

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобільної транспортної менеджменту

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему

«Вдосконалення системи діагностування курсової стійкості  
автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю

«Автомобіль сервіс» місто Дніпро



Виконав студент 2-го курсу, групи 2АТ-24м

спеціальності 274 - Автомобільний транспорт

Освітньо-професійна програма

Автомобільний транспорт

Чортків Г.В.

Керівник: д.т.н., професор каф. АТМ

Макаров В.А.

« 04 » 12 2025 р.

Опонент: д.т.н., доцент каф. АТМ

Смілий А.В.

« 08 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідуючий кафедрою АТМ

« т.н. доц. Цимбал С.В.

« 08 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Випускний національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 27 – Транспорт  
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт  
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри АТМ  
к.т.н., доцент Пилипак С.В.

« 25 » \_\_\_\_\_ 2025 року

ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Чорному Богдану Володимировичу

1. Тема роботи: Вдосконалення системи діагностики вищої курсової стійкості  
автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Автомобіль сервіс»  
місто Дніпро.

сервіс роботи \_\_\_\_\_ Машини Володимир Андрійович, д.т.н., професор.

затверджені наказом ВНТУ від « 25 » червня 2025 року № 313.

2. Строк подання здобувачем роботи: \_\_\_\_\_ 30.04.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: При визначенні кількості поєтів на СТО урахувати ліно  
неадекватності на технічні впливи. Розділити різну кількість зйомів на СТО – 8, 15,  
12, 28 од./добу. Урахувати теоретичний підхід до КСР виданого математика,  
головного науковця Харківського університету Дідунова О. М. Провести  
експеримент з визначенням важливості впливу на еластичну колесо з дорожню, двох  
головних факторів: вертикального навантаження на еластичній рунні та тиску повітря  
дифузійний вплив. Розрахувати ефективність під економію тальмінних наслідок та  
внеску зливи. Прийняти наступні параметри: річний зробіт – 60 тис. км, вартість  
комплекту шин – 1,2 тис. грн.

4. Зміст текстової частини:

Аналіз системи діагностики курсової стійкості руху автомобіля в ТОВ «АВТОМОБІЛЬ  
СЕРВІС».

Враховуючи систему детермінованих впливів на СТО.

Наказано-практичне і теоретичне обґрунтування впливу на вдосконалення системи діагностики  
КСР автомобіля.

Визначення ефективності запропонованих рішень.

5. Перебіг технологічного матеріалу (у змінній документній формі) з кожної самодіє-  
 5.2. Технічні умови на виготовлення ТОН - АВТОМОТІВ (з  
 5.3. Рішення про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.4. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.5. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.6. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.7. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.8. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.9. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.10. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.11. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.12. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.13. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.14. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.15. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.16. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.17. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.18. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.19. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.20. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.21. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.22. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.23. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015  
 5.24. Акт про впровадження системи управління якістю ІСО 9001:2015

6. Коштовість результатів роботи

Результат роботи	Прізвище, ім'я та по батькові консультанта	Підпис, дата	
		підписав	підписав
Результати досліджень	Макаров В.А.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Виконання ефективності	Бурлака І.М.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Виконання ефективності	Бурлака І.М.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата складання плану: 25 червня 2025 р.



КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва складових частин календарного плану роботи	Строк виконання етапів роботи	Відп.
1	Визначення об'єктів предмету дослідження	25.09-29.09.2025	Б.П.
2	Аналіз вимог ринку, постановка завдань	30.09-20.10.2025	Б.П.
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	Б.П.
4	Результати поставлених завдань	21.10-10.11.2025	Б.П.
5	Формування висновків та роботи, висновки, практичні висновки результату	11.11-16.11.2025	Б.П.
6	Виконання етапів плану роботи - Виконання ефективності виробничих рішень	17.11-23.11.2025	Б.П.
7	Нормоконтроль МКР		
8	Перевірний звіт МКР	25.11-30.11.2025	Б.П.
9	Результати МКР	01.12-04.12.2025	Б.П.
10	Звіт МКР	10.12-12.12.2025	Б.П.

Злобувач  
 Керівник роботи

*[Signature]*  
*[Signature]*

Чорний Б. П.  
 Макаров В. А.

## АНОТАЦІЯ

УДК 629.12

Чорний Б.В. Вдосконалення системи діагностування курсової стійкості автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Автомотив сервіс» місто Дніпро. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2025. 83 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 30 назв; рис.: 37; табл. 6.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконане науково-практичне і експериментальне дослідження системи діагностування курсової стійкості руху автомобілів. Використаний теоретичний підхід до стійкості руху видатного математика Ляпунова О. М. Для оцінки стійкості руху розглянуті фазові портрети. Визначена ефективність запропонованих рішень.

Ілюстративна частина складається з 24 плакатів із результатами дослідження.

Ключові слова: колісний транспортний засіб, система, діагностування, безпека, стійкість руху, шина, фазовий портрет.

## ABSTRACT

UDC 629.12

Chorny B.V. Improvement of the system for diagnosing the directional stability of vehicles in the conditions of the limited liability company "Automotive Service" city of Dnipro. Master's qualification work in the specialty 274 - Motor transport, educational program - motor transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 83 p.

In Ukrainian. Bibliography: 30 titles; Fig.: 37; Table. 6.

The master's qualification work has carried out a scientific, practical and experimental study of the system for diagnosing the directional stability of vehicle movement. The theoretical approach to the stability of movement of the outstanding mathematician Lyapunov O. M. was used. Phase portraits were considered to assess the stability of movement. The effectiveness of the proposed solutions was determined.

The illustrative part consists of 24 posters with the results of the study.

Keywords: wheeled vehicle, system, diagnostics, safety, stability of movement, tire, phase portrait.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ В ТОВ «АВТОМОТИВ СЕРВІС»</b>	<b>8</b>
1.1 Загальна характеристика підприємства ТОВ «Автомотив сервіс»	8
1.2 Перелік робіт на СТО для забезпечення курсової стійкості автомобіля	9
1.3 Аналіз наукових праць щодо систем забезпечення курсової стійкості руху автомобілів	12
1.4 Висновки за розділом	15
<b>2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ТЕХНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА СТО</b>	<b>16</b>
2.1 Розрахунок вхідного потоку вимог послуг в СТО	16
2.2 Розрахунок кількості вимог за різними показниками	18
2.3 Розрахунок продуктивності системи технічних впливів	19
2.4 Розрахунок терміну обслуговування	21
2.5 Розрахунок характеристик ефективності функціонування системи	21
2.6 Визначення продуктивності системи проведення технічних впливів	21
2.7 Розрахунок параметрів ефективності використання системи	24
2.8 Розрахунок технологічно необхідної кількості постів	28
2.9 Оптимізація функціонування системи	28
2.10 Обґрунтування вартості втрат	29
2.11 Результати розрахунків	30
2.12 Висновки за розділом 2	35
<b>3 НАУКОВО-ПРАКТИЧНЕ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ КСР АВТОМОБІЛІВ</b>	<b>36</b>
3.1 Використання фазових портретів для оцінки курсової стійкості руху автомобіля	36

	3
3.2 Методика визначення та аналізу показників курсової стійкості руху	42
3.3 Дослідження моделі для оцінки вертикальної динаміки	50
3.4 Експериментальне дослідження експлуатаційних властивостей різних шин	53
3.5 Використання стенду для контролю радіального прогину шин	66
3.6 Висновки за третім розділом	69
<b>4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ</b>	<b>70</b>
4.1 Хімічний склад та допоміжні матеріали, які входять до системи автомобільної шини	70
4.2 Аналіз негативного впливу зносу гальмівних накладок	71
4.3 Оцінка ефективності від зменшення зносу гальмівних накладок та автомобільних шин	77
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>79</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>81</b>
Додаток А «Ілюстративна частина»	84
Додаток Б «Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень»	

## ВСТУП

Структура системи діагностування курсової стійкості руху (КСР) обумовлюється метою її функціонування, а саме- створюванням інформації для технічних впливів на СТО щодо забезпечення певного динамічного та багатовекторного переміщення автомобіля в просторі тяжіння дороги. Слід урахувати, що в формуванні кількісних значень діагностичних параметрів для ТОВ «Автомобільний сервіс» приймає участь низка вагомих складових- підсистем загальної мега-системи «автомобіль-водій-дорога-навколишнє середовище» [1,2].

Для підтримки аналізу системи діагностування стійкості руху виокремлені два наступні аспекти:

- урахування теоретичного підходу до КСР видатного математика, колишнього науковця Харківського університету Ляпунова О. М.;
- проведення експерименту з визначенням важливості впливу на взаємодію колеса з дорогою двох вагомих факторів: вертикального навантаження на еластичній рушій та тиску повітря в пневматичній шині.

Автомобільна шина – одна з найбільш важливих підсистем колеса, що представляє собою пружну резино-метало-тканинну оболонку, встановлену на обід диска. Шина забезпечує контакт транспортного засобу з дорожнім полотном, призначена для поглинання незначних коливань, викликаних недосконалістю дорожнього покриття, компенсації похибки слідів коліс, реалізації та сприйняття сил. Із цього ствердження випливає, що діагностування курсової стійкості руху КСР є дуже важливою частиною технічного контролю та обслуговування автомобіля.

Обрана тема вважається актуальною на сьогоднішній день, оскільки автомобільний транспорт наймасовіша галузь, яка давно зайняла і міцно утримує провідні позиції у транспортному комплексі держави. З цим видом транспорту ми зустрічаємось і маємо тісну взаємодію кожен день, відповідно, бачимо його недоліки, промахи, перетворення тощо.

Колеса, на яких рухаються різні засоби, в тому числі автомобілі, дуже широко розповсюджені на нашій планеті, а також використовувалася в якості рушіїв при переміщенні науково-дослідницького транспорту по поверхні інших планет.

Перевірка технічного стану шин - важливий елемент профілактики, який може надати інформацію для оцінки роботи рульового керування, гальмівної системи та підвіски автомобіля і запобігти серйозні пошкодження КТЗ.

Існує велика кількість факторів експлуатаційного стану шин з яких найбільш впливовими є наступні: коефіцієнт опору кочення, який впливає на економічність, площа плями контакту колеса з дорогою і коефіцієнт зчеплення які впливають на курсову стійкість руху, а оскільки при сьогоdnішньому автомобільному трафіку безпека руху є найбільш хвилюючою проблемою, саме курсова стійкість руху як експлуатаційна властивість автомобіля буде аналізуватися та діагностуватися у даній роботі

Курсова стійкість руху легкового автомобіля, що переміщується з великою швидкістю по дорозі з асфальто - бетонним покриттям, завжди розглядалась як важлива передумова для забезпечення раціональної керованості колісного транспортного засобу і, тим самим, підвищення безпеки руху автомобіля. Набагато більше ймовірність дорожньо-транспортної пригоди залежить від КСР великої кількості автомобілів, що швидко рухаються в безперервних та інтенсивних транспортних потоках.

Завдяки проведеному експерименту, є можливість підвищення безпеки переміщення легкового автомобіля з високою швидкістю шляхом поліпшення його КСР за рахунок діагностування й прогнозування показників стійкості, а також корегування відведення осей раціональним розташуванням на автомобілі шин, що мають нерівномірний знос протектора.

Структура еластичного рушія визначає його жорсткість, яка може характеризуватися декількома параметрами, в тому числі площею контакту шини з опорною поверхнею та радіальним прогном колеса.

Тісний зв'язок означених параметрів обумовив необхідність їх дослідження в даній роботі.

**Метою магістерської кваліфікаційної роботи** є підвищення безпеки руху легкового автомобіля шляхом поліпшення діагностування експлуатаційної властивості автомобіля – курсової стійкості руху.

*Об'єкт дослідження* – процес кочення еластичного рушія легкового автомобіля.

*Предмет дослідження* – діагностування курсової стійкості руху колісного транспортного засобу (КТЗ).

*Методи дослідження* передбачали аналіз курсової стійкості руху автомобіля категорії М1, розгляд кочення колеса легкового автомобіля, розрахунки на персональному комп'ютері, проведення експерименту з використанням методу планування експерименту, дисперсійний аналіз.

#### **Задачі дослідження**

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- оцінка функціонування ТОВ «Автомотив сервіс»;
- розрахунок системи технічного обслуговування та ремонту СТО з урахуванням випадковості виконання послуг;
- визначення та теоретичне дослідження факторів які мають вплив на КСР;
- проведення експерименту для пошуку найбільш впливового фактору на площу контакту шини з дорогою (навантаження на колесо або внутрішній тиск повітря);
- вибір обладнання для діагностування курсової стійкості руху легкового автомобіля;
- визначення ефективності запропонованих рішень на основі оцінки впливу фрикційного матеріалу протектора шин і гальмівних накладок на людину та довкілля.

**Науково-практична новизна** дослідження полягає в поглибленні поняття курсової стійкості руху автомобіля, проведенні експерименту на

випробувальному майданчику в результаті якого були порівняні між собою два види впливу на пляму контакту з опорною поверхнею. На основі отриманих результатів були виконані розрахунки для визначення ступеню та діапазону дії впливового фактору.

**Апробація результатів роботи.** Проміжні результати досліджень доповідалися й обговорювалися на XVIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року. Вінниця: ВНТУ, 2025.

**Вірогідність отриманих результатів** забезпечується коректною постановкою завдань дослідження, послідовним і широким застосуванням математичних методів при їх вирішенні; збігом результатів для окремих і граничних випадків, відомих з різних джерел інформації; узгодження між собою результатів, отриманих в різних розділах роботи.

**Публікації.** Андрощук В.Д., Чорний Б.В. До питання концептуальних засад охорони довкілля в зоні впливу автомобільної дороги. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року. Вінниця: ВНТУ, С. 28-30 [3].

## 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ В ТОВ «АВТОМОТИВ СЕРВІС»

### 1.5 Загальна характеристика підприємства ТОВ «Автомотив сервіс»

ТОВ «Автомотив сервіс» (АС) є відомим в країні підприємством, яке раціонально функціонує. Будинок виробничого корпусу наведено на рис.1.1 [4].



Рисунок 1.1 - Загальний вигляд виробничого корпусу

Юридична адреса: місто Дніпро, Дніпропетровська обл., вул. Журналістів, буд. 1. Практичні локації/філії: проспект Слобожанський, 29а — одна з основних адрес для СТО (рис. 1.2). Місто Дніпро — крупний промисловий і регіональний центр, що дає доступ до значної клієнтської бази приватних автолюбителів і підприємств. Місця розміщення підприємств ТОВ наведено на рис.1 2.

Курсова стійкість автомобіля — це здатність машини зберігати прямолінійний рух без мимовільного відхилення вбік. На СТО забезпечують належну курсову стійкість руху автомобілів різними способами її відновлення або покращують шляхом перевірки та регулювання систем, що на неї впливають.

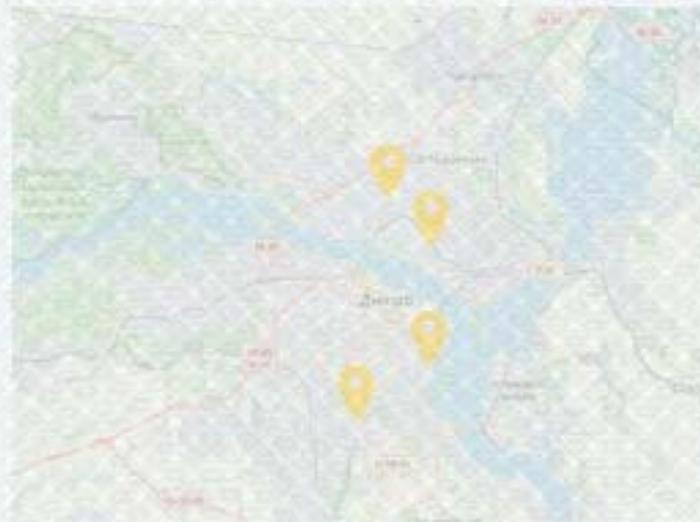


Рисунок 1.2 - Місця розміщення підприємств ТОВ «Автомотив сервіс»

#### 1.6 Перелік робіт на СТО для забезпечення курсової стійкості автомобіля

Для забезпечення курсової стійкості автомобіля на СТО виконується наведений нижче перелік робіт.

1. Регулювання розвалу та сходження коліс. Це основна процедура, що напряму впливає на курсову стійкість. СТО перевіряє та налаштовує: сходження передніх і задніх коліс; кут розвалу; кастер поздовжній нахил осі повороту. Неправильні кути розвалу та сходження викликають: "ведення" автомобіля вбік, ривкове керування, нестабільність переміщення машини на швидкості.

2. Діагностування і ремонт підвіски. Підвіска напряму впливає на стабільність і зчеплення коліс з дорогою. Перевіряють: люфти у рульових наконечниках, тягах, сошках, знос сайлентблоків, важелів, стан кульових опор, амортизатори (ефективність, симетрія демпфування). Зношені елементи підвіски спричиняють розгойдування та нестабільність руху.

3. Перевірка рульового управління. На СТО усувають: люфти в рульовій рейці; підтікання ГУР/ЕУР; нерівномірність зусилля на кермі;

заїдання або збільшену “мертву зону”. Це напряду визначає здатність автомобіля тримати курс.

4. Балансування коліс. Одна з обов’язкових процедур для курсової стійкості на швидкості. Небаланс спричиняє: вібрації керма; ривки у керуванні; зміщення траєкторії руху. На СТО виконують: динамічне балансування 4 коліс; перевірку биття дисків.

5. Оцінка стану шин. Майстри СТО перевіряють: однаковість тиску; рівномірність зносу; правильність типу шин (комплектність: всі 4 однакові за моделлю та сезонністю). Нерівний тиск або різні шини призводять до нераціональної керованості і курсової нестійкості руху.

6. Перевірка жорсткості кузова та його геометрії після ДТП. СТО може робити: контроль геометрії кузова; вимірювання базових точок; діагностику перекосів після аварій. Порушення геометрії автомобіля обумовлює нестійкий курсовий рух.

Таким чином, на СТО курсова стійкість руху КТЗ забезпечується цілим комплексом робіт:

- регулюванням розвалу та сходження;
- балансуванням;
- перевіркою підвіски та рульового управління;
- контролем шин і геометрії кузова.

Означені роботи разом гарантують, що автомобіль: не “веде” вбік; не реагує на керівні впливи різко чи ривками; зберігає стабільність на високій швидкості; безпечно тримає прямолінійний рух.

ТОВ «Автомотив Сервіс» надає широкий спектр сервісних послуг для автомобілів: технічне обслуговування та ремонт (заміна мастила, ГРМ, підвіски, трансмісії); діагностика та ремонт автоелектрики, мультимедіа, чіп-тюнінг; кузовні й фарбувальні роботи, шиномонтаж, 3D-розвал та сходження; додаткові сервіси. Нижче візуалізовані приміщення для спеціалістів ТОВ та обладнання СТО (рис. 1.3).

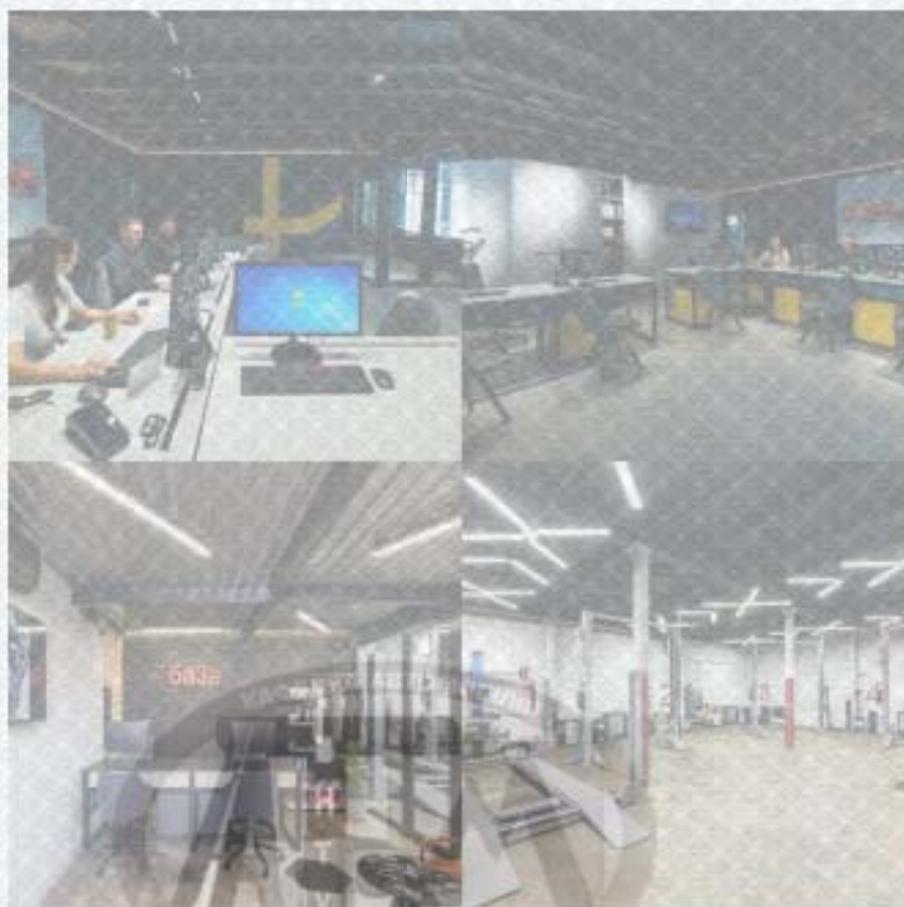


Рисунок 1.3 - Візуалізація приміщень для спеціалістів та обладнання СТО

Загальний вигляд зони ТО і ПР наведено на рис 1.4.



Рисунок 1.4 - Зона ТО та ПР СТО

Регулювання кутів установки коліс виконується на сучасному обладнанні (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 - Пост для виконання регулювання кутів установки коліс

### 1.7 Аналіз наукових праць щодо систем забезпечення курсової стійкості руху автомобілів

Проблема забезпечення курсової стійкості автомобіля є одним із ключових напрямів розвитку систем активної безпеки та має значний вплив на загальний рівень безпеки руху. У наукових джерелах курсову стійкість визначають як здатність транспортного засобу підтримувати обраний напрям руху без неконтрольованих відхилень, заносу або нестійких коливань під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів. Багато досліджень присвячено математичному моделюванню динаміки руху автомобіля, аналізу конструктивних особливостей його елементів, а також розробці електронних систем, що автоматично стабілізують автомобіль у критичних ситуаціях.

Важливою складовою досліджень є вплив конструктивних характеристик автомобіля на його курсову стійкість. У праці Залипки В.Д. та Манзяка М.О. розглянуто зміну поведінки транспортного засобу за умови варіації радіуса коліс, що може відбуватися внаслідок нерівномірного зносу

або різниці у характеристиках шин [5,6]. Автори наголошують, що навіть незначні зміни у розмірах коліс здатні порушувати рівномірність реакцій на опорну поверхню, що веде до появи асиметрії сил і може спричинити збільшення кута бокового ковзання, а відтак – погіршення курсової стійкості, особливо на високих швидкостях.

Особливо вагомим фактором є стан шин, що безпосередньо визначає рівень зчеплення транспортного засобу з дорогою. Наукові праці акцентують, що параметри шин — глибина протектора, рівномірність зносу, тиск повітря, жорсткість бокової стінки та температура — відіграють вирішальну роль у забезпеченні бічної стабільності. Зношені або перекачані шини мають знижений коефіцієнт зчеплення, що веде до збільшення кута ковзання та ризику втрати контролю при маневруванні. Нерівномірний знос шин може викликати різницю у бокових силах лівої та правої частини автомобіля, що призводить до появи тягової асиметрії та мимовільного відхилення від прямолінійного руху. Погіршення стану шин також впливає на ефективність роботи систем ABS, ESC і TCS, оскільки зменшується їх здатність точно прогнозувати настання граничних режимів. Таким чином, стан шин є ключовим фактором, який суттєво впливає як на пасивні механічні характеристики автомобіля, так і на ефективність активних систем стабілізації.

Окремий напрям досліджень присвячений динаміці руху складних транспортних систем, наприклад, автомобілів із причепом. У праці Скорика М.О. проведено аналіз умов, за яких виникає нестійкість криволінійного руху для таких транспортних комплексів [6]. Автор показує, що додаткові ступені свободи, властиві системі «автомобіль–причіп», можуть спричиняти коливання, які підсилюються при збільшенні швидкості або зміні дорожніх умов. У результаті виникає ймовірність втрати стійкості, що потребує впровадження спеціальних алгоритмів керування.

Значний обсяг робіт присвячено сучасним активним системам стабілізації, які здійснюють автоматичне втручання у процес керування для запобігання втраті курсової стійкості. У роботі Emirler M.T. та ін.

запропоновано модель керування на основі предиктивного контролю (MPC), що передбачає використання активного рульового керування та вибіркового гальмування коліс [7]. Автори доводять, що система на основі MPC здатна передбачати розвиток нестійкого руху та забезпечувати ефективну стабілізацію автомобіля навіть у складних умовах.

Важливе місце у сучасних дослідженнях займають транспортні засоби з розподіленим приводом та керуванням усіма колесами. Робота Zhang J. і Liu C. присвячена методам забезпечення курсової стійкості для таких автомобілів, зокрема шляхом незалежного керування моментом на кожному колесі та узгодженої роботи рульових механізмів [8]. Завдяки цьому досягається високий рівень контролю над бічними та поздовжніми силами, що істотно підвищує стабільність руху на високих швидкостях і під час різких маневрів.

Алгоритми оцінювання динамічного стану автомобіля також є важливим напрямом розвитку систем стабілізації. У дослідженнях [9,10] описано застосування адаптивних фільтрів Калмана та спостерігачів збурень для точного визначення бокового кута ковзання та впливу зовнішніх факторів. Це дозволяє системам стабілізації працювати точніше, навіть коли частина параметрів не може бути виміряна безпосередньо.

Важливі результати отримано також у галузі синтезу цифрових систем забезпечення курсової стійкості. У роботі Александрова Е.Е. та співавт. розглянуто питання параметричного синтезу цифрової системи стабілізації, що має бути інтегрована з іншими електронними блоками сучасного автомобіля [11]. Автори визначають вимоги до алгоритмів і структурних параметрів системи, що забезпечують високу точність та швидкість реагування на зміну динамічного стану.

Узагальнюючи результати аналізу літератури, можна зробити висновок, що забезпечення курсової стійкості автомобіля є багатофакторною проблемою, яка потребує інтегрованого підходу. На стійкість суттєво впливають конструктивні характеристики транспортного засобу, стан шин, дорожні умови та динамічні режими руху. Сучасні системи стабілізації

поєднують математичне моделювання, датчики високої точності, адаптивні алгоритми оцінювання та ефективні методи керування. Подальші дослідження спрямовані на розвиток адаптивних систем, здатних враховувати зміни у стані шин, дорожнього покриття та поведінці водія, що дозволить ще більше підвищити рівень активної безпеки автомобілів.

### 1.8 Висновки за розділом

1. ТОВ має спеціалістів та обладнання, які в змозі виконувати технічні впливи щодо оцінки КСР на високому рівні.

2. Підтримку щодо вдосконалення системи діагностування КСР можна передбачати за допомогою розгляду поглиблення науково практичних питань при оцінці рівня функціонування курсової стійкості руху автомобілів.

3. Можна передбачити проведення експерименту для оцінки конкретних умов експлуатації колісних транспортних засобів з точки зору КСР автомобілів.

4. Узагальнюючи результати аналізу літератури, можна зробити висновок, що забезпечення курсової стійкості автомобіля є багатофакторною проблемою, яка потребує інтегрованого підходу. На стійкість суттєво впливають конструктивні характеристики транспортного засобу, стан шин, дорожні умови та динамічні режими руху. Тому, подальші дослідження слід спрямувати на розвиток адаптивних систем, здатних враховувати зміни у стані шин, дорожнього покриття та поведінці водія, що дозволить ще більше підвищити рівень безпеки автомобілів.

## 2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ТЕХНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА СТО

Згідно останніх спостережень, середня інтенсивність переміщення легкових АТЗ в безпосередній зоні тяжіння СТО є нестабільною. Вона змінюється 8,15, 22 і 28 автомобілів/добу (згідно завдання). Для виконання технологічного розрахунку системи ТО і ПР слід вибрати методика з урахуванням випадковості подій, що обумовлюють заїзд автомобілів на СТО.

Тому вибрана теорія масового обслуговування (ТМО) для розрахунку зони виконання технічних впливів СТО. Вона дозволяє сформулювати модель для проведення аналізу ефективності рішень, що приймаються у полі вибору оптимального числа робочих постів. Виробнича діяльність СТО свідчить про те, що в діючу систему ТО та ПР надходить випадковий потік вимог, що обумовлені випадковими відмовами, які вимагають для свого усунення технічних впливів з ТО і ПР випадкових за термінами виконання, що викликають задіяння великої множини різних технічних рішень. Тому загальний потік випадкових відмов формує випадковий потік самих технічних впливів [12,13].

Таким чином, впливає, що процес надходження в систему технічного обслуговування і ремонту автомобільного потоку буде імовірнісним. Далі вважається, що в результаті низки важливих припущень, накладення визначених умов на вхідний потік, він буде відповідати вимогам стаціонарності, ординарності та відсутності втрат, а конкретна система ТО і ПР, що проектується, буде віднесена до системи з очікуванням вимог послуг без втрат.

### 2.1 Розрахунок вхідного потоку вимог послуг в СТО

При стаціонарному процесі обслуговування і ремонту АТЗ, які поступають в систему, потік вимог послуг є Пуассонівським (найпростішим), в

якому ймовірність надходження в проміжок часу  $(0, t)$   $K$  вимог визначається за формулою:

$$P_K(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^K}{K!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.1)$$

де  $P_K(t)$  - ймовірність надходження  $K$  вимог за термін  $(0, t)$ ;

$\lambda$  - щільність потоку вимог (середня кількість вимог, що приходять за одиницю часу).

Значення математичного очікування числа вимог, що надходять до системи, дорівнює:



$$M(K) = \lambda$$

При  $t = 1$  формула (2.1) приймає наступний вигляд:

$$P(K) = \frac{\lambda^K}{K!} \cdot e^{-\lambda} \quad (2.2)$$

Із формули (2.2) випливає, що для повного опису найпростішого потоку вимог на обслуговування або ремонт можна знати параметр щільності потоку вимог  $\lambda$ .

Згідно закону великих чисел, при достатньо великій кількості вимог на обслуговування або ремонт величина  $N_c$  (середньодобова кількість авто, які потребують обслуговування) наближається до її математичного очікування:

$$M(K) = \lambda_t \approx N_{\alpha} \quad (2.3)$$

Таким чином, для того, щоб описати потік і отримати його характеристику, достатньо розрахувати величину  $N_a$ .

Дисперсія випадкової величини  $K$ , розподіленої за законом Пуассона, дорівнює її математичному очікуванню  $D(K) = \lambda \approx N_c$ .

Тому, значення середньоквадратичного відхилення випадкової величини  $K$  дорівнює  $\sigma_k = \sqrt{N_c}$ .

Таким чином, щільність потоку вимог, що надходять в систему, змінюється в межі:

$$\tilde{N}_c = N_c \pm \sqrt{N_c} \quad (2.4)$$

Наприклад: якщо  $N_c = 9$ , то  $\tilde{N}_c = 9 \pm 3$  або  $\tilde{N}_c = 6-12$ , потік повинен змінюватися за величиною в два рази.

Для цього виду потоку необхідна відповідна організація робіт в зонах обслуговування і ремонту і достатня для цього конкретна виробнича потужність.

## 2.2 Розрахунок кількості вимог за різними показниками

Цей розрахунок може проводитися, при відсутності статистичних даних, по параметрам надійності і є менш точним, ніж розрахунок з урахуванням показників дослідження, що має бути проведено.

Як вже наведено, загальний потік автомобілів, що надходять на автотранспортний комплекс станції за добу  $N_c$ , розраховується в залежності від інтенсивності руху автомобілів  $N$  на автомобільній магістралі, яка знаходиться в області тяжіння СТО.

Потік вимог, які надходять на станцію, приблизно розподіляється наступним чином: на ТО – 10% ( $N_{TO}$ ), на поточний ремонт – 80% ( $N_{PR}$ ), на діагностування технічного стану – 10% ( $N_d$ ):

$$N_C = N_{TO} + N_d + N_{PR} \quad (2.5)$$

### 2.3 Розрахунок продуктивності системи технічних впливів

Продуктивність системи обслуговування і ремонту, в першу чергу залежить від тривалості часу, що витрачається сукупністю робітників у складі  $P_n$  виконавців на виробництво робіт з обслуговування і ремонту автомобілів. За різними чинниками (різний вид і важкість відмов, різноманітний технічний стан автомобілів та тип тощо) час, який витрачається на обслуговування, є також випадковою величиною, закони розподілення якої можуть бути виявлені різними дослідницькими методами.

Згідно вимог теорії ТМО, пропускна здатність системи СТО залежить, головним чином від величини математичного очікування часу обслуговування або ремонту  $t_i$ . Вид закону розподілення часу здійснює суттєвий вплив на пропускну здатність системи. Тому задаються показовим законом розподілу часу ТО або ремонту, функція якого має наведений нижче вигляд:

$$F(t) = L - e^{-\mu t} \quad (2.6)$$

де  $\mu_i$  – інтенсивність і-того виду ТО або ремонту (середня продуктивність робочої бригади СТО).

Щільність розподілу часу виконання технічного впливу дорівнює:

$$f(t) = \mu \cdot e^{-\mu t} \quad (2.7)$$

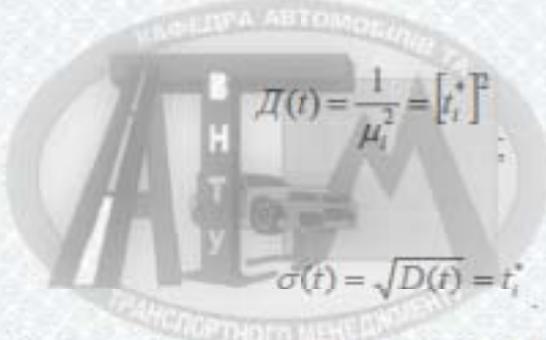
Математичне очікування часу обслуговування (ремонту) дорівнює:

$$M(t) = t_i^* = \frac{1}{\mu_i}, \quad (2.8)$$

Звідси виходить:

$$\mu_i = \frac{1}{t_i^*}, \frac{1}{\text{год.}}$$

При вибраному показовому законі розподілу дисперсія терміну (часу) обслуговування або ремонту на універсальних постах дорівнює:



$$D(t) = \frac{1}{\mu_i^2} = [t_i^*]^2, \quad (2.9)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = t_i^*$$

Таким чином, час виконання технічного впливу, з урахуванням дисперсії, буде дорівнювати:

$$\tilde{t}_i^* = t_i^* \pm t_i^* \quad \text{чи} \quad 0 \leq \tilde{t}_i^* \leq 2t_i^* \quad (2.10)$$

Проведення технічного обслуговування або ремонту з таким значним розкидом часу відносно математичного очікування, потребує формування високої організації робіт на постах і достатніх резервів працівників і обладнання. Можливі великі розкиди часу потребують особливо ретельно обгрунтованих технологічних параметрів системи виконання технічних впливів [14,15].

## 2.4 Розрахунок терміну обслуговування

Час, що затрачується на обслуговування або ремонт АТЗ, може розраховуватися на підставі отриманих дослідних даних із виразу:

$$\bar{t}_i^* = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j^* \text{ , год.} \quad (2.11)$$

де  $t_j^*$  - тривалість  $j$ -го обслуговування або ремонту в  $i$ -ому варіанті впливу;  
 $n$  - загальна кількість технічних впливів.

Якщо статистичні дані відсутні, то в якості орієнтовних величин для визначення часу терміну обслуговування або ремонту можуть бути з визначенням припущенням використані значення нормативної трудомісткості обслуговування або ремонту -  $H_i$ .

## 2.5 Розрахунок характеристик ефективності функціонування системи

Під ефективністю роботи системи слід розуміти характеристики рівня виконання завдань.

Розглядається система ТО і ремонту, яка складається з обмеженого числа однакових постів  $X$ , в якій (згідно з умовами стаціонарності потоку), приймається, що обслуговування вважаються закінченими одразу після проведення робіт, і автомобіль залишає систему. Час на транспортування автомобілів з посту на піст і якість впливів при цьому не розглядаються.

## 2.6 Визначення продуктивності системи проведення технічних впливів

Розрізняють абсолютну та відносну продуктивність конкретної системи. Перша з них характеризує середню кількість заявок (автомобілів), які обслуговуються в одиницю часу, і чисельно дорівнює:

$$W_a = \mu \cdot x, \quad (2.12)$$

де  $X$  - кількість робочих постів.

Друга визначає середнє значення відношення числа автомобілів, що пройшли обслуговування або ремонт, до числа АТЗ, що прийшли до системи в певну одиницю часу:

$$W_{\text{амт}} = \frac{\mu \cdot x}{N_c} \quad (2.13)$$

Пропускна здатність системи виконання впливів може бути визначена з зіставлення параметрів потоку вимог, що надходить, з абсолютною продуктивністю:



$$N_c = \lambda \cdot \tilde{\mu}_i \cdot x_i \quad (2.14)$$

Якщо виконується умова  $N_c \geq \tilde{\mu}_i \cdot x_i$ , то система не виконає об'єм робіт, в результаті цього створюється постійно зростаюча черга очікуючих обслуговування (ремонт) автомобілів.

Для ефективності роботи необхідно виконання умови:

$$N_c \leq \tilde{\mu}_i \cdot x_i \quad (2.15)$$

Вираз  $\tilde{\mu}_i - N_c$  дає величину надлишку виробничої потужності  $m_i$ , яка може бути оптимальною, а пов'язані з цим витрати  $C_a$  - мінімальними.

Необхідна умова візуалізується наступним чином:

$$m_i = \tilde{\mu}_i \cdot x_i - N_c \quad (2.16)$$

$$m_i \rightarrow OPT, C_n \rightarrow \min$$

В якості додаткової умови для можливості роботи системи може бути прийняте припущення, при якому відносна продуктивність буде в наступних границях  $1 < W_{отн} < 2$ .

Для приблизної оцінки якості роботи системи використовується нерівність (2.15). Після відношення правої та лівої частини до параметру  $\mu_i$  і прийняття для подальших розрахунків відношення  $N_a / \mu_i = \rho_i$ , отримано наступне:

$$x_i > \rho_i, \quad (2.17)$$

де  $\rho_i$  - приведена щільність потоку вимог.

Фізична сутність  $\rho_i$  - це середнє число вимог, що поступають в систему ТО і ПР за середній час обслуговування однієї вимоги.

Мінімальна кількість постів  $X_T$  в системі, при конкретній черзі вимог, які очікують, не буде зростати, обмежується наступною умовою:

$$x_T > \rho_i, \quad 0,2 \leq x_T - \rho \leq 1,0 \quad (2.18)$$

При наведеній ситуації, система буде мати максимально можливу продуктивність при мінімальній кількості виробничих постів. Слід звернути увагу на нижню границю даного обмеження [12-15].

$x_T - \rho \geq 0,2$  тому, що при менших числах значуще збільшується довжина черги і завантаженість системи. Робота з мінімальною кількістю постів буде вагомо нестійкою.

Наявність нерівності  $x > \rho$ , свідчить про працездатність системи обслуговування і ремонту автомобілів, однак це ще не гарантує того, що система буде достатньо ефективною. Може статися, що такі параметри, як час простою перед початком обслуговування (ремонт) або довжина черги автомобілів, будуть доволі великі, а резерви виробничих потужностей не забезпечать стійку роботу. Тому для оцінки параметрів системи обслуговування або ремонту використовуються додаткові параметри, що дозволяють більш детально визначити ефективність її роботи.

Ефективність роботи розглянутої системи оцінюється за величиною параметрів, розділених на дві групи.

Перша група дозволяє оцінити роботу системи по ступеню використання її потужностей, друга – по відносним можливостям виробничої системи.

## 2.7 Розрахунок параметрів ефективності використання системи

Імовірність того, що усі пости СТО вільні:

$$P_c = \left[ \sum_{k=0}^{x-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^x}{(x-1)!(x-\rho)} \right]^{-1}, \quad (2.19)$$

де  $x$  - кількість постів в системі (підсистемі);

$\kappa$  - кількість заяв, які надходять в дану систему.

Імовірність того, що всі пости СТО обслуговування (ремонт) зайняті:

$$P = P_c \frac{\rho^x}{(x-1)!(x-\rho)}. \quad (2.20)$$

Імовірність  $P$  сумісно характеризує й такі показники, як імовірність відмов в обслуговуванні або ремонті черговому автомобілю із-за зайнятості

всіх постів; час повного завантаження системи; коефіцієнт використання робочого часу.

Імовірність  $\Pi$  може визначатися, виходячи із технологічних умов, в наступних границях  $\Pi = 0,7 - 0,85$ .

Далі розглянута характеристика ефективності використання постів, призначених для виконання технічних впливів.

Середнє число вільних постів:

$$X_B = P_0 \sum_{k=0}^{r-1} \frac{\rho^k}{k!} (x-k) \quad (2.21)$$

З достатньою для аналізу системи ТО і ремонту автомобілів точністю значення  $X_B$  може бути розраховано по виразу:

$$X_B = x - \rho \quad (2.22)$$

Знаючи середню кількість постів можна розрахувати такий параметр як коефіцієнт простою постів:

$$K_n = \frac{X_B}{x} \quad (2.23)$$

Коефіцієнт зайнятості постів СТО:

$$K_z = \frac{X_z}{x} = \frac{\rho}{x} \quad (2.24)$$

Ступінь використання постів є одним з показників якості функціонування обслуговуючої (ремонтної) системи, однак не використовується єдиним критерієм цілі. Не менш важливо, з точки зору

техніко-економічної ефективності станції, здійснювати швидке обслуговування (ремонт) автомобілів з мінімальним часом простою, маючи при цьому невелику чергу і час очікування початку обслуговування (ремонту).

Тому використовуються також наступні показники:

Імовірність того, що час очікування початку обслуговування  $T_x$  більше будь-якого попередньо заданого часу  $t_x$ :

$$J = P\{T_x > t_x\} = P e^{-\mu(\lambda - \rho)t_x} \quad (2.25)$$

Величина параметру  $P\{T_x > t_x\}$  характеризується ступенем стійкості роботи системи при виконанні робіт по обслуговуванню і ремонту. Чим менше її абсолютне значення, тим вища дійсна стабільність роботи системи. Виходячи з технологічних умов роботи системи, величина  $J$  приймається рівною 0,02 – 0,04.

Значення часу очікування в черзі  $t_x$  може задаватися з урахуванням нормуючих умов:

а) суми часу, який витрачається на виробництво робіт по обслуговуванню (ремонту) -  $t_i$  і на очікування в черзі  $t_x$ , не повинна перевищувати часу роботи системи

$$T_T = T_{зм} \cdot C,$$

де  $T_{зм}$  - тривалість роботи зміни, год;

$C$  - число змін роботи СТО.

б) величина часу очікування в перед початком обслуговування  $t_x$ , яке задається, не повинно перевищувати час, який витрачається на виробництво робіт по обслуговуванню або ремонту:

Середня довжина можливої черги вимог (автомобілів), які очікують обслуговування (ремонт):

$$M_x = \frac{\Pi \rho}{x - \rho} \quad (2.26)$$

При визначенні середньої величини черги автомобілів, які очікують на обслуговування або ремонт, знати, що нерівність  $\tilde{N}_a < \tilde{\mu}_i \cdot x_i$  є основою побудови моделі і виключає появу черги, тому що потік, що входить, по величині менший, ніж абсолютна продуктивність системи. Можна передбачити появу середньої за довжиною черги  $M_x$  імовірністю  $\Pi$ .

Ця обставина обумовлюється тим, що АТЗ мають різне напрацювання на відмову і імовірність безвідмовної роботи.

Загальне число вимог, які надходять в певну систему:

$$M_o = M_x + M_{ог} = M_x + \rho \quad (2.27)$$

Середній можливий час простою машини у черзі в очікуванні обслуговування або ремонту

$$J_x = \frac{\Pi}{\mu(x - \rho)} = \frac{\Pi \tau_i^*}{x - \rho} \quad (2.28)$$

При наявності черги, середній час очікування являє собою витрати робочого (транспортного) часу автомобілів або водіїв та пасажирів.

## 2.8 Розрахунок технологічно необхідної кількості постів

Системи обслуговування АТЗ або ремонту можуть розраховуватися по заданим критеріям ефективності  $J$ ,  $\Pi$  або середнім значенням  $t_x$  і  $t_i^*$ .

В цьому випадку кількість постів, яка відповідає досягненню цієї мети, може бути визначена з допомогою виразу, що розраховується, як сума двох складових:

$$X_s = \rho + \frac{t^*}{t_x} \ln \frac{\Pi}{J} = \rho + \frac{t_i^*}{t_x} \ln e^{-X_s A} \quad (2.29)$$

Де значення



Параметри  $\rho$  і  $t_i^*$  розраховуються у порядку, який вказаний вище, а параметри  $J$  і  $\Pi$  можуть задаватися виходячи з технологічних умов функціонування системи, що розглядається (наприклад:  $\Pi = 0,7 - 0,85$ ;  $J = 0,02 - 0,04$ ). Величина часу, що задається,  $t_x$  визначається з урахуванням нормуючих умов.

В останньому випадку вираз середньої довжини черги приймає вигляд:

$$M_x = \frac{\Pi \rho A}{e^{-X_s A}} \quad (2.30)$$

## 2.9 Оптимізація функціонування системи

Оптимізація роботи системи в загальному забезпечується шляхом зіставлення рішень, що приймаються, або по мінімуму витрат, або по максимуму питомих доходів.

Порівняльну економічну оцінку роботи системи технічного обслуговування (ремонт) СТО, яка дозволяє вибрати оптимальний варіант, ліпше робити по величині мінімуму витрат, які пов'язані з простоєм автомобілів в черзі і простоєм постів обслуговування (ремонт).

Цільова функція величини означених витрат має вигляд:

$$C_v(x) = M_z Z_1 + X_B Z_2 \rightarrow \min \quad (2.31)$$

де  $C_v$  - загальна сума витрат в зоні технічного обслуговування або ремонту, грн./год.;

$Z_1$  - вартість витрат, які пов'язані з простоєм автомобіля в черзі в одиницю часу, грн./год.;

$Z_2$  - вартість простою одного поста СТО в одиницю часу, грн./год.

Орієнтовно можна прийняти величину  $Z_1 = 40 - 46$  грн./год.,  
 $Z_2 = 20 - 25$  грн./год.

Система з оптимальним числом постів забезпечить мінімум витрат під час роботи зон обслуговування і ремонту автомобілів.

## 2.10 Обґрунтування вартості витрат

Визначення кількості постів СТО по мінімальним сумарним втратам відносяться до економічних методів управління. Розрізняють 3 групи матеріальних інтересів: загальносуспільні, колективні й особисті. До перших - належать інтереси суспільства в цілому, до колективних – інтереси окремого виробничого колективу, до особистих – інтереси окремого робітника.

Усі ці види інтересів властиві кожному членові суспільства. Кожна людина зацікавлена не тільки в результатах своєї особистої праці, а й в результатах праці свого виробничого колективу.

Основними економічними методами управління є наступні: планування, господарський розрахунок, матеріальна зацікавленість, ціноутворення. Поєднання економічних методів це вірний механізм управління.

Кожний з економічних методів передбачає також непряму дію, він може розглядатися як позитивний, так і негативний (наприклад, матеріальна зацікавленість може прийматися як позитивний і як негативний метод).

Базою для економічних методів є техніко-економічний аналіз. Механізм реалізації - господарський розрахунок і планування. Вся система економічних методів управління спрямована на підвищення ефективності виробництва та якості продукції (обслуговування).

У даному методі втрати обґрунтовуються з урахуванням системних втрат.

### 2.11 Результати розрахунків

Характерною рисою виробничої діяльності сучасних спеціалістів автомобільного транспорту є те, що вольові рішення інтелектуальних робітників виробництва зведені до мінімуму. В процесі роботи інженер – автомобіліст формулює проблеми та вирішує будь-які складні задачі, за аспектом аналізу різної розрахункової інформації з посиленою комп'ютерною та інформаційною підтримкою. В таблиці 2.1 наведені найбільш значущі результати розрахунків оптимальної кількості постів.

У зв'язку з постійним ускладненням конструкції автомобілів, швидким зростанням їх кількості та продуктивності використання, раціональне вирішення означених задач стає все більше трудомістким. Часто необхідно розглядати велику кількість спроб, на результат яких впливають дуже багато чинників, пов'язаних між собою невизначеними мінливими функціями.

Таблиця 2.1 – Розрахунок кількості постів за методом мінімуму сумарних витрат

Параметри	Числові значення											
	8			15			22			28		
Потік АТЗ на СТО, од./добу	8			15			22			28		
Число постів для аналізу, од.	2	3	4	3	4	5	4	5	6	4	5	6
Імовірність зайнятості всіх постів	0,4	0,14	0,04	0,54	0,23	0,08	0,64	0,32	0,14	0,43	0,19	0,08
Середнє число вільних постів, од.	0,8	1,8	2,8	0,8	1,8	2,8	0,7	1,7	2,7	1,2	2,2	3,2
Коефіцієнт простою постів	0,4	0,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5
Оптимальне число постів, од.	2 або 3			4			5			4 або 5		
Черга АТЗ, од.	0,09			0,28			0,62			0,24		
Час зміни, год.	8			8			8			12		
Число виконавців на посту, осіб.	1,0			1,0			1,5			2,0		

Використання у таких випадках детермінованих методів, буває корисним, однак вони виявляються обмеженими, негнучкими та недостатньо дієвими у тих випадках, коли треба враховувати вплив дії великої кількості позитивних і негативних факторів. При проектуванні вартість простою одного автомобіля та робочого посту прийняті з урахування типу автомобілів, що

обслуговуються, і рівня витрат при простою одного посту. На підставі отриманих даних побудовані залежності сумарних витрат та числа АТЗ в черзі від кількості універсальних постів ТО і ремонту (рис.2.1-2.4). Можна зробити висновок, що мінімальні сумарні витрати забезпечуються при кількості постів, яка дорівнює: у першому варіанті – 2 або 3, у другому варіанті – 4, у третьому варіанті – 5, у четвертому варіанті – 4 або 5. Для конкретного СТО та умов його роботи, слід вибрати число постів відповідно до значення кількості каналів, що в змозі забезпечити працездатність системи ТО і ПР для всієї палітри вимог.

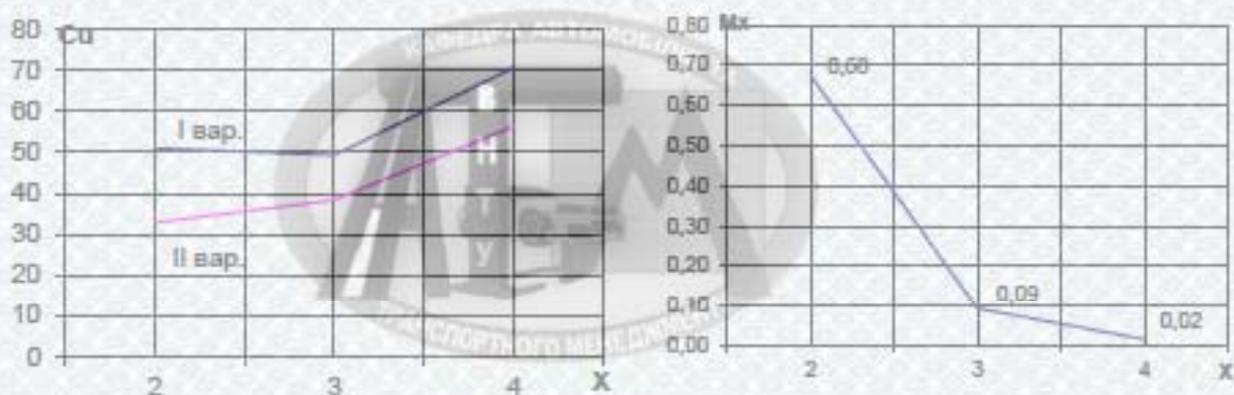


Рисунок 2.1 – Залежності сумарних витрат та довжини черги від кількості постів (варіант 1)



Рисунок 2.2 – Залежності сумарних витрат та довжини черги від кількості постів (варіант 2)

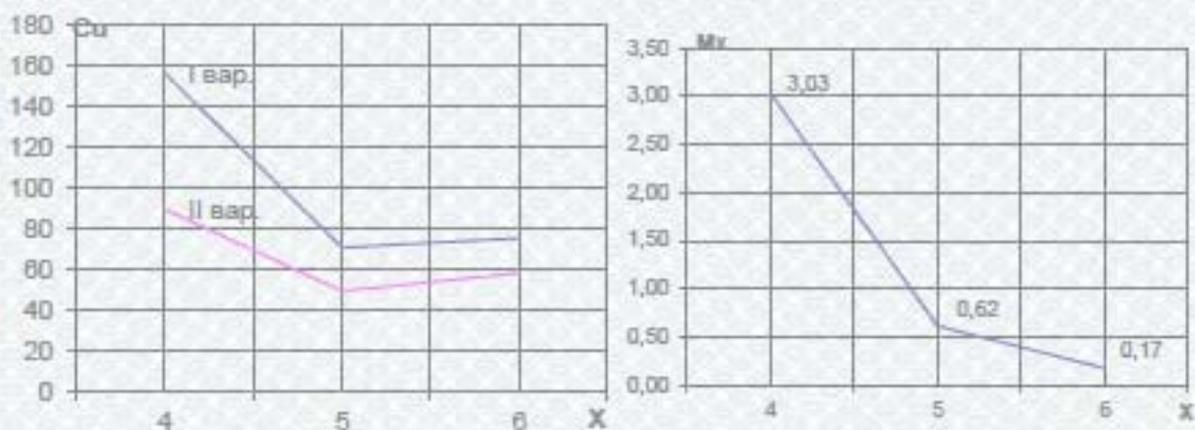


Рисунок 2.3 – Залежності сумарних витрат та довжини черги від кількості постів (варіант 3)

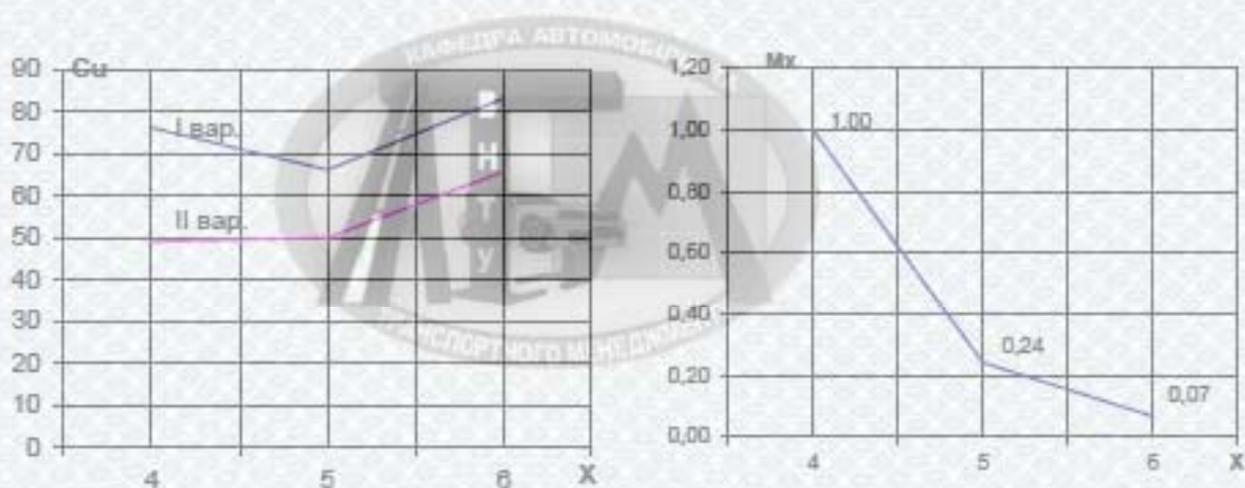


Рисунок 2.4 – Залежності сумарних витрат та черги від кількості постів (варіант 4)

Технологічну організацію виробничих підрозділів необхідно провести на основі розрахункових показників кожного виду робіт ТО і ПР, що наявні на конкретній СТО в такій послідовності:

- визначаємо види постових робіт ТО і ПР;
- проводимо об'єднання постів ТО і ПР автомобілів в виробничі підрозділи за призначенням;
- визначаємо загальний перелік необхідних підрозділів для виконання всіх видів постових робіт ПР;

- складаємо загальну схему виконання робіт по ТО і ПР автомобілів на підприємстві, методи виконання технічного обслуговування та поточного ремонту та загальний технологічний процес для виконання робіт в зоні ТО і ПР.

Організація робочих місць у зоні ТО і ПР проводиться на основі урахування прийнятої кількості постів ТО і ПР, значущих особливостей вибраної форми організації і методу виконання робіт та загального виробничого процесу в означеному СТО.

Послідовність організації робочих місць постових робіт ТО і ПР описана нижче.

1. Кількість постів у зоні ТО і ПР становить від 2 до 5 постів. Необхідно розділити весь обсяг робіт ТО і ПР між постами, які треба задіяти в конкретних умовах.

2. Попередньо скласти відомість технологічного обладнання зони ТО і ПР.

3. Визначити кількість і розташування робочих місць, а саме:

- робочі місця в межах кожного поста (зверху, знизу і збоку автомобіля), на яких виконують роботи безпосередньо з автомобілем. На цих робочих місцях можуть застосувати пересувне технологічне обладнання, тому, безпосередньо біля кожної одиниці такого обладнання, робочі місця не передбачають і воно може використовуватись на декількох постах;

- робочих місць поза межами постів в зоні ТО і ПР немає.

4. Визначити перелік і обсяги робіт, які натепер планується виконувати на кожному робочому місці. При цьому можна користуватись розробленими типажами зон ТО і ПР.

5. При розподілі робітників між постами і робочими місцями необхідно врахувати, що один робітник може бути закріпленим як за одним постом, так і виконувати окремий вид робіт на декількох постах. У випадку, коли один робітник працює на декількох постах, число робітників, закріплених за одним

постом, може бути нецілим, а загальна кількість робітників у відповідній зоні повинна бути цілою.

## 2.12 Висновки за розділом 2

1. Здійснено технологічно – економічний розрахунок структури системи технічних впливів СТО, з урахуванням мінливості господарських та суспільних умов:

- максимальна чисельність працівників – 10 осіб на постах;
- розрахункова кількість постів – від 2 до 5 одиниць.

2. Проведено аналіз результатів, що дозволяє визнати наступне:

- отримане число постів, що може задовольнити персонал СТО і клієнтів-автомобілістів за ціною та привабливістю до заїзду на станцію;
- імовірність зайнятості всіх постів для оптимуму від 0,14 до 0,32, що в основному добре сприймають клієнти;
- середнє значення коефіцієнту простою постів біля 0,5, що припустиме для СТО;
- керівництву СТО можна управляти виконавцями в залежності від зміни інтенсивності вхідного потоку АТЗ на станцію: є оцінка числа вільних постів для виконання послуг; часу зміни; необхідної кількості робітників на посту.

При цьому ураховуються зміни зовнішніх і внутрішніх умов, в яких буде працювати СТО.

### 3 НАУКОВО-ПРАКТИЧНЕ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ КСР АВТОМОБІЛІВ

#### 3.1 Використання фазових портретів для оцінки курсової стійкості руху автомобіля

Метод фазових портретів тривалий час використовується для аналізу поведінки систем, які описуються системами диференціальних рівнянь, що не мають аналітичного рішення. Фазовий портрет – це графічне відображення співвідношень між двома параметрами стану системи, які змінюються в часі (при виключенні координати часу), наприклад, фазової координати та швидкості її зміни. Кожна точка фазового портрету (точка фазового простору) характеризує стан системи в конкретний момент часу, а рух точки вздовж лінії графіка (фазової траєкторії) характеризує зміну стану системи в часі.

Для аналізу стійкості руху моделі автомобіля, з урахуванням коливань керуючого колісного модуля, представляють інтерес наступні фазові портрети:

- траєкторія руху центру мас автомобіля в площині дороги (в координатах  $x - y$ );
- співвідношення між бічною складовою швидкості центру мас  $u$  та кутовою швидкістю  $\omega$ ;
- співвідношення між кутом повороту колісного модуля  $\theta$  та швидкістю повороту колісного модуля  $\dot{\theta}$ .

Всі ці портрети дають можливість прогнозувати віртуальний розвиток подій (стосовно конкретних початкових параметрів фазового портрету) після прикладення до автомобіля будь-якої збурюючої сили, за умови, що або водій не виконує корегуючих дій, або відомий закон зміни кута  $\theta(t)$ . Тобто, в першому випадку оцінюється стійкість саме автомобіля, а не системи «водій -

автомобіль», у другому випадку можливо оцінити дії водія. Також важливе значення мають початкові умови, тобто точка, з якої починається відлік часу. Сам параметр часу на вказаних фазових портретах не відображається, але при побудові портрету необхідно задати інтервал часу, якому відповідає побудова, наприклад від 0 до 10 с [16].

Побудова фазових портретів для великого інтервалу часу (більше 2 – 3 с), насамперед, дозволяє по характерній формі графіка зробити висновок про стійкість чи нестійкість системи.

Під стійкістю транспортної системи розуміють її здатність відновлювати вихідний (або дуже близький до вихідного) режим руху при малому його порушенні, а надалі продовжувати нормальний режим роботи. Таким чином, стійкість руху автомобіля – це його властивість протистояти зовнішнім силам, що намагаються відхилити автомобіль від заданого режиму (кута) руху.

Ця властивість обумовлює можливість реалізації стаціонарного руху автомобіля – переміщення автомобіля по прямолінійній траєкторії або за колом з постійною лінійною та кутовою швидкостями.

Коли графік траєкторії руху центра мас являє собою коло постійного радіусу (рис. 3.1) та при малих відхиленнях фазових змінних траєкторія наближається до кола того ж самого радіусу, то це свідчить про стійкість режиму руху автомобіля. Тобто, після збурюючого впливу, при умові невтручання водія у поведінку системи, автомобіль буде рухатись по траєкторії з визначеним радіусом. Тим самим, виконується переміщення автомобіля, яке можна було б назвати стаціонарним рухом, якщо лінійна та кутова швидкості були б постійними. Якщо ж графік траєкторії представляє собою спіраль, що розгортається (рис. 3.2), це вказує на нестійкий рух, тобто автомобіль не втримується на траєкторії постійного радіусу.

З практичної точки зору важливим моментом, який можна дослідити по графіку траєкторії руху, є, також, відхилення траєкторії від певного коридору після збурюючого впливу, тобто в той відрізок часу, коли водій ще не встиг виконати корегуючих дій.

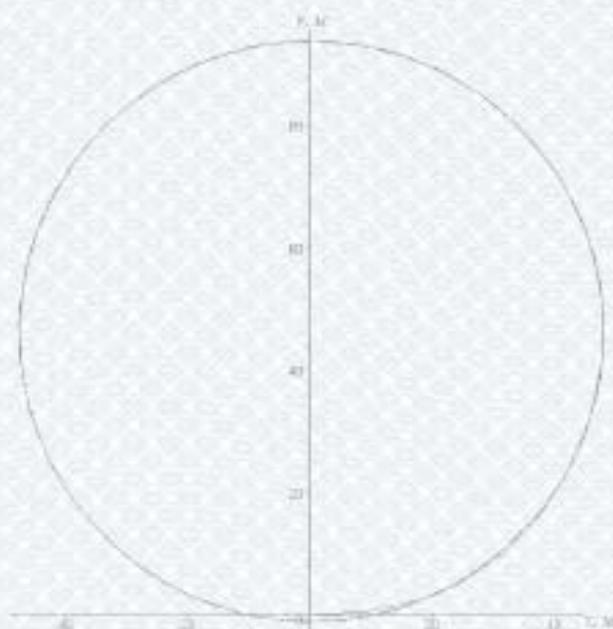


Рисунок 3.1 - Траєкторія стійкого руху

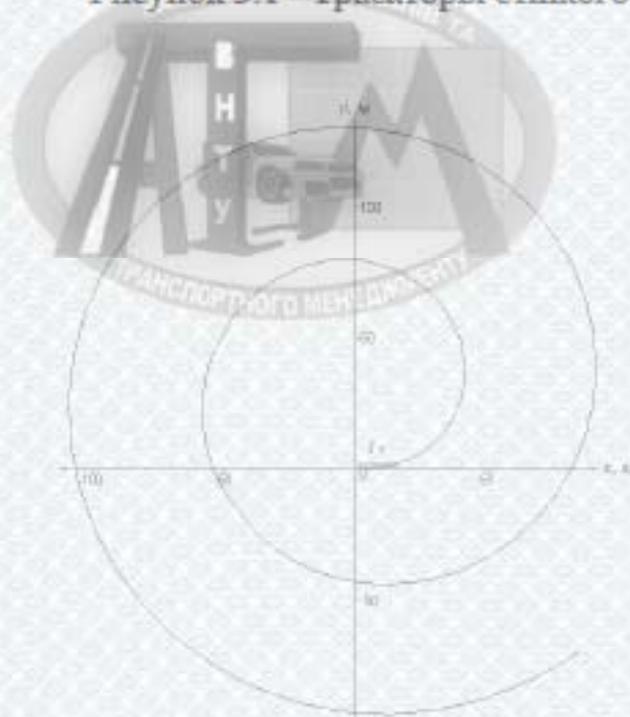


Рисунок 3.2 - Траєкторія нестійкого руху

Наприклад, на рис. 3.1 (виділена частина кривої) через секунду після початку відліку центр мас автомобіля відхиляється від прямолінійної траєкторії на 2 м, що в реальних умовах руху може відповідати виїзду на смугу зустрічного руху і виникненню ДТП.

У комплексі з графіком траєкторії руху центру мас автомобіля необхідно розглядати фазові портрети змінних  $u$  і  $\omega$ ,  $\theta$  і  $\dot{\theta}$ . Загальний вигляд графіка дає можливість зробити висновок про стійкість чи нестійкість руху автомобіля. Якщо фазова траєкторія представляє собою спіраль, що звертається (рис. 3.2), то це вказує на випадок, коли автомобіль з часом виходить на стійкий стаціонарний режим руху. Значення  $u$  і  $\omega$ ,  $\theta$  і  $\dot{\theta}$ , що відповідають точці, в якій сходиться спіраль графіка, показаного на рис. 3.2 чисельно характеризують цей режим. Наприклад, для випадку, який показаний на рис. 2.9  $u = -3,2$  м/с,  $\omega = 0,32$  рад/с; на рис. 2-3.4 –  $\theta$  і  $\dot{\theta}$  наближаються до нуля, що може вказувати на прямолінійний рух (якщо  $u(t)$  і  $\omega(t)$  прагнуть до нуля), або на рух за колом (якщо  $u(t)$  і  $\omega(t)$  прагнуть до констант відмінних від нуля).

Якщо крива фазового портрету не наближається до певної точки фазової площини (рис. 3.3) нестійкий стаціонарний рух, інакше- очікується стійкий режим руху (рис 3.4).

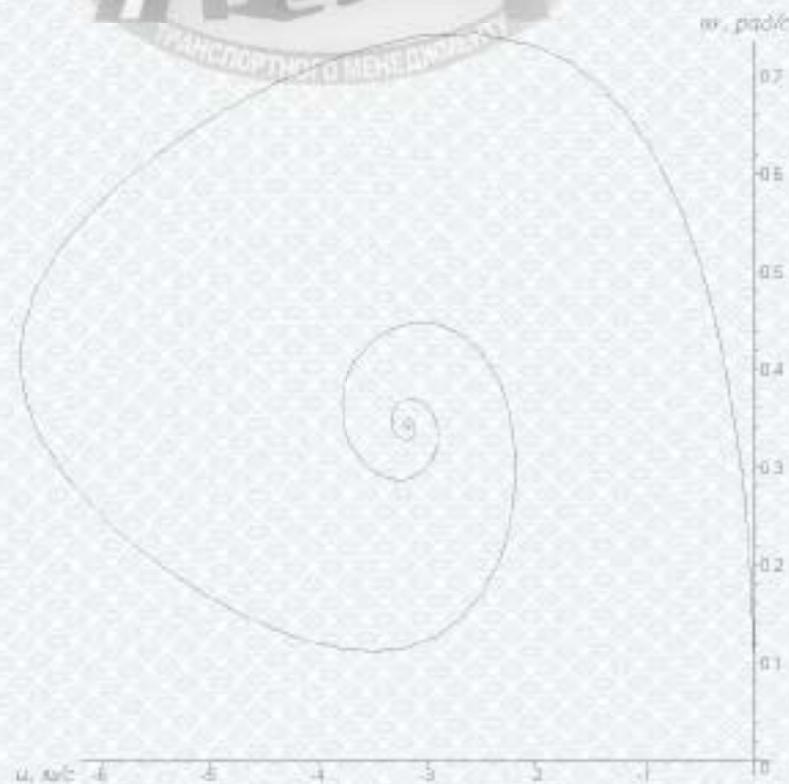


Рисунок 3.3 - Фазовий портрет змінних  $u$  і  $\omega$  для випадку нестійкого стаціонарного руху

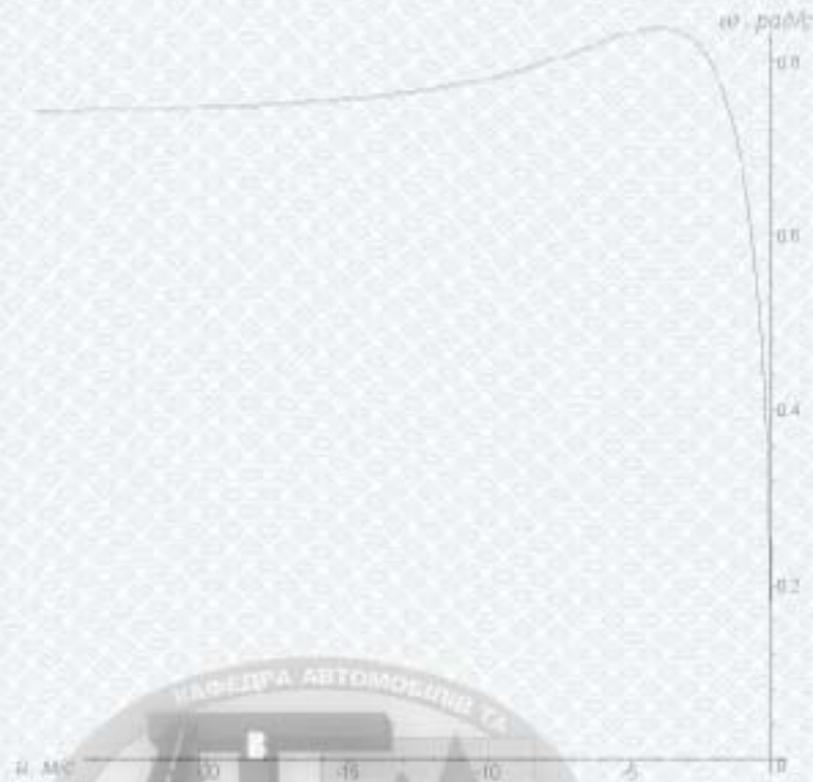


Рисунок 3.4 - Фазовий портрет змінних  $u$  і  $\omega$  для випадку стійкого стаціонарного руху

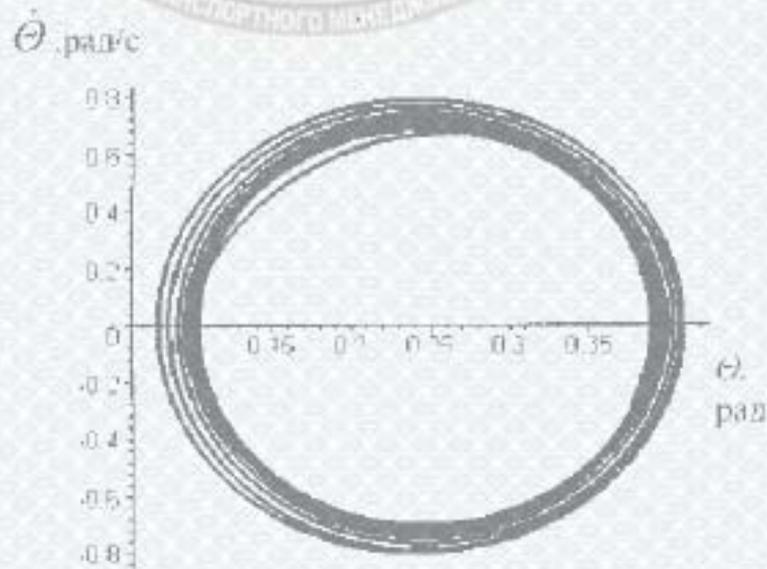


Рисунок 3.5 - Фазовий портрет змінних  $\theta$  і  $\dot{\theta}$  для випадку автоколивань з амплітудою до 0,15 рад відносно середнього значення  $\theta = 0,25$  рад

В даному випадку важливим фактором є величина амплітуди коливань колісного модуля. Коливання збільшують динамічний коридор руху автомобіля і, якщо він перевищує ширину дорожньої смуги, можуть спричинити виникнення ДТП.

Таким чином, для аналізу руху моделі автомобіля з урахуванням коливань керуючого колісного модуля необхідно розглядати комплексно три фазових портрети:  $x$  і  $y$ ,  $u$  і  $\omega$ ,  $\theta$  і  $\dot{\theta}$ .

Схематично алгоритм аналізу стійкості руху автомобіля за допомогою фазових портретів можна зобразити наступним чином (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Алгоритм аналізу стійкості руху автомобіля за допомогою фазових портретів

Аналіз фазових портретів дозволяє:

- зробити висновок про схильність моделі до стійкого чи нестійкого руху;
- визначити чисельні характеристики руху, які необхідні для порівняння з характеристиками, що отримані при варіації інших параметрів моделі (наприклад, зміна тиску повітря в шинах може змінити радіус

траєкторії руху центру мас автомобіля, значення  $u$  і  $\omega$ , амплітуду автоколивань колісного модуля, що дозволить зробити висновок про доцільність або ступінь ефективності зроблених змін).

Крім основних фазових портретів, які вказані вище, для аналізу стійкості руху автомобіля можна використовувати і додаткові співвідношення. Наприклад, для аналізу реакції автомобіля на ривок руля доцільною є побудова фазового портрету змінних  $\omega$  і  $\theta$ .

### 3.2 Методика визначення та аналізу показників курсової стійкості руху

Об'єктом дослідження обрана велосипедна модель легкового автомобіля. Розглянуті основні показники КСР: діаграма біфуркаційної множини (БМ); картина фазової площини (ФП). Послідовність визначення та аналізу БМ і ФП наведена на рис. 3.7.

АТЗ знаходиться під дією постійних зовнішніх збурюючих впливів: бічного вітру, що діє поперек напрямку руху, а також моменту зовнішніх сил, обумовленого протилежною дією силових реакцій в контактах осей з дорогою (за рахунок конусності еластичних шин).

Спочатку виконується введення сукупності вихідних даних (блок 1):

- безрозмірної зовнішньої бічної сили ( $Y_6$ );
- безрозмірного моменту зовнішніх сил відносно вертикальної осі, що проходить через центр мас автомобіля ( $M_x$ );
- маси автомобіля ( $m$ );
- центрального моменту інерції відносно вертикальної осі, що проходить через центр мас ( $J$ );
- коефіцієнтів зчеплення ( $\varphi_i$ ), відповідно, передньої і задньої осі;  $i=1,2$ ;
- відстані від осей до центру мас ( $a$  та  $b$ ), відповідно, від передньої або задньої осі;
- бази автомобіля ( $l$ );



Рисунок 3.7 - Послідовність побудови та аналізу показників курсової стійкості руху

- коефіцієнтів опору відведення ( $k_1$  та  $k_2$ ), відповідно для передньої або задньої осі;
- вертикальних навантажень ( $N_1$  та  $N_2$ ), відповідно, на передню або задню ось.

Апаратом блоку 2 визначаються  $Y_j$  - вертикальні реакції та осях в кг та Н, розраховуються значення безрозмірних коефіцієнтів і величина критичної швидкості прямолінійного руху.

Блок 5 здійснює перехід до зворотної функції  $G_2=f_2-f_1$ .

Далі, з використанням графоаналітичного методу, здійснюється побудова діаграми БМ: площа керуємих параметрів  $\theta$  і  $v$  розділяється на області з різною кількістю стаціонарних режимів руху (рис. 3.8).

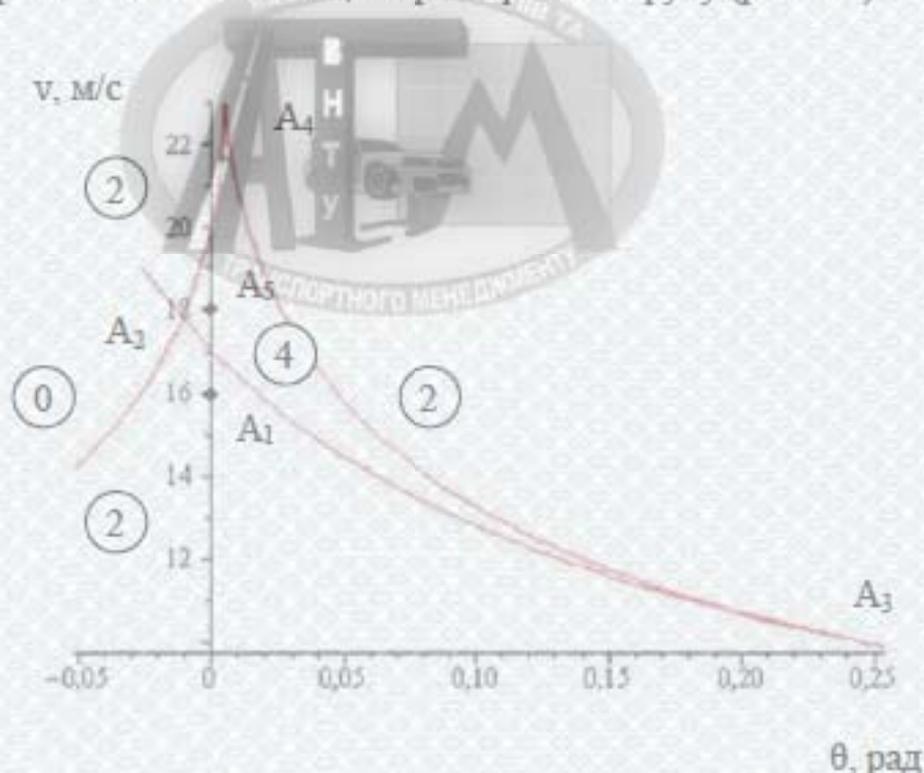


Рисунок 3.8 - Діаграма біфуркаційної множини

На діаграмі число стаціонарних режимів руху (СРР) позначено цифрами, що проставлені в кожному наведеному колі. Аналіз означеного показника КСР виконується нижче. В розглянутому випадку наявні 4 і 2 СРР, відповідно, в

замкненій площині фігури  $A_2A_3A_4$ , а також вище, нижче, праворуч позначеної фігури. Ліворуч точки  $A_1$  розміщується область, яка не містить жодного СРР.

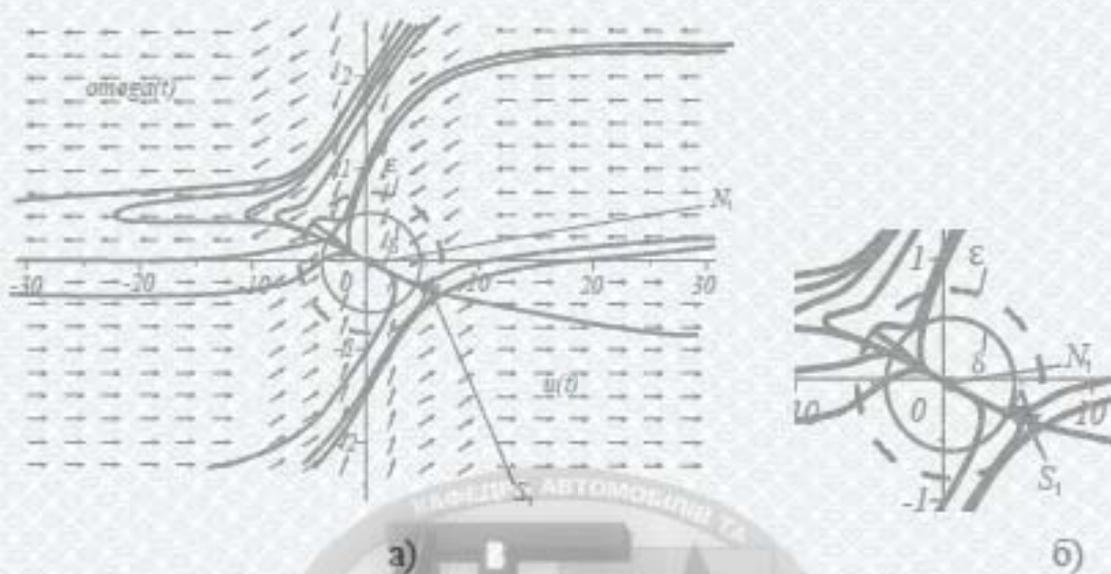
Така, несиметрична відносно ординати БМ, відповідає випадку, коли модель автомобіля є несиметричною відносно вертикальної осі, що проходить через центр мас. Означена біфуркаційна діаграма для асиметричної моделі є перерізом поверхні «ластівчин хвіст»: максимальна кількість СРР – 4, при переході границі кількість стаціонарних станів змінюється на 2. Несиметричність БМ обумовлена наявністю постійно діючих додаткових збурюючих факторів: бічної сили та моменту. Крім того, в даному випадку не визначається однозначно величина критичної швидкості. Величина  $V_{кр}$  прямолінійного руху наближено дорівнюється ординаті однієї з точок загострень.

На етапі аналізу першого показника КСР, можна зробити один остаточний висновок щодо заносонебезпечності області, яка не має жодного СРР.

Для отримання більш докладнішої інформації слід побудувати фазові портрети та траєкторію центру мас автомобіля у площині дороги, що виконується блоком 5. Перший фазовий портрет побудований для точки  $A_1$  БМ, в якій  $\theta=0$  і  $v=16$  м/с. Згідно рис. 3.8 точка  $A_1$  розміщена в області, де існують два СРР: один стійкий, а другий – нестійкий (рис. 3.9).

Означений ФП містить стійкий вузол  $N_1$  (стійкий круговий режим) та сідло  $S_1$  (нестійкий круговий режим). Область стійкості обмежують сепаратриси, що дозволяють позначити зону притягання стійкого СРР. В околі стійкого вузла  $N_1$  можна побудувати коло, що обмежує  $\delta$  – окіл означеної точки  $N_1$  і містить фазові траєкторії, які (в якості початкових умов), не можуть покинути  $\epsilon$  – окіл стійкого вузла. Наприклад, траєкторія  $A$ , що при початкових умовах в точці її дотику з колом  $\delta$  – області, зміщується далі від точки  $N_1$ , але не покидає  $\epsilon$  – окола. Перехідний процес закінчується у вузлі  $N_1$ . Вид графіка траєкторії та час руху за зазначеною траєкторією до вузла  $N_1$ , обумовлені

конкретними технічними характеристиками автомобіля та його еластичного рушія.



а – фазовий портрет в цілому, б – фрагмент ФП в околі точки  $N_1$ .

Рисунок 3.9 - Фазова площина, щодо точки  $A_1$  БМ

Таким чином, сформована область притягання точки  $N_1$ , що визначає технічну стійкість СРР. Траєкторія центру інерції асиметричної моделі автомобіля відповідає стійкому вузлу (стійкий круговий режим в точці  $N_1$ ). Ілюстрація зі зміною цієї траєкторії наведена на рис. 3.10.

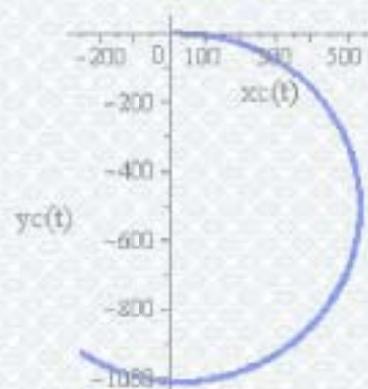


Рисунок 3.10 - Траєкторія центру мас автомобіля в площині дороги (випадок  $N_1$ )

Якісна теоретична оцінка стійкості виконується на основі загальної

теорії стійкості руху О. М. Ляпунова [17].

Якщо існує динамічна система

$$\dot{x} = f(x), \quad x = x_1, \dots, x_n, \quad (3.11)$$

то стаціонарний стан або положення рівноваги  $x_{ss}$  визначається вирішенням системи рівнянь  $f(x_{ss}) = 0$ .

Згідно О.М. Ляпунова [17,18], стаціонарний стан  $x_{ss}$  системи (3.11) є стійким, якщо для будь-якого моменту часу  $t_0$  і досить малого  $\varepsilon$  існує така нерівність  $\delta_{t_0, \varepsilon} > 0$ , що для будь-якого рішення  $x(t)$  тієї ж системи, початкове значення якого задовольняє нерівність

$$|x(t_0) - x_{ss}| < \delta_{t_0, \varepsilon} \quad (3.12)$$

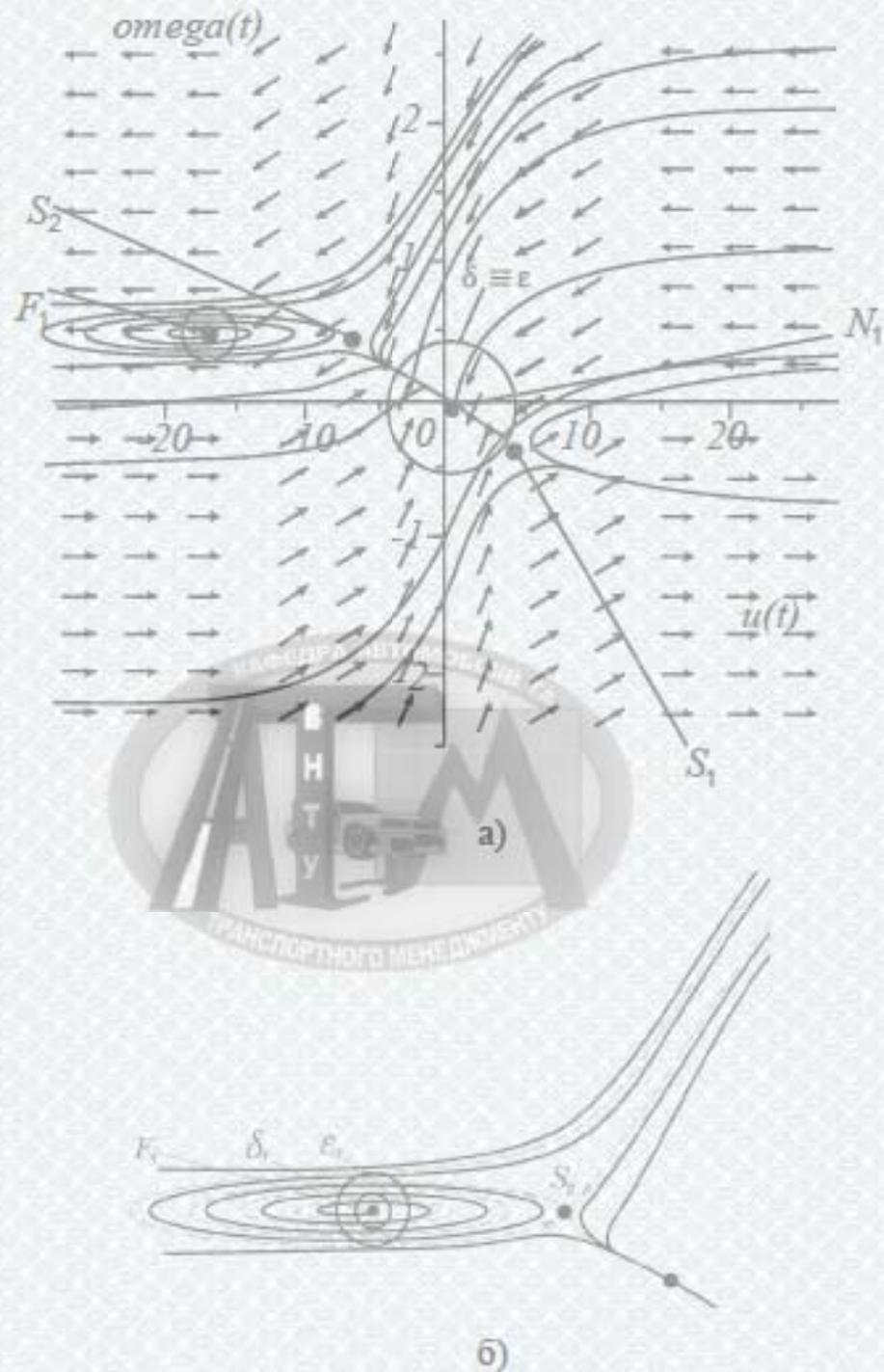
при всіх  $t > t_0$  виконується нерівність

$$|x(t) - x_{ss}| < \varepsilon \quad (3.13)$$

Якщо існує хоча б одна траєкторія, що не задовольняє цим умовам, то стаціонарний стан  $x_{ss}$  нестійкий: існує який завгодно малий окіл  $\varepsilon$ , такий, що при будь-якому  $\delta$  знайдуться  $t^*, x(t_0)$ :

$$|x(t_0) - x_{ss}| < \delta_{t_0, \varepsilon}, \quad \text{такі, що} \quad |x(t^*) - x_{ss}| \geq \varepsilon \quad (3.14)$$

Стаціонарний стан  $x_{ss}$  є асимптотично стійким, якщо він стійкий згідно О.М. Ляпунова і, крім того, всі рішення  $x(t)$ , що виходять наближаються до  $x_{ss}$  при  $t \rightarrow +\infty$ .



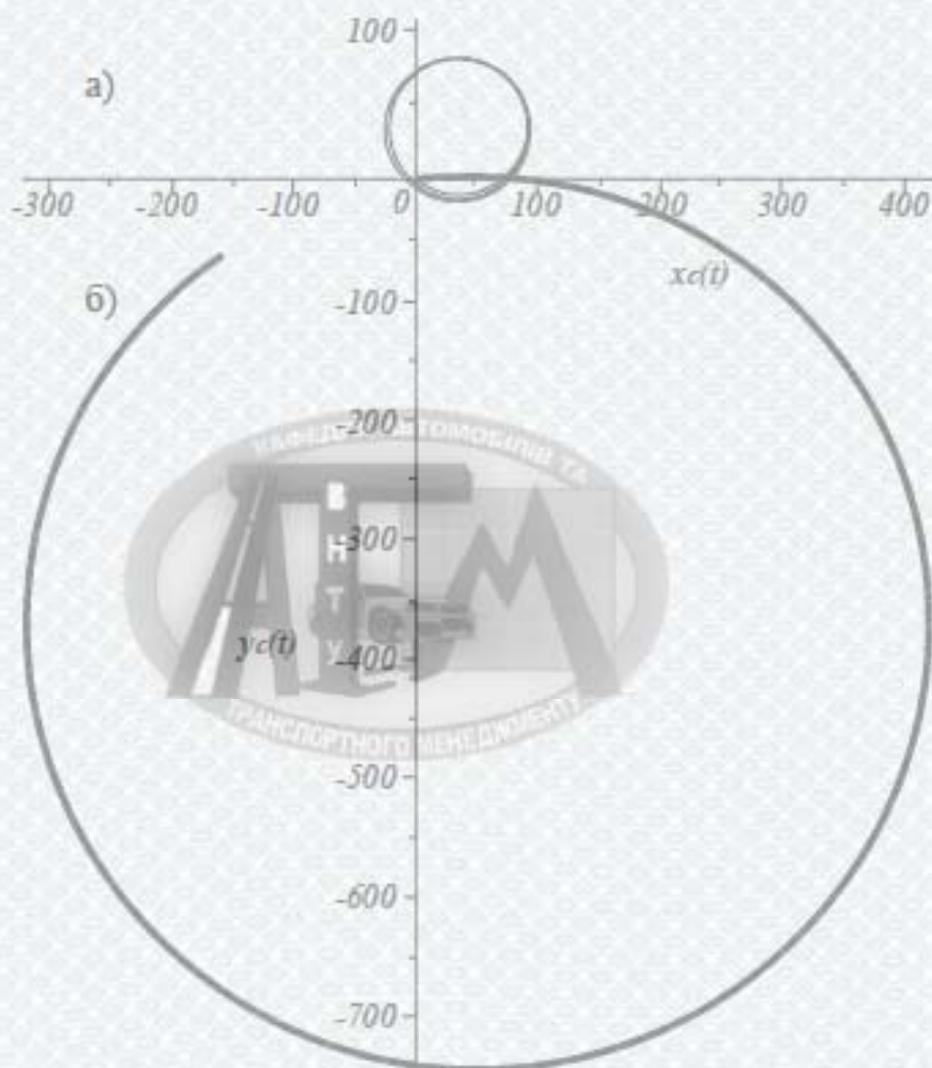
а – фазова площина в цілому;

б – фрагмент фазової площини в околі стійкого фокусу  $F_1$ .

Рисунок 3.11 - Фазова площина щодо точки  $A_5$  БМ:

За умови асимптотичної стійкості деякого стаціонарного режиму  $(u^*, \omega^*)$  площинної моделі автомобіля слідує, що при достатньо малих початкових збуреннях по означеним двом фазовим пввідкостям  $(u^* + \Delta u, \omega^* + \Delta \omega)$ , система,

з часом, повернеться до відповідного стаціонарного режиму (збурення  $\Delta u$ ,  $\Delta \omega$  «згасають»). Траєкторії руху центру мас автомобіля в стійких точках  $F_1$  та  $N_1$  наведені на рис. 3.12.



а - в стійкому фокусі  $F_1$ ; б - в стійкому вузлі  $N_1$ .

Рисунок 3.12 - Траєкторії центру мас автомобіля під час стаціонарного режиму руху

Нижче, продовжується аналіз впливу шини на стійкість руху АТЗ.

Початкові значення фазових збурень дорівнюють нулю.

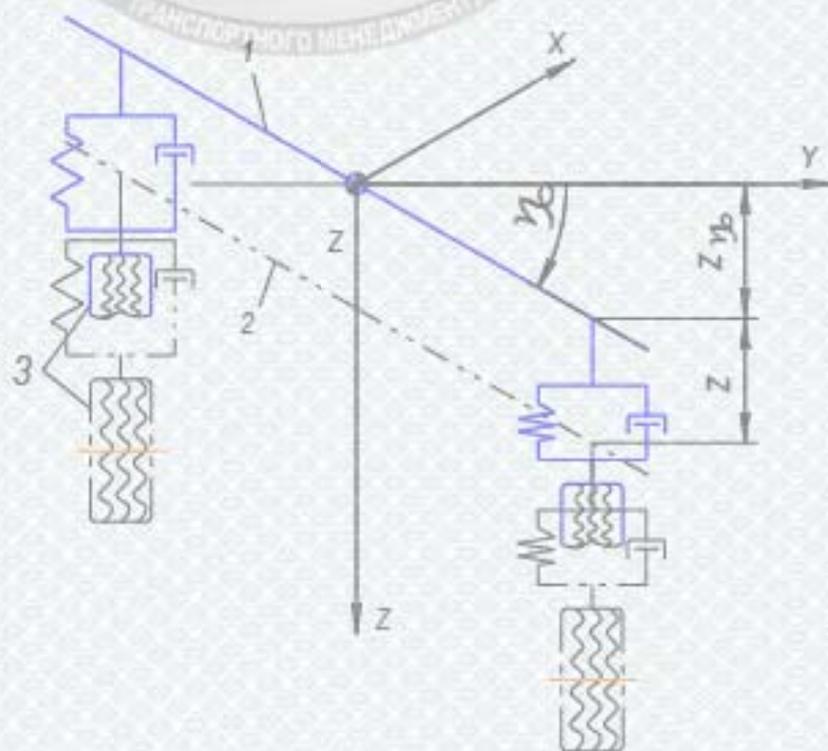
Наступний ФП (рис. 3.15) побудований для умов БМ в точці  $A_5$  знаходиться в області, в якій існують 4 стаціонарні режими руху одночасно: 2 стійкі та 2 нестійкі. Стійкий вузол  $N_1$  (стійкий круговий режим), стійкий фокус

$F_1$  (стійкий круговий режим, що віддалений від початку координат). Сідло  $S_1$  і сідло  $S_2$  характеризують нестійкі кругові режими.

Для характеристики оцінки стійкості СРР в великому, намічається коло в околі точки  $N_1$ . Всі траєкторії, що мають початкові умови в області  $\delta$ , повинні не покидати  $\varepsilon$ -окіл точки  $N_1$ . Особливості означеного фазового портрету обумовлюються тотожністю  $\delta$ - та  $\varepsilon$ -околів (рис. 3.16а). Особливості фазового портрету визначаються конструкцією автомобіля з конкретними еластичними рушіями. Фазові траєкторії в околі фокуса  $F_1$  мають несприятливу форму, що ускладнює формування  $\delta$ - та  $\varepsilon$ -околів точки  $F_1$ .

### 3.3 Дослідження моделі для оцінки вертикальної динаміки

Нижче розглядається модель для дослідження вертикальної динаміки. Узагальнені наступні координати:  $z$  – апліката центру мас та  $\gamma$  – кут крену (рис. 3.13).



1 – кузов, що має тільки крен; 2 – кузов, що має крен та вертикальне переміщення  $z$  центру мас; 3 – колесо.

Рисунок 3.13 - Узагальнена модель автомобіля

Величина вертикального переміщення зведеного пружного елемента за наявності крену (при малому значенні кута крену) дорівнюється

$$Z_{\gamma} = \pm H\gamma, \quad (3.15)$$

де  $H$  – половина колії.

Загальне вертикальне переміщення за наявності крену розраховується за формулою

$$\Delta Z_{\text{в}} = Z - H\gamma; \quad \Delta Z_{\text{н}} = Z + H\gamma, \quad (3.16)$$

де  $Z$  – переміщення центру мас;

$\Delta Z_{\text{в}}$ ,  $\Delta Z_{\text{н}}$  – переміщення по бортах зведених пружних елементів.

Математична модель, що враховує дію гіроскопічного моменту, наведена на рис. 3.14.

В моделі враховується ефект гіроскопічних сил, що діють на колесо, яке повертається через рульове керування (момент гіроскопічних сил наведений нижче)

$$M^{\text{гп}} = J_x \omega_x \dot{\omega}_x = J_x \frac{v}{r} \dot{\omega}_x. \quad (3.17)$$

Кінцеві диференціальні рівняння руху моделі автомобіля з трьома ступенями вільності мають вигляд:

$$\begin{aligned} m(\ddot{u} + v\omega_x) &= mh_c \dot{\omega}_x + \sum Y_i; \\ I_{\text{м}} \dot{\omega}_x - I_{\text{н}} \dot{\omega}_x &= aY_1 - bY_2 - J_x \frac{v}{r} \dot{\omega}_x; \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$I_{xx}\dot{\omega}_x - I_{xz}\dot{\omega}_z = -\Delta N_2 \frac{B}{2} + mgh_{c_1} \sin \varphi + m(\dot{u} + v\omega)h_{c_1} \cos \varphi + \Delta N_1 \frac{B}{2} + J_x \frac{v}{r} \omega_z$$

Сили відведення визначаються за рівнянням

$$Y_{ij} = k_{ij}\delta_{ij} + \gamma_{ij}\varphi_{ij}, \quad (3.19)$$

де  $k_{ij}$  – коефіцієнти опору відведенню коліс;

$\gamma_{ij}$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції шини, тиску повітря в ній, нормального навантаження і властивостей опорної поверхні, по якій котиться колесо.

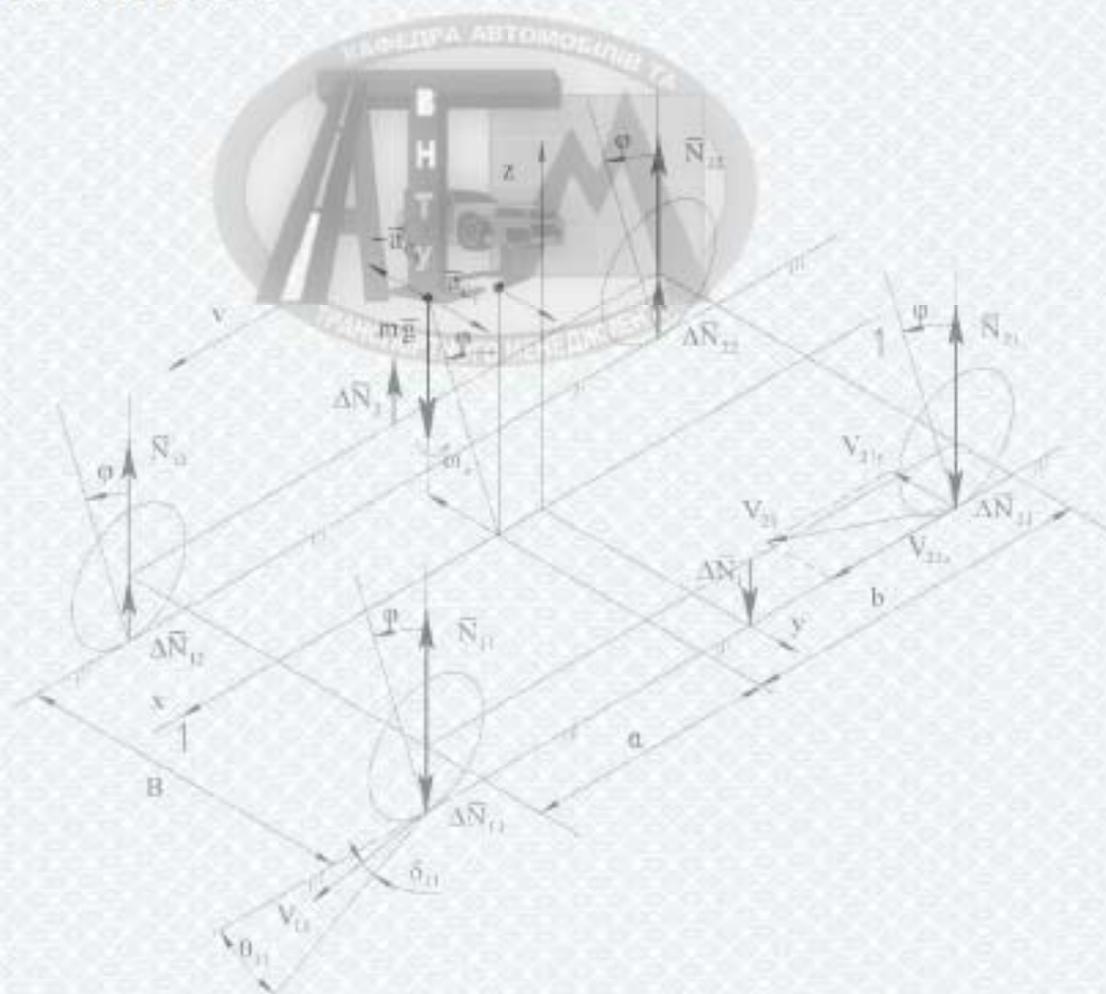


Рисунок 3.14 - Просторова модель автомобіля з урахуванням невідвіреної маси та гіроскопічного моменту

### 3.4 Експериментальне дослідження експлуатаційних властивостей різних шин

Під дією навантаження на колесо шина деформується, утворюючи так звану пляму контакту. Площа цієї плями значуще впливає на коефіцієнти зчеплення ( $\phi$ ) і опору коченню ( $\psi$ ), а залежить від технічних параметрів шини, тиску повітря і навантаження на неї.

З метою отримання залежності площі плями контакту від тиску повітря і навантаження, автором було проведено експеримент на випробувальному майданчику.

Мета експерименту: дослідження значущості впливу змінення тиску повітря у шині і навантаження на колесо (створювалось певною кількістю пасажирів в салоні автомобіля) на площу плями контакту.

Для отримання мети проведено двохфакторний експеримент, модель якого наведено на рис 3.15. Досліджено вплив факторів: тиск повітря у шині ( $P_w$ ) та навантаження ( $N$ ).



Рисунок 3.15 – Модель експерименту

Для експерименту використаний автомобіль Skoda Octavia A5, 2012 р. випуску (рис. 3.16), а також наступне обладнання, прилади та матеріали: шина Continental Sport Contact 2 (рис. 3.17), домкрат (рис. 3.18), краска акрилова, листи паперові.



Рисунок 3.16 – Автомобіль, Skoda Octavia A5 2012



Рисунок 3.17 – Шина встановлена на автомобілі, Continental Sport Contact 2



Рисунок 3.18 – Домкрат

За допомогою домкрата автомобіль вивішувався з лівої передньої сторони (рис. 3.19). Після нанесення тонкого шару фарби на покришку, під колесом розміщувався аркуш паперу і автомобіль опускався.



Рисунок 3.19 – Ліве переднє колесо, вивішене за допомогою домкрата

Потім автомобіль знову піднімали для вилучення листа з відбитком плями контакту (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Відбиток плями контакту колеса, отриманий під час експерименту. Зображення зменшено у 2 рази

Аналіз отриманих показників проведений нижче. Усього було проведено шістнадцять вимірювань. Для чистоти отриманих даних виміри проводилися в порядку, визначеному генератором послідовностей.

Для аналізу даних і отримання найбільш точних значень площ використовувався метод із застосуванням комп'ютерної програми «Компас». Листи з відбитками сканувалися для отримання електронних версій зображень. Далі за допомогою програми «Компас» створені контури плям і інструментом «Площа» виміряні площі плям. Результати експерименту, що представлені сукупністю визначених площ контактів ( $\text{мм}^2$ ) приведені у табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Матриця експерименту

Тиск повітря в шині (МПа)	P <sub>w1</sub>		P <sub>w2</sub>		P <sub>w3</sub>		P <sub>w4</sub>	
	1,8		1,9		2,0		2,1	
Навантаження на колесо (число пас.)								
0	5567	4	15152	3	14737	1	14594	9
1	5699	5	15237	5	14826		14672	14
2	5872	0	15383		14916	6	14758	6
3	5964	2	15516		15006		14824	7

Проведений дисперсійний аналіз даних що отримані експерименті. Результати експерименту для двох факторів представляються наступною лінійною моделлю:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}, \quad (3.20)$$

де  $y_{ij}$  – значення функції віддуку (площі контакту), що отримане в результаті проведення дослід з  $i$ -им,  $j$ -им рівнями, відповідно, факторів А і В;

$\mu$  – загальний ефект у всіх дослідках (дійсне середнє сукупності, з якої отримана вибірка);

$\alpha_i$  – ефект рядка, дисперсія, що отримана за рахунок зміни фактора А (навантаження на колесо);

$\beta_j$  – ефект колонки, дисперсія, що отримана під впливом зміни фактору В (тиск повітря);

$\varepsilon_{ijk}$  – дисперсія, що викликана помилкою експериментального



Продовження таблиці 3.2

$\sum_{i=1}^4 y_{ij}^2$	156069 0	169898	397237	869240			2997065	
$B_j^2$	586608 4	414736	142802 5	3356224	1106506 9			

Скористаємося наступним порядком проведення дисперсійного аналізу.

1. Обчислюємо суми значень функції відгуку за рядками  $A_i$  і стовпцями  $B_j$  (таблиці 3.2).

Наприклад, для першого рядка таблиці 3.1:

$$A_i = 397 + 18 + 433 + 576 = 594.$$

Визначають середні значення за рядками  $\bar{A}_i$ , стовпцями  $\bar{B}_j$ .

Наприклад, для першого рядка сума середніх значень наступна:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{n} A_i = -\frac{594}{4} = -149$$

де  $n$  – кількість рівнів фактору.

2. Обчислюємо суму квадратів результатів усіх спостережень  $SS_1$ :

$$SS_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_{ijt})^2. \quad (3.2)$$

Для цього спочатку обчислюють суми квадратів спостережень за рядками й стовпцями.

Отримані результати складають. Якщо обчислення проведені правильно, то суми квадратів за рядками й стовпцями повинні бути

рівними. Так, для першого рядка таблиці 3.2 обчислення проводять у такий спосіб:

$$\sum_{i=1}^4 y_{i1}^2 = 157609 + 324 + 187489 + 331776 = 677198.$$

Сума квадратів за рядками:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 y_{ij}^2 = 677198 + 650670 + 772433 + 896764 = 2997065.$$

Сума квадратів за стовпцями:

$$\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^4 y_{ij}^2 = 1560690 + 169898 + 397237 + 869240 = 2997065.$$

Отже,  $SS_1 = 2997065$ .

Визначаємо суму квадратів підсумків за рядками, що ділиться на число елементів у кожному рядку  $SS_2$ :

$$SS_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i^2. \quad (3.21)$$

Тоді  $SS_2 = (352836 + 60516 + 62001 + 24964) / 4 = 125079$

4. Сума квадратів підсумків за стовпцями, що ділиться на число елементів у стовпці  $SS_3$ :

$$SS_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_j^2.$$

Тоді  $SS_3 = (5866084 + 414736 + 1428025 + 3356224) / 4 = 2766267$ .

5. Для визначення коригувального члена  $SS_5$ , квадрат загального підсумку  $Q$  ( $Q^2 = 6093$ ) ділять на загальне число кліток квадрата (загальне число дослідів)  $N$ ,  $N = 16$ :

$$SS_5 = \frac{G^2}{n^2} = \frac{G^2}{N}. \quad (3.22)$$

$$SS_5 = \frac{(39)^2}{16} = \frac{1521}{16} = 95.$$

6. Визначають суму квадратів відхилень для рядка, тобто обумовлену впливом фактору А  $SS_a$ :



$$SS_a = SS_2 - SS_5, \quad (3.23)$$

$$SS_a = 125079 - 95 = 124984.$$

7. Обчислюють суму квадратів відхилень для стовпця, що обумовлена впливом фактору В  $SS_b$ :

$$SS_b = SS_3 - SS_5.$$

$$SS_b = 2766267 - 95 = 2766172.$$

8. Визначають загальну суму квадратів усіх спостережень із урахуванням коригувального члена  $SS_5$ :

$$SS_7 = SS_1 - SS_5.$$

$$SS_7 = 2997065 - 95 = 2996970.$$

9. Для оцінки помилки експерименту обчислюють залишкову суму квадратів  $SS_D$  або суму квадратів, що обумовлена помилкою дослідів  $SS_{II}$ :

$$SS_o = SS_{II} = SS_3 - (SS_a + SS_b). \quad (3.24)$$

$$SS_o = 2996970 - 124984 - 2766172 = 105814$$

10. Результат розрахунків обчислень зводять у таблицю дисперсійного аналізу (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Таблиця дисперсійного аналізу

№ з/п	Джерело мінливості	Число ступенів свободи	Сума квадратів	Середній квадрат	Розрахунковий критерій	Табличний критерій Фішера
1	Фактор А	$n - 1 = 4 - 1 = 3$	124984	$124984 : 3 = 41661$	2,36	4,76
2	Фактор В	$n - 1 = 3$	2766172	$2766172 : 3 = 922057$	52,29	4,76
3	Помилка	$(n - 1)(n - 2) = 3 \cdot 2 = 6$	105814	$105814 : 6 = 17635$		
	Разом:	$(n2 - 1) = 16 - 1 = 15$	2996970			

Залишкова дисперсія – сумарна величина, яка складається з дисперсії, що обумовлена помилкою досліду, і дисперсії, що обумовлена взаємодіями, якщо вони є.

11. Значимість впливу кожного з перерахованих факторів на функцію відгуку визначають за критерієм Фішера, для цього обчислюються розрахункове значення критерію Фішера ( $F_p$ ), яке знаходять із відношення середнього квадрата кожного досліджуваного фактору до середнього квадрата помилки й порівнюють із табличним значенням критерію Фішера ( $F_T$ ). Якщо  $F_p > F_T$  – лінійний ефект значущий, тобто значущі відмінності в середніх значеннях рівня.

Для перевірки відмінності середніх значень рівня переходимо до наступного пункту. Якщо ж перевірка за критерієм Фішера не дала позитивних результатів, то статистичний аналіз на цьому закінчується.

Значення середнього квадрата для кожного джерела мінливості

одержують шляхом ділення суми його квадратів на відповідне їй число ступенів свободи.

По числу ступенів вільності для чисельника  $f_1 = 3$ , знаменника  $f_2 = 6$  і прийнятого рівня значущості  $\alpha = 0,05$  за першою таблицею додатка Б визначають табличне значення критерію Фішера

$$F_T = (\alpha = 0,05; f_1 = 3; f_2 = 6) = 4,76;$$

$$F_a < F_T; F_b > F_T; F_c < F_T.$$

На основі аналізу даних таблиці можна зробити наступні висновки:

- тиск повітря (фактор А), при його зміні від 0,18 до 0,21 МПа, на величину площі контакту впливає не значуще; критерій Фішера  $F_p < F_T$  при отриманій величині помилки;
- навантаження на колесо впливає на площу контакту значуще; критерій Фішера  $F_p > F_T$ .

12. Аналіз відмінності середніх значень рівнів значимих факторів проводиться за  $t$ -критерієм або множинним ранговим критерієм Дункана. Значущий фактор В (навантаження) має чотири рівні: 0, 1, 2, 3 пасажирів. Необхідно встановити який з рівнів впливає на площу, для цього:

- а) з таблиці 3.3 виписують величини значущого фактору  $\bar{B}_j$  й розташовують їх у порядку зростання в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Середні значення значущого фактору

Рівні навантаження на колесо	0	1	2	3
Середнє значення площі	-149	-62	62	158

- б) обчислюють нормовану помилку середнього

$$S_{(\bar{y})} = \sqrt{\frac{S_{II}^2}{n}}, \quad (3.25)$$

де  $S_{II}^2$  – значення середнього квадрата помилки, тобто дисперсії відтворюваності. Згідно з таблицею 2.2  $S_{II}^2 = 17635$ .

$$S_{(\bar{y})} = \sqrt{\frac{17635}{4}} = 66;$$

в) згідно з третьою таблицею додатка А для прийнятого рівня значущості ( $\alpha = 0,05$ ), числа  $n_D$ , рівного числу ступенів вільності середнього квадрата помилки ( $n_D = f = 6$ ) та  $p = 2, 3, \dots, n$ , вибирають  $(n - 1)$  значущих рангів ( $r_{\alpha}$ ).

Таблиця 3.5 – Значущі ранги

$P$	2	3	4
Ранги, $r_{\alpha}$	3,46	3,58	3,64

г) обчислюють найменші значущі ранги ( $H_r$ )

$$H_1 = 3,46 \cdot 66 = 228; H_2 = 3,58 \cdot 66 = 236; H_3 = 3,64 \cdot 66 = 240.$$

д) визначивши різниці між середніми ( $E_r$ ) і порівнявши їх з відповідним  $H_r$ , оцінюють значущість відмінності величин площі при різних навантаженнях на колесо. Починають підраховувати різниці з крайніх значень.

Різницю максимального й мінімального значень порівнюють із

найменшим значимим рангом  $H_1$  при  $p = n$ , потім знаходять різницю максимального середнього й першого, що перевершує мінімальне, і порівнюють її з найменшим значимим рангом  $H_2$  при  $p = n - 1$ . Це порівняння продовжують для другого, по величині середнього, яке порівнюють із найменшим і т. д., поки будуть досліджені всі  $\frac{n(n-1)}{2}$  можливі пари. Якщо різниця між середніми значеннями рівнів більш відповідного найменшого значимого рангу, то відмінність між середніми значуща.

$$E_1 = \bar{B}_4 - \bar{B}_1 = 158 - (-149) = 307 > 240 \text{ – відмінність значуща.}$$

$$E_2 = \bar{B}_4 - \bar{B}_2 = 158 - (-62) = 220 < 236 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_3 = \bar{B}_4 - \bar{B}_3 = 158 - 62 = 96 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_4 = \bar{B}_3 - \bar{B}_1 = 62 - (-149) = 211 < 236 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_5 = \bar{B}_3 - \bar{B}_2 = 62 - (-62) = 124 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_6 = \bar{B}_2 - \bar{B}_1 = -62 - (-149) = 87 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

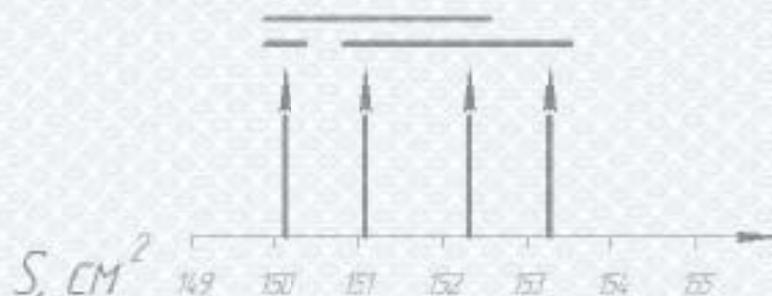


Рисунок 3.21 – Схематична візуалізація результатів дисперсійного аналізу за критерієм Дункана

Таким чином, величина діапазону змінювання площі контакту є недостатньою для діагностичного параметру.

### 3.5 Використання стенду для контролю радіального прогину шин

Розглянуто інший можливий діагностичний параметр – радіальний прогин, величина якого визначена таким чином:

$$r = \frac{Q}{2\pi \sqrt{2RD}((P_w + P_0))} + \sqrt{\left[ \frac{Q}{2\pi \sqrt{2RD}(P_w + P_0)} \right]^2 + \frac{\Psi_1 h Q}{\Psi \Psi_2 \pi E \sqrt{2RD}}}, \quad (3.21)$$

де  $\Psi_1$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу тисків по площі контакту

$\Psi_2$  – коефіцієнт жорсткості зв'язку поперечної деформації шини;

$\Psi$  – коефіцієнт насиченості рисунка протектору;

$h$  – висота рисунка протектору;

$E$  – модуль пружності матеріалу протектору;

$Q$  – навантаження на колесо;

$P_0$  – показник жорсткості каркасу;

$P_w$  – тиск повітря в шині;

$D$  – зовнішній діаметр шин;

$R$  – радіус кривизни протектора.

З аналізу формули випливає, що раціональний прогин є інтегральним параметром, який відтворюється під дією сукупності факторів. У свою чергу означений прогин є значущою складовою для формування декількох основних властивостей, що обумовлюють рух автомобіля: динамічність, безпечність, стійкість руху, маневреність тощо. В роботі пропонується напрям розвитку контролю радіального прогину [20-23].

Для шини автомобіля важливо урахувати рівень її еластичності, який характеризується наступними показниками: коефіцієнтом, що враховує нерівномірність розподілу тисків по площі контакту; коефіцієнтом жорсткості зв'язку поперечної деформації шини; коефіцієнтом насиченості рисунка

протектору, висотою рисунка протектору. Означені коефіцієнти, сумісно з висотою рисунка протектора є дієвою складовою еластичністю рушія у формулі. Для вимірювання радіального прогину шини пропонується структура стенду, що описана нижче [22-30].

Система для орієнтування (рис. 3.22) автомобіля виконана зі сталевих труб та елементів прокатних виробів. Ця система має реборди і колесовідбійники.



Рисунок 3.22 – Структура стенду

Стенд для контролю технічного стану шин містить у собі два колісних модулі, систему для орієнтування автомобіля при заїзді на стенд, пульт керування стендом, дзеркало, пневматичний компресор, для нагнітання стислого повітря в пневмоциліндр.

Колісний модуль містить в собі наступні основні елементи (рис. 3.23): раму 7; дві сталеві шпнти 5 і 6, що закінчуються осями з роликми 8; сталевого важеля 3; пневматичний циліндр 2; датчик 1; важелі з роликми 4.

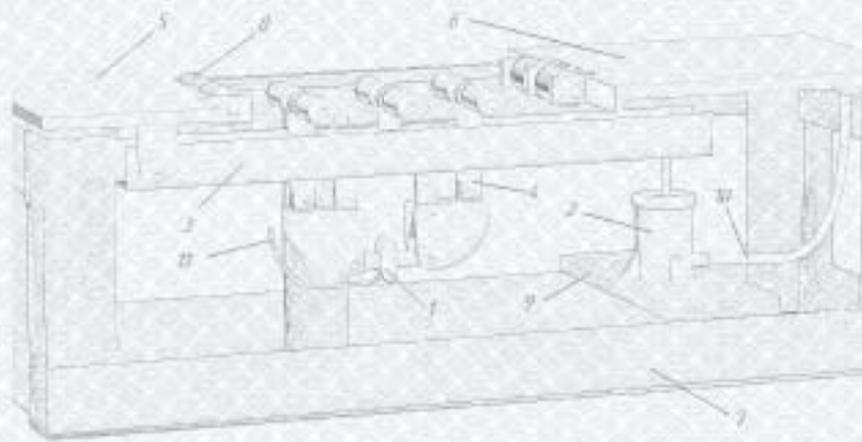


Рисунок 3.23 – Загальний вигляд стенду для контролю стану шин

Стенд працює наступним чином. Автомобіль заїжджає на стенд для контролювання тиску в шинах передньої осі (рис. 3.23), водій дивиться у дзеркало, і коли потрібно зупиняється. Механік регулює тиск стислого повітря, завдяки манометру і крану на пульті керування. Це необхідно для підстроювання до різних моделей і типу автомобілів з різним діаметром коліс. Стисле повітря поступає з компресора крізь пневматичний шланг 10 (рис. 3.23) починає діяти з певним тиском на поверхню пневматичного поршня, важіль 3 підіймається угору і завдяки трьом важелям 4, починає діяти на шину автомобіля. Месдоза, яка у даному випадку виявляється динамометричним давачем, стискається і рідина передається до вимірювача рівня крізь гнучкий шланг 11.



Рисунок 3.24 – Розташування автомобіля на стенді

### 3.6 Висновки за третім розділом

Згідно поставленим задачам, можна зробити наступні висновки.

1. Діаграму біфуркаційної множини можна використовувати як репрезентативний показник курсової стійкості стаціонарного режиму руху автомобіля, що дозволить виконати аналіз та покращення КСР.
2. Під час дослідження діаграми слід ураховувати кількість СРР та число стійких та нестійких стаціонарних режимів руху в окремих зонах.
3. Аналіз фазових портретів дозволяє визначити  $\delta$  - і  $\varepsilon$  - околиці точок стійких СРР, й, тим самим, перейти до стійкості в великому: ураховувати параметри конкретного автомобіля і перехідні процеси з означеними еластичними рушлями.
4. Проведений дисперсійний аналіз, що дозволив відокремити дисперсії обумовлені зміною тиску повітря, навантаженням та помилкою, провести їх зрівняння.
5. Зміна тиску повітря в експлуатаційному діапазоні (0,18-0,21 МПа) не впливає значуще на величину площі контакту, якщо ураховувати помилку дисперсійного аналізу.
6. Зміна навантаження (від 0 до 3 пасажирів) значуще впливає на величину площі контакту, при наявній помилці.
7. Згідно аналізу з використанням критерію Дункана площа контакту на четвертому рівні значуще відрізняється від площ, які відповідають 1,2 і 3 рівням.
8. Площі контакту 1,2 та 3 відрізняються незначуще.
9. Радіальний прогин шини відповідає вимогам до діагностичного параметру.
10. Запропоновано структуру діагностичного стенду, що ураховує зміну радіального прогину еластичного рушля.

## 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

4.1 Хімічний склад та допоміжні матеріали, які входять до системи автомобільної шини

Над процесом створення шини працюють хіміки і конструктори, від яких залежать секрети шинної рецептури. Їх мистецтво полягає в правильному виборі, дозуванні і розподілі компонентів, особливо для суміші протектора. На допомогу їм приходять професійний досвід і комп'ютери. Хоча склад гумової суміші у будь-якого солідного виробника шин – таємниця, але досить добре відомі близько 20 основних складових. Весь секрет полягає в їх грамотній комбінації з урахуванням **призначення** самої шини.

Як відомо, автомобільна шина містить наступні складові: натуральний каучук 14 %; синтетичний каучук 27 %; S, ZnO 3 %; сталь 10 %; текстиль 4 %; пом'якшуючі масла 10 %; **інші нафтохімічні складові** 4 %; сажа 28 %.

Допоміжні речовини, які входять до системи шини. Основними матеріалами для виробництва шин є гума, яка виготовляється з натуральних і синтетичних каучуків, і корду. Кордова тканина може бути виготовлена з металевих ниток (металокорд), полімерних і текстильних ниток. Шина складається з: каркаса, шарів брекера, протектора, борта і бічної частини.

Протектор необхідний для забезпечення прийняттого коефіцієнта зчеплення шин з дорогою, а також для оберігання каркаса від пошкоджень. Протектор володіє певним рисунком, який, в залежності від призначення шини розрізняється. Шини високої прохідності мають більш глибокий рисунок протектора. Рисунок і конструкція протектора дорожньої шини визначається вимогами до відведення води і бруду з канавок протектора і прагненням знизити шум при коченні. Але, все ж, головне завдання протектора шини – забезпечити надійний контакт колеса з дорогою в несприятливих умовах, таких як дощ, бруд, сніг і т. д., шляхом їх видалення із зони контакту за точно спроектованих канавок і малюнку. Але ефективно видаляти воду з плями

контакту протектор в силах лише до певної швидкості, вище якої рідина фізично не зможе повністю видалятися з плями контакту, і автомобіль втрачає зчеплення з дорожнім покриттям, а отже і керування. Цей ефект носить назву аквапланування.

Існує поширена помилкова думка, що на сухих дорогах протектор знижує коефіцієнт зчеплення через меншу площу плями контакту в порівнянні з шиною без протектора. Це невірно, тому що за відсутності адгезії сила тертя не залежить від площі дотичних поверхонь. На гоночних автомобілях в суху погоду використовуються шини з гладким протектором або взагалі без нього для того, щоб знизити тиск на колесо, зменшивши його знос, тим самим дозволивши застосовувати у виготовленні шин більш пористі м'які матеріали, що володіють більшим зчепленням з дорогою. У багатьох країнах існують закони, що регулюють мінімальну висоту протектора на дорожніх транспортних засобах, і багато дорожніх шин мають вбудовані індикатори зносу.

Брекер знаходиться між каркасом і протектором. Призначений для захисту каркаса від ударів, додання жорсткості шині в області плями контакту шини з дорогою і для захисту шини та їздової камери від наскрізних механічних пошкоджень. Виготовляється з товстого шару гуми (в легких шинах) або схрещених шарів полімерного корду і (або) металокорду.

Борт дозволяє покриттю герметично сідати на обід колеса. Для цього він має бортові кільця і зсередини покритий шаром в'язкої повітронепроникної (для безкамерних шин) гуми.

Бокова частина захищає шину від бічних пошкоджень.

#### 4.2 Аналіз негативного впливу зносу гальмівних накладок

Вимоги до гальмівних властивостях автомобілів безперервно посилюються. Діючі стандарти і міжнародні документи чітко регламентують

межі гальмівного шляху і максимальні уповільнення для різних транспортних засобів.

Активна безпека автомобілів, що впливає на безпеку дорожнього руху, значною мірою, визначається конструкцією і експлуатаційними властивостями гальмівного управління. Фрикційний матеріал гальмівної накладки є найважливішим складовим елементом механічної частини гальма. Від його складу і процентного співвідношення складових компонентів залежить ефективність гальмування і ефективність гальмівної системи в цілому. У той же час продукти зносу гальмівних накладок є джерелом дрібнодисперсних частинок (менше 10 мкм), які чинять негативний вплив на навколишнє середовище і здоров'я людини. При тривалому вдиханні в легенях і бронхах відбувається осідання зважених часток, що сприяє розвитку захворювань органів дихання. Негативний вплив пилу на організм людини залежить від її дисперсності, твердості і форми частинок, їх електричного заряду, а також гранично допустимої концентрації (ГДК) в атмосфері.

Запиленість транспортного потоку, його оцінка та розробка заходів щодо зниження негативного впливу на навколишнє середовище, на сьогоднішній день, є пріоритетними напрямком в розвиток різних галузей промисловості. Аналіз процентного співвідношення запиленості транспортного потоку і його складова частка від гальмівних накладок відображена в роботах. Дослідження показали, що обсяг і інтенсивність утворення частинок зносу гальмівних накладок, заздрості від їх складу, конструкції механізмів і режимів руху транспортних засобів. Показано, що при частих різких гальмуваннях ефект посилюється через більшого зносу накладок і навіть їзда в спокійному темпі становить небезпеку. За даними досліджень, знос гальмівних накладок є причиною приблизно 20% викидів речовин, що забруднюють атмосферу в дорожній трафік.

Вимоги, що висуваються до фрикційним матеріалами умовно можна розділити на вимоги безпеки - це наявність стабільного коефіцієнта тертя, мінімальний знос, стабільність фрикційних властивостей, і вимоги

екологічності - зниження шкідливих для людини і навколишнього середовища парів і продуктів зносу.

Правилами ЄЕК ООН R90 встановлено стандарти, яким повинні відповідати гальмівні накладки, що передбачає цілий ряд випробувань для контролю їх ефективності і механічних властивостей. Для виконання вимог стандартів, що пред'являються до гальмівних накладок, розробляються і застосовуються все більш нові та досконалі фрикційні матеріали. Прикладом цього стала заборона на використання азбесту. Сучасний склад фрикціонна гальмівних накладок це складна суміш, в яку входять близько 20 компонентів, кожен з яких посилює або послаблює ті чи інші характеристики. На гальмівні якості фрикціонна сильно впливає склад і процентне співвідношення використовуваних компонентів. Хоча склади накладок різні, а фірми виробники тримають їх в секреті, в той же час можна виділити основні складові, характерні для кожного фрикційні: абразив; модифікатор тертя; регулятор тертя; наповнювач; сполучний елемент.

Цей поділ умовно, з огляду на те, що всі компоненти виконують неоднозначні функції, але типове призначення складових наступне: абразиви очищають поверхні, що труться, допомагаючи формувати фрикціонную плівку на кордоні, що труться гальмівного диска і накладки, а також збільшують коефіцієнт тертя, особливо в момент початку гальмування. Модифікатори тертя керують фрикційної плівкою між, що труться елементами, накладкою і диском, а також додатково регулюють коефіцієнт тертя накладки. Регулятори тертя зраджують велику зносостійкість складу, як правило, це фібри (волокна) металів їх сплавів або синтетичні фібри, наприклад кевлар. Наповнювач формує структуру накладки і заповнює простору між модифікаторами тертя, регуляторами тертя і абразивами. Сполучний елемент - це свого роду клей, що зв'язує компоненти воедино.

Сучасні типи гальмівних накладок наступні: органічні, напівметалеві і металокерамічні.

Органічні - одні з найпоширеніших типів накладок. Накладка містить органічний наповнювач. Зазвичай, це графіт. В якості наповнювача використовується фенол-альдегідний полімер, а підсилювачем структури є металеві або синтетичні фібри (кевлар, бронза). Даний тип накладок характеризується температурним діапазоном до 400°C і коефіцієнтом тертя в межах 0.30 ... 0.50. Недоліком даного типу накладок є відносно низький коефіцієнт тертя, низька зносостійкість, а також інтенсивне тепловиділення.

Для напівметалевих накладок характерна здатність зберігати стабільний коефіцієнт тертя під впливом високих температур. Недоліком є низький (в порівнянні з органічними накладками) початковий коефіцієнт тертя. Фірмам виробникам не вдається поєднати високий коефіцієнт тертя і широкий діапазон температур застосування для органічних і напівметалевих накладок.

Металокерамічні (спечені) гальмівні накладки - забезпечують компроміс між широким діапазоном робочої температури і стійким коефіцієнтом тертя і є найбільш пріоритетними в їх використанні при експлуатації транспортних засобів. Накладки витримують широкий діапазон температур (до 600°C), зберігаючи при цьому високий коефіцієнт тертя. Через малого відсотка заліза в своєму складі, керамічні накладки не скриплять при гальмуванні, а знос гальмівних дисків коліс менш інтенсивний. Фахівцями фірми ADVICS CO, LTD були проведені ряд експлуатаційних тестів гальмівних колодок з різними складами фрикційних матеріалів накладок, результати яких представлені серією діаграм (рис. 4.1 – 4.4).

Як видно з серії діаграм, для різного виду гальмівних накладок коефіцієнт тертя і ефективність гальмування практично однакові, значно складніше забезпечити безшумність роботи гальмівних механізмів, підвищити термін служби гальмівного диска і знизити обсяг продуктів зносу.

Розробка методики для визначення обсягів продуктів зносу гальмівних накладок є пріоритетним завданням, а введення нормативної документації

щодо обмеження викидів буде сприяти зниженню негативного впливу дрібнодисперсних частинок на навколишнє середовище і здоров'я людини.

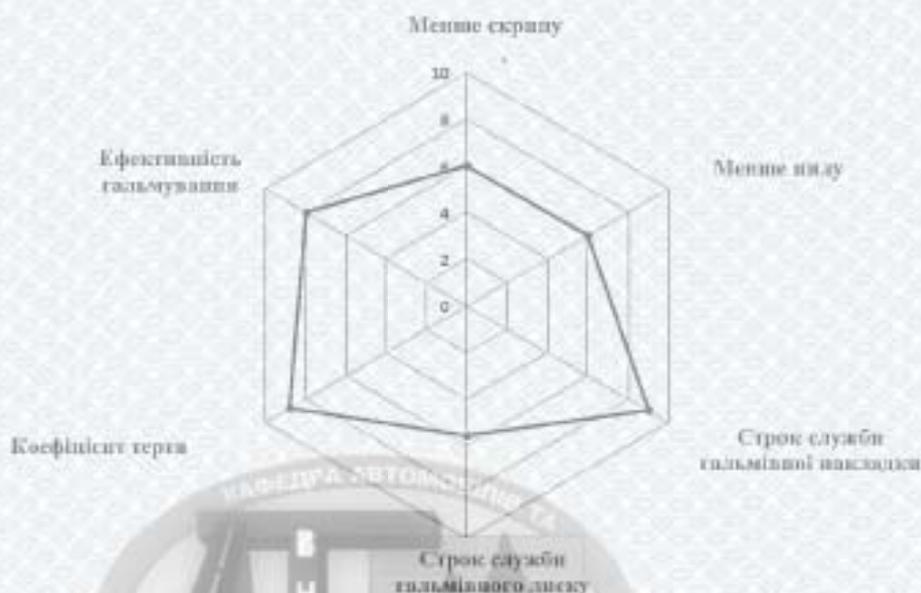


Рисунок 4.1 - Результат тестів дискових колісних механізмів автотранспортних засобів з напівметалевих гальмівними накладками



Рисунок 4.2 - Результат тестів дискових колісних механізмів автотранспортних засобів з гальмівними накладками з низьким вмістом сталі

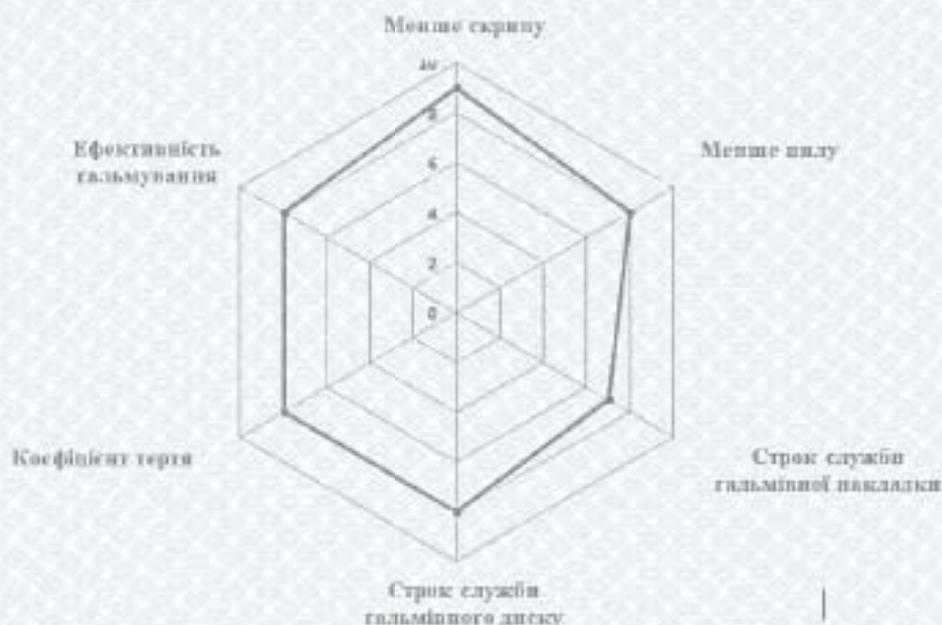


Рисунок 4.3 - Результат тестів дискових колісних механізмів автотранспортних засобів з неметалевими гальмівними накладками

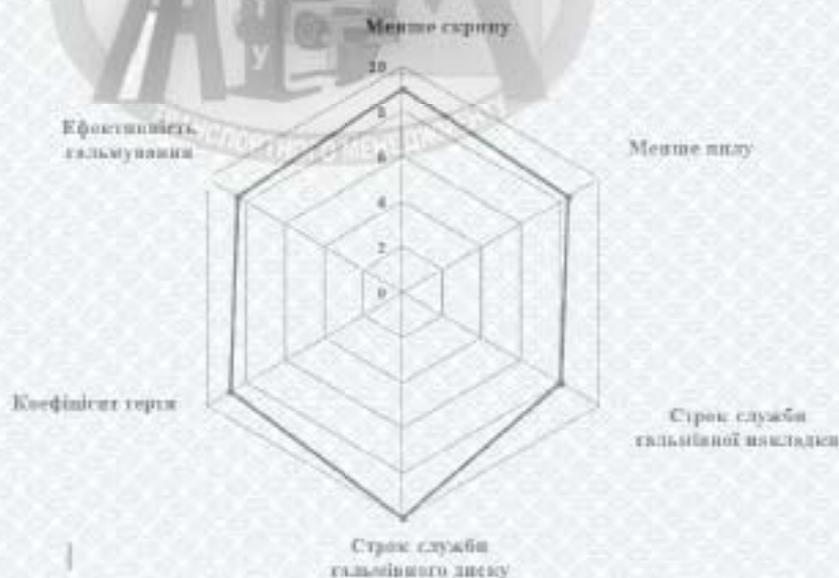


Рисунок 4.4 - Результат тестів дискових колісних механізмів автотранспортних засобів з гальмівними накладками ADVICS Premium

Численні склади фрикційних матеріалів покликані забезпечити жорсткі і суперечливі вимоги безпеки та ефективності гальмівних систем. Оптимальних фрикційних складів на сьогоднішній день не існує. Пріоритетними повинні стати склади гальмівних накладок, які дозволяють

знизити обсяги продуктів зносу, а, отже, і понизити шкоду здоров'ю людини і навколишньому середовищу. Для цього, в першу чергу, необхідно розробити методику оцінки обсягів і складу продуктів зносу гальмівних накладок.

#### 4.3 Оцінка ефективності від зменшення зносу гальмівних накладок та автомобільних шин

Для розрахунку параметрів обрані наведені нижче вихідні дані.

1. Річний пробіг автомобіля –  $L_{\text{year}} = 60000$  км/рік.
2. Вартість гальмівних накладок – 3000 грн./комплект.
3. Ресурс накладок:
  - до заходів –  $R_{br0} = 30000$  км,
  - після заходів –  $R_{br1} = 45000$  км.
4. Вартість комплекту шин –  $C_t = 12000$  грн.
5. Ресурс шин:
  - до заходів –  $R_{t0} = 40000$  км,
  - після заходів –  $R_{t1} = 50000$  км.
6. Вартість простою –  $V_{\text{down}} = 500$  грн./год.
7. Час на заміну  $T_{\text{rep}} = 3$  год.
8. Витрати на заходи –  $B = 20000$  грн.

Враховуючи вище наведені вихідні дані нижче проведені розрахунки по економії витрат. Кількість замін накладок в рік дорівнює:

$$n_{br0} = 60000/30000 = 2,0 \text{ замін/рік}, n_{br1} = 60000/45000 \approx 1,333 \text{ замін/рік}.$$

Кількість замін шин:

$$n_{t0} = 60000/40000 = 1,5 \text{ комплектів/рік},$$

$$n_{t1} = 60000/50000 = 1,2 \text{ комплектів/рік}$$

Економія по запчастинах:

$$S_{\text{parts}} = 0,667 \cdot 3000 + 0,3 \cdot 12000 = 2000,1 + 3600 = 5600 \text{ грн./рік.}$$

Нижче розрахована економія по простою.

Кількість скорочених ремонтів дорівнює  $0,667 + 0,3 = 0,967$  подій/рік.

Економія часу дорівнює  $0,967 \cdot 3 \approx 2,90$  год./рік.

$$S_{\text{down}} = 2,9 \cdot 500 \approx 1450 \text{ грн./рік.}$$

Загальна річна економія:

$$S_{\text{year}} = 5600 + 1450 = 7050 \text{ грн./рік для 1 автомобіля.}$$

Ефективність заходів дорівнює:

$$E = \frac{S_{\text{year}}}{B} \cdot 100 = \frac{7050}{20000} \cdot 100 = 35,25\%.$$

Розрахунок показав, що впровадження заходів зі зменшення зносу гальмівних накладок і шин забезпечує позитивний економічний ефект для одного автомобіля на рівні близько 7050 грн на рік, що формує високу річну ефективність використання вкладень та зниження витрат на технічне обслуговування. Підвищення ресурсу деталей зменшує кількість замін і простоїв, що на пряму скорочує експлуатаційні витрати та збільшує дохідність використання транспортного засобу. За таких умов інвестиції в удосконалення технічного обслуговування є економічно доцільними, особливо у масштабі автопарку, де сумарний ефект зростає пропорційно кількості автомобілів.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи були вирішені наведені нижче задачі.

1. Проведена оцінка функціонування ТОВ «Автомотив сервіс». Підприємство має спеціалістів та обладнання, які в змозі виконувати технічні впливи щодо оцінки КСР на високому рівні. Підтримку щодо вдосконалення системи діагностування КСР можна передбачати за допомогою розгляду поглиблення науково практичних питань при оцінці рівня функціонування курсової стійкості руху автомобілів. Можна передбачити проведення експерименту для оцінки конкретних умов експлуатації колісних транспортних засобів з точки зору КСР автомобілів.

2. Здійснено технологічно – економічний розрахунок структури системи технічних впливів СТО, з урахуванням мінливості господарських та суспільних умов:

- максимальна чисельність працівників – 10 осіб на постах;
- розрахункова кількість постів – від 2 до 5 одиниць.

Оцінено, що робота технічної служби ТОВ «Автомотив сервіс» в цілому відповідає необхідним вимогам але можна вдосконалити систему діагностування КСР.

3. В роботі розглянутий напрям вдосконалення системи діагностування курсової стійкості руху автомобілів шляхом поглиблення наукового підходу до стійкості руху видатного математика, науковця Харківського університету Ляпунова О. М., використання фазових портретів та біфуркаційних діаграм.

Проведено експеримент для визначення можливості використання в якості діагностичного параметру площі контакту шини з опорною поверхнею. За результатами дисперсійного аналізу, означена площа визнана недостатньо чутливим жорсткісним діагностичним параметром в межах змінювання

нормативних значень вхідних факторів: навантаження на колесо і тиску повітря в пневматичному рушії.

4. Досліджено модель для оцінки вертикальної динаміки переміщення осі КТЗ та запропоновано структурну схему стенду для оцінки динаміки вертикального переміщення осі автомобіля з пневматичними рушійми. Вибрано структуру діагностичного стенду, що може дозволити виконати вдосконалення діагностування експлуатаційного стану шин за величиною радіального прогину еластичного рушія, з наступним визначенням прогнозу зі стійкості руху автомобіля.

5. Визначена ефективність запропонованих рішень на основі оцінки впливу фрикційного матеріалу протектора шин і гальмівних накладок на людину та довкілля.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Солтус А.П. Кінематика і динаміка еластичного колеса як цілісного механізму монографія / Солтус А. П., Клімов Е.С. Кременчук Видавництво «НОВАБУК», 2025. 192 с.
2. Lüders A. Beitrag zum Problem der Laufruhe von Fahrzeugrädern / A. Lüders, O. Hofmann, H. Brinkmann // ATZ 73. 1996. № 1. S. 1 – 8.
3. Андрощук В.Д., Чорний Б.В. До питання концептуальних засад охорони довкілля в зоні впливу автомобільної дороги. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року. Вінниця: ВНТУ, С. 28-30
4. ТОВ «Автомотив сервіс»: веб-сайт. URL: <https://avtomotivservice.ua> (дата звернення: 10.09.2025).
5. Залипка В.Д., Манзюк М.О. Вплив радіальної зміни розмірів коліс на курсову стійкість автомобіля.
6. Скорик М.О. Аналіз можливостей втрати динамічної стійкості криволінійного руху легкового автомобіля із причепом у складних дорожніх умовах. 2016.
7. Emirler M.T., Guvenc B.A. Model Predictive Vehicle Yaw Stability Control via Integrated Active Front Wheel Steering and Individual Braking. – 2022.
8. Zhang J., Liu C., Zhao J., Liu H. Research on Stability Control of Distributed Drive Vehicle with Four-Wheel Steering. – 2024.
9. Stability-Considered Lane Keeping Control of Commercial Vehicles Based on Improved APF Algorithm. – 2024.
10. Research on Vehicle Stability Control Based on a Union Disturbance Observer and Improved Adaptive Unscented Kalman Filter. – 2024.
11. Александров Е.Е. та ін. Параметричний синтез цифрової системи курсової стійкості автомобіля. 2024.
12. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах

- / Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Барилевич Л.П. та інші. К.: Логос, 1996. 348с.
13. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Підручник. Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
  14. Біліченко В.В., Крещенецький В. Л., Варчук В. В. Автомобілі та автомобільне господарство. Дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Біліченко. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с.
  15. Кукурудзяк Ю.Ю. Дипломне проектування виробничих підрозділів підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник МОН / Ю.Ю. Кукурудзяк, О.В. Рудь, Л.В. Кукурудзяк. - Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2010. - 336 с.
  16. Дугельний В.М. Покращення курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням силової неоднорідності його шин : автореф. дис... на здобуття наук. ступеню канд. тех. наук : 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / В.М. Дугельний. К., 2006. 20 с.
  17. Вербицький В.Г., Макаров В.А., Костенко А.В. До питання про вплив розташування шин із жорсткісною неоднорідністю на курсову стійкість руху легкового автомобіля. Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. 2007. № 2. С. 7–15.
  18. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : [навч. посіб.] / В.П. Волков. – Х. : ХНАДУ, 2003. 292 с.
  19. Поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля за підтримки еластичних рушіїв : монографія [Електронний ресурс] / В. А. Макаров, Т. В. Макарова, Д. В. Борисюк, О. В. Вдовиченко ; за заг. ред. В. А. Макарова. Вінниця : ВНТУ, 2022. 211 с.
  20. Аспекти розвитку, функціонування та дослідження еластичного рушія колісного транспортного засобу : монографія [Електронний ресурс] / В. А. Макаров, Т. В. Макарова, Д. В. Борисюк, Є. В. Смирнов; за заг. ред. В. А. Макарова. – Вінниця : ВНТУ, 2023. 149 с.

21. Костенко А.В., Петров О.В. До питання про визначення відведення колеса як жорсткісної характеристики автомобільної шини. Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. 2004. № 2. С. 10 – 14.
22. Schubert J.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen : Doktor-ingenieurs Dissertation : Fahrbahn-Rollgeräusch / J. Schubert. Dresden, 2003. 113 s.
23. Макаров В.А., Костенко А.В., Петров О.В. До вибору математичної моделі для дослідження курсової стійкості руху автомобіля з урахуванням жорсткісної неоднорідності шин. Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. 2004. № 1. С. 33 – 35.
24. Костенко А.В. До питання про вплив жорсткісної неоднорідності шин на курсову стійкість руху автомобіля. 60 наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету : тези доповідей. К. : НТУ, 2004. С. 27.
25. Willmerding, G. Untersuchungen zur Alterung von PKW – Gürtelreifen / G. Willmerding, T. Ziegler // ATZ. 2000. № 4. S. 272 – 278.
26. Intelligente Reifen – Schon bald Realität? / S. Wolfsried, B. Breuer, T. Becherer [und andere] // ATZ. 1999. № 10. S. 772 – 773.
27. V.G. Verbitskii, V.A. Makarov, V.P. Sakhno, "Influence of the asymmetry of cornering forces on the static stability of two-axle vehicle", *International Applied Mechanics*, 40, No.11, 1304-1309 (2004).
28. Trechorv P. "Luft war nie so sauber wie heute". VDI nachrichten 8 april 2005. № 14 – S.11.
29. Reckter B. Eine grose Gesundheitsgefahr. VDI nachrichten 8 april 2005. № 14 – S.11.
30. Гаврілов Є. Системологія на транспорті. У., Знання України, 2005. 350 с.

## Додаток А

«Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень»



Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА  
до магістерської кваліфікаційної роботи

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ КУРСОВОЇ  
СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВТОМОТИВ СЕРВІС» МІСТО ДНШРО**

Розробив: студент гр. 2АТ-24м

Чорний Б.В.

Керівник: д.т.н., проф. кафедри АТМ

Макаров В.А.

Вінниця ВНТУ 2025

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

**Метою роботи** є підвищення безпеки руху легкового автомобіля шляхом поліпшення діагностування експлуатаційної властивості автомобіля – курсової стійкості руху.

### **Задачі дослідження:**

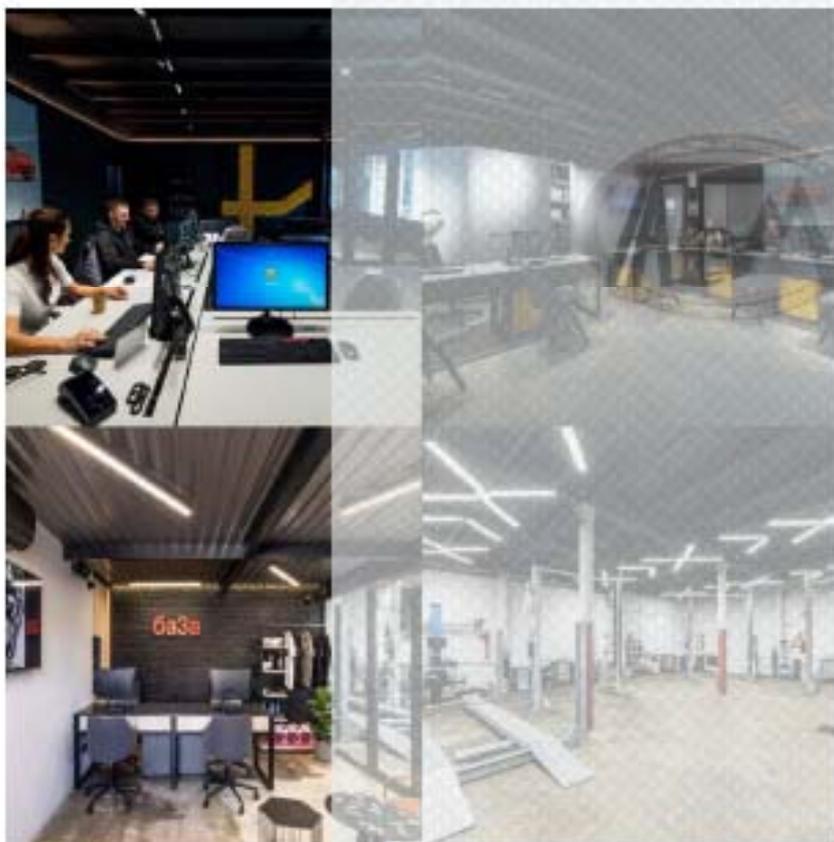
- оцінка функціонування ТОВ «Автомотив сервіс»;
- розрахунок системи технічного обслуговування та ремонту СТО з урахуванням випадковості виконання послуг;
- визначення та теоретичне дослідження факторів які мають вплив на КСР;
- проведення експерименту для пошуку найбільш впливового фактору на площу контакту шини з дорогою (навантаження на колесо або внутрішній тиск повітря);
- вибір обладнання для діагностування курсової стійкості руху легкового автомобіля;
- визначення ефективності запропонованих рішень на основі оцінки впливу фрикційного матеріалу протектора шин і гальмівних накладок на людину та довкілля.

**Новизна дослідження** полягає в поглибленні поняття курсової стійкості руху автомобіля, проведенні експерименту на випробувальному майданчику в результаті якого були порівняні між собою два види впливу на шляму контакту з опорною поверхнею. На основі отриманих результатів були виконані розрахунки для визначення ступеню та діапазону дії впливового фактору.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «АВТОМОТИВ СЕРВІС»

3

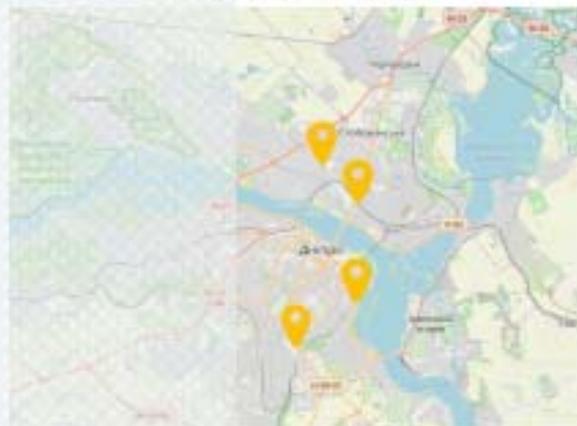
Візуалізація приміщень для спеціалістів та обладнання



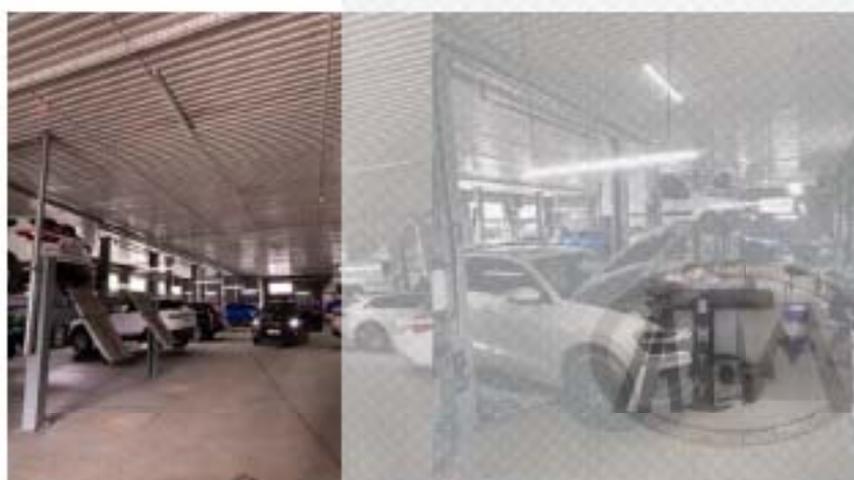
Виробничий корпус



Місця розміщення



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «АВТОМОТИВ СЕРВІС»



Зона ТО та ПР



Пост для виконання регулювання  
кутів установки коліс



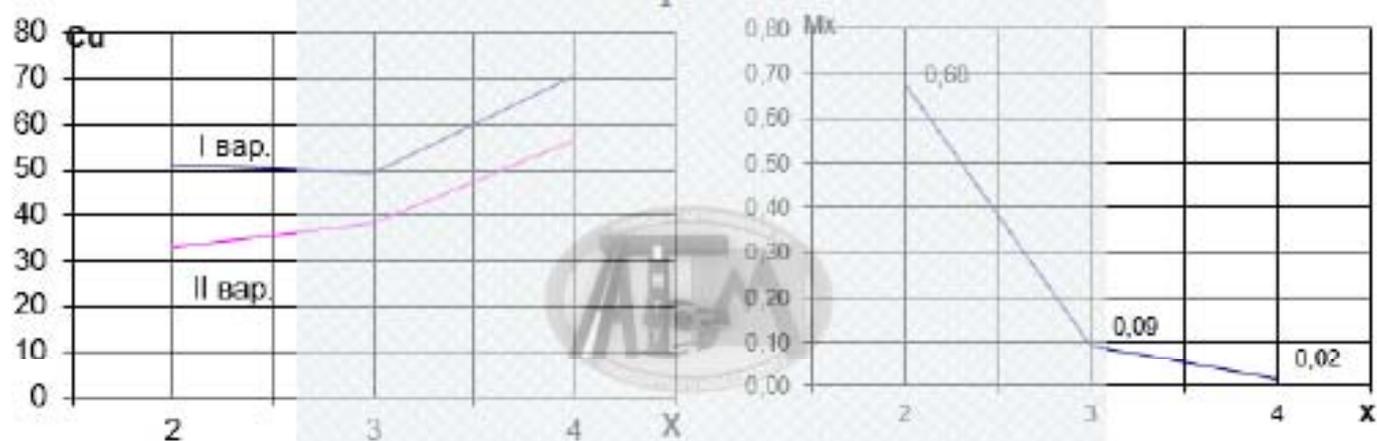
## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ТЕХНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА СТО

5

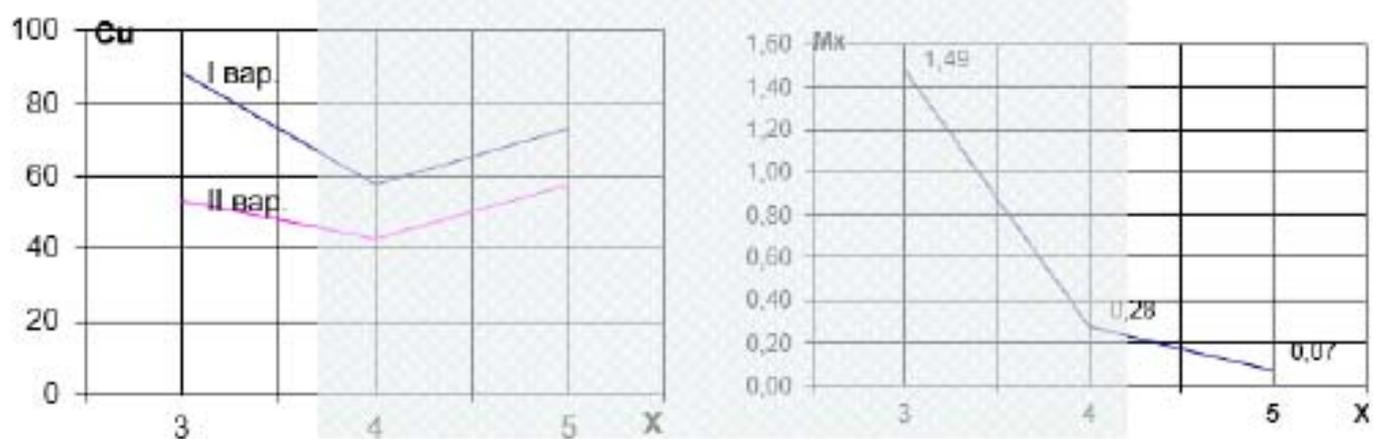
Параметри	Числові значення											
	8			15			22			28		
Потік АТЗ на СТО, од./добу	8			15			22			28		
Число постів для аналізу, од.	2	3	4	3	4	5	4	5	6	4	5	6
Імовірність зайнятості всіх постів	0,4	0,14	0,04	0,54	0,23	0,08	0,64	0,32	0,14	0,43	0,19	0,08
Середнє число вільних постів, од.	0,8	1,8	2,8	0,8	1,8	2,8	0,7	1,7	2,7	1,2	2,2	3,2
Коефіцієнт простотою постів	0,4	0,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5
Оптимальне число постів, од.	2 або 3			4			5			4 або 5		
Черга АТЗ, од.	0,09			0,28			0,62			0,24		
Час зміни, год.	8			8			8			12		
Число виконавців на посту, осіб.	1,0			1,0			1,5			2,0		

## ЗАЛЕЖНОСТІ СУМАРНИХ ВИТРАТ ТА ДОВЖИНИ ЧЕРГИ ВІД КІЛЬКОСТІ ПОСТІВ

### Варіант 1

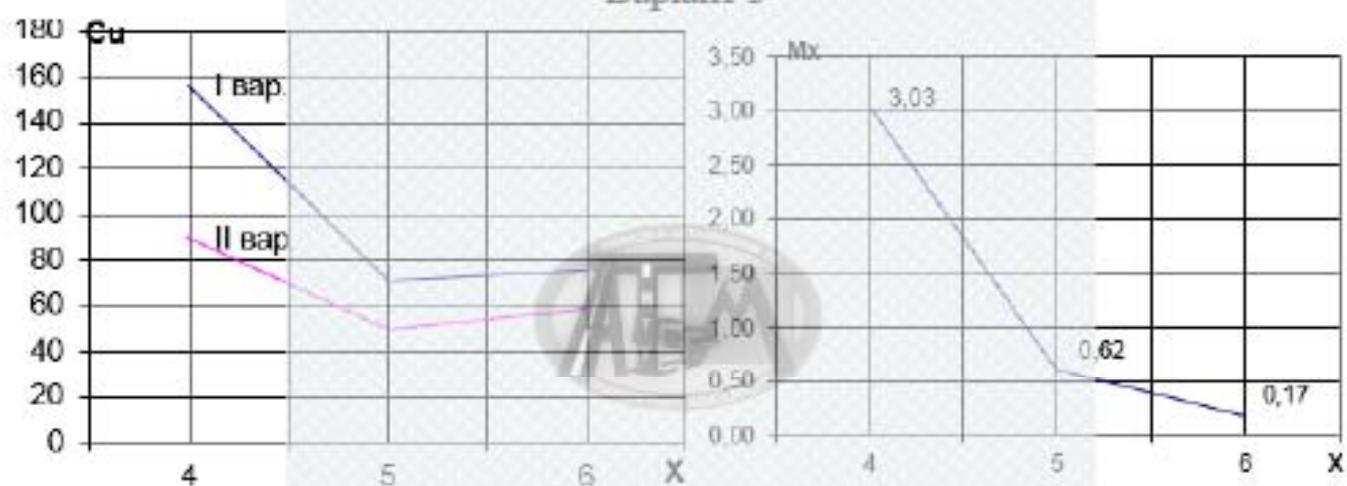


### Варіант 2

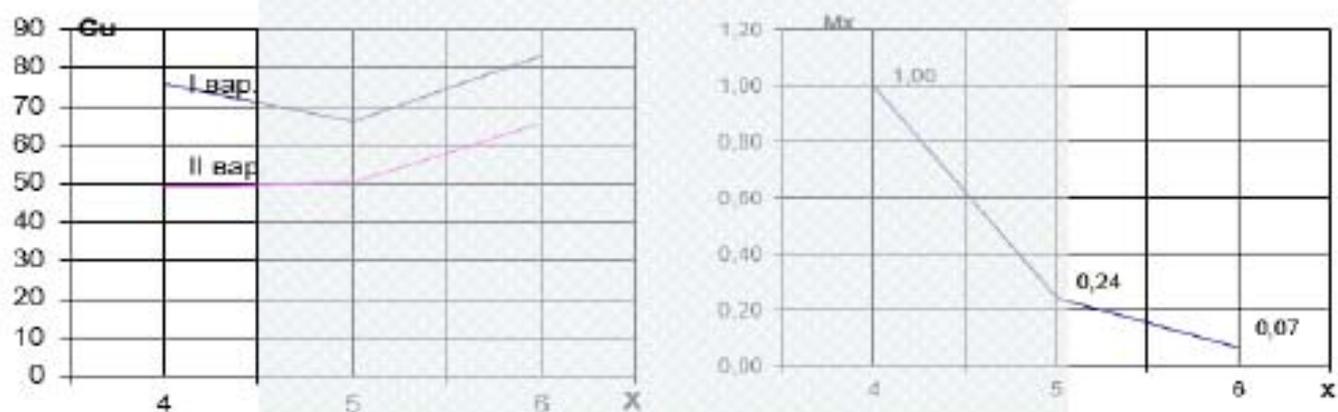


## ЗАЛЕЖНОСТІ СУМАРНИХ ВИТРАТ ТА ДОВЖИНИ ЧЕРГИ ВІД КІЛЬКОСТІ ПОСТІВ

### Варіант 3

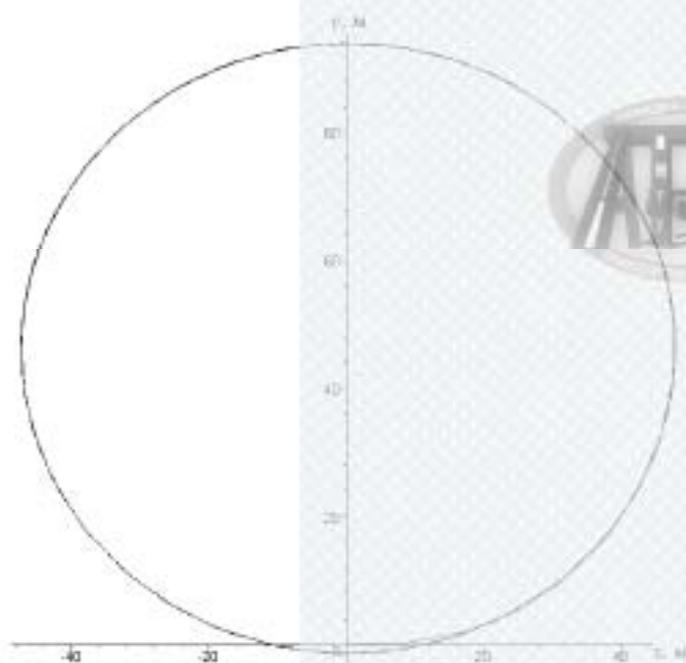


### Варіант 4

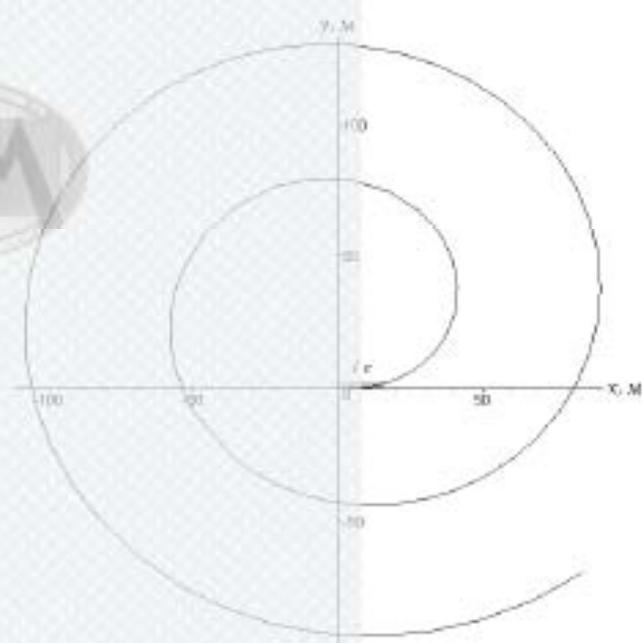


## ВИКОРИСТАННЯ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ ДЛЯ АНАЛІЗА СТІЙКОСТІ РУХУ КТЗ

Траєкторія стійкого руху



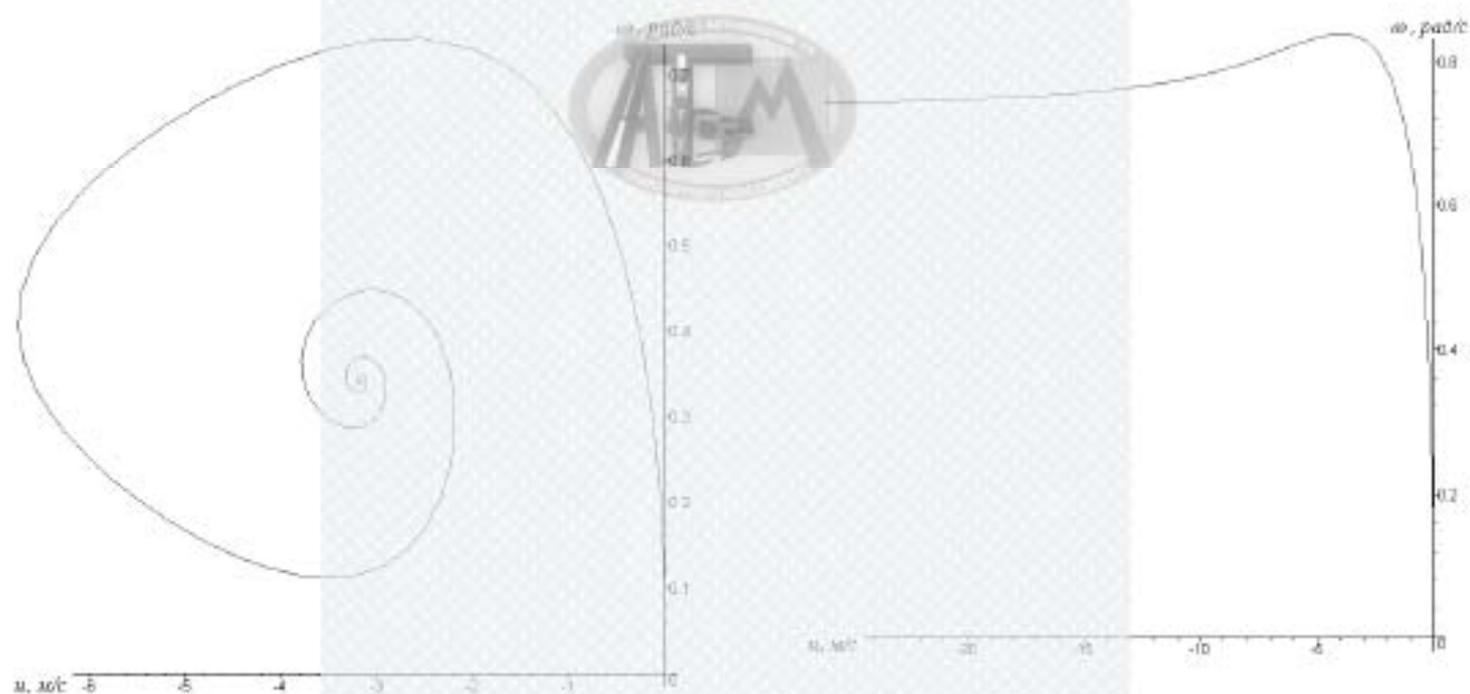
Траєкторія нестійкого руху



## ВИКОРИСТАННЯ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ ДЛЯ АНАЛІЗА СТІЙКОСТІ РУХУ КТЗ

Траєкторія нестійкого руху

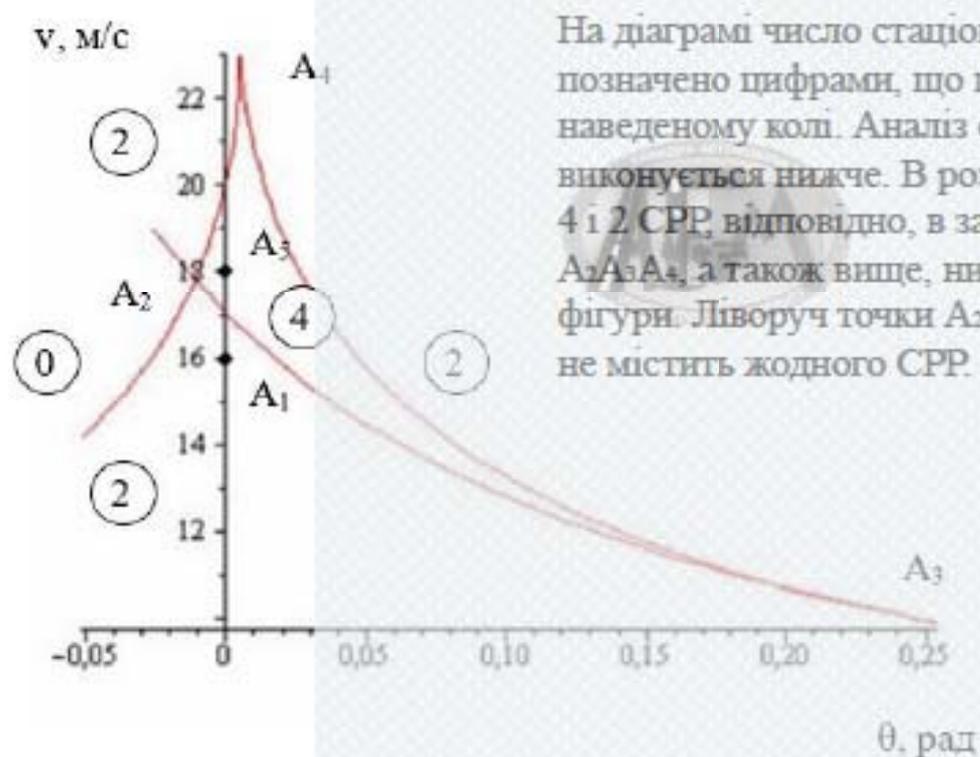
Траєкторія стійкого руху



## АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ



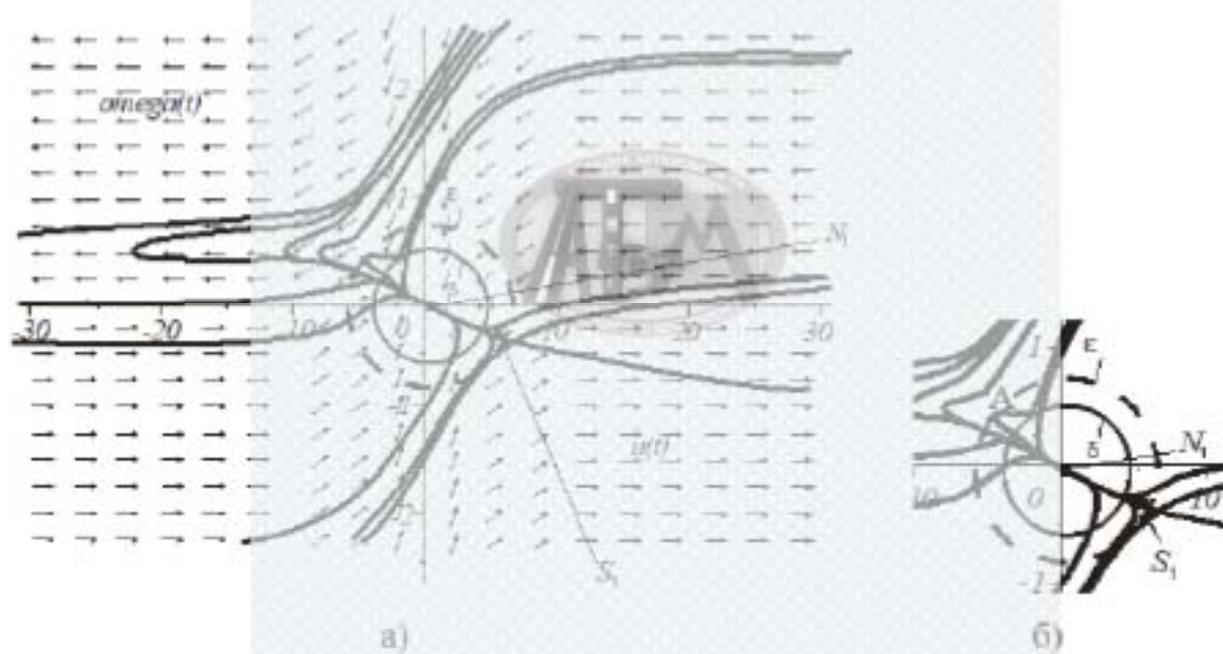
### ДІАГРАМА БІФУРКАЦІЙНОЇ МНОЖИНИ



На діаграмі число стаціонарних режимів руху (СРР) позначено цифрами, що проставлені в кожному наведеному колі. Аналіз означеного показника КСР виконується нижче. В розглянутому випадку наявні 4 і 2 СРР, відповідно, в замкненій площині фігури  $A_2A_3A_4$ , а також вище, нижче, праворуч позначеної фігури. Ліворуч точки  $A_2$  розміщується область, яка не містить жодного СРР.

## ФАЗОВИЙ ПОРТРЕТ

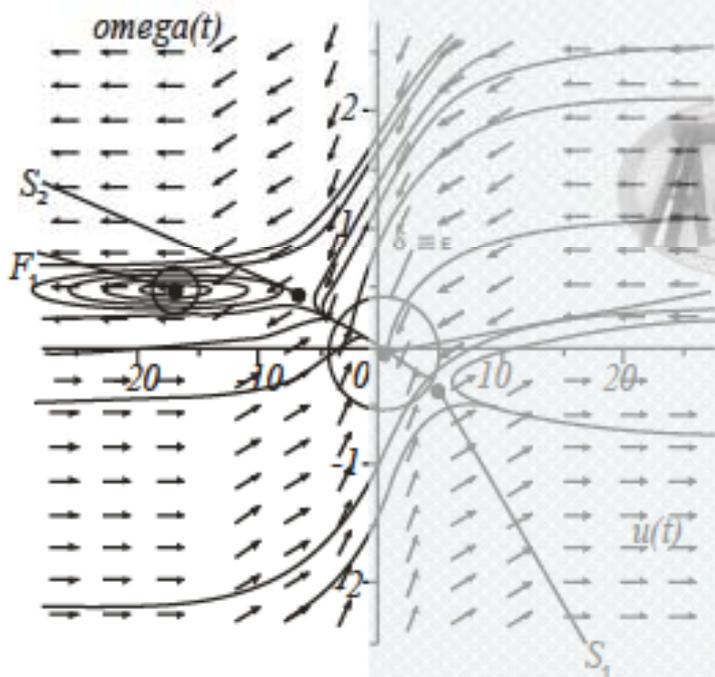
Фазова площина щодо точки  $A_1$  біфуркаційної множини



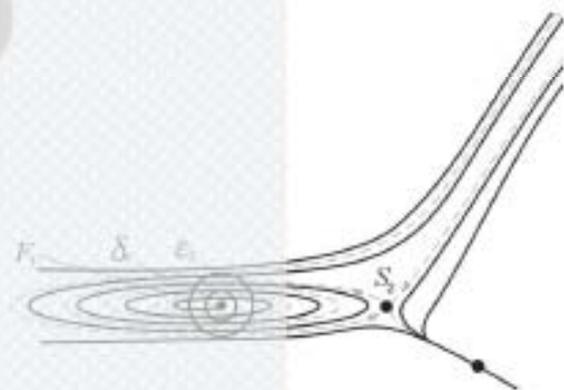
а – фазовий портрет в цілому, б – фрагмент ФП в околі точки  $N_1$ .

## ФАЗОВИЙ ПОРТРЕТ

Фазова площина в цілому



Фрагмент фазової площини в околі стійкого фокусу  $F_1$



## ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ РУХУ

Якісна теоретична оцінка стійкості виконується на основі загальної теорії стійкості руху О. М. Ляпунова.

Якщо існує динамічна система

$$\dot{x} = f(x), \quad x = x_1, \dots, x_n,$$

то стаціонарний стан або положення рівноваги  $x_{st}$  визначається вирішенням системи рівнянь  $f(x_{st}) = 0$

Згідно О.М. Ляпунова, стаціонарний стан  $x_{st}$  системи (3.11) є стійким, якщо для будь-якого моменту часу  $t_0$  і досить малого  $\varepsilon$  існує така нерівність  $\delta_{t_0, \varepsilon} > 0$ , що для будь-якого рішення  $x(t)$  тієї ж системи, початкове значення якого задовольняє нерівність

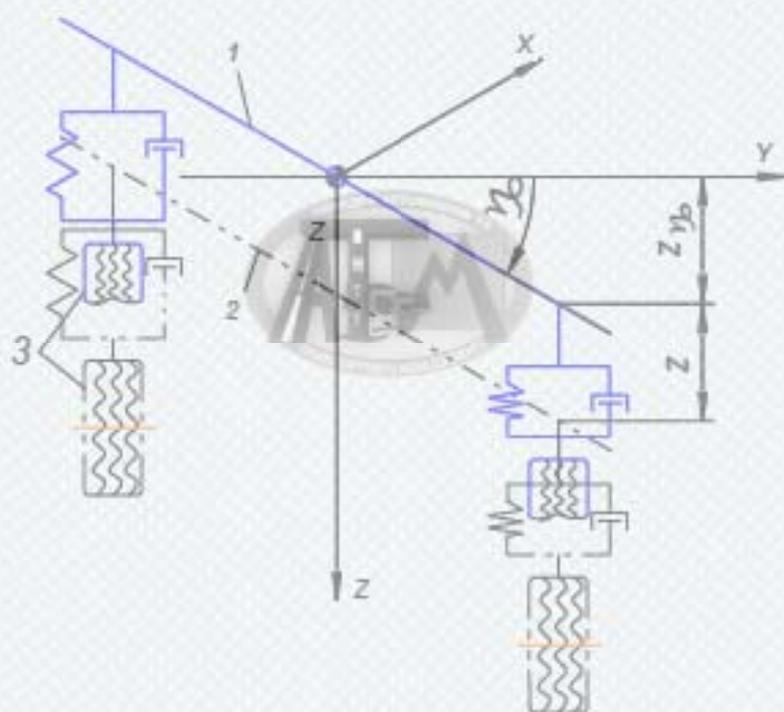
$$|x(t_0) - x_{st}| < \delta_{t_0, \varepsilon}$$

при всіх  $t > t_0$  виконується нерівність

$$|x(t) - x_{st}| < \varepsilon$$

Якщо існує хоча б одна траєкторія, що не задовольняє цим умовам, то стаціонарний стан  $x_{st}$  нестійкий: існує який завгодно малий окіл  $\varepsilon$ , такий, що при любому  $\delta$  знайдуться  $t^*, x(t_0)$ :

## УЗАГАЛЬНЕНА МОДЕЛЬ ОСІ АВТОМОБІЛЯ



1 – кузов, що має тільки крен; 2 – кузов, що має крен та вертикальне переміщення  $z$  центру мас; 3 – колесо

## МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТИСКУ ПОВІТРЯ І НАВАНТАЖЕННЯ ШИНИ 16 НА ПЛОЩУ КОНТАКТУ



$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

де  $y_{ij}$  – значення функції відгуку (площі контакту), що отримане в результаті проведення дослідів з  $i$ -им,  $j$ -им рівнями, відповідно, факторів А і В;

$\mu$  – загальний ефект у всіх дослідів (дійсне середнє сукупності, з якої отримана вибірка);

$\alpha_i$  – ефект рядка, дисперсія, що отримана за рахунок зміни фактора А (навантаження на колесо);

$\beta_j$  – ефект колонки, дисперсія, що отримана під впливом зміни фактора В (тиск повітря);

$\varepsilon_{ijk}$  – дисперсія, що викликана помилкою експериментального дослідження.

Skoda Octavia A5 2012



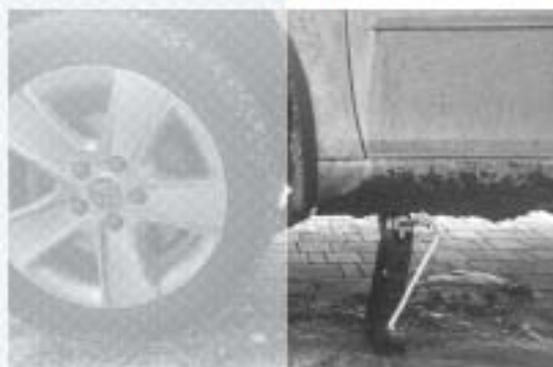
Шина встановлена на автомобілі,  
Continental Sport Contact 2



Домкрат



Колесо, вивішене за допомогою домкрата



## РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ

Таблиця дисперсійного аналізу

№ з/п	Джерело мінливості	Число ступенів свободи	Сума квадратів	Середній квадрат	Розрахунковий критерій	Табличний критерій Фішера
1	Фактор А	$n - 1 = 4 - 1 = 3$	124984	$124984 : 3 = 41661$	2,36	4,76
2	Фактор В	$n - 1 = 3$	2766172	$2766172 : 3 = 922057$	52,29	4,76
3	Помилка	$(n - 1)(n - 2) = 3 \cdot 2 = 6$	105814	$105814 : 6 = 17635$		
	Разом:	$(n^2 - 1) = 16 - 1 = 15$	2996970			

На основі аналізу даних таблиці можна зробити наступні висновки:

- тиск повітря (фактор А), при його зміні від 0,18 до 0,21 МПа, на величину площі контакту впливає не значуще; критерій Фішера  $F_p < F_T$  при отриманій величині помилки;
- навантаження на колесо впливає на площу контакту значуще; критерій Фішера  $F_p > F_T$ .

## МАТРИЦЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОТРИМАНІ ПОКАЗНИКИ

Тиск повітря в шині (МПа)	$P_{w1}$		$P_{w2}$		$P_{w3}$		$P_{w4}$	
Навантаження на косодело (число пас.)	1,8		1,9		2,0		2,1	
0	5567 <sup>1</sup>	5152 <sup>1</sup>	5152 <sup>1</sup>	5152 <sup>3</sup>	4737 <sup>1</sup>	4737 <sup>1</sup>	4594 <sup>1</sup>	4594 <sup>1</sup>
1	5699 <sup>1</sup>	5237 <sup>1</sup>	5237 <sup>1</sup>	5237 <sup>5</sup>	4826 <sup>1</sup>	4826 <sup>1</sup>	4672 <sup>1</sup>	4672 <sup>4</sup>
2	5872 <sup>1</sup>	5872 <sup>0</sup>	5383 <sup>1</sup>	5383 <sup>1</sup>	4916 <sup>1</sup>	4916 <sup>6</sup>	4758 <sup>1</sup>	4758 <sup>1</sup>
3	5964 <sup>1</sup>	5964 <sup>2</sup>	5516 <sup>1</sup>	5516 <sup>1</sup>	5006 <sup>1</sup>	5006 <sup>1</sup>	4824 <sup>1</sup>	4824 <sup>1</sup>

## АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ПОКАЗНИКІВ

20

Якщо різниця між середніми значеннями рівнів більш відповідного найменшого значимого рангу, то відмінність між середніми значуща

$$E_1 = \bar{B}_4 - \bar{B}_1 = 158 - (-149) = 307 > 240 \text{ – відмінність значуща.}$$

$$E_2 = \bar{B}_4 - \bar{B}_2 = 158 - (-62) = 220 < 236 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_3 = \bar{B}_4 - \bar{B}_3 = 158 - 62 = 96 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

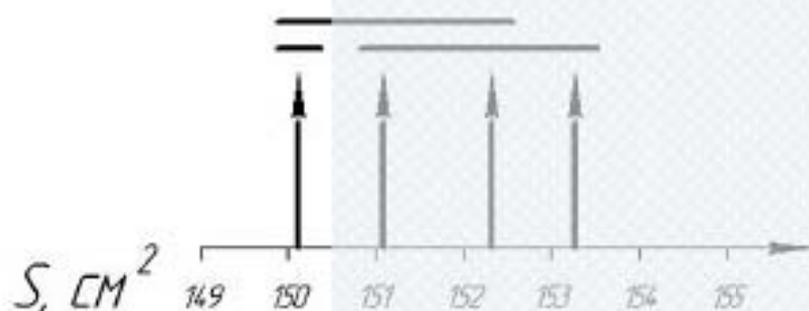
$$E_4 = \bar{B}_3 - \bar{B}_1 = 62 - (-149) = 211 < 236 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_5 = \bar{B}_3 - \bar{B}_2 = 62 - (-62) = 124 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

$$E_6 = \bar{B}_2 - \bar{B}_1 = -62 - (-149) = 87 < 228 \text{ – відмінність незначуща.}$$

Аналіз за критерієм Дункана

Відбиток плями контакту



Радіальний прогин

$$r = \frac{Q}{2\pi \sqrt{2RD}(P_w + P_0)} + \sqrt{\left[ \frac{Q}{2\pi \sqrt{2RD}(P_w + P_0)} \right]^2 + \frac{\Psi_1 h Q}{\Psi \Psi_2 \pi E \sqrt{2RD}'}}$$

де  $\Psi_1$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу тисків по площі контакту

$\Psi_2$  – коефіцієнт жорсткості зв'язку поперечної деформації шини;

$\Psi$  – коефіцієнт насиченості рисунка протектору;

$h$  – висота рисунка протектору;

$E$  – модуль пружності матеріалу протектору;

$Q$  – навантаження на колесо;

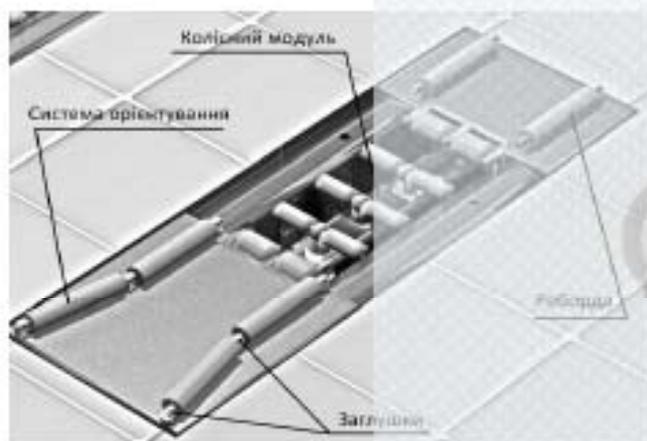
$P_0$  – показник жорсткості каркасу;

$P_w$  – тиск повітря в шині;

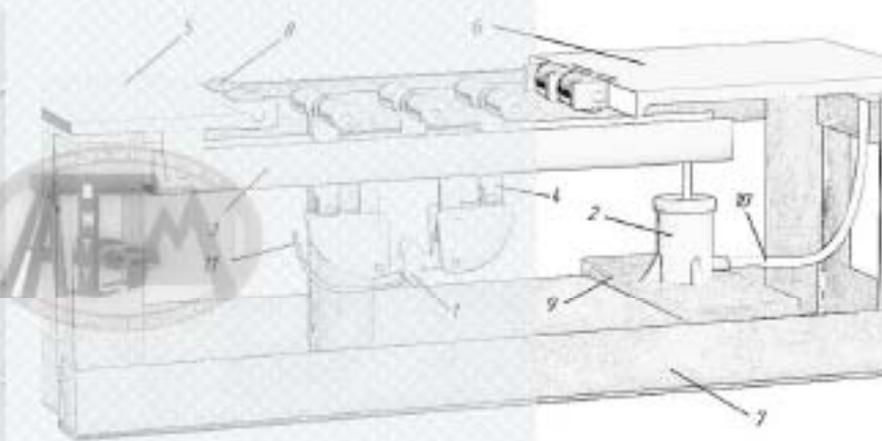
$D$  – зовнішній діаметр шин;

$R$  – радіус кривизни протектора.

Структура стенду



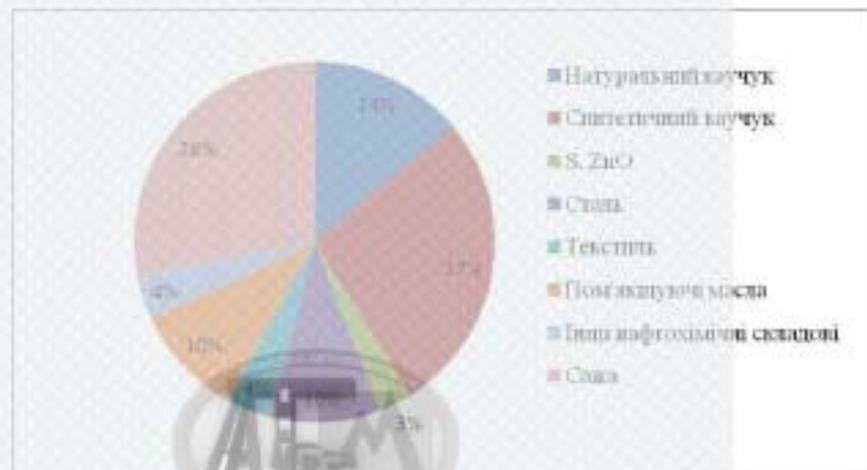
Загальний вигляд стенду для контролю стану шин



Колісний модуль містить в собі наступні основні елементи:  
раму 7; дві сталеві плити 5 і 6, що закінчуються осями з роликками 8; сталевого  
важеля 3; пневматичний циліндр 2; датчик 1; важелі з роликками 4.

## ХІМІЧНИЙ СКЛАД ШИНИ Й ГАЛЬМІВНИХ НАКЛАДОК

### Хімічний склад автомобільної шини



### Ефективності від зменшення зносу гальмівних накладок та автомобільних шин

$$E = \frac{S_{\text{знос}}}{B} \cdot 100 = \frac{7050}{20000} \cdot 100 = 35,25\%$$



## ВИСНОВКИ

1. Проведена оцінка функціонування ТОВ «Автомотив сервіс». Підприємство має спеціалістів та обладнання, які в змозі виконувати технічні впливи щодо оцінки КСР на високому рівні. Підтримку щодо вдосконалення системи діагностування КСР можна передбачати за допомогою розгляду поглиблення науково практичних питань при оцінці рівня функціонування курсової стійкості руху автомобілів. Можна передбачити проведення експерименту для оцінки конкретних умов експлуатації колісних транспортних засобів з точки зору КСР автомобілів.
2. Здійснено технологічно – економічний розрахунок структури системи технічних впливів СТО, з урахуванням мінливості господарських та суспільних умов:
  - максимальна чисельність працівників – 10 осіб на постах;
  - розрахункова кількість постів – від 2 до 5 одиниць.
3. Оцінено, що робота технічної служби ТОВ «Автомотив сервіс» в цілому відповідає необхідним вимогам але можна вдосконалити систему діагностування КСР.
4. Розглянутий напрям вдосконалення системи діагностування курсової стійкості руху автомобілів шляхом поглиблення наукового підходу до стійкості руху видатного математика, науковця Харківського університету Ляпунова О. М., використання фазових портретів та біфуркаційних діаграм.
5. Проведено експеримент для визначення можливості використання в якості діагностичного параметру площі контакту шини з опорною поверхнею. За результатами дисперсійного аналізу, означена площа визнана недостатньо чутливим жорсткісним діагностичним параметром в межах змінювання нормативних значень вхідних факторів: навантаження на колесо і тиску повітря в пневматичному рушії.
6. Досліджено модель для оцінки вертикальної динаміки переміщення осі КТЗ та запропоновано структурну схему стенду для оцінки динаміки вертикального переміщення осі автомобіля з пневматичними рушійми. Вибрано структуру діагностичного стенду, що може дозволити виконати вдосконалення діагностування експлуатаційного стану шин за величиною радіального прогину еластичного рушія, з наступним визначенням прогнозу зі стійкості руху автомобіля.
7. Визначена ефективність запропонованих рішень на основі оцінки впливу фрикційного матеріалу протектора шин і гальмівних накладок на людину та довкілля.

## Додаток Б

«Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень»



# ПРОТОКОЛ ПІ РЕВІРКІ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Навчально-методична система підготовки курсової роботи автомобілів в умовах торгівельної і побутової відповідальності. Адвокатів  
с. м. м. Дніпро

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
Підприємство: кафедра автомобілів та трасного транспорту

Коефіцієнт повноти текстових записів, визначений системою StrikePlagiat (КП) 19.1 %

Висновок щодо перерірки кваліфікаційної роботи (визначити потрібне!)

Зміщення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових записів, слабо пов'язаність з розрахунків не дозволяє прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на розробку

У роботі виявлено ознаки академічного плагіату слабо і він міститься на місцях спотворення тексту, що вказує на сарбні приховані недобросовісних записів. Роботу до захисту не приймати

експертна комісія

Цимбал С.В. заступник кафедри АТМ  
(прізвище, ініціал, посила)

Кужель В.П. доцент кафедри АТМ  
(прізвище, ініціал, посила)

соба, відповідальна за перерірку

іменом експертної комісії оформляється на

Керівник

Злобувач

Мікаров В.А. професор кафедри АТМ  
(прізвище, ініціал, посила)

Чорний Б.В.  
(прізвище, ініціал)