

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**АСПЕКТИ РОЗВИТКУ, ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО РУШІЯ  
КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

**Монографія**

За загальною редакцією В. А. Макарова

Вінниця  
ВНТУ  
2023

УДК 519.652

A90

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №1 від 30.08.2023 р.).

Автори:

**В. А. Макаров, Т. В. Макарова, Д. В. Борисюк, Є. В. Смирнов**

Рецензенти:

**В. П. Сахно**, доктор технічних наук, професор

**О. Ю. Ребров**, доктор технічних наук, професор

**В. М. Михалевич**, доктор технічних наук, професор

**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. – (PDF, 150 с.)

ISBN 978-966-641-945-6

Протягом перших десятиріч XXI століття невпинно розвиваються нові конструкції інтелектуальних еластичних рушіїв автомобілів. Вони передбачають рух колісних транспортних засобів на безповітряних шинах, суттєве зниження інтенсивності шкідливих викидів зносу протектора в довкілля, а також розвиток інформаційної та енергетичної спроможності еластичних рушіїв.

В монографії наведено ієрархію цілей та сукупність схем систем, які знаходяться в полі тяжіння автомобільної техніки. Сформовано вибрані аспекти розвитку колеса, особливості функціонування еластичного рушія в незахищених від дії збурюючих факторів та динамічних умовах його роботи, висвітлені фрагменти своєрідних досліджень автомобільних пневматичних шин.

УДК 519.652

ISBN 978-966-641-945-6

© В. Макаров, Т. Макарова, Д. Борисюк, Є. Смирнов, 2023

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	5
Вступ .....	8
РОЗДІЛ 1 Аналітичне дослідження основних аспектів прогресу еластичного рушія .....	10
1.1 Характеристика ієрархії цілей існування систем, що входять в зону тяжіння колісної автомобільної техніки .....	10
1.2 Формування загальної структури системи основних підсистем, компонентів щодо зони тяжіння життєвого циклу автомобільної техніки (в практичній діяльності планети) .....	12
1.3 Аналіз системи управління працездатністю автомобіля .....	16
1.4 Складання фрагменту макросистеми господарства з логістичною мікросистемою .....	18
1.5 Формування загальної схеми системи для моделювання ефективного функціонування еластичного рушія автомобіля .....	19
1.6 Аспект використання в системах властивостей інтелектуальних шин .....	21
1.7 Висновки за розділом 1 .....	23
РОЗДІЛ 2 Дослідження розвитку життєвого циклу еластичного рушія та виокремлення найбільш значущих та перспективних ланок .....	24
2.1 Аналіз напрямів розвитку інтелектуальних шин .....	24
2.2 Обґрунтування інноваційних напрямів розвитку технічних впливів на інтелектуальні шини Аego .....	36
2.3 Поліпшення експлуатаційного стану за рахунок курсової стійкості руху автомобіля шляхом зміни структури інтелектуальної шини .....	38
2.4 Висновки за розділом 2 .....	42
РОЗДІЛ 3 Аналіз структури шин колісних транспортних засобів та особливості їх діагностування .....	43
3.1 Аналіз структури шин перед установкою на вантажний колісний транспортний засіб при технічній експлуатації автомобілів .....	43
3.2 Комп'ютерне моделювання стенду карусельного типу .....	48
3.2.1 Удосконалення формування системи діагностування шляхом оцінки ефективності постановки діагнозу .....	52
3.2.2 Підвищення достовірності оцінки діагнозу з використанням імовірнісних характеристик .....	56
3.3 Висновки за розділом 3 .....	60
РОЗДІЛ 4 Оцінка характеристик теперішніх шин різними засобами та за результатами експерименту .....	61
4.1 Огляд устаткування для дослідження характеристик шин .....	61
4.2 План проведення експерименту .....	65
4.2.1 Вибір і обґрунтування факторів, інтервалів їх змін .....	66
4.2.2 Вибір і обґрунтування функцій відгуку й точності їх виміру .....	67
4.3 Вибір значущих факторів з використанням латинського квадрата й квадрата Юдена, а також дисперсійного аналізу й критерія Дункана .....	70

4.4 Проведення повного факторного експерименту, одержання рівнянь регресії .....	73
4.5 Висновки за розділом 4 .....	77
РОЗДІЛ 5 Фактори щодо впливу на систему «колесо-дорога» .....	78
5.1 Аналіз розподілу питомих тисків по площі контакту шини.....	78
5.2 Аналіз чинників щодо порушення стійкості працездатності еластичного рушія системи «колесо-дорога» .....	84
5.3 Загальна класифікація недосконалостей шин .....	86
5.3.1 Аналіз процесів зношування протектора й боковини, набрякання й деформації шини .....	87
5.3.2 Руйнування елементів шин і рушія в цілому .....	90
5.3.3 Нерівномірний розподіл маси матеріалу шини по оболонці і забруднення рушія .....	92
5.4 Висновки за розділом 5 .....	92
РОЗДІЛ 6 Значущі аспекти розвитку еластичних колісних рушіїв автомобілів.....	93
Висновки за розділом 6 .....	98
РОЗДІЛ 7 Аналітичне дослідження значущості впливових факторів щодо стійкості руху автомобілів.....	99
7.1 Аналіз факторів впливу на стійкість руху автомобілів, що діють на загальні пневматичні шини.....	99
7.1.1 Рисунок протектора .....	99
7.2 Висота профілю шин .....	105
7.3 Тип структури каркасу .....	107
7.4 Шипування шин .....	109
7.5 Збурюючі впливи .....	111
7.6 Особливості забезпечення стійкості руху спортивних КТЗ .....	113
7.7 Висновки за розділом 7 .....	120
РОЗДІЛ 8 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЩОДО СИСТЕМИ «КОЛЕСО-ДОРОГА».....	121
8.1 Основні поняття та визначення .....	121
8.1.1 Реакції зв'язків колеса з дорогою.....	125
8.1.2 Сили тертя ковзання та кочення колеса з дорогою .....	132
8.1.3 Взаємодія сил у плямі контакту .....	134
8.2 Обґрунтування загальних конструктивних параметрів стенду карусельного типу.....	136
8.2.1 Постановка задачі .....	136
8.2.2 Аналіз останніх досліджень та публікацій.....	136
8.2.3 Кінематична характеристика установки.....	137
8.3 Висновки за розділом 8 .....	140
ВИСНОВКИ.....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	143

## ПЕРЕДМОВА

Певна сукупність підсистем, компонентів і елементів об'єднані в теперішньому понятті системи – еластичний рушій колісного транспортного засобу (КТЗ). Він дозволяє автомобілю рухатися по розгорнутій в просторі планети опорній поверхні, шляхом обертання протектора еластичного кола коліс на різних траєкторіях смуги доріг. В контактах шин з дорогою отримується сукупність різновекторних сил, які обумовлюють реальну можливість: переміщення КТЗ в необхідному напрямку, гальмування та формування раціональної передачі вертикального зусилля. Водій автомобіля в змозі забезпечити стійке переміщення машини, її маневрування та поворотність, раціональне прискорення та уповільнення руху. Створення силового поля в контакті еластичного рушія з дорогою визивається шляхом тісної взаємодії дуже різних за геометрією та пружністю і міцністю компонентів, що обумовлює тертя між їх поверхнями, які деформуються. Таким чином, виникає зчеплення автомобільного колеса з опорною поверхнею, яке має зовсім протилежні для ефективності використання людиною кочення шини наслідки: силове забезпечення руху КТЗ, яке обумовлює бажане різновекторне переміщення машини, що обов'язково супроводжується затратним зносом протектора рушія та дороги, під дією означених сил, з викидом негативних матеріалів в довкілля.

А починалося існування означених рушіїв, що натепер обертаються у великій кількості по поверхні планети навколо своєї горизонтальної осі, дуже в далекі часи (більше 4000 років тому), в Месопотамії. Тоді у людини виникла необхідність в переміщенні важких та великогабаритних об'єктів по поверхні Землі й розумні істоти почали шукати механізм, який дозволив би з раціональною силою зрушити та доставити згадані вище об'єкти в певне місце, що обумовлювалося господарчою діяльністю.

Переміщення важких елементів по опорній поверхні планети дозволяла деяка палітра рушіїв, що створювали некритично великий опір руху, але різний за величиною. Використовувалися процеси ковзання, коливання, волочіння тощо. Далі, для господарської діяльності, розумна людина продовжувала шукати ліпше рішення і винайшла ко-

лесо. Найсучасніші транспортні засоби для вивчення далеких планет також використовують колісний рушій.

Стародавнє колесо мало вигляд об'єкту, виокремленого зі стовбура дерева поперечними зрізами з двох боків. Воно мало по зовнішньому периметру округлу форму поверхні [1], що для кочення взаємодіяла з опорою, зазвичай – це розгорнута в просторі смуга оболонки поверхні планети. Теперішній еластичний рушій – це складна багатофункціональна система, що за геометричною формою схожа на досить об'ємне кільце, яке закріплено на диску або на шпичках. Останні об'єкти мають єдину вісь обертання [2].

Таким чином, розум людини створив вдалу форму рушія, якого не має жодний об'єкт первинної природи, що переміщується по поверхні або в глибині планети. Наведений геніальний винахід оцінив відомий бард ХХ-го сторіччя Булат Окуджава в своєму романі «Побачення з Бонапартом». Він написав, що його герою не подобається холодний ентузіазм, схожий на намальований факел. Такі особи будуть битися до останнього, але колеса не винайдуть.

Означене технічне рішення є одним з перших, відомих в період появи життєвого циклу господарювання на Землі, і постійно поліпшується без зміни його сутності. Творчість людини продовжувала покращувати структуру і напрями використання рушіїв, які швидко обертуючись забезпечували динамічний рух колісниць у давньому Єгипті та пізніше візків і швидкісних карет з кінською тягою, або підтримували тяжку роботу коногонів в завжди темних і вологих вугільних шахтах.

Колесо сьогодення – зовні нескладний елемент КТЗ, насправді перетворилося в цілу лабораторію з компактною композитною структурою, в якій вдало взаємодіють зовсім різні матеріали, для раціонального перетворення крутного моменту, що передається від систем автомобілів в силові поля на опорній поверхні систем «колесо-дорога». Остання має розгорнуту в просторі оболонки планети широку маршрутну мережу, яку планують перебудувати в інтелектуальну дорожню інфраструктуру.

На тепер, переважна більшість систем автомобіля є інтелектуальними, починаючи з другої половини ХХ-го сторіччя продовжується їх розвиток для створення можливості ефективного управління рухом АТЗ під керуванням водія, а надалі – штучного розуму. Однак, інтеле-

ктуальний еластичний рушій КТЗ, в якості мети роботи провідних вироблювачів шин, був заявлений тільки в кінці XX-го сторіччя [3].

Таким чином, зі стисненого розгляду аспектів виникнення, функціонування та розвитку колеса, можна зробити наступні попередні висновки:

- більш ніж 4 тисячі років функціонування колеса свідчать про те, що означений геніальний винахід людини використовується широко та з великою інтенсивністю;

- колесо було корисним в різні минулі історичні періоди і має великі перспективи розвитку при створенні інтелектуальних транспортних систем;

- необхідно системно дослідити прогресивні конструкції інтелектуальних еластичних рушіїв і винахід нових функцій шин, з метою пошуку доцільної наукової підтримки подальшої сучасної раціональної розв'язки завдань технічної експлуатації колісних транспортних засобів.

## ВСТУП

Еластичні рушії колісних транспортних засобів з'явилися раніше, ніж самі автомобілі. Проблему забезпечення раціонального контакту між лінійно розміщеною в просторі нерухомою опорною поверхнею дороги та колом колеса, що обертається, почали вдало вирішувати біля середини 19-го сторіччя. Швидкісні екіпажі отримали можливість підвищити експлуатаційні властивості: динамічність, керованість, стійкість руху тощо. Діагностування експлуатаційного стану пневматичного рушія КТЗ можна виконати по тиску повітря у внутрішній частині оболонки шини, яка має форму еластичного кільця.

Не всі напрями розвитку еластичного рушія, що були випробувані в минулому, отримали подальший розвиток. Але, для підтримки перспективної зміни еластичних властивостей автомобіля, продовжують використовувати безкамерні шини та вироби з радіальним розміщенням корда в каркасі.

Великий перелік невдалих часткових конструктивних змін рушіїв обумовив необхідність корінного вирішення проблеми скоєння тяжких ДТП при миттєвому руйнуванні структури шин, під час швидкого руху автомобілів [4, 5]. Завершення означеного процесу закінчилося створенням непневматичних шин. Однак, технічна експлуатація КТЗ на теперішній час, не пропонує дієвих методів оцінювання технічного стану еластичних рушіїв, які не є еластичними пневматичними оболонками з внутрішнім тиском повітря.

Зовсім новий значущий етап розвитку структури шин розпочався в ХХІ сторіччі. Провідні виробники еластичних рушіїв (ВЕР) вирішили, що настав час для створення інтелектуальних шин, які будуть гармонічно доповнювати інші інтелектуальні системи існуючого автомобіля. Автомобільні компанії, разом з ВЕР, почали розвивати системи, які дозволяють відслідковувати та змінювати під час руху транспортного засобу кут розвалу колеса і тиск повітря в шині [6]. Шинні виробники вдосконалюють конструкцію еластичної оболонки колеса згідно з досягненнями живої природи: створюють шини, що імітують лапу кішки в контакт з опорою або сітку павутиння в структурі мережі планіметрії армуючого корду оболонки еластичного рушія автомобіля тощо.



Можливо інтелектуальні еластичні шини зможуть створювати кероване силове або енергетичне поле в зоні контакту еластичного рушія з опорною поверхнею під час переміщення автомобіля. Останнє дозволить використовувати раціональні величини експлуатаційних властивостей: керованості, стійкості руху, динамічності тощо.

Переміщення колісних транспортних засобів на сьогодні забезпечує мобільність та дієвість економіки і суспільства країн, мегаполісів, регіонів тощо. Але інтенсивний рух транспортних потоків чисельних автомобілів ініціює також сукупність негативних впливів на дуже важливі життєві джерела. За роки існування КТЗ використовували різні двигуни, покращувалися та ускладнялися трансмісії, кузов тощо, однак незмінною залишалася сутність колеса. Воно має набагато довший життєвий цикл ніж автомобіль, а в сукупності з неприродним походженням вимагає актуального розгляду особливих аспектів свого існування.

Об'єктом дослідження вибрано колесо колісного транспортного засобу, розвиток якого на протязі життєвого циклу відбувається за структурою гелікоїда.

Предметом дослідження є значущі точки на траєкторії розвитку колеса, які мають достатню інформацію для прийняття іншого альтернативного шляху покращення властивостей рушія КТЗ.

Використано системний підхід до розгляду аспектів розвитку, функціонування та дослідження колеса, що дозволило доторкнутися до великого кола інформації. Особлива увага приділена випадковим подіям, з якими споріднений еластичний рушій КТЗ, що працює в різних умовах динамічного і хаотичного руху, негативних дорожніх обставинах, погодних негараздах тощо.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ПРОГРЕСУ ЕЛАСТИЧНОГО РУШІЯ

### 1.1 Характеристика ієрархії цілей існування систем, що входять в зону тяжіння колісної автомобільної техніки

Автомобільна техніка (АТ), що рухається на колесах, які розвивалися з первинного винаходу (рис. 1а). АТ є системою загальної планетарної техніки, яка разом з наукою, натепер, визначає рівень взаємодії суспільства та первинної природи Землі [7]. Оскільки колісні транспортні засоби обов'язково використовуються для функціонування дослідницького обладнання, також на поверхні Місяця та певних планет – марсохід (рис. 1б), то (судячи з практики космічних досліджень), складна взаємодія винаходу людини-колеса з первинним довкіллям відбувається на протязі декількох тисяч років і в дуже широкому просторі ноосфери. Тому, для визначення вищої мети існування систем в зоні тяжіння АТ, використано поняття «сфера сонячної системи» (ССС). Виокремлення значущості дії АТ в означеній сфері не є достатньо розкритим, що обумовлює необхідність розв'язки відповідної прикладної науково-технічної проблеми.



а)



б)

Рисунок 1 – Загальний вигляд первинного (а) та космічного (б) варіантів колеса

Для проведення системного аналізу необхідно обґрунтувати різного рівня цілі дослідження та встановити їх ієрархію. Високий рівень такого комплексного об'єкту як сонячна система потребує філософсь-

кого осмислення горизонтів прогресу та напрямів розвитку АТ, а конкретні знання з проектування, виготовлення, управління працездатністю та транспортними технологіями використання автомобільної техніки і заключної утилізації машин, формуються спеціальними науками. Тому слушно використати механізм теорії систем в якості проміжного взаємозв'язка між філософськими горизонтами і конкретними напрямами розвитку АТ та науковими розрахунками з автомобільної техніки і транспортних технологій. Між основними складовими частинами сонячної системи в майбутньому прогнозується поява тісної взаємодії. Первинна природа (ПП) означеної системи та людський розум Землі, можуть співпрацювати для взаємного прогресу, але між ними існують вагомі протиріччя, розв'язання дії яких вимагає проведення аналізу. Для сфери сонячної системи, що розглядається, необхідно зробити умови, які сприяють вільному виконанню законів ПП, щоб в майбутньому сумісному середовищі, яке ефективно розвивається, не тільки не було вагомого опору прогресу взаємодії між людським розумом нашої планети і первинною природою ССС, а будувалися передумови для розвитку духовності та задоволення матеріальних потреб населення Землі, при вільному виконанні законів розвитку первинної природи сонячної системи. Для розв'язання наведеної проблеми необхідно провести аналіз, який має наступну мету – управління станом АТ сонячної системи, шляхом оцінки дії на ССС майбутнього інтенсивного руху космічних колісних ТЗ, з одночасним створенням засобу вільного існування сонячної системи за законами первинної природи. Таким чином, одним з аспектів розгляду об'єкту дослідження є аналіз великої та дуже складної і динамічної системи – ССС, в просторі якої по поверхням планет і їх супутників рухаються КТЗ, при цьому визначальним має бути дія розуму людини Землі. Вищим об'єктом дослідження, в означених умовах, є зв'язок системи колісної автомобільної техніки з великою сонячною макросистемою.

Потім розглянута ціль, що є менш значущою за ієрархією і вимагає розв'язувати завдання планетарної системи Землі [8].

Нижніми мають бути цілі, які знаходяться на рівні спеціальних наук. Вони розглянуті в наступних підрозділах.

## **1.2 Формування загальної структури системи основних підсистем, компонентів щодо зони тяжіння життєвого циклу автомобільної техніки (в практичній діяльності планети)**

Ціль функціонування системи основних підсистем (СОП), що розглядається, є мобільне забезпечення прогресу життя населення планети автомобільними послугами.

До основних компонентів означеної зони тяжіння АТ віднесено наступні: автомобільні та шинні заводи, підприємства дорожньої галузі та автомобільного транспорту, Дорожня патрульна служба (ДПС). Корінним компонентом є транспортні технології, що раціонально управляють перевезеннями вантажів та пасажирів і рухом спеціальних КТЗ, а також сумісно з ДПС, виконує організацію безпечного руху транспортних потоків автомобілів. На автомобільні та шинні заводи, крім розв'язання питань виробництва КТЗ, покладено рішення задач проектування та утилізації відповідних виробів АТ.

В схему включені особливі компоненти: VUFO [9] і ADAC [10]. Вони, з досвіду ФРН, є невід'ємними складовими при розв'язанні нагальних транспортних проблем Німеччини. На території Землі Саксонії успішно працює ТОВ по дослідженню аварійності на автодорогах (GmbH VUFO) [11]. Засновником та науковим керівником означеної організації є д.т.н., професор Х. Бруннер. Напрями роботи VUFO візуалізовані на рис. 1.1.

GmbH VUFO, яке функціонує в структурі Технічного університету Дрездена, перманентно розвиває різні аспекти своїх досліджень.

Під час роботи німецьких автомобільних заводів для створення нових транспортних засобів із системами допомоги водієві або високоавтоматизованими функціями водіння КТЗ потрібні відповідні варіанти їх поведінки. VUFO автоматично переносить необхідні сценарії аварій з GIDAS – PCM до Open DRIVE 1.6 та Open SCENARIO 1.0. Означені сценарії описують різні негативні варіанти розв'язки дорожніх транспортних ситуацій за різних просторових умов: відносно нескладної геометрії доріг.

Після двох років розробки, VUFO у листопаді випустило найбільший у світі каталог EES (Energy Equivalent Speed). Завдяки цьому веб-каталогу стають доступними унікальні портали із наборами даних про

### **8.3 Висновки за розділом 8**

1. Сформовано модель кочення еластичного колеса та розглянуті сили й моменти, які значуще впливають на динаміку обертання шини.

2. Отримані характеристичні рівняння у стандартній формі, що дозволяють виявити можливість стійкого кочення колеса. Для того, щоб динамічна система була стійка, необхідно і достатньо щоб усі 7 діагональних мінорів були додатні.

## ВИСНОВКИ

В монографії наведено відомості про дослідницьку роботу щодо вирішення важливої науково-практичної проблеми, що пов'язана з узагальненням фрагментів інформації, яка є значущою для висвітлення величезного життєвого циклу колеса. Цикл почався з винаходу колеса розумною людиною, яка не могла існувати і розвивати господарство без раціонального переміщення в просторі по поверхні планети вагомих і великогабаритних вантажів та екіпажів з пасажирями. Первинна природа таку проблему не вирішила.

1. Проведено аналітичне дослідження ієрархії систем, що входять в зону тяжіння колісної автомобільної техніки. Для аналізу основних аспектів прогресу еластичного рушія, визначено, що АТ є важливою невід'ємною системою загальної планетарної техніки, яка разом з наукою обумовлює рівень та характер взаємодії господарства і суспільства з первиною природою планети.

2. Проаналізовано напрями розвитку інтелектуальних коліс. З аналізу структури інтелектуальних рушіїв можна прогнозувати 5 нових видів завдань: генерація шинами позитивних впливів, що поліпшують природу Землі; мінімізація негативних впливів системи «колесо – дорога», що погіршують навколишнє середовище; практичне використання інтелектуальної шини для легкових автомобілів, завдяки її здатності поєднувати в собі риси звичайного колеса і повітряного гвинта; пристосування до зовнішніх дорожніх умов структури інтелектуальної шини, завдяки змінюванню форми протектору; управління ІІІ ззовні за допомогою датчиків та відповідної бездротової системи.

Для діагностування ТС інтелектуальної шини, що забезпечує переміщення автомобіля в повітряному просторі, розроблено принципову схему перевірки на СТО тяги колеса в повітрі.

3. На тепер дуже зросла вагомість вірного початку шинних робіт. Структура сучасних коліс КТЗ має вагому залежність від місця розміщення еластичного рушія на автомобілі або автопоїзді. Вірне розв'язання цієї задачі може обумовити успішність чи негативність подальших шинних технічних впливів, які продовжують формувати стійкість руху КТЗ, їх маневреність, поворотність тощо.

4. Відповідність еластичних коліс до виконання завдань з перевезень при конкретних умовах руху КТЗ, визначається по результатам

проведенні певних діагностичних робіт. Рекомендовано математичну підтримку з теорії імовірності та математичної статистики. Необхідно проводити оцінку ефективності організації діагностичних робіт по імовірності вірного визначення ТС.

5. Розглянуто аспект дослідження еластичного рушія КТЗ, шляхом проведення експериментів з використанням сукупності засобів та різними методами. Наведено обладнання для оцінки жорсткості та неоднорідності еластичних рушіїв, що дозволяють створити режими статичного навантаження. Представлено план проведення експерименту, який містить вибрану сукупність факторів, границі та точність вимірювання.

6. Визначено, що на взаємодію еластичних рушіїв з дорогою вагомо впливає розподіл питомих тисків на опорну поверхню. Можна управляти епюрою тисків в контактні колеса, шляхом вірного вибору рушіїв та тиску повітря в пневматичних шинах для конкретних умов руху КТЗ. Стійкість функціонування системи «колесо - дорога» залежить від технічного стану шин, які підлягають впливу процесів зношування, деформування та руйнування.

7. Виконана оцінка структури теперішніх та майбутніх перспективних автомобільних шин та засобів для оцінки їх параметрів. Інформація про означені інтелектуальні рушії має наступні спільні риси: відсутність даних про засоби діагностування конкретного експлуатаційного стану і ремонту шин; можливість комп'ютерного проектування.

8. Спеціалісти технічної служби СТО, що виконують шинні роботи, повинні знати особливу роль рушіїв в забезпеченні стійкості руху КТЗ й уміти прогнозувати наслідки своїх технічних впливів. Аналіз сфери використання еластичних рушіїв в «Формулі-1», дозволив зробити пропозиції, що зможуть покращити стійкість руху, поворотність та маневреність звичайних КТЗ.

9. Сформовано модель кочення еластичного колеса та розглянуті сили й моменти, які значуще впливають на динаміку обертання шини. Отримані характеристичні рівняння у стандартній формі, що дозволяють виявити можливість стійкого кочення колеса.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Царенко О. М., Рябець С. І. *Нариси з історії техніки та технологій. Навчальний посібник*. Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. 494 с.
- [2] *NASA's Perseverance Mars Rover Gets Its Wheels and Air Brakes*. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-perseverance-mars-rover-gets-its-wheels-and-air-brakes>.
- [3] S. Wolfsried, B. Breuer, T. Becherer, und an., «*Intelligente Reifen – Schon bald Realität?*», ATZ, №10, s. 772-773, 1999.
- [4] В. А. Макаров, Х. Бруннер, та Є. Ю. Черток, «До питання управління курсовою стійкістю руху легкового автомобіля завдяки удосконаленню конструкції шини», *Автошляховик України*, № 1, с. 13-17, 2010.
- [5] В. П. Сахно, В. Г. Вербицький, та В.А. Макаров, «До питання поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля шляхом зміни властивостей його шин», *Автошляховик України*, № 1, С. 19-22, 2009.
- [6] В. А. Макаров, Т. В. Макарова, Д. В. Борисюк, О. В. Вдовиченко, *Поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля за підтримки еластичних рушійів: монографія* [Електронний ресурс]; за заг. ред. В. А. Макарова. Вінниця : ВНТУ, 2022.
- [7] В. П. Мельник *Філософія. Наука. Техніка: Методолого-світоглядний аналіз [Текст]*. Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010.
- [8] *Актуальні проблеми філософії ХХ-ХХІ століть. Навчальний посібник* / І. В. Карівець, В. Л. Петрушенко та ін. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021.
- [9] Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden. URL: <http://www.vufo.de/> - Заголовок з екрану.
- [10] ADAC: Allgemeiner Deutscher Automobil-Club. URL: <https://www.adac.de/>. Заголовок з екрану.
- [11] Х. Бруннер, Т. Унгер, В. Макаров, «Про розвиток прогресу дослідження аварійності на дорогах Німеччини», Матеріали XI Міжнародної науково-технічної інтернет конференції «Проблеми та перс-



пективи розвитку автомобільного транспорту», 13-14 квітня 2023 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 338-340.

[12] *Autoverwertung: Altfahrzeuge richtig entsorgen* / ADAC. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/verkaufen-tipps/altauto-entsorgen/>

[13] *Altreifenentsorgung – Autoreifen richtig entsorgen*/ ADAC. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/altreifenentsorgung/>

[14] Unfallbilanz 2022: 220 Verkehrstote mehr als im Vorjahr. URL: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/02/PD23\\_073\\_46241.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/02/PD23_073_46241.html)

[15] OEPNV-Plan 2010-2015/2025 Plan des oeffentlichen Personennahverkehrs. URL: [https://mlv.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLV/MLV/Service/Publikationen/OEPNV-Plan\\_2010\\_-\\_2015\\_2025\\_Plan\\_des\\_oeffentlichen\\_Personennahverkehrs.pdf](https://mlv.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLV/MLV/Service/Publikationen/OEPNV-Plan_2010_-_2015_2025_Plan_des_oeffentlichen_Personennahverkehrs.pdf).

[16] Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Барілович Л. П. та інші. *Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах*. К.: Логос, 1996.

[17] Лудченко О. А. *Технічне обслуговування і ремонт автомобілів*. Київ: Знання-Прес, 2003.

[18] В. Дугельний, «Покращення курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням силової неоднорідності його шин.» автореф. дис... на здобуття наук. ступеню. канд. тех. наук., фак-т інформ., К., 2006.

[19] E. Siegert, H. Geisler, A. van Zanten, R. Becker, und andere, *Fahrsicherheitssysteme*. BOSCH. Braunschweig, Wiesbaden, Deutschland: Vieweg, 1998.

[20] H. B. Pacejka, «De bestudering van net getrad van een zich over een vlakke horisontale weg,» Technische Hogeschool. Delft, pp. 32-41, 1954.

[21] H. B. Pacejka, and E. Bakker, «The magic formula tyre modell,» Prog. 1st Collog. Models for Vehicle Dynamics Analysis. Delft, pp. 1-18, 1993.

[22] Maxplo Tyre: a shape changing tyre is here. URL: <https://carbiketech.com/maxplo-tyre-change-shape/>

[23] *Тест літніх шин Continental від зарубіжних видань.* URL: <https://infoshina.com.ua/uk/info/stati/test-letnih-shin-continental-ot-zarubezhnyh-izdaniy.html>. – Назва з екрану.

[24] S. Wolfsried, B. Breuer, T. Becherer, und an., «Intelligente Reifen – Schon bald Realität?», ATZ, №10, s. 772-773, 1999.

[25] *Шинні концепти: огляд та тенденції / Сучасна АвтоМайстерня.* Режим доступу: <http://www.automaster.net.ua/artykuly/shinni-koncepti-oglyad-tatendenciyi,51395>.

[26] *Michelin "TWEEL" airless technology.* URL: <https://business.michelin.co.uk/tyres/tweel-technology>.

[27] Т. В. Макарова, О. Ю. Худенко, В. Ю. Мальченко «Про деякі особливості конструкторської та властивостей інтелектуальних шин автомобілів і напрям розвитку їх технічної експлуатації», Регіональна науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи – 2019. Вінниця, ВНТУ, 2019. URL: <https://d.conf.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6212/5200>.

[28] *Bridgestone brings updated airless tires to Paris Auto Show / SlashGear.* URL: <https://www.slashgear.com/bridgestone-brings-updated-airless-tires-to-paris-auto-show-05349181>

[29] *Hankook Tire exhibits futuristic airless concept tire i-Flex at Defense & Security Expo Korea 2022.* URL: <https://www.hankooktire.com/global/en/company/media-list/media-detail.627246.html>

[30] *Goodyear Oxygene – концепт-шина, розроблена для підтримки чистоти та підвищення мобільності у містах. Міжнародний Женевський автосалон – 2018.* URL: [https://www.goodyear.eu/uk\\_ua/consumer/why-goodyear/geneva-motor-show.html](https://www.goodyear.eu/uk_ua/consumer/why-goodyear/geneva-motor-show.html)

[31] *Michelin and GM are working on a puncture-proof tire / CNN Business.* URL: <https://edition.cnn.com/2019/06/05/cars/airless-tire-michelin-gm/#:~:text=Michelin%20and%20General%20Motors%20have%20teamed%20up%20to,Prototype%2C%20which%20stands%20for%20%E2%80%9CUnique%20Puncture-proof%20Tire%20System.%E2%80%9D>

[32] *MICHELIN® Uptis. The first airless mobility solution for passenger vehicles.* URL: <https://michelinmedia.com/michelin-uptis/>

[33] *Toyota Launches "Fine-Comfort Ride" Concept Vehicle Concept demonstrates further possibilities for fuel cell vehicles.* URL: <https://global.toyota/en/detail/19064111/>

[34] *Goodyear unveils Aero tyre for flying cars of the future*. URL: <https://www.dezeen.com/2019/03/07/goodyear-aero-tyre-flying-geneva-motor-show/>

[35] *Continental Designs Tomorrow's Tire*. URL: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/2019-09-11-tomorrows-tire/>

[36] Hans B. Pacejka, *Tyre and Vehicle Dynamics*. Second edition. Oxford: Elsevier, 2006.

[37] J. Y. Wong, *Theory of ground vehicles*. - 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2001.

[38] В. П. Волков, Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Харків, Україна: ХНАДУ, 2003.

[39] V. G. Verbitskii, V. A. Makarov, and V. P Sakhno, «Influence of the asymmetry of cornering forces on the static stability of two-axle vehicle,» *International Applied Mechanics*, №11, pp. 1304-1309, 2004.

[40] Schubert J.: *Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen : Doktor-ingenieurs Dissertation : Fahrbahn-Rollgeräusch*. Dresden, 2003.

[41] О. Петров, «Поліпшення показників курсової стійкості руху транспортних засобів з урахуванням технічного стану їх шин.» авто-реф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук., фак-т інформ., К., 2008.

[42] В. П. Сахно, и А. В. Костенко, «Вибір факторів при плануванні експерименту для дослідження курсової стійкості руху,» *Управління проектами, системний аналіз і логістика*, № 3, с. 137-140, 2006.

[43] В. П. Сахно, Л. І. Зав`ялова, А. В. Вакулич, та ін., «Про методи дослідження стійкості руху автомобіля у випадку значної розмірності вектора його стану,» *Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України*, Вип. 3, с. 83-85, 2000.

[44] Х. Бруннер, К. Аусбург, М. Ешор, та ін., «Нова лабораторія для випробувань шин та ходової частини автомобілів у технічному університеті Дрездена,» *Вісник північного наукового центру ТАУ*, Вип. 5, с. 59-62, 2002.

[45] В. А. Макаров, А. В. Костенко, та О. В. Петров, «До питання про забезпечення стійкості руху автомобіля шляхом використання шин з перемінною або різною жорсткістю,» *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. №2, с. 83-87, 2005.

[46] В. П. Сахно, В. Г. Вербицький, В. А. Макаров, та ін., «Вплив на керуваність двовісного автомобіля асиметричних жорсткісних характеристик коліс,» *Автошляховик України*, Вип. 8, с. 159-161, 2005.

[47] В. А. Макаров, А. С. Волохов, та А. В. Куплінов, «До питання вибору математичної моделі для дослідження курсової стійкості руху легко-вого автомобіля,» *Наукові нотатки: міжвузівський збірник*, Вип. 28, с. 311-316, 2010.

[48] В. П. Сахно, В. Г. Вербицький, А. В. Костенко, та ін., «Розробка математичної моделі автомобіля для дослідження курсової стійкості руху з урахуванням жорсткісної неоднорідності шин,» *Автошляховик України*, Вип. 10, с. 138-141, 2007.

[49] D. Ammon, *Modellbildung und Systementwicklung in der Fahrzeugdynamik*. Stuttgart, Deutschland: Teubner, 1997.

[50] В. П. Сахно, Л. Г. Лобас, В. А. Макаров, та ін., «До питання управління курсовою стійкістю руху легкового автомобіля за рахунок адаптації до АТЗ шин, що мають в контактї нелінійний стабілізуючий момент,» *Автошляховик України*, № 13, с. 84-86, 2010.

[51] А. В. Костенко, и О. В. Петров, «До питання про визначення відведення колеса як жорсткісної характеристики автомобільної шини,» *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*, № 2, с. 10-14, 2004.

[52] В. Г. Вербицький, В. А. Макаров, та А. В. Костенко, «Дослідження курсової стійкості руху легкового автомобіля при зміні вертикального навантаження на шини з жорсткісною неоднорідністю,» *Автошляховик України*, Вип. 10, с. 133-138, 2007.

[53] В. G. Tabachnick, L. S. Fidell. *Experimental Designs using ANOVA*, California State University, Northridge, 2020

[54] J. Sommer, und S. Köhbne, «Messung der mechanischen und phüsi-kalischen Yusammenhänge in der Bodenaufstandfläche vor Reifen,» *ATZ* 102, №4, s. 258-264, 2000.

[55] А. Костенко, «Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин.» дис. ... канд. техн. наук., фак-т інформ., К., 2007.

[56] T. French, «Construction and behaviour characteristics of tyres,» *Automobile Division*, pp. 75-77, 1960.

[57] S. H. Köhne, und J. Sommer, «Messung der mechanischen und physikalischen Zusammenhänge in der Bodenaufstandsfläche von Reifen,» ATZ 102, №4, s. 258-264, 2000.

[58] L. Segel, «Research in the fundamentals of automobile control and stability,» SAE Transactions, V. 65, pp. 5-9, 1957.

[59] О. А. Лудченко, *Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник*. К. : Вища шк., 2007.

[60] Gabriel Fedorko, Vieroslav Molnar, Miroslav Dovica, Teodor Toth, Lubomir Soos, Jana Fabianova, Miriama Pinosova, «*Failure analysis of irreversible changes in the construction of car tyres,*» Engineering Failure Analysis, Volume 104, 2019, Pages 399-408.

[61] А. А. Фролов, О. С. Шабратко, «*Дослідження шин вантажного транспортного засобу щодо визначення пошкоджень, які утворилися в результаті експлуатаційного зношення або в результаті заводського дефекту,*» Теорія та практика судової експертизи і криміналістики: зб. наук. пр.. Харків: Право, 2020. Вип. 21. С. 441–451.

[62] *Students design the tire of the future for Hankook contest*. URL: <https://www.slashgear.com/students-design-the-tire-of-the-future-for-hankook-contest-30361086>.

[63] *Dakar tyre tops Hankook design competition*, – TyrePress. URL: <https://www.tyrepress.com/2014/11/dakar-tyre-tops-hankook-design-competition/>

[64] *Goodyear Eagle-360 Spherical Tire Concept Debuts*. URL: <https://www.asphaltandrubber.com/news/goodyear-eagle-360-spherical-tire-concept/>.

[65] *Goodyear Unveils the Eagle 360 Urban, a Concept Tire Powered by Artificial Intelligence*. URL: <https://news.goodyear.eu/goodyear-unveils-the-eagle-360-urban-a-concept-tire-powered-by-artificial-intelligence/>

[66] *Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання*. ДСТУ 3649:2010. К., Україна: ДП«УкрНДНЦ», 2010.

[67] *Automotive Handbook, 11th Edition*. Robert Bosch GmbH. John Wiley & Sons, 2022.

[68] *New tyre labelling rules apply from 1 May 2021*. – European Commission. URL: [https://commission.europa.eu/news/new-tyre-labelling-rules-apply-1-may-2021-2021-04-29\\_en](https://commission.europa.eu/news/new-tyre-labelling-rules-apply-1-may-2021-2021-04-29_en).

[69] *Tire production*. Continental. URL: <https://www.continental-tires.com/products/b2c/tire-knowledge/tire-production.html#:~:text=Tire%20production%20is%20a%20multi-step%20process.%20Let%E2%80%99s%20follow,of%20components%20Building%20the%20tire%20Vulcanization%20Quality%20control>

[70] J. Schubert, «Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen.» Doktor-ingenieurs Dissertation, Dresden, 2003.

[71] А. В. Костенко, «Результати експериментального дослідження бічного відведення автомобільних шин легкових автомобілів,» *Вісник НТУ*, №13, с. 41-48, 2006.

[72] Pirelli FORMULA 1 2016 tyre range. URL: <https://press.pirelli.com/pirelli-formula-1-2016-tyre-range/>

[73] F-1 tires: details and technical data. Pirelli. URL: <https://www.pirelli.com/tires/en-us/motorsport/fl/tires>

[74] Pirelli P Zero Trofeo R – Motorsport tire. URL: <https://www.pirelli.com/tires/en-us/motorsport/all-tires/products-sheet/pzero-trofeo-r>

[75] А. О. Иванов, *Теорія автоматичного керування: Підручник*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003.

*Наукове електронне видання  
комбінованого використання.  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Володимир Андрійович Макаров  
Тамара Володимирівна Макарова  
Дмитро Вікторович Борисюк  
Євгеній Валерійович Смирнов**

**АСПЕКТИ РОЗВИТКУ, ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО РУШІЯ  
КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

Монографія

За загальною редакцією В. А. Макарова

Оригінал-макет підготував *Д. В. Борисюк*  
Оригінал-макет виготовлено у РВВ

Підписано до видання 20.09.2023 р.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам № Р2023-101.

Вінницький національний технічний університет,  
редакційно-видавничий відділ.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
press.vntu.edu.ua;  
Email: irvc.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.