальмування.

#### **1.4 Компоненти ABS**

Занадто різке натискання гальм або під час руху по слизькій поверхні може заблокувати колеса, і в цей момент контроль керма автомобіля

втрачається, і ці ситуації призводять до збільшення гальмівного шляху автомобіля, гальмівна система ABS запобігає блокуванню коліс або заносу, незалежно від того, наскільки сильно натиснуті гальма або наскільки слизька поверхня дороги, рульове керування залишається під контролем, а гальмівний шлях, як правило, скорочується. Зазвичай, він складається з основних підсистем у всіх транспортних засобах: гальма, головний циліндр, датчики швидкості коліс, електронний блок керування (ECU) та гідравлічний блок керування [10], також відомий як гідромодулятор. Ці компоненти показано на малюнку 3. нижче.

### 1. Гальма

- В основному існують дві форми гальм: дискові та барабанні, вони поширені у всіх транспортних засобах, більшість транспортних засобів мають дискові гальма на передній осі та барабанні гальма на задній осі.
- Дискове гальмо, що містить колодки в супорті, притиснуто зусиллям колісного циліндра, зусиллям, прикладеним до кожної сторони диска, і гальмування відбулося в результаті сили тертя між колодками і поверхнями дисків. Дискові гальма зазвичай кращі за барабанні гальма через можливість лінійного гальмування і незначно меншу чутливість до зносу.
- Барабанне гальмо, що складається в основному з двох колодок (ведучих і задніх), що містять щитки, і гальмівного барабана, і гальмування відбувається за рахунок сили тертя між обома поверхнями колодок і внутрішньою стороною барабана. Барабанні гальма краще, ніж дискові гальма в разі високого зусилля, але вони більш чутливі до нелінійного зносу.

### 2. Датчики швидкості колеса

- Датчик швидкості колеса складається з датчика пульсу з ефектом Холла, який має зубчастий ротор, який прикріплений до кожного

колеса, і він обертається і відчуває підхоплення, коли колесо обертається. Невеликий імпульс напруги індукується в датчик і надсилається до електронного блоку управління. На рисунку 2 показаний зубчастий датчик швидкості колеса.

- Частота напруги та обертання колеса мають пропорційне співвідношення.



Рисунок 1.3 – Зубчастий датчик швидкості колеса

### 3. Гідравлічний блок управління

- Працює відповідно до отриманого електричного сигналу і призначений для зниження, підтримки та відновлення тиску в колесах гальмівного механізму за допомогою керування електромагнітними клапанами в гідравлічній системі.
- Це конструкція, з'єднана між головним циліндром і колісним циліндром, щоб контролювати гідравлічний тиск.

- З'єднується з боку двигуна для зменшення довжини гідравлічних ліній, складається з насоса, акумулятора та масляного бака.

#### 4. Електронний блок управління (ECU)

- Датчики коліс надсилають сигнали в ECU, ці сигнали будуть посилені, а потім відфільтровані для вимірювання швидкості та прискорення колеса, ECU може зчитувати швидкість двох протилежних коліс для вимірювання швидкості автомобіля.
- Базову швидкість необхідно порівняти зі швидкістю окремих коліс, щоб отримати показник ковзання.
- ECU може відчувати будь-яке блокування колеса, порівнявши сигнали прискорення та пробуксовування колеса.
- ECU надсилає сигнал до гідравлічного модулятора для спрацьовування тиску та відкриття клапана, щоб обмежити гальмівний тиск, а також гальмівну силу.
- ECU реагує на відому несправність або помилку, відключаючи систему, викликану несправним компонентом, або вимикаючи всю ABS.

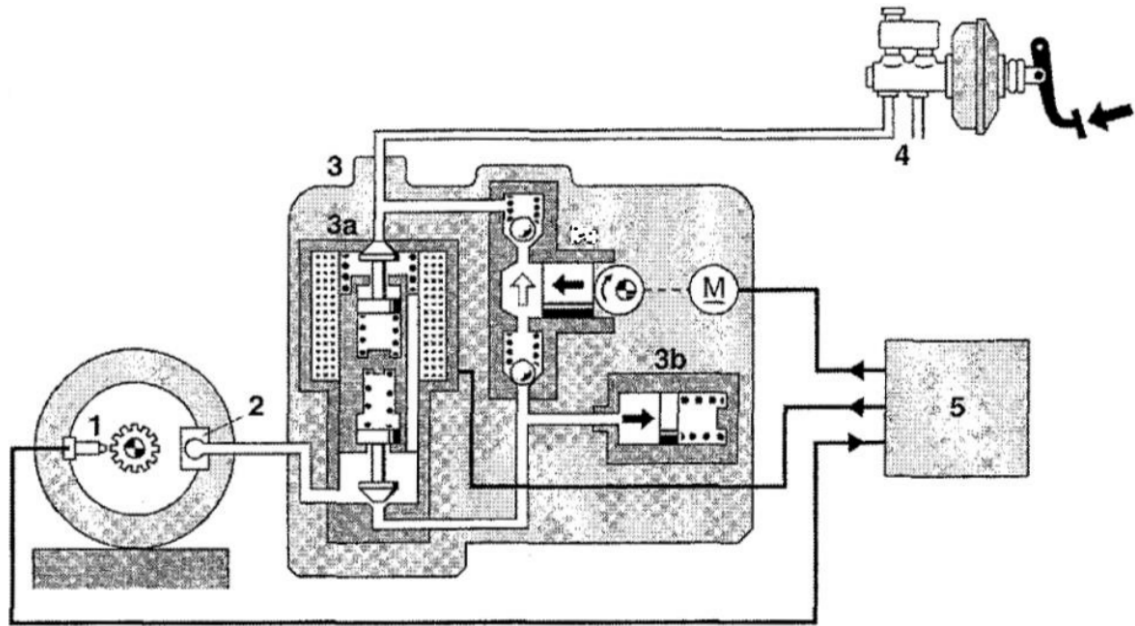


Рисунок 1.4 – Компоненти ABS, 1. датчик швидкості, 2. гальмівний циліндр, 3. гідравлічний модулятор, 4. головний циліндр, 5. ECU.

## 1.5 Переваги та недоліки системи ABS

### 1.5.1 Основні переваги

Перевага антиблокувальної системи полягає в тому, що в яких би умовах гальмування транспортний засіб не перебуває, система стабілізує та забезпечує оптимальне гальмування без втрати контролю над кермом. Оптимальне гальмування означає оптимізацію гальмівного шляху за рахунок досягнення максимального зчеплення з дорогою, таким чином виводячи його на оптимальну відстань. Якщо необхідне екстремне гальмування, необхідно мати можливість уникати перешкоди, бути спроможним під час поворотів і не втрачати контроль керма, навіть якщо колеса мають різний рівень зчеплення.

Крім скорочення гальмівного шляху, найважливішою перевагою гальмівної системи ABS є те, що під час екстремного гальмування не втрачається можливість керування транспортним засобом.

### **1.5.2 Основні недоліки**

За певних обставин автомобілі з ABS забезпечували відкриту перевагу в гальмуванні порівняно з транспортними засобами без ABS. На гравійних, пухких, мокрих або засніжених дорогах все навпаки. Автомобілі з ABS мають трохи довший гальмівний шлях. Якщо вважати, що ABS надає водієві керування кермом, буде зрозуміло, що гальмівний шлях не є критичним параметром, який показує лише ефективність гальмування.

## **РОЗДІЛ 2. МОЖЛИВОСТІ СЕРЕДОВИЩА MATLAB SIMULINK. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

### **2.1 Існуючі засоби моделювання динамічних систем**

Моделі динамічних систем дають математичне представлення законів природи, які керують поведінкою даної системи. Такі моделі використовуються для відтворення або моделювання поведінки динамічних систем у різноманітних умовах. Двома основними елементами кожного підходу до моделювання динамічних систем є ідентифікація структури та оцінка параметрів. Перший вирішує завдання встановлення структури моделі в термінах рівнянь, а другий — апроксимацію постійних параметрів і початкових значень змінних у моделі для даної структури. Зазвичай для моделювання динамічних систем використовуються два підходи: моделювання на основі знань (білий ящик) і моделювання на основі даних (чорний ящик). Перший стосується того, що експерт з предметної області отримує належну структуру моделі, використовуючи обширні знання про наявну систему. У свою чергу, параметри моделі оцінюються або за допомогою вимірюваних даних, або вручну на основі досвіду експерта. Остання методологія відноситься до принципу проби-помилки: вона використовує виміряні дані для пошуку комбінації структура/параметри, яка найкраще відповідає спостережуваній поведінці. Моделювання на основі процесів (PBM) [17] відноситься до підходу сірого ящика, оскільки він об'єднує підходи до моделювання на основі знань і даних і дозволяє автоматизувати моделювання динамічних систем. Зокрема, моделювання на основі процесів використовує як предметні знання, так і дані для одночасного побудови структури моделі та оцінки її параметрів.

Отримана в результаті процесна модель пропонує як високорівневе пояснювальне представлення динамічної системи в термінах її основних

компонентів системи, так і їх перетворення у формалізм низького рівня в термінах рівнянь, адекватних для моделювання поведінки системи. Остання реалізація парадигми моделювання на основі процесів [18,19] використовує текстовий, невізуальний формалізм, що представляє проблему, коли справа доходить до візуалізації структури змодельованої системи. Хоча зазвичай можливо зрозуміти моделі, формалізовані у вигляді рівнянь, і ставитися до них, (незвичайний) високорівневий формалізм РВМ їм не завжди знайомий. Наразі це робить таку парадигму придатною для використання для вузького кола експертів у галузі. З іншого боку, декілька найсучасніших програмних засобів моделювання за принципом сірих коробок, таких як: Prometheus, Eureka, MATLAB, STELLA та COPASI, широко використовуються для різноманітного моделювання завдань у різних областях.



Рисунок 2.5 – Prometheus – Система моніторингу з відкритим кодом із розмірною моделлю даних, гнучкою мовою запитів, ефективною базою даних часових рядів та сучасним підходом до оповіщення.



Рисунок 2.6 – Eureqa — середовище моделювання, створену Корнельською Лабораторією штучного інтелекту.



Рисунок 2.7 – пакет програмного забезпечення для моделювання STELLA.



Рисунок 2.8 – COPASI – програмне забезпечення з відкритим кодом для створення та розв’язування математичних моделей

## 2.2 Опис середовища та мови програмування MATLAB



Рисунок 2.9 – MATLAB Simulink – блок-схемне середовище, яке використовується для розробки систем з багаторівневими моделями, моделювання перед переходом на апаратне забезпечення та розгортання без написання коду.

Для технічних обчислень, які широко використовуються галузями промисловості, науково-дослідними інститутами, вченими, інженерами та студентами в університетах по всьому світу, MATLAB є дуже популярною мовою. Завдяки тому, що MATLAB є потужним і простим у використанні, це програмне забезпечення дуже популярне. MATLAB можна використовувати як наступний інструмент для графічних калькуляторів. Simulink (Simulation and Link) є розширенням MATLAB від Math Works Inc. Simulink працює з MATLAB, щоб запропонувати аналіз механічної системи, симуляції та моделювання в середовищі графічного інтерфейсу користувача (GUI). Він підтримує нелінійні та лінійні системи, які моделюються за вибіркоким часом, безперервним часом або гібридом обох. Системи також можуть мати різні частини, які називаються багатошвидкісними, які оновлюються або дискретизуються з різною швидкістю. Використовуючи блочну нотацію, Simulink дозволяє інженерам точно та швидко створювати комп'ютерні моделі механічних систем. Повна бібліотека блоків джерел, приймачів, нелінійних і лінійних компонентів і з'єднувачів включена в Simulink.

Користувачам дозволяється створювати та налаштовувати власні блоки за допомогою Simulink. Для моделювання та моделювання механічних систем Simulink став найбільш часто використовуваним пакетом програмного забезпечення в промисловості та наукових колах за останні кілька років. Він має важке промислове використання, і йому приписують скорочення розвитку більшості проектів системи управління.

### 2.3 Компоненти, що використовуються в моделюванні Simulink

Компоненти Simulink, які використовуються при моделюванні антиблокувальної системи:

#### 2.3.1 Блок додавання

Цей блок виконує віднімання або додавання на своїх входах. Він може віднімати або додавати матричні, скалярні або векторні вхідні сигнали. Сигнальні елементи також можна згорнути за допомогою блоку додавання.

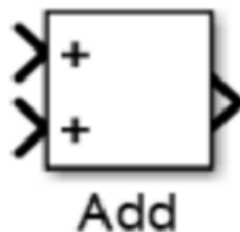


Рисунок 2.10 – Блок додавання

### 2.3.2 Блок створення шини

Цим блоком набір сигналів об'єднується в шину. Параметр блоку – кількість входів встановлюється на кількість сигналів у групі для об'єднання групи сигналів з цим блоком. Він відображає кількість вказаних портів.



Рисунок 2.11 – Блок додавання

### 2.3.3 Блок-константа

Цей блок генерує комплексне або реальне значення. Він генерує матричний, векторний або скалярний вихід залежно від налаштування параметрів інтерпретації вектора як одновимірного параметра та розмірності параметра постійного значення. Вихід блоку має ті самі розміри та елементи, що й параметр постійного значення.

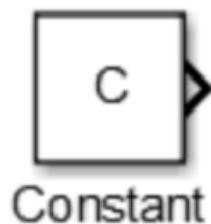


Рисунок 2.12 – Блок додавання

### 2.3.4 Блок посилення

У цьому блоці вхідний сигнал множиться на коефіцієнт посилення (постійне значення). Константа і вхідні дані можуть бути матрицею, скаляром або вектором. У параметрі посилення вказано постійне значення. Параметр дозволяє вказати порядок множників для множення матриці.

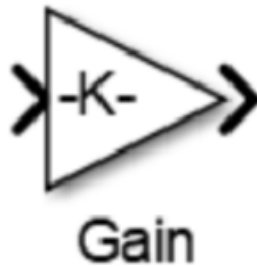


Рисунок 2.13 – Блок додавання

### 2.3.5 Блок імпорту

Цей блок є ланкою між ззовнішньою частиною системи та внутрішньою. За певними правилами Simulink призначає номери портів блоку введення.

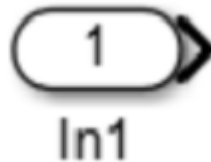


Рисунок 2.14 – Блок додавання

### 2.3.6 Блок інтегратора

Цей блок виводить значення інтеграла свого вхідного сигналу по відношенню до часу. Єдина відмінність між блоком обмеження інтегратора та блоком інтегратора полягає в тому, що вихід блоку обмеження інтегратора обмежений на основі верхньої та нижньої межі насичення, інакше вони подібні. Simulink розглядає цей блок як динамічну систему з одним станом.

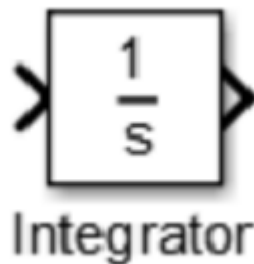


Рисунок 2.15 – Блок додавання

### 2.3.7 Блок виведення

Цей блок є посиленням від системи до станції поза системою. За певними правилами Simulink призначає номери портів блоку виводу.

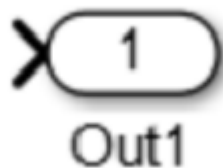


Рисунок 2.16 – Блок додавання

### 2.3.8 Блок діапазону

Відносно часу моделювання, цей блок відображає вхідні сигнали:

- віконце просмотру – дані блоку записуються в підключений блок, навіть якщо віконце просмотру закрито під час початку моделювання. Завдяки цьому, якщо після моделювання відкривається даний блок, у вікні відображаються вхідні сигнали або сигнали.

- Побудова сигналів – Scope малює діаграму від точки до точки, якщо вхідний сигнал є безперервним, тоді як він малює діаграму сходів, якщо сигнал дискретний.
- Значення часових кроків – основні значення часового кроку відображаються лише цим блоком.
- Кілька графіків (осей у) – цей блок може відображати декілька графіків (осей у) з одним графіком на вхідний порт. Це дозволяє змінювати діапазон введених значень і кількість часу, що відображається.
- Підтримка типу даних - блок приймає реальні сигнали будь-якого типу даних, які підтримує Simulink. Сюди входять перераховані та фіксовані типи даних.



Рисунок 2.17 – Блок додавання

### 2.3.9 Сігнум-функціональний блок

Непарна математична функція, яка може витягти знак дійсного числа, називається функцією знака.



Рисунок 2.18 – Блок додавання

### 2.3.10 Блок покрокового вводу

У визначений час введення кроків дає крок між двома визначеними рівнями. Виходом цього блоку є початкове значення параметра, якщо час моделювання менше значення параметра крокового часу. Вихід – це кінцеве значення параметра для часу моделювання, що дорівнює або перевищує час кроку.



Рисунок 2.19 – Блок додавання

### 2.3.11 Сумуючий блок

Цей блок здійснює віднімання або додавання на своїх входах. Він може віднімати або додавати матричні, скалярні або векторні входи. Цей блок також може згорнути сигнальні елементи.



Рисунок 2.20 – Блок додавання елементи.

## **РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ГАЛЬМУВАННЯ ТА АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK**

Моделювання на першому етапі, а потім симуляція та тестування системи ABS можна вважати найважливішим кроком у розвитку системи керування. Моделювання ABS завжди є складним завданням, враховуючи динаміку ABS, яка є дуже нелінійною та дуже чутливою до змін у часі.

У цій частині цієї дипломної роботи буде пояснено динаміку поведінки транспортних засобів під час раптового гальмування, рівняння рухів, а потім моделювання цих рівнянь шляхом взаємодії з моделлю релейного контролера в програмному забезпеченні Matlab/Simulink для досягнення математичної моделі ABS, враховуючи деякі припущення під час процесу моделювання. Ця математична модель визначена як модель з однією шиною і може бути повторена багато разів для створення моделі з декількома шинами. Модель складається з моделі транспортного засобу, моделі шин, моделі пробуксовування дорожніх шин, а також моделей гальмування та контролера.

Після цього буде оцінено продуктивність ABS та наведено графіки зміни з часом коефіцієнту ковзання, та порівняння фактичної швидкості автомобіля з системою ABS та без неї.

### **3.1 Моделі антиблокувальної системи у середовищі MATLAB Simulink**

#### **3.1.1 Модель колеса**

Справжня модель автомобіля повинна включати всі динамічні аспекти та точність моделювання, які є занадто складними, щоб їх включити в розробку керування гальмами. Буде використана класична модель шини, що включає основні елементи з контролером. На малюнку 3. показана класична шина та її характеристики

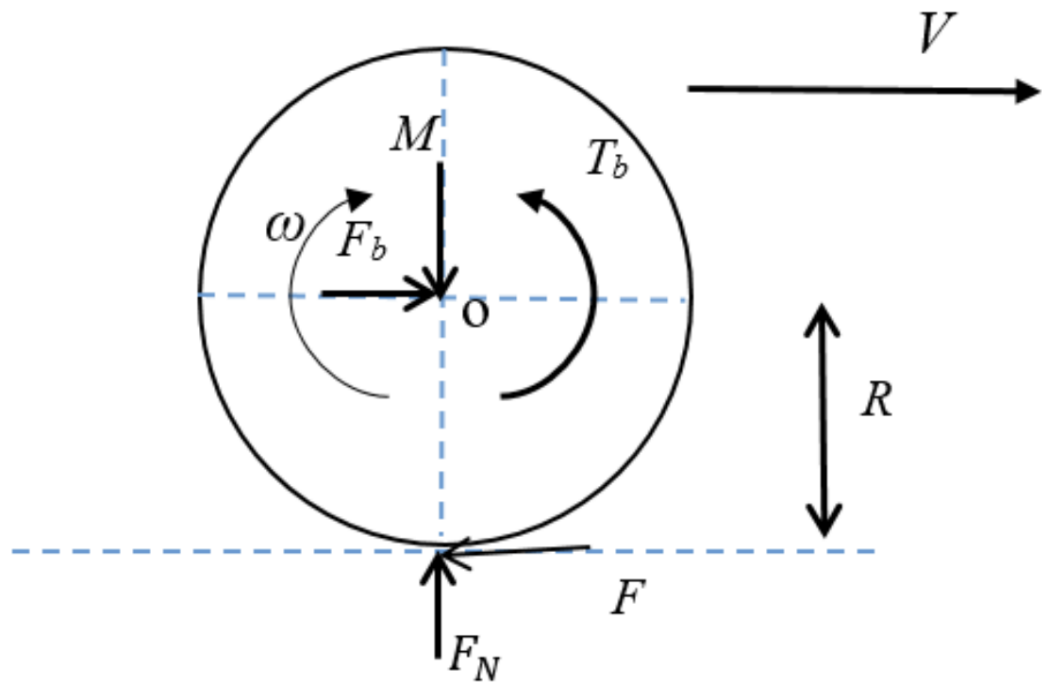


Рисунок 3.21 – Класична модель колеса, де

$M$  – маса чверті автомобіля,

$V$  – швидкість транспортного засобу,

$F$  – тертя колеса,

$R$  – радіус колеса,

$\omega$  – кутова швидкість колеса,

$F_N$  – нормальна реакція землі,

$T_b$  – гальмівний момент,

$F_b$  – гальмівна сила

Модель шини поділяється на два типи, теоретичну та емпіричну модель, білінійна модель шини широко використовується при аналізі сил, що діють на шину у фізичних застосуваннях [24].

### 3.1.2 Модель транспортного засобу

#### 3.1.2.1 Одноколісна модель (модель чверті автомобіля)

Одноколісна модель в першу чергу призначена для тестування та аналізу ефективності гальмування системи, тоді як модель з двома колесами використовується для вивчення поведінки автомобіля на прямій трасі, а також для аналізу ефективності гальмування. В основному колеса мають дві форми руху, вони обертаються навколо своєї осі, а також вони рухаються вздовж напрямку руху, завдяки цим двом видам руху вони мають два типи швидкостей, які є поступальними та обертальними, які є результатом диференціального рівняння за законом Ньютона[25].

Отже, рівняння поступального руху транспортного засобу можна визначити як (1) таким чином:

$$M \cdot \dot{v} = -F \quad (1)$$

У той час як рівняння обертального руху колеса можна визначити як (2):

$$I_0 \cdot \dot{\omega} = F \cdot R - T_b \quad (2)$$

А рівняння лінійного тертя транспортного засобу можна проілюструвати, як у формулі. (3):

$$F = \mu \cdot F_N \quad (3)$$

#### 3.1.2.2 Коефіцієнт тертя ( $\mu$ )

- В ідеальних умовах кочення значення коефіцієнта тертя близьке до нуля. Однак, коли колесо ковзає зі швидкістю 100%, свою роль відіграє тертя ковзання. Оскільки гума з шин є складним матеріалом і має дивні властивості під час гальмування, коефіцієнт тертя між шиною та дорожнім покриттям змінюється в залежності від ковзання, як показано на малюнку 5, коефіцієнт тертя має максимальне значення майже на рівні 20 % коефіцієнта ковзання, а нижче і вище цього коефіцієнт тертя зменшується

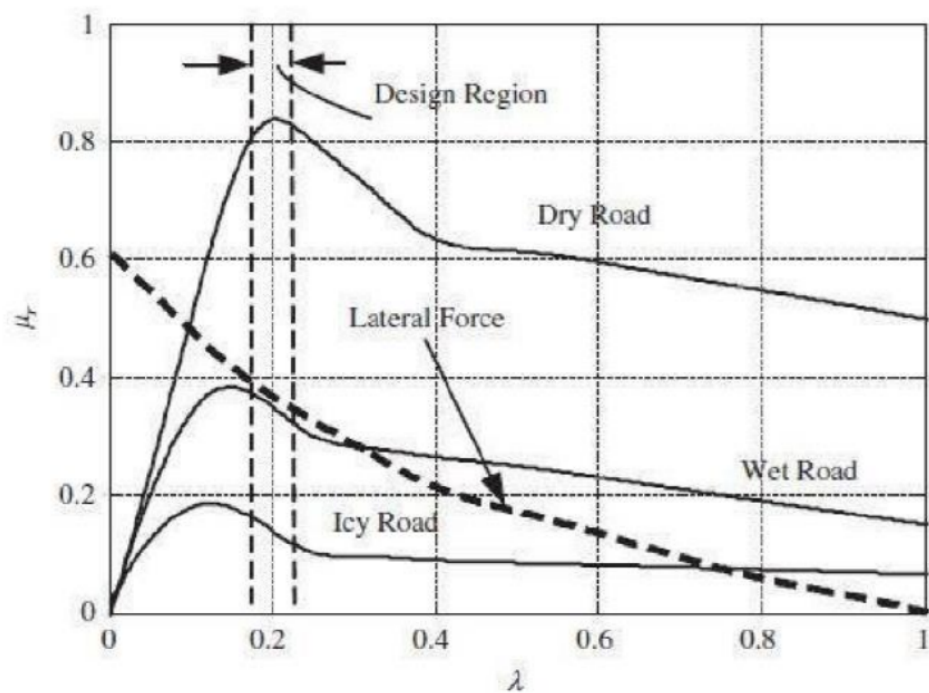


Рисунок 3.22 – Криві  $\mu - \lambda$  для різних типів доріг [26]

- Під час гальмування з відсутністю режиму ABS реалізований коефіцієнт тертя в основному обумовлений тертям ковзання. Однак у режимі ABS інтелектуальні алгоритми регулюють тиск гальм, щоб підтримувати коефіцієнт ковзання близько 20%, оскільки значення тертя є максимальним, і це значно скорочує відстань, на якій необхідно зупинитися.
- З огляду на величезну нестабільність на дорогах автомобілів, існує вдосконалена система електронного розподілу гальм (EBD), яка є

підсистемою сучасної ABS, тому цю проблему можна дуже легко подолати. Система EBD вимірює швидкість руху автомобіля та відносне ковзання кожного колеса. Просто за рахунок зменшення гальмівного тиску на колеса при забезпеченні кращого зчеплення можна створити необхідну силу тертя, що впливає на ці колеса. Це дозволить контролювати крутний момент і весь автомобіль.

- Коефіцієнт тертя розглядається як функція, що залежно від швидкості пробуксовування колеса та лінійної швидкості транспортного засобу на нього впливає багато факторів, таких як: тип шини відповідно до матеріалу, характеристики шини відповідно (знос, старіння, склад) , тип дорожнього покриття (мокра або суха), кут ковзання шини, швидкість руху, рисунок колеса та співвідношення колеса та ковзання, яке змінюється з часом.
- Коефіцієнт тертя можна описати за допомогою формули Буркхардта, ця формула використовується, як правило, у всіх легкових і комерційних автомобілях, тому можна представити поздовжнє тертя колеса та криві ковзання, ця формула має різні значення параметрів для кожної дороги. типу, як показано в таблиці 1, у цій дипломній роботі та моделюванні використовується тип сухої асфальтової дороги, значення параметрів сухого асфальту були застосовані до формули, потім отримана крива виносить в таблицю Excel, після чого ця таблиця реєструється та експортується до кривої ковзання і стає пошуковою таблицею в імітаційній моделі. Формула Буркхардта [27] записана (4) нижче:

$$\mu(\lambda, vx) = [C_1(1 - e^{-C_2\lambda}) - C_3\lambda] e^{-C_4\lambda vx} \quad (4)$$

де:

$C_1$  – найвища точка кривої тертя

$C_2$  – форма кривої

$C_3$  – різниця між найвищою точкою і точкою, у якій  $\lambda = 1$

$C_4$  – вологість дороги

Таблиця 1. Значення параметрів тертя між колесом та дорогою [27]

Тип дороги	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
Сухий асфальт	1.2801	23.99	0.52	0.03
Вологий асфальт	0.8570	33.822	0.347	0.04
Бетон	0.19	94.12	0.06	0.04
Сніг	0.1946	94.129	0.0646	0.04
Лід	0.05	306.39	0.001	0.04

### 3.1.3 Модель пробуксовки дорожніх шин

Коли автомобіль їде по дорозі нормально без будь-яких зовнішніх впливів або сил на нього, в цьому випадку лінійна швидкість транспортного засобу і швидкість обертання коліс рівні, але коли будь-яка зовнішня сила або гальмівна сила впливає на транспортний засіб, з'являється явища ковзання. Шина транспортного засобу має два види ковзання, які є поздовжнім і бічним ковзанням, поздовжнє ковзання завжди впливає на напрямок руху транспортного засобу, тоді як бічне пробуксовування з'являється в результаті впливу бічних сил на кузов автомобіля, обидва цих видів ковзання дають кут ковзання шини. У цій дипломній роботі та за допомогою моделювання кут ковзання шини дорівнює нулю, тому транспортний засіб рухається по прямій, а ковзання є чистим поздовжнім ковзанням. Насправді шини мають 100% зчеплення з дорогою в режимі паркування, і повне зчеплення шин під час їзди буває рідко, а в разі аквапланування зчеплення шин відсутнє, тому ковзання становить 100%. Коли водій автомобіля раптово впливає на шину, зчеплення між шиною та дорогою зменшується. Наприклад, коли водій хоче раптово прискорити транспортний засіб, шина підкочується або заноситься, а коли він хоче зробити різке гальмування, виникне буксування. Коли відбувається різке гальмування, рухова швидкість транспортного засобу ( $v_x$ ) буде більшою за лінійну швидкість колеса, яка дорівнює швидкості обертання ( $\omega$ ) колеса, помноженій на радіус колеса ( $R$ ), і це вказує на пробуксовку між дорогою та шиною.

Пробуксовування колеса дорівнює різниці лінійної швидкості транспортного засобу та лінійної швидкості колеса, поділене на лінійну швидкість транспортного засобу, а відсоток пробуксовування колеса можна обчислити за допомогою рівняння(5) таким чином:

$$\lambda = \frac{v_x - \omega \cdot R}{v_x} * 100\% \quad (5)$$

Відповідно до рівняння (5), ковзання дорівнює нулю, коли швидкість транспортного засобу і колеса рівні, і ковзання дорівнює 1 у разі блокування колеса. Під час цієї роботи необхідне ковзання становило 0,2, тобто колесо обертається на величину 0,8 від реального числа обертів колеса при нормальному ході без гальмування з тією ж швидкістю транспортного засобу.

Модель швидкості ковзання, яка заснована на попередньому рівнянні, створена в середовищі Simulink і використовується в моделі ABS, названа відносним ковзанням і яку можна побачити на рисунку .

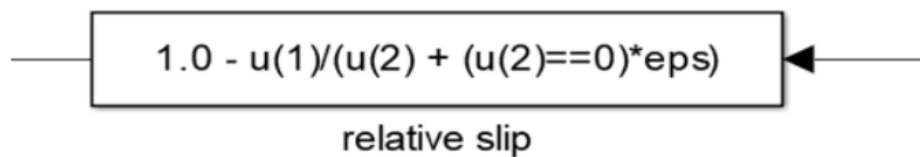


Рисунок 3.23 – Відносний коефіцієнт ковзання

### 3.1.4 Модель гальмування

Модель гальмування - це підсистема моделі ABS, яка представляє зв'язок і співвідношення між гідравлічним тиском при натисканні на педаль гальма, що можна розглядати як команду клапана, і гальмівним моментом, який створює гальмівну силу для забезпечення гальмування відповідно до сигналів колеса. датчиків і відставання в гідравлічних лініях, варто зазначити, що існує пропорційний зв'язок між швидкістю гальмівного тиску і витратою рідини, а швидкість потоку рідини має пропорційне співвідношення з відкриттям клапанів. Таким чином, швидкість гальмівного тиску, отже, має пропорційне співвідношення з відкриттям клапанів.

Для полегшення імітаційного дослідження компоненти гальмівної системи вважалися ідеальними, а їх нелінійність – слабкою, було враховано

лише інертність системи шляхом додавання гідравлічної затримки. Таким чином, вираз передачі гальмівного моменту, який впливає на колесо транспортного засобу, може бути визначений в рівнянні. (6):

$$M_b = K_b \cdot P \quad (6)$$

де:  $M_b$ ,  $K_b$  і  $P$  мали на увазі гальмівний момент, гальмівний коефіцієнт і тиск гальмівної рідини відповідно.

Гальмівна система насправді складається з гальм і системи трансмісії, і обидва ці компоненти повинні бути вбудовані в моделювання, моделювання системи трансмісії в основному відноситься до моделювання гідравлічної системи, яка зазвичай враховує те, як тиск гальмівної сили регулювання регулятора корелюється струмом електромагнітного клапана. Таким чином, щоб спростити систему, знехтували нелінійністю пружини електромагнітних клапанів, що призвело до того, що гідравлічна частина всередині моделювання перетворилася на цілісну частину.

Гідравлічна трансмісія отримує керуючі сигнали як вхідні дані і регулює потік рідини як вихід. Спрощену гідравлічну трансмісійну функцію (7) можна визначити як таке:

$$G(S) = \frac{K}{(TB \cdot S+1)} \quad (7)$$

Електромагнітний клапан має час відгуку (ТВ), як правило, майже 10 мілісекунд, таким чином, параметр інерції став 0,01, а (К), який є коефіцієнтом посилення гальма, стає рівним 1000. Таким чином, функція гідравлічної передачі буде виглядати як наступне рівняння (8):

$$G(S) = \frac{1000}{(0.01 S+1)} \quad (8)$$

Таким чином, модель гальмівної підсистеми в середовищі моделювання була побудована за допомогою двох попередніх рівнянь 6 і 8, вхідні сигнали

якої отримують від контролера, а на виході – швидкість колеса. Імітаційна модель підсистеми гальмування показана на рисунку 7.

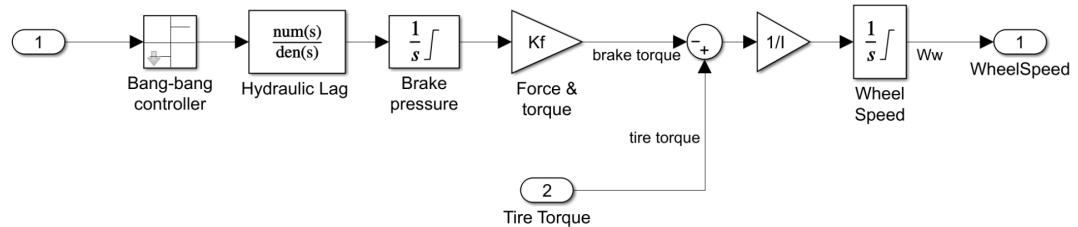
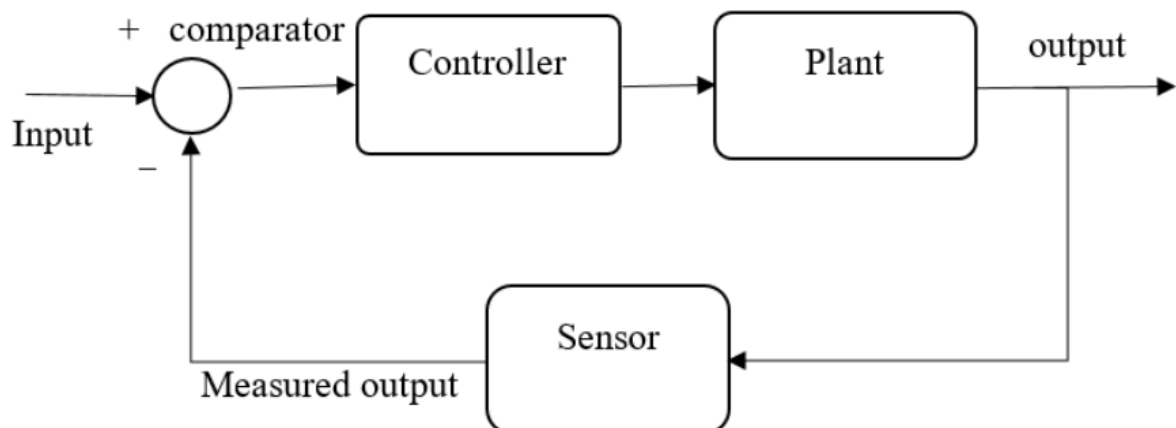


Рисунок – Модель підсистеми гальмування

### 3.1.5 Модель релейного контролера

У системі керування із замкнутим контуром система, яка активує сигнали помилок, що є різницею між вхідними сигналами та сигналами зворотного зв'язку, подається на контролер, щоб зменшити різницю похибки, і є вихідним сигналом системи на бажане значення. Блок-схема класичної системи керування із замкнутим циклом ілюструється на малюнку 8. Існує три основні типи контролерів, які активно використовуються:

1. Контролер Bang-bang (релейний)
2. Контролер PD
3. PID-контролер



### Рисунок 3.24 – Блок-схема класичної системи керування

У даній роботі в симуляції використовується релейний контролер. Він працює як контролер вмикання-вимкнення, який також називають контролером гістерезису, застосовний і використовується в широких сферах промислових систем управління, особливо в домашніх умовах, цей контролер також відомий як двоступеневий контролер, він діє як контролер зворотного зв'язку раптово перемикається між двома станами, які є верхньою та нижньою межами, і працює, коли між заданою точкою (бажаним значенням) і поточними значеннями стає різниця (помилка). Цей тип контролерів завжди може бути використаний у формі будь-якої системи забезпечення гістерезису, він також використовується в роботі систем, які мають справу з двійковими входами. Контролер Bang-bang часто вирішує проблему хоча б з часом, наприклад, якщо автомобіль потрібно зупинити в певному місці відносно далеко попереднього транспортного засобу, на додаток до досягнення найкоротшого періоду часу, підхід полягає в застосуванні максимального прискорення перед певною точкою зупинки, а потім адаптації максимальної сили гальмування для точної зупинки в потрібному місці. Таким чином, у певних випадках, Bangbang контролер потенційно ідеальний, але він часто використовується лише через те що він простий та зручний. Ілюстрація стандартного блоку такого контроллера у середовищі MATLAB Simulink наведена у розділі 2.

### 3.2 Моделі Simulink

Після огляду та аналізу математичних рівнянь руху та динамічних властивостей транспортного засобу настав час перетворити ці математичні та динамічні рівняння в модель у програмному середовищі Matlab/Simulink, на малюнку представлена блок-схема моделювання динамічних і математичних рівнянь ABS автомобіля.

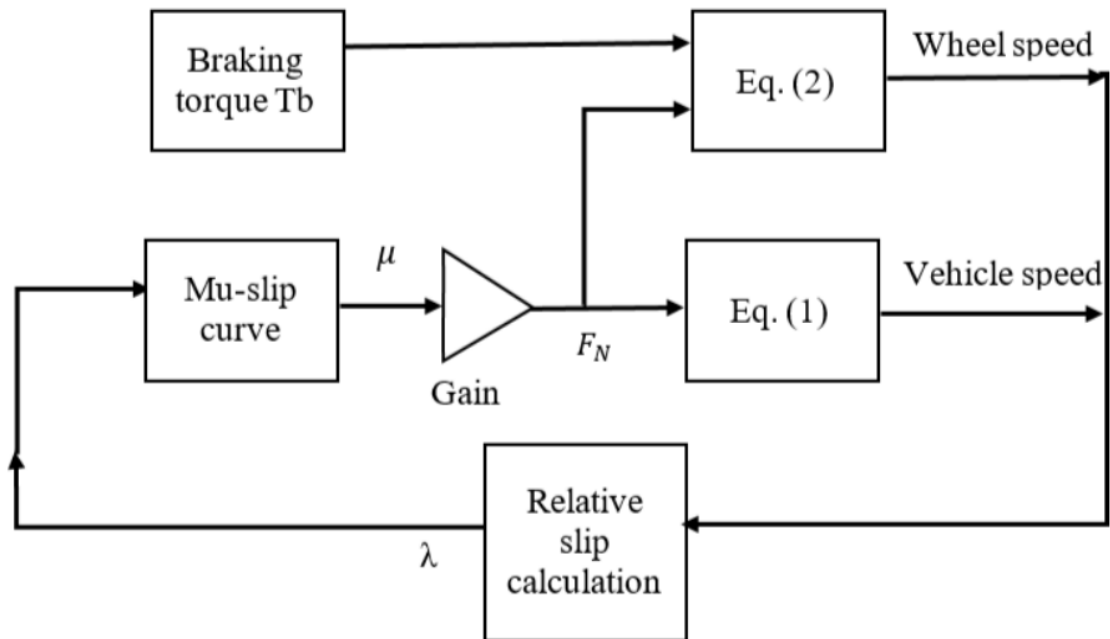


Рисунок 3.25 – Блок-схема загальної моделі системи

### 3.3 Імплементация у Simulink

Спочатку, відповідно до швидкості транспортного засобу, колесо має швидкість обертання (кутову швидкість) до того, як раптово спрацює гальма, а коефіцієнт тертя, який впливає з формули і записується в Matlab, представляється і називається блоком кривої ковзання, який знаходився між шиною та сухим асфальтом і заархівовано в пошуковій таблиці Simulink.

Модель ABS помножила значення  $\mu$  на вагу чверті автомобіля, що дорівнює масі четвертої частини транспортного засобу ( $m$ ), помноженої на прискорення тяжіння ( $g$ ), щоб отримати силу тертя, а потім силу тертя, помножену на радіус шини ( $R$ ), щоб отримати крутний момент прискорення шини, на додаток до поділу сили тертя на масу транспортного засобу, щоб отримати кутове прискорення (уповільнення), модель інтегрує кутове прискорення (уповільнення), щоб отримати швидкість транспортного засобу.

```

1 %ABS_INIT
2 % Initialization data for the ABSBRAKE braking model.
3 % Places model parameters in the MATLAB workspace when typed at the
4 % command line
5 %
6
7 g = 32.18;
8 v0 = 88;
9 Rr = 15/12; % Wheel radius
10 Kf = 1;
11 m = 50;
12 PBmax = 1500;
13 TB = 0.01;
14 I = 5;
15
16 %
17 % Mu slip curve
18 %
19 slip = (0:.05:1.0);
20 mu = [0 .4 .8 .97 1.0 .98 .96 .94 .92 .9 .88 .855 .83 .81 .79 .77 .75 .73 .72 .71 .7];
21 ctrl = 1;
22

```

Рисунок 3.26 – Вхідні параметри до системи у середовищі MATLAB

Завдяки швидкості транспортного засобу гальмівний шлях можна отримати шляхом інтеграції. Також через швидкість транспортного засобу можна дізнатися кутову швидкість транспортного засобу ( $V_w$ ). З іншого боку, існує гальмівна система, яка виконує дії, і модель обчислює різницю між бажаним і фактичним ковзанням, а потім записує це в контролер, потім контролер подає цей сигнал до моделі гальмування для регулювання тиску гальмування відповідно до заданої похибки ковзання, затримка в гідравлічних лініях гальмівної системи була представлена функцією першого порядку, а потім інтегруванням її значення в результаті гальмівного тиску в гідравлічній магістралі гальмівної системи, потім множенням гальмівного тиску на коефіцієнт тертя гальмівної системи. Гальмівна колодка виробляє гальмівний момент колеса. Це допоможе досягти оптимального коефіцієнта ковзання та забезпечити найвищу ефективність гальмування та бічну стабільність автомобіля. Тепер є моменти буксування, обертальний момент, який створюється внаслідок гальмівного тиску та обертального моменту шини, і різниця обертальних моментів ділиться на інерцію ( $I$ ) транспортного засобу, щоб створити прискорення колеса, і шляхом інтегрування

прискорення колеса на кут колеса швидкість ( $W_w$ ), моделювання реалізує за допомогою обмежених інтеграцій для забезпечення позитивної швидкості транспортного засобу.

На рисунку показана фінальна модель моделювання на якій і проведені тести та були отримані результати, зазначені в наступному пункті.

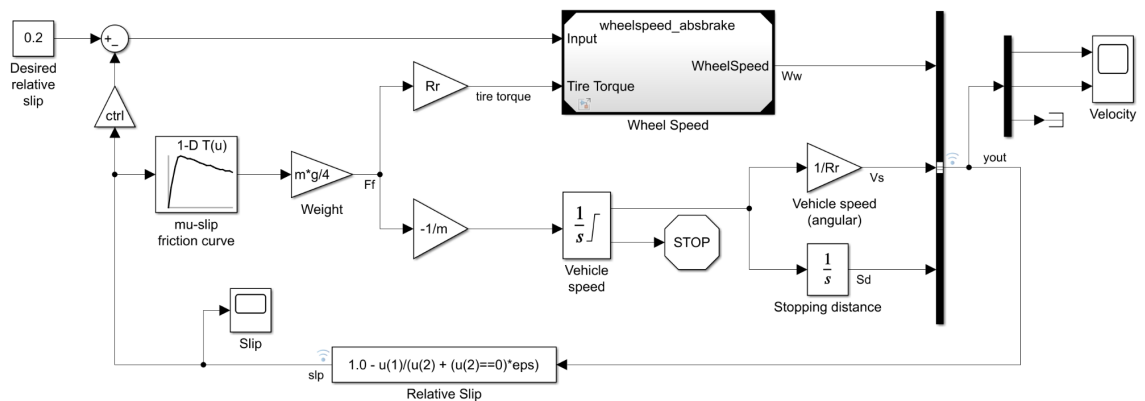


Рисунок 3.27 – Модель системи ABS у середовищі MATLAB

### 3.3 Результати моделювання

Крива оптимального ковзання з використанням логічного контролера, який є контролером «bang-bang», вийшла дуже нелінійною, як показано на малюнку 3.27. Ми бачимо, що характер кривої залишається певним чином лінійним, коли гальмується до 6 секунд, але потім швидко змінюється до 12 секунд і отримує остаточну лінійність через 12 секунд. Крива піднімається до оптимального значення і залишається там, поки автомобіль не зупиниться. Краще ковзання забезпечує кращий контроль і керування автомобіля.

Керування протягом цього періоду легко досягти, тому вона рекомендована для безпечної та ефективної роботи гальмівної системи.

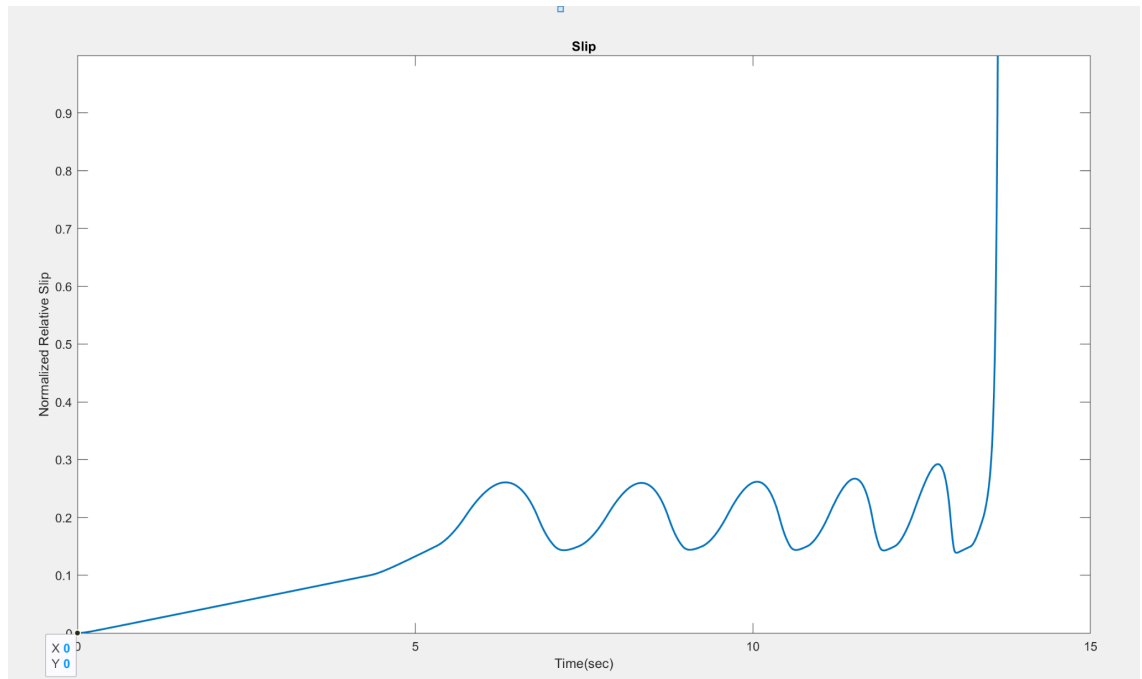


Рисунок 3.27 – Крива коефіцієнту ковзання  $v/s$

На малюнку 3.27 показана крива швидкості для моделі, яка використовує релейний контролер. Крива швидкості колеса та швидкості транспортного засобу зближуються до нуля через 12 секунд. Модель показує покращені результати щодо зупинки автомобіля з кращою керованістю

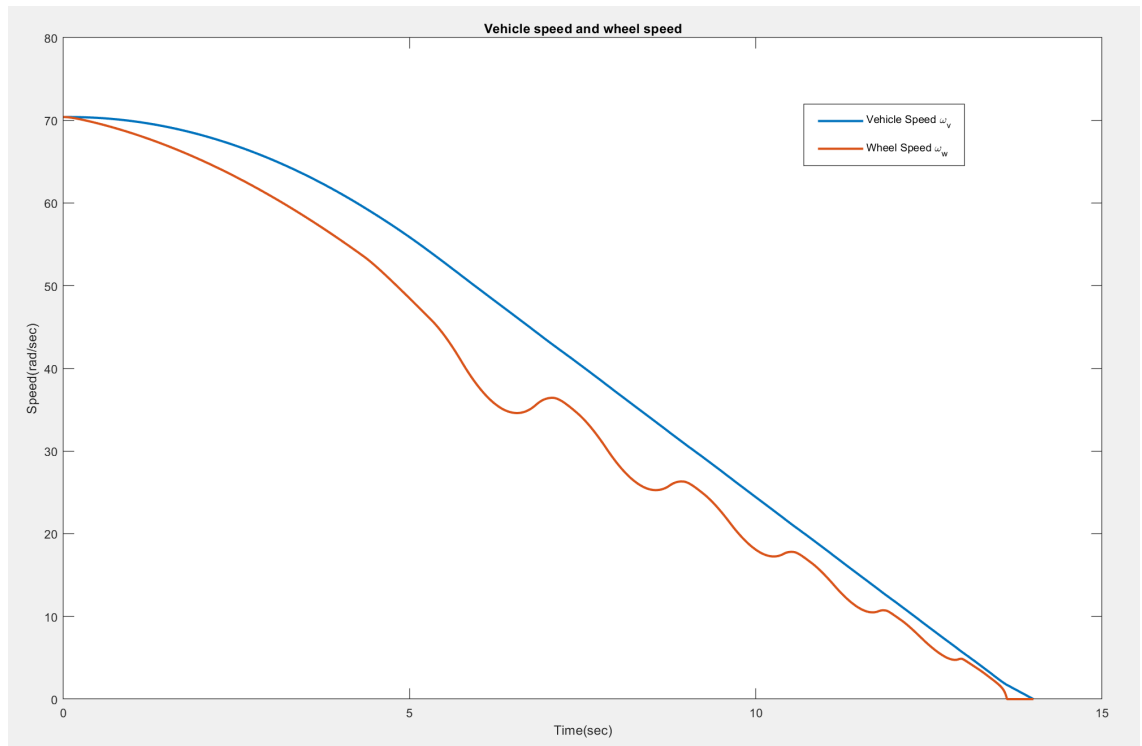


Рисунок 3.28 – Крива швидкості

## **РОЗДІЛ 4. ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТУ**

Даний розділ присвячено оцінці функціонально-вартісних характеристик реалізації моделювальних систем у сфері автомобільного моделювання. Такий аналіз проводиться з метою вибору оптимальної стратегії побудови моделі, враховуючи як економічні складові, так і інші параметри, які безпосередньо впливають на розробку, розвиток та підтримку системи.

Функціонально-вартісний аналіз – технологія оцінки реальної вартості продукту або послуги незалежно від організаційної структури компанії. Витрати на кожному етапі виробництва розподіляють по продуктам та послугам в залежності до відповідних потреб обсягів ресурсів для певного етапу. Дії у контексті метода ФВА називаються функціями.

Мета ФВА – забезпечити більш оптимальний розподіл ресурсів, які використовуються для створення продукції або надання послуги (враховуючи прямі та непрямі витрати).

ФВА включає в себе визначення послідовності етапів розробки продукту, визначення повних витрат (річних) та кількості робочих часів, визначення джерел витрат та кінцевий розрахунок вартості програмного продукту.

### **4.1 Постановка задачі проектування**

Як було сказано вище, ФВА в цій роботі застосовується для проведення техніко-економічного аналізу системи розробки комп'ютерної моделі. Кожне рішення, яке приймається при побудові системи безпосередньо впливає на окремі підсистеми, які також повинні задовольняти такі рішення.

Технічні вимоги до системи:

- Зручність і швидкість розробки
- Мінімальний рівень залежності від хмарної платформи
- Широкий спектр можливостей методів та блоків моделювання задля розширення системи у майбутньому

- Можливість зручного налаштування, масштабування та обслуговування
- Мінімальні витрати для розробки системи

#### 4.2 Обґрунтування функцій програмного продукту

Функція  $F_0$  – є головною функцією, яка описує розробку моделі. Для ФВА було складено наступні дві функції ПП:

- $F_1$  – вибір середовища розробки
- $F_2$  – вибір мови моделювання
- $F_3$  – вибір бібліотеки чи додатку

Кожна з цих функцій має декілька варіантів реалізації:

##### 1) Функція $F_1$

- a) Mathworks
- b) VHDL Editor
- c) Qt Creator

##### 2) Функція $F_2$

- a) Мова MATLAB
- b) VHDL, Verilog
- c) Мова програмування C, C++

##### 3) Функція $F_3$

- a) Simulink
- b) LibreCad

Варіанти реалізації наведено на морфологічній мапі системи (див. рис. 5.1) . Морфологічна карта відображає множину всіх можливих варіантів основних функцій. Позитивна-негативна матриця варіантів основних функцій (див. табл. 5.1) побудована на основі морфологічної мапі.

Рисунок 5.1 – Морфологічна мапа

Таблиця 5.1 – Позитивно-негативна матриця варіантів основних функцій

Основна функція	Варіант реалізації	Переваги	Недоліки
$F_1$	a)	Широка екосистема рішень для комп'ютерного моделювання, передові технології, широкий вибір додатків на будь-який смак, широка розповсюдженість, велика спільнота і, велика кількість гайдів від самого Mathworks та спільноти, гарна документація, прозора коштовність сервісів	Достатньо ізольована екосистема. Здебільшого усі продукти потребують підписки або одноразового придбання
	b)	Дуже широка інтеграція з: Симуляторами Інструментами синтезу Системами контролю версій Трекери помилок/системи Інструменти перегляду коду	Низька інтеграція з інструментами EDA. Функції HDL на основі регулярних виразів доступні лише у розширеній версії середовища, яка потребує окремих грошей
	c)	Це більше, ніж засіб графічного інтерфейсу. Він забезпечує кросплатформний спосіб виконання багатьох речей, які часто потрібно робити настільним додаткам	Той факт, що він використовує компілятор метаоб'єктів, додає трохи складності процесу складання та є просто потворним на естетичному рівні. Люди, які пишуть C++, як C++. Вони не хочуть писати в якесь стороннє розширення для C++;
$F_2$	a)	Широка екосистема рішень для комп'ютерного моделювання, передові технології, широкий вибір додатків на будь-який смак, широка розповсюдженість, велика спільнота і, велика	Достатньо ізольована екосистема. Здебільшого усі продукти потребують підписки або одноразового придбання

		кількість гайдів від самого Mathworks та спільноти, гарна документація, прозора коштовність сервісів	
	b)	Дуже широка інтеграція з: Симуляторами Інструментами синтезу Системами контролю версій Трекери помилок/системи Інструменти перегляду коду	Низька інтеграція з інструментами EDA. Функції HDL на основі регулярних виразів доступні лише у розширеній версії середовища, яка потребує окремих грошей
	c)	Це більше, ніж засіб графічного інтерфейсу. Він забезпечує кросплатформний спосіб виконання багатьох речей, які часто потрібно робити настільним додаткам	Той факт, що він використовує компілятор метаоб'єктів, додає трохи складності процесу складання та є просто потворним на естетичному рівні. Люди, які пишуть C++, як C++. Вони не хочуть писати в якесь стороннє розширення для C++;
$F_3$	a)	Широка екосистема рішень для комп'ютерного моделювання, передові технології, широкий вибір додатків на будь-який смак, широка розповсюдженість, велика спільнота і, велика кількість гайдів від самого Mathworks та спільноти, гарна документація, прозора коштовність сервісів	Достатньо ізольована екосистема. Здебільшого усі продукти потребують підписки або одноразового придбання
	b)	Це більше, ніж засіб графічного інтерфейсу. Він забезпечує кросплатформний спосіб виконання багатьох речей, які часто потрібно робити настільним додаткам	Той факт, що він використовує компілятор метаоб'єктів, додає трохи складності процесу складання та є просто потворним на естетичному рівні. Люди, які пишуть C++, як C++. Вони не хочуть писати в

			якесь стороннє розширення для C++;
--	--	--	------------------------------------

Проаналізувавши позитивно-негативну матрицю рішень (таб. 5.1), можна зробити висновок, що є варіанти, які більш прийнятні і більш підходять під вимоги до системи.

Функція  $F_1$  – надаємо перевагу Mathworks.

Функція  $F_2$  – надаємо перевагу варіантам мові програмування MATLAB

Функція  $F_3$  – надаємо перевагу обом варіантам.

Таким чином, будемо розглядати наступні варіанти реалізації ПП:

- $F_1(a) - F_2(a) - F_3(a)$
- $F_1(a) - F_2(a) - F_3(b)$

Для оцінювання якості розглянутих функцій, обрана система параметрів яка була описана нижче.

### 4.3 Обґрунтування системи параметрів ПП

На підставі отриманих даних, про основні функції системи, вимог до неї, визначаються основні параметри вибору, що будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівню. Будемо використовувати наступні параметри:

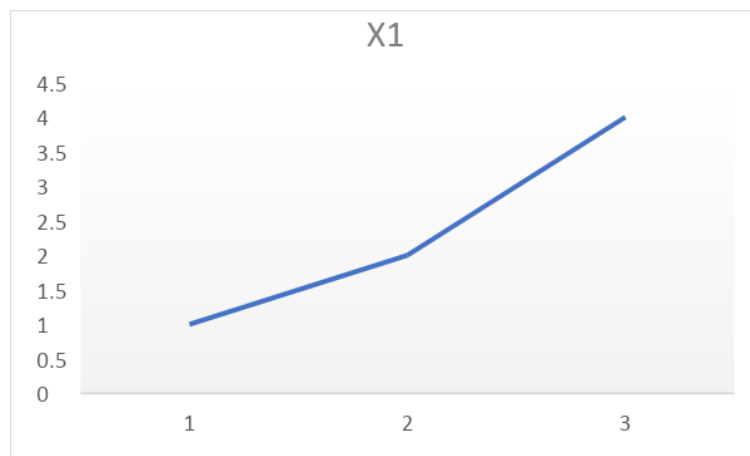
- $X1$  – кількість доступних мов програмування
- $X2$  – потенційний об'єм програмного коду для реалізації системи
- $X3$  – кількість моделей у середовищі моделювання
- $X4$  – кількість застосунків для обробки отриманих результатів

Гірші, середні і кращі значення параметрів вибираються на основі вимог замовника й умов, що характеризують експлуатацію ПП (таб. 5.2).

Таблиця 5.2 – Основні параметри ПП

Параметр	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення параметра		
			Гірші	Середні	Кращі
Об'єм оперативної пам'яті	<i>X1</i>	Мб	200	150	100
Потенційний об'єм програмного коду для реалізації системи	<i>X2</i>	Кількість строк коду	300	200	100
Швидкість розробки та прекування	<i>X3</i>	Години	40	30	20
Загальний розмір проекту	<i>X4</i>	Мб	50	30	20

За даними таблиці 5.2 будуються графічні характеристики параметрів – рис. 5.2 – рис. 5.5.

Рисунок 4.28 – *X1*, Об'єм оперативної пам'яті

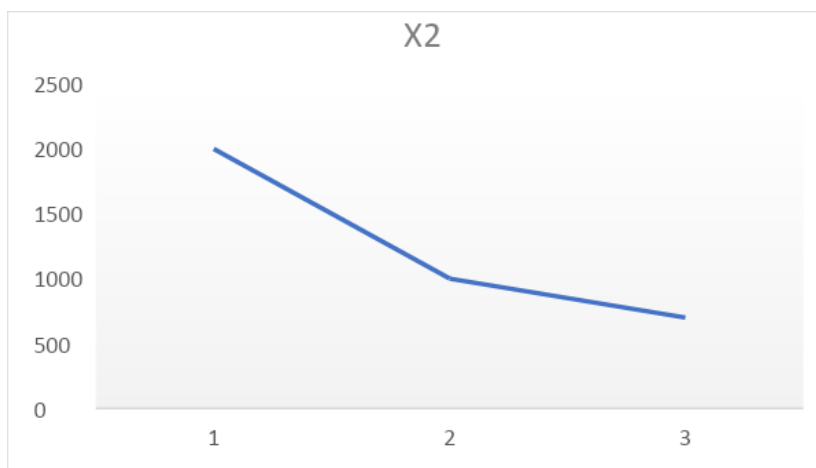


Рисунок 4.29 – X2, Кількість строк коду

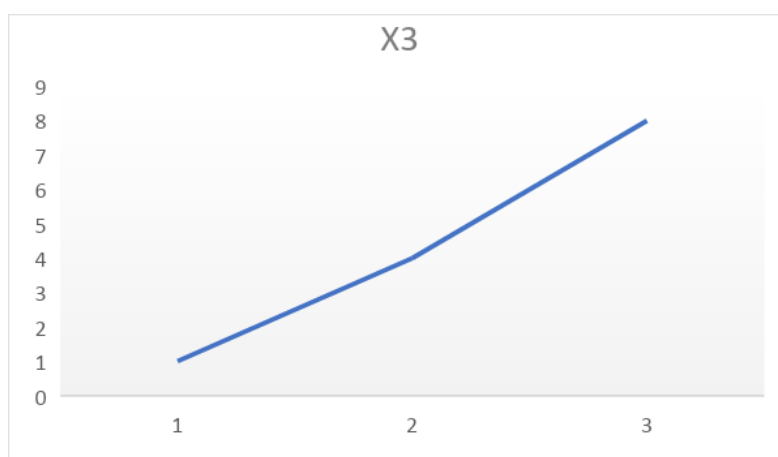


Рисунок 4.30 – X3, Швидкість розробки

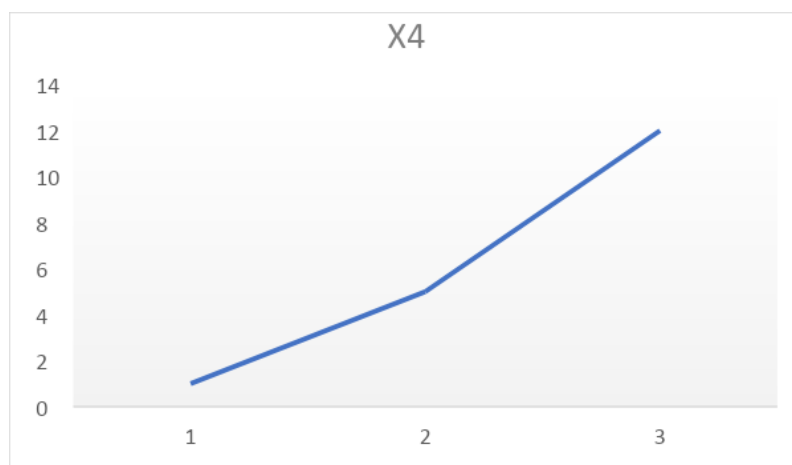


Рисунок 4.31 – X4, Розмір проекту

#### 4.4 Аналіз експертного оцінювання параметрів

Сутність такого експертного оцінювання параметрів полягає у детальній у ранжуванні важливості кожного з наведених параметрів експертом для відповідних завчасно поставлених цілей (п. 5.1).

Значимість кожного з вищенаведених параметрів визначається методом попарного порівняння. Комісія, що має 5 людей проводить оцінку важливості обраних параметрів. Визначення коефіцієнтів значимості за допомогою даного методу передбачає:

1. Визначення рівня значимості кожного параметра шляхом присвоєння експертами різних рангів
2. Перевірка придатності експертних оцінок, що були поставлені для подальшого використання
3. Визначення конкретної оцінки попарного пріоритету обраних параметрів
4. Обробку отриманих результатів та точне визначення коефіцієнту значимості.

Результати експертного ранжування наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Результат експертного ранжування

Параметр	Ранг параметра за оцінкою експерта					Сума рангів $R_i$	Відхилення $\Delta_i$	$\Delta_i^2$
	1	2	3	4	5			
<i>X1</i>	3	4	4	3	2	17	-1,5	0,25
<i>X2</i>	3	2	1	2	4	19	-6,5	56,25
<i>X3</i>	3	4	4	5	3	19	2,5	2,25
<i>X4</i>	5	4	5	5	5	24	5,5	42,25
Разом	14	14	14	14	14	70	0	101

Для перевірки ступеню отриманої достовірності експертних оцінок, треба визначити наступні параметри:

1. Сума рангів кожного з параметрів і загальна сума рангів

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij} = 70, \quad (5.1)$$

де  $N$  – кількість експертів,  $n$  – кількість оцінюваних параметрів;

2. Середня сума рангів  $T_i$ :

$$T_i = \frac{1}{n} R_i = \frac{70}{4} = 17,5 \quad (5.2)$$

3. Відхилення суми отриманих рангів кожного з параметрів від значення середньої суми рангів за формулою 5.3

$$\Delta_i = R_i - T \quad (5.3)$$

4. Загальна поражена сума квадратів відхилення

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = 73,2 \quad (5.4)$$

5. Коефіцієнт узгодженості (конкордації)

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3-n)} = \frac{12 \cdot 73,2}{5^2(4^3-4)} = \frac{1211}{1500} = 0,8113 > W_k = 0,69 \quad (5.5)$$

Ранжування, що було отримано можна вважати достовірним, оскільки знайдений коефіцієнт отриманої узгодженості перевищує нормативний, який дорівнює 0,69.

Скористаємось результатами отриманого ранжирування для проведення попарного порівняння всіх параметрів (таб. 5.4)

Таблиця 5.4 – Попарне порівняння параметрів

Параметр и	Експерти					Кінцева оцінка	Числове значення
	1	2	3	4	5		
$X1 \text{ i } X2$	<	>	>	<	>	>	1,5
$X1 \text{ i } X3$	>	<	<	<	<	<	0,5
$X1 \text{ i } X4$	<	>	<	<	<	<	0,5
$X2 \text{ i } X3$	<	<	>	<	<	<	0,5
$X2 \text{ i } X4$	>	<	<	<	>	<	0,5
$X3 \text{ i } X4$	>	>	<	>	>	>	1,5

З отриманих числових оцінок переваги складемо результуючу матрицю  $A = \|a_{ij}\|$ . Для кожного вхідного параметра проведемо розрахунок значення вагомості  $K_{B_i}$  він проводиться за формулою 5.6.

$$K_{B_i} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}, \quad (5.6)$$

де  $b_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}$  – вагомість  $i$ -го параметра за результатами оцінок всіх наявних експертів;  
 $a_{ij}$  – коефіцієнт переваги  $i$ -го на  $j$ -тим аргументом.

Відносні оцінки часто обраховуються кілька разів до тих пір, поки наступні отриманні значення не будуть незначно відрізнятися від отриманих попередньо (менше 2%). На другому і наступних кроках значення відносних оцінок розраховуються за формулою 5.7.

$$K_{B_i} = \frac{b_i'}{\sum_{i=1}^n b_i'}, \quad (5.7)$$

$$\text{де } b'_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j$$

Як видно з наведеної таблиці 5.5, різниця значень отриманих розрахованих коефіцієнтів вагомості після усіх трьох ітерацій не перевищує 2%, тому додаткові ітерації проводити недоцільно.

У таблиці 4.5 наведено отриманий розрахунок значень вагомості параметрів.

Таблиця 5.5 Розрахунок вагомості параметрів

Параметри $X_i$	Параметри $X_j$				Перша ітерація		Друга ітерація		Третя ітерація	
	X1	X2	X3	X4	$b_i$	$K_{\text{Ві}}$	$b_i^1$	$K_{\text{Ві}}^1$	$b_i^2$	$K_{\text{Ві}}^2$
X1	1	0.5	0.5	0.5	2.5	.16	8.75	.176	29.125	.176
X2	1.5	1	0.5	0.5	3.5	.2373	11.75	.24	39.375	.2389
X3	1.5	1.5	1	0.5	4.5	.3181	15.75	.32	53.125	.3224
X4	0.5	1.5	0.5	1	4.5	.3	13.25	.2675	43.125	.2617
Разом					15	1	49.5	1	164,75	1

#### 4.5 Аналіз рівня якості варіантів реалізації функцій

Рівень якості кожного обраного варіанту виконання використаних основних функцій визначається окремо.

Абсолютні значення параметрів X1 прийнято і вважаються рівними значенню 150 Мб.

Абсолютне значення параметра X2 а) 200 або б) 100 строк.

Абсолютне значення параметра X3 обрано не найгіршим (не максимальним), тобто це значення відповідає варіанту 30 годин.

Абсолютне значення параметра X4 може набувати не найкращого варіанту, тобто підходять варіанти а) 30 або б) 20.

Коефіцієнт технічного рівня якості для кожного варіанта реалізації ПП розраховується за формулою (5.8).

$$K_{TP} = \sum_{i=1}^n * K_{B_i} B_i' \quad (5.8)$$

де  $n$  – кількість параметрів;

$K_{B_i}$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го параметра за результатами оцінок експертів;

$B_i$  – оцінка  $i$ -го параметра в балах.

Розрахунок показників рівня якості представлено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок показників якості

Основна функція	Варіант реалізації	Абсолютне значення параметру	Бальна оцінка параметру	Коефіцієнт вагомості параметру	Коефіцієнт якості
F3(X3, X4)	A	25	10	0.57	5.7
	B	20	7,33	0.57	4.82
F2(X2)	A	200	5	0.23	1.3
F1(X1)	A	125	5	0.19	0.95

Використавши дані, наведені в таблиці 5.6, визначимо рівень якості кожного з варіантів:

- $F_1(A) - F_2(A) - F_3(A) = 5.7 + 1.3 + 0.95 = 7.95$
- $F_1(A) - F_2(A) - F_3(B) = 4.82 + 1.3 + 0.95 = 7.07$

Отже, найкращим варіантом є порахований варіант останньої конфігурації, де значення коефіцієнту технічного рівня параметра набуває найбільше значення серед інших.

### 5.6 Економічний аналіз варіантів розробки ПП

Для визначення загальної вартості розробки продукту спочатку проведемо обчислення рівня трудомісткості обраної задачі.

Всі варіанти включають в себе два окремих завдання:

1. Розробка прототипу та системи моделювання
2. Реалізація моделі, проведення тестів та симуляцій

Перше завдання за ступенем новизни відноситься до групи В, друге – до групи Г. За складністю алгоритмів, які використовуються в першому завданні належать до групи 2; а в другому – до групи 3.

Для реалізації першого завдання використовується довідкова інформація, а друге завдання використовує інформацію про дані. Проведемо обчислення норм часу на розробку та реалізацію для кожного з наведених завдань. Загальна трудомісткість обчислюється за формулою (5.9).

$$T_0 = T_P \cdot K_{II} \cdot K_{СК} \cdot K_M \cdot K_{СТ} \cdot K_{СТ.М} \quad (5.9)$$

де  $T_P$  – трудомісткість розробки програмного продукту;

$K_{II}$  – поправочний коефіцієнт;

$K_{СК}$  – коефіцієнт на складність вхідної інформації;

$K_M$  – коефіцієнт рівня мови програмування;

$K_{СТ}$  – коефіцієнт використання стандартних модулів і прикладних програм;

$K_{СТ.М}$  – коефіцієнт стандартного математичного забезпечення.

Для першого завдання, виходячи із норм часу для завдань розрахункового характеру ступеню новизни Б та групи складності алгоритму 1, трудомісткість дорівнює:  $T_P = 19$  людино-днів. Поправочний коефіцієнт, який враховує вид вхідної інформації для першого завдання:  $K_{II} = 1,2$ . Поправочний коефіцієнт, який враховує складність контролю вхідної та вихідної інформації рівний  $K_{СК} = 1$ . Оскільки при розробці першого завдання можна спиратися на стандартні архітектури, внесемо це за допомогою

коефіцієнта  $K_{CT} = 0,8$ . Тоді загальна трудомісткість розробки першого завдання дорівнює:

$$T_1 = 19 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 18,24 \text{ людино-днів.} \quad (5.10)$$

Проведемо аналогічні розрахунки для другого завдання, в якому використовується алгоритм третьої групи складності зі ступенем новизни Б, тобто  $T_p = 8$  людино-днів,  $K_{II} = 0,6$ ,  $K_{СК} = 1$ ,  $K_{CT} = 0,8$ :

$$T_2 = 8 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 3,84 \text{ людино-днів} \quad (5.11)$$

Загальна трудомісткість складає:

$$T = (18,24 + 3,84) \times 8 = 176,64 \text{ людино-днів}$$

В розробці беруть участь програміст початкового рівня з окладом 16000 грн. та 1 архітектор систем з моделювання у сфері автомобільного моделювання з окладом 50000 грн, та один інженер у середовищі MATLAB Simulink з окладом 30000 грн. Визначимо середню зарплату за годину за формулою (5.15).

$$C_{\text{ч}} = \frac{M}{T_m \cdot t} \text{ грн.,} \quad (5.15)$$

де  $M$  – місячний оклад працівників;

$T_m$  – кількість робочих днів на місяць;

$t$  – кількість робочих годин в день.

$$C_{\text{ч}} = \frac{16000+30000+50000}{3 \cdot 21 \cdot 8} = 188,5 \text{ грн.} \quad (5.16)$$

Тоді, розраховуємо заробітну платню за допомогою формули (5.17).

$$C_{зп} = C_{ч} \cdot T_i \cdot K_{д}, \quad (5.17)$$

де  $C_{ч}$  – об'єм годинної оплати роботи програміста;

$T_i$  – трудоемність відповідного завдання;

$K_{д}$  – норматив, що нараховує додаткову заробітну платню.

Зарплата розробників за варіантами становить:

$$C_{зп} = 188.5 \cdot 176.64 \cdot 1.2 = 36\,654 \text{ грн.} \quad (5.18)$$

Відрахування на соціальний внесок становить 22%:

$$C_{св} = C_{зп} \cdot 0,22 \quad (5.20)$$

$$C_{св} = 36\,654 \cdot 0,22 = 8\,063.88 \text{ грн.} \quad (5.21)$$

Тепер визначимо витрати на оплату однієї застосованої машино-години. Так як одна ЕОМ обслуговується одним адміністратором апаратного забезпечення з окладом 11435 грн. та коефіцієнтом зайнятості  $K_3 = 0,2$  то для однієї машини отримаємо:

$$C_{г} = 12 \cdot M \cdot K_3 \quad (5.23)$$

$$C_{г} = 12 \cdot 11\,435 \cdot 0,2 = 27\,444 \text{ грн} \quad (5.24)$$

З урахуванням додаткової заробітної плати:

$$C_{зп} = C_{г} \cdot (1 + K_3) = 27\,444 \cdot (1 + 0,2) = 32\,456 \text{ грн.} \quad (5.25)$$

Відрахування на соціальний внесок становить 22%:

$$C_{св} = C_{зп} \cdot 0,22 = 32\,456 \cdot 0,22 = 6\,307.8 \text{ грн.} \quad (5.26)$$

Амортизаційні відрахування розраховуємо за формулою (5.27) при амортизації 28% та вартості ЕОМ – 40 000 грн.:

$$C_A = K_{TM} \cdot K_A \cdot C_{PP} \quad (5.27)$$

$$C_A = 1,15 \cdot 0,28 \cdot 40\,000 = 16\,062,5 \text{ грн.} \quad (5.28)$$

де  $K_{TM}$  – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування та монтаж приладу у користувача;

$K_A$  – річна норма амортизації;

$C_{PP}$  – договірна ціна приладу.

Витрати на ремонт та підтримку розраховуємо за формулою (5.29).

$$C_P = K_{TM} \cdot K_P \cdot C_{PP} \quad (5.29)$$

$$C_P = K_{TM} \cdot K_P \cdot C_{PP} = 1,15 \cdot 0,08 \cdot 40\,000 = 36\,800 \text{ грн.} \quad (5.30)$$

де  $K_P$  – відсоток витрат на поточні ремонти.

Ефективний годинний фонд часу ПК за рік розраховуємо за формулою (5.31).

$$T_{EF} = (D_K - D_B - D_C - D_P) \cdot t \cdot K_B \quad (5.31)$$

де  $D_K$  – календарна кількість днів у році;

$D_B, D_C$  – відповідно кількість вихідних та святкових днів;

$D_P$  – кількість днів планових ремонтів устаткування;

$t$  – кількість робочих годин в день;

$K_B$  – коефіцієнт використання приладу у часі протягом зміни.

Відповідно отримаємо:

$$T_{EF} = (365 - 104 - 12 - 16) \cdot 8 \cdot 0,9 = 1\,667,6 \text{ год} \quad (5.32)$$

Витрати на оплату електроенергії розраховуємо за формулою (5.33).

$$C_{\text{ЕЛ}} = T_{\text{ЕФ}} \cdot N_{\text{С}} \cdot K_{\text{З}} \cdot \text{Ц}_{\text{ЕЛ}} \quad (5.33)$$

де  $N_{\text{С}}$  – середньо-споживча потужність приладу;

$K_{\text{З}}$  – коефіцієнтом зайнятості приладу;

$\text{Ц}_{\text{ЕЛ}}$  – тариф за 1 КВт-годин електроенергії.

За формулою (5.33), отримаємо:

$$C_{\text{ЕЛ}} = T_{\text{ЕФ}} \cdot N_{\text{С}} \cdot K_{\text{З}} \cdot \text{Ц}_{\text{ЕЛ}} = 1\,677,6 \cdot 0,65 \cdot 0,3 \cdot 3,7969 = 1\,242 \text{ грн.} \quad (5.34)$$

Накладні витрати розраховуємо за формулою (5.35).

$$C_{\text{Н}} = \text{Ц}_{\text{ПР}} \cdot 0,67 \quad (5.35)$$

За формулою (5.35), отримаємо:

$$C_{\text{Н}} = \text{Ц}_{\text{ПР}} \cdot 0,67 = 40\,000 \cdot 0,67 = 26\,800 \text{ грн} \quad (5.36)$$

Тоді, річні експлуатаційні витрати вираховуються за формулою (5.37)

$$C_{\text{ЕК}} = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СВ}} + C_{\text{А}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{ЕЛ}} + C_{\text{Н}} \quad (5.37)$$

і є рівні:

$$C_{\text{ЕК}} = 36\,654 + 8063,88 + 16\,062,5 + 36\,800 + 1\,242 + 26\,800 \quad (5.38)$$

Собівартість однієї машино-години ЕОМ вираховується за формулою (5.39)

$$C_{\text{МГ}} = \frac{C_{\text{ЕК}}}{T_{\text{ЕФ}}} \quad (5.39)$$

і дорівнює:

$$C_{\text{МГ}} = \frac{125\,622,38}{1\,677,6} = 74,88 \text{ грн/год.} \quad (5.40)$$

Оскільки в даному випадку всі роботи, які пов'язані з розробкою програмного продукту ведуться на ЕОМ, витрати на оплату машинного часу вираховується за формулою (5.41)

$$C_M = C_{MG} \cdot T \quad (5.41)$$

і відповідно дорівнюють:

$$C_{M1} = 74.88 \cdot 145.92 = 10\,926.5 \text{ грн.} \quad (5.42)$$

$$C_{M2} = 74.88 \cdot 105.6 = 7\,907.3 \text{ грн.} \quad (5.43)$$

Накладні витрати складають 67% від заробітної плати вираховуються аналогічно формулі (5.35) і відповідно дорівнюють:

$$C_{H1} = 10\,926.5 \cdot 0,67 = 7\,320.75 \text{ грн.} \quad (5.44)$$

$$C_{H2} = 7\,907.3 \cdot 0,67 = 5\,297.9 \text{ грн.} \quad (5.45)$$

Отже, вартість розробки програмного продукту за варіантами вираховується за формулою (5.46)

$$C_{ПП} = C_{ЗП} + C_{СВ} + C_M + C_H \quad (5.46)$$

і відповідно становлять

$$C_{ПП} = 36\,554 + 8\,163.88 + 18\,843.8 + 8\,848.5 = 72\,499.18 \text{ грн} \quad (5.47)$$

#### 4.7 Вибір кращого варіанту ПП техніко-економічного рівня

Розрахуємо коефіцієнти техніко-економічного рівня за формулою (5.49).

$$K_{TEP} = \frac{K_K}{C_{ПП}} \quad (5.49)$$

і є відповідно рівними:

$$K_{TEP} = \frac{K_K}{C_{ПП}} = \frac{7.95}{72\,399.18} = 1.098 \cdot 10^{-4} \quad (5.50)$$

Як бачимо, найбільш ефективним є перший варіант реалізації програми з коефіцієнтом техніко-економічного рівня  $K_{\text{ТЕР}} = 1.098 * 10^{-4}$ .

Після виконання функціонально-вартісного аналізу системи яка розробляється, можна зробити висновок, що з альтернатив, що залишилися після першого відбору двох варіантів (див п.5.6) побудови системи оптимальним є перший варіант (домінуючий варіант п.5.6).

Цей варіант має наступні параметри:

- Хмара – Azure
- Мова програмування – C# (навіть те, що програмісти знають Python, не допомогло варіанту з мовою Python набрати більший коефіцієнт техніко-економічного рівня, що є логічним результатом, бо використовуючи Azure разом з C# ми маємо більші можливості і фічі)
- Використання VS Code (що також є логічним варіантом, оскільки Microsoft надає гарну підтримку своїм середовищам розробки)

Отриманий за результатами ФВА варіант конфігурації є досить гарним і логічним з усіх боків: вибір хмари, мови програмування, середовища розробки.

#### **4.8 Висновки до розділу 4**

В цьому розділі було проведено функціонально-вартісний аналіз ПП. Було визначено та проведено оцінку основних функцій ПП. Визначено параметри, які характеризують програмний продукт.

Також, було проведено експертне оцінювання параметрів та аналіз якості варіантів реалізації функцій.

Останнім етапом було проведення економічного аналізу варіантів розробки, а саме таких витрат як трудомісткість, витрати на заробітну плату, тощо. На основі аналізу було обрано найкращий варіант реалізації програмного продукту.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було розроблено математичну модель різних компонентів антиблокувальної гальмівної системи, таких як динаміка автомобіля, колесо, де було враховано його пробуксовування та гальмівний привод. Також були розроблені моделі MATLAB/Simulink колеса, пробуксовування колеса та гальмівного приводу. Вхідні параметри були передані контролеру, щоб отримати оптимальне ковзання стану дороги, щоб отримати контроль ABS як вихід. Також було з'ясовано концепцію того, як має застосовуватися гальмівне зусилля в різних дорожніх умовах. Антиблокувальна система гальмування (ABS) була створена в MATLAB/Simulink, та були наведені результати симуляції та моделювання у вигляді залежностей коефіцієнту ковзання та порівняння фактичної швидкості автомобіля зі швидкістю в «ідеальних» умовах. Використання системи ABS забезпечує значно кращі результати щодо контролю ковзання, керованості та навіть незначно гальмівного шляху автомобіля. Система зупиняє автомобіль через 12 секунд з коливаннями ковзання зі стабільним пробуксовуванням коліс і кращою керованістю. Отже, було на прикладі доведено позитивну дію роботи системи ABS на гальмівну систему автомобіля.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aly, A. A., Zeidan, E. S., Hamed, A., & Salem, F. . An antilock-braking systems (ABS) control: A technical review. Intelligent Control and Automation, 2011.
2. Bera, T. K., Bhattacharya, K., & Samantaray, A. K. . Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics, 2019
3. L. Xiao, L. Hongqin, and W. Jianzhen, “Modeling and Simulation of Anti-lock Braking System based on Fuzzy Control”, 2016.
4. C. Huang and M. Shih, “Design of a hydraulic anti-lock braking system ( ABS ) for a motorcycle”, 2010.
5. I. Dias and D. C. Dantas, “Modeling and control of anti-lock braking systems considering different representations for tire-road interaction,” 2019.
6. Jon Lawes . Car Brakes: A Guide to Upgrading, Repair and Maintenance. 2014
7. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://www2.borgwarner.com/en/powerdrive/products/PAGes/GeneraionV.aspx> .
8. Gowda, D., & Ramachandra. Slip ratio control of anti-lock braking system with bang-bang controller, 2017
9. He, Y., Lu, C., Shen, J., & Yuan, C. Design and analysis of output feedback constraint control for antilock braking system with time-varying slip ratio. Mathematical Problems in Engineering, 2019.
10. System Dynamics. // [сайт] – URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/System\\_dynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/System_dynamics)
11. Model-Based Design for Embedded Control Systems. // [сайт] – URL:  
<https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/white-paper/gated/model-based-design-with-simulation-white-paper.pdf/>
12. Wigren, T., Schoukens, J. Three free data sets for development and benchmark in nonlinear system identification, 2013.

13. E. Lerma, R. Costa Castelló, R. Griño, C. Sanchis. Duino-based learning (DBL) in control engineering courses. Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFFA), 2019
14. Renesas Electronics. Quadruple 2-input Exclusive-OR Gates.// [сайт] URL: [https://www.renesas.com/us/en/doc/products/logic/001/rej03d0422\\_hd74ls86.pdf](https://www.renesas.com/us/en/doc/products/logic/001/rej03d0422_hd74ls86.pdf)