

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**ПОЛІПШЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ
РУХУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ
ЗА ПІДТРИМКИ ЕЛАСТИЧНИХ РУШІВ**

Монографія

За загальною редакцією В. А. Макарова

Вінниця
ВНТУ
2022

УДК 629.3.017.2
П50

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №12 від 30.06.2022 р.).

Автори:

В. А. Макаров, Т. В. Макарова, Д. В. Борисюк, О. В. Вдовиченко

Рецензенти:

В. П. Сахно, доктор технічних наук, професор

В. І. Захарчук, доктор технічних наук, професор

В. М. Михалевич, доктор технічних наук, професор

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. – (PDF, 211 с.)

ISBN 978-966-641-913-5

У країнах, де розвинені автомобільна наука, автомобілебудування та спостерігається значущий прогрес в функціонуванні транспортних технологій, які передбачають мобільність використання інноваційних транспортних засобів, на передній план також впливає проектування і формування умов для зниження аварійності на автомобільних дорогах. Для вирішення означених науково-технічних проблем необхідно поліпшити стійкість переміщення швидкісних легкових автомобілів, для чого виконано поглиблення теоретичних основ стійкого руху автомобілів.

В монографії проведено аналіз сукупності математичних моделей і вибрана з них та, що дозволила доволі широко та з достатньою похибкою розв'язати поставлені задачі. Розглянуто значущий рівень підтримки стійкості руху легкового автомобіля еластичними рушіями.

УДК 629.3.017.2

ISBN 978-966-641-913-5

© В. Макаров, Т. Макарова, Д. Борисюк, О. Вдовиченко, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ КЕРОВАНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ	10
1.1 Теорія керованості та стійкості руху автомобіля. Історія розвитку і сучасний стан питання	10
1.2 Автомобільна шина та її вплив на керованість та стійкість руху автомобіля	19
1.2.1 Бічне відведення автомобільних шин	21
1.2.2 Жорсткісна неоднорідність автомобільних шин	32
1.2.3 Технічний стан автомобільних шин і його вплив на керованість та стійкість руху автомобіля	40
1.2.4 Вплив зносу протектора на показники стійкості руху	43
1.3 Висновки за розділом	46
РОЗДІЛ 2 ПОКАЗНИКИ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ РУХУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	48
2.1 Діаграма біфуркаційної множини	48
2.2 Використання фазових портретів для оцінки курсової стійкості руху автомобіля	57
2.3 Методика визначення та аналізу показників курсової стійкості руху	63
2.4 Висновки за розділом	70
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	71
3.1 Загальна концепція вибору математичної моделі	71
3.2 Перевірка вагомості впливів факторів на коливальну нестійкість усієї вісі	73
3.3 Дослідження узагальненою моделі автомобіля	77
3.4 Дослідження моделі для оцінки вертикальної динаміки	80
3.5 Чисельний аналіз диференціальних рівнянь руху	83
3.5.1 Апроксимація експериментальних даних	89
3.5.2 Аналіз математичних моделей	92
3.6 Висновки за розділом	97
РОЗДІЛ 4 КОНЦЕПЦІЯ ПОЛІПШЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ РУХУ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ	98
4.1 Узагальнена система та граф-модель множини параметрів і об'єктів, які впливають на курсову стійкість руху	98

4.2	Оцінка впливу п'яткового моменту (як функції кута відведення) на біфуркаційну діаграму і властивості стійкості стаціонарних режимів руху	102
4.3	Оцінка впливу зміщення центру мас на біфуркаційну діаграму	105
4.4	Вплив на курсову стійкість руху двовісного автомобіля асиметричних жорсткісних характеристик	113
4.5	Забезпечення стійкості руху автомобіля шляхом використання шин з перемінною або різною жорсткістю	120
4.6	Забезпечення курсової стійкості руху легкового автомобіля шляхом регулювання кута розвалу керованих коліс.....	128
4.7	Дослідження курсової стійкості руху легкового автомобіля при зміні вертикального навантаження на шини з жорсткісною неоднорідністю	139
4.8	Поліпшення курсової стійкості руху автомобіля, шини якого мають знос протектора, за рахунок коригування внутрішнього тиску повітря.....	153
4.9	Аналіз динамічних якостей автомобіля при наявності постійних зовнішніх силових збурювань	168
4.10	Висновки за розділом	181
РОЗДІЛ 5 УПРАВЛІННЯ КУРСОВОЮ СТІЙКІСТЮ РУХУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ШИНИ		
5.1	Загальні напрямки розвитку властивостей шин	182
5.2	Поліпшення курсової стійкості стаціонарних режимів руху шляхом зміни конструкції шини	185
5.2.1	Поліпшення курсової стійкості, що обумовлене наявністю опуклостей і ввігнутостей на графіку	185
5.2.2	Поліпшення курсової стійкості руху, що обумовлене асиметричністю жорсткісних властивостей шини.....	190
5.2.3	Поліпшення курсової стійкості руху, що обумовлене дією нелінійного п'яткового моменту.....	193
5.3	Висновки за розділом	194
ВИСНОВКИ		195
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		197

ВСТУП

Швидкий розвиток автомобільної техніки є невід'ємним сучасним явищем щодо прогресу господарства та суспільства регіонів і країн. Постійно зростають кількість і якість автомобілів, властивості яких неспинно покращуються. На протязі декількох місяців можуть з'явитися транспортні засоби (ТЗ), що мають більш досконаліші електронні системи управління. З другого боку, зміна напрямку розвитку автомобільної техніки [1] зумовлює суттєве переформування інтенсивності руху різних ТЗ на шляхах та зниження аварійності при переміщенні автомобілів. Тому, для забезпечення динамічності, безпечності [2] та екологічності руху автомобілів необхідно постійно та цілеспрямовано удосконалювати експлуатаційно-технічні властивості транспортних засобів.

Інтенсивно підвищується рівень наукового забезпечення умов для виготовлення «інтелектуальних» автомобілів та гарантування їх належної технічної експлуатації. Невід'ємною та дуже суттєвою властивістю сучасного легкового автомобіля є курсова стійкість руху (КСР) автотранспортного засобу (АТЗ), без належного рівня якої, транспортний засіб стає недостатньо керованим й маневреним. Швидкісний АТЗ є динамічною системою, питання стійкості руху якої є одним з основних наукових автомобільних проблем сьогодення. Сама проблема стійкості функціонування складних динамічних систем дуже гостро проявилась у другій половині ХХ сторіччя у зв'язку з важкими катастрофами, що сталися на атомних електростанціях і підводних човнах, хімічних заводах, складних електричних та транспортних системах. Для свого вирішення вона негайно вимагала розвитку цілого ряду наукових питань і, загалом, нових наук. І, хоча окремий автомобіль не є дуже великою і складною системою, однак масове використання АТЗ (сотні мільйонів одиниць), їх життєво необхідна позитивна роль у розвитку господарства та суспільства, як і велика, безперечно негативна, дія на навколишнє середовище і перманентна вагома аварійність на дорогах (з важкими наслідками), ставлять безперервно діючі транспортні системи до одного ряду з іншими самими динамічними й складними. Інтенсивні транспортні потоки автомобілів (ТПА), загальні швидкості яких

постійно змінюються, повинні, якомога швидше, доставляти свої вантажі та пасажирів до, необхідного господарському комплексу і людям, пункту призначення. Крім того, ТПА слід зробити упорядкованими, що дозволяють АТЗ безперешкодно виконати всі необхідні маневри при точній і безперервній керованості автомобільним потоком. Вказані задачі не можна вирішити без забезпечення раціональної курсової стійкості руху окремих АТЗ, і, особливо, швидкісних і динамічних легкових автомобілів (ЛА). Загальні наукові підходи до стійкості функціонування великих і складних динамічних систем впевнено можна використовувати з метою дослідження КСР легкового автомобіля.

Якщо розглядати компоненти і системи колісних транспортних засобів (КТЗ), які забезпечують курсову стійкість руху швидкісного автомобіля, то, в першу чергу, слід назвати його еластичні рушії. Розвиток їх конструкції безпосередньо пов'язаний з удосконаленням структури автомобілів і здійсненням змін у напрямку найбільш повної відповідності параметрів шин характеристикам та умовам роботи КТЗ.

Провідними виробниками, за підтримки Європейської комісії, непинно та послідовно виконуються роботи з вдосконалення шин, що мають метою підвищення маневреності АТЗ та безпеки дорожнього руху. Передусім, створюються конструкції інтелектуальних еластичних рушіїв [3]. Наприклад, деякі з них мають датчики, які можуть бездротовими сигналами інформувати електронні системи керування автомобіля про стан силового контакту і зчеплення шини з дорогою. Завдяки цьому еластичні шини посідають чільне місце серед «інтелектуальних» систем КТЗ.

Автомобільна шина повинна бути дуже міцною, щоб витримати змінні по напрямку і знаку навантаження, що досягають десятків кН та змінюються за долі секунди. Одночасно рушій АТЗ повинен мати достатню еластичність для забезпечення раціональної взаємодії з опорною поверхнею. Крім того, маса невідвіреного колеса не повинна бути великою. Тому для виробництва пневматичних шин використовують композитні матеріали, що дає можливість широко змінювати властивості рушіїв шляхом удосконалення самих матеріалів та планіметрії армуючого корду. Напрями такого поліпшення слід прогнозувати, користуючись розробленими науковими методами, створеними для покращення стійкості руху КТЗ.

Використання великої множини КТЗ в інтенсивних транспортних потоках обумовлює необхідність діагностування та регулювання КСР під час експлуатації автомобілів з раціональними періодичністю та точністю. Якщо, безпосередньо після виготовлення шини, для оцінки якості рушія контролюється більш 50 (!) параметрів, серед яких присутні бічне відведення та стійкість на поворотах, то, під час експлуатації автомобіля перманентна перевірка технічного стану (ТС) еластичного рушія виконується оглядом водія або по тиску повітря в шині при зупинках або під час руху ТЗ, що мають відповідну контрольну систему. Періодична перевірка ТС рушія виконується при проведенні ТО: на лінії перевірки ходових властивостей (в тому числі, контроль відведення осей при прямолінійному русі), а також вимірювання остаточної висоти виступів протектору (за результатами огляду).

Робота виконана за напрямами наукових досліджень Вінницького національного технічного університету і провідної наукової школи кафедри автомобілів Національного транспортного університету «Розвиток теорії керованості та стійкості автомобілів, автопоїздів і метробусів» [4].

Мета дослідження полягала у створенні наукових основ дослідження стійкості руху легкового автомобіля та визначення шляхів її покращення з урахуванням аналізу жорсткісних характеристик шин.

Теоретичні задачі, що вирішені для досягнення мети, наступні:

- розроблені наукові основи й методологічні принципи поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля;
- проведений вибір показників курсової стійкості руху;
- розроблені основні напрями забезпечення поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля;
- розроблені математичні моделі (ММ) різних ступенів складності: спрощені – для охоплення результатів розрахунків зі стійкості руху автомобіля в більш широкому діапазоні значень характеристик КСР (не тільки локального характеру); ускладнені – для узагальнення оцінки граничних значень КСР (з можливістю корекції результатів, одержаних з використанням відносно простих моделей);

– досліджено вплив сукупності значущих параметрів автомобіля на КСР;

– досліджено вплив різновиду залежностей бічної сили та стабілізуючого моменту від кута відведення (основної залежності дослідження) на показники КСР.

Практичною задачею було проведення лабораторного експерименту для отримання залежностей бічної сили та стабілізуючого моменту від кута відведення в необхідному полі дослідження, на обладнанні, що може забезпечити раціональну точність і довірчу ймовірність.

Об'єктом дослідження є курсова стійкість руху легкового автомобіля з шинами, що мають змінні та нерівномірні жорсткісні характеристики.

Предметом дослідження є вплив на курсову стійкість автомобіля змінних та нерівномірних жорсткісних характеристик шин.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є використання системного підходу, аналізу курсової стійкості руху з технічної і математичної точок зору. Використані методи загальної теорії стійкості О. М. Ляпунова [5], лінійної та нелінійної теорій відведення, теорій діагностування, математичної статистики та ймовірності, а також методи біфуркаційного та чисельного аналізів.

Основний науковий результат, що наведений в монографії – узагальнення існуючих теорій КСР ЛА з урахуванням дії нерівномірної й змінної жорсткостей його еластичних шин та значущих конструктивних і збурюючих чинників, а також розробка методологічних принципів поліпшення КСР означеного автомобіля на різних етапах життєвого циклу ЛА і шин (у тому числі, їх перспективного проектування).

Таким чином, в монографії представлено результати, що отримані авторами внаслідок проведених досліджень. Наведено нові теоретичні та експериментальні дані про закономірності зв'язків і зміни параметрів, що впливають на курсову стійкість руху легкового автомобіля.

Отримані наукові матеріали можуть бути:

- корисними виробникам шин й автомобілів, що рухаються на еластичних колесах з заданими властивостями;

- науковою підтримкою при виконанні автотехнічних досліджень після ДТП з метою ретроспекції показників КСР, а також під час діагностування й прогнозування показників курсової стійкості руху в АТП або СТО;

- реалізовані для підготовки водіїв на тренажерах з імітуванням порушення КСР.

Результати означеної роботи використовуються на ЗАТ «Росава», ВАТ «Дніпрошина», а також в учбовому процесі для підготовки бакалаврів і магістрів за спеціальністю «Автомобільний транспорт» у Вінницькому національному технічному університеті

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ АСПЕКТІВ ОЦІНКИ РІВНЯ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

1.1 Теорія стійкості руху автомобіля. Історія розвитку і сучасний стан питання

Роботи в області стійкості руху (СР) автомобіля з'явилися пізніше, ніж сам автомобіль, на відміну, наприклад, від досліджень про стійкість та керованість літаків, винахід яких в значній мірі був наслідком вирішення питань стійкості та керованості [6]. Означене протиріччя пояснюється тим, що автомобіль в якості попередників мав візок та паровий екіпаж, тому ці питання спочатку не мали великого значення. Більша увага приділялась питанням керування. Можна припустити, що вперше виникли проблеми стійкості та керованості автомобілів в автомобільному спорті. Під час автомобільних перегонів на початку ХХ ст., коли були досягнуті відносно великі швидкості, були виявлені деякі дефекти кермового керування, які промисловість не могла усунути доволі великий час. З цього часу, очевидно, почалися роботи в області стійкості руху автомобілів. Початком розвитку теорії керованості та стійкості автомобілів можна вважати роботи Інституту автомобільних інженерів (Proceedings of Institution of Automobile Engineers), перша з яких була опублікована в 1907 р. У 1926 – 1928 рр. ряд досліджень, присвячених окремим питанням керованості та стійкості автомобіля, був проведений у Франції Сенсо де Ляво [7].

Поняття «стійкість» автомобіля вперше з'явилося в 30-х роках минулого сторіччя в СРСР завдяки роботам академіка Є. О. Чудакова, але це поняття не трактувалося тоді як окрема експлуатаційна властивість автомобіля, а тільки як фактор, що впливає на тягові та гальмівні властивості. Аналогічного напрямку притримувався В. Ю. Гітціс [8]. Але вже в 1935 р. Є. О. Чудаков відносить стійкість до основних експлуатаційно-технічних властивостей автомобіля і характеризує це поняття, як здатність автомобіля тримати дорогу, коли та нерівна або ковзка. В більш пізніх роботах Є. О. Чудаков запропонував таке визначення стійкості – здатність автомобіля протистояти бічному ковзанню його осей в різних напрямках [9].

Слід відзначити роботу М. Оллея [10], який вперше визначив такі поняття: «надлишкова та недостатня повороткість» і «критична швидкість». Далі, доволі багато дослідників займались вивченням СР: де Сез, Грумюллер, Жюльєн, Булл, Фромм, фон Шліппе, Дитріх, Сіджел, Уїтком, Міллікен [6]. Особливо слід відзначити роботу І. Рокара [11]. Крім цих робіт можна згадати Я. Таборека [12], Д. Р. Елліса [13], Дж. Вонга [14], М.Г. Беккера [15], Х. Пацейки [16], [17], Х. Трогера [18], К. Цемана [19].

У СРСР дослідженнями стійкості займались багато вчених. Найбільш суттєвий внесок в розвиток теорії стійкості взагалі створив видатний математик О. М. Ляпунов [5], який заклав основи для подальшого розвитку теорії стійкості. Послідовниками Ляпунова, які розвинули цю теорію та зробили можливим її застосування в багатьох прикладних областях, були: Н. Г. Четаєв [20], І. Г. Малкін [21], Н. Н. Красовський [22], Є. А. Барбашин, В. І. Зубов [23] та інші.

Дослідження стійкості руху автомобіля розділяють на два етапи. Перший етап – час повного ігнорування математичної теорії стійкості; конструктори займались забезпеченням, і, відповідно, розрахунком тільки міцності та динамічних властивостей автомобіля. При зростанні швидкості руху була виявлена нестійкість, коли автомобіль ще не перекидається. Подальші дослідження цього питання відкрили шлях другому етапу – розвитку досліджень стійкості руху автомобіля з використанням математичної теорії стійкості. Значний внесок для цього зробив Я. М. Певзнер [24], [25]. Крім того, треба відзначити роботи Є. А. Чудакова [9], який є засновником теорії автомобіля взагалі. Надалі дослідженнями стійкості займалися В. Ю. Гітіс [8], Г. В. Зімельєв [26], Б. С. Фалькевич [27], Б. В. Андреев [28], І. С. Цитович [29], Г. Б. Безбородова та В. Г. Галушко [30]. Продовження розвитку теорії стійкості знайшло у роботах А. С. Литвинова [31], І. В. Балабіна [32], Д. А. Антонова [33], [34], А. А. Хачатурова [35], А. І. Гришкевича [36], Г. А. Смирнова [37], Л. Г. Лобаса [38], [39], В. А. Острейковського [40].

В Україні роботи по дослідженню стійкості руху автомобілів набули подальшого розвитку, що стало можливим завдяки роботам Л. Г. Лобаса [41-45] та В. Г. Вербицького [46-49]. Продовжуються роботи по стійкості автопоїздів проф. В. П. Сахна [50-53] та його наукової школи: А. В. Баріловича, А. В. Вакулича, Л. І. Зав'ялової,

О. А. Крестьянполь, В. М. Полякова, О. М. Тімкова та інші. Проблемам маневреності та стійкості автобусів присвячена робота М. І. Загороднова [54]. Безпосередньо питанням курсової стійкості руху автомобіля присвячені роботи А. П. Солтуса [55, 56], А. Н. Юрченка [56, 57, 58], В. М. Дугельного [59, 60], Ю. Л. Мариенбаха [61]. Питанням підвищення стійкості руху автомобілів при заносі та гальмівних режимах присвячені роботи М. Я. Говорущенко, М. А. Подригало [62], В. П. Волкова [63] та Е. Е. Александрова [64].

Склалося так, що поняття стійкості має два визначення. Перше характеризує рух автомобіля як твердого тіла по всім ступеням вільності, крім напрямку, що перпендикулярний до опорної поверхні, а також напрямку, що співпадає з поздовжньою віссю автомобіля; в якості показника втрати курсової стійкості пропонувався початок ковзання якогось колеса. Такий підхід не враховує, що незатухаюче відхилення параметрів руху може відбуватися і без ковзання. Друге – характеризує поведінку автомобіля тільки в курсовому напрямку, а для характеристики рухів по іншим ступеням вільності вводять самостійне поняття «стійкість по перекиданню».

Литвинов А. С. запропонував поділити стійкість на три складові: стійкість по перекиданню (поперечному та поздовжньому); стійкість по напрямку руху (курсва стійкість руху); стійкість по бічному зміщенню (бічна стійкість).

В роботі Гришкевича А. І. [36] стійкість – це властивість автомобіля, що характеризує його здатність зберігати заданий напрямок руху при впливі зовнішніх сил, які прагнуть відхилити його від цього напрямку. Під час руху автомобіль може мати траєкторні та курсові відхилення. Під траєкторними відхиленнями розуміють відхилення вектора швидкості автомобіля від заданого напрямку, а під курсовими – відхилення поздовжньої вісі автомобіля від напрямку траєкторії руху. У відповідності з цим розрізняється траєкторна та курсова стійкість руху, які, щоправда, недостатньо чітко відокремлюються одна від одної. Обидві розглядаються спільно, хоча при дослідженні траєкторної стійкості виключається вплив водія, тому що не враховується цілеспрямована зміна швидкості руху та кута повороту керованих коліс безпосередньо водієм.

експерименту в лабораторії кафедри «Автомобілі і приводи» технічного університету м. Дрездена в березні 2004 року. Розглянутий нижче момент має асиметрію пружних властивостей, обумовлену, наприклад, кутовою неоднорідністю.

Аналіз впливу п'яткових моментів на основі біфуркаційних діаграм приводить до загального висновку про їхній стабілізаційний ефект - області керуючих параметрів v і θ , у яких існують стійкі стаціонарні режими розширюються; небезпечні межі області стійкості змінюють свій характер (стають безпечними), що сприятливо позначається на безпеці руху при закритичних швидкостях.

Необхідний стабілізуючий момент в контактї еластичної шини з опорною поверхнею можна обумовити шляхом відповідного розрахунку окремих елементів рисунку протектора і одержання, таким чином, однакової (близької) жорсткості цих елементів або використовуючи не тільки різні за розмірами елементи, а також різні за жорсткістю гумові суміші для різних ділянок бігової доріжки протектора.

5.3 Висновки за розділом

1. Наявність точок перегину на графіку залежності дозволило збільшити зони, в яких існує стійкий стаціонарний режим руху, та обумовити появу нових областей зі стійким СРР. Питання про вплив наявності вказаних точок на характер зміни стійкості прямолінійного руху автомобіля визнавав актуальним Х. Пацейка.

2. Шляхом удосконалення конструкції шини можливо отримати властивості еластичного колеса, які обумовлюють появу точок перегину.

3. Наведені зміни конструкції елементів шини, її матеріалів, а також технології виробництва забезпечують поліпшення курсової стійкості стаціонарних режимів руху легкового автомобіля.

4. Розроблений метод дозволяє отримувати на основі жорсткісних перетворень еластичної шини запрограмовані бічні сили в контактї колеса й, відповідно, поліпшувати курсову стійкість руху легкового автомобіля.

ВИСНОВКИ

В монографії наведено інформацію про дослідницьку роботу щодо вирішення важливої науково-прикладної проблеми, що пов'язана з узагальненням існуючих теорій КСР ЛА з урахуванням нерівномірної або змінної жорсткості його еластичних шин та впливу значущих зовнішніх чинників, а також методологічних принципів поліпшення курсової стійкості руху означеного автомобіля на різних етапах життєвого циклу АТЗ і шин, що дозволило для шинної та автомобільної промисловості, а також автомобільного транспорту вирішити комплекс складних проблем, пов'язаних з підтриманням належного рівня КСР під час експлуатації автомобілів з еластичними шинами, пружні властивості яких значуще змінюються.

1. Доведено, що діюча система наукового забезпечення поліпшення КСР легкового автомобіля за рахунок проектування нових шин, які адаптивно пристосовуються до геометричних та масових характеристик автомобіля є недосконалою. Відсутня, також, концепція підтримання КСР автомобіля, що знаходиться в експлуатації, шляхом прогнозування відведення його еластичних шин, що безперервно змінюють жорсткісні характеристики завдяки дії зношування, руйнування, деформування, набрякання тощо.

2. Розвиток наукових основ поліпшення КСР ЛА здійснено шляхом розроблення узагальненого рівняння стаціонарного руху автомобіля на шинах з нерівномірною і змінною жорсткістю, де ураховані дії основних геометричних та масових чинників АТЗ, а також перемінних збурюючих впливів.

3. Розроблені методи аналізу та напрями поліпшення показників курсової стійкості стаціонарних режимів руху легкового автомобіля, в яких використовуються діаграма біфуркаційної множини (стійкість у малому) і фазовий портрет (стійкість у великому), а також характеристика повороткості. Використання ДБМ дозволило оцінити асиметричність шин, а дослідження фазового портрету дозволяє урахувати конкретні параметри ЛА та перехідні процеси.

4. Створені математичні моделі механічного руху легкового автомобіля. Зрівняльний аналіз п'яти видів моделей свідчить про те, що для процесів дослідження і поліпшення КСР, в цілому, достатньо

використовувати «велосипедну» ММ з закріпленим керуючим модулем, але обов'язково слід ураховувати взаємовплив бічних та поздовжніх сил.

5. У рамках сформульованого в роботі загального підходу до поліпшення курсової стійкості СРР створені нові види залежностей бічної сили та стабілізуючого шинного моменту від кута відведення. Розроблені формули дозволяють регулювати положення точок перегину (опуклостей та ввігнутостей) на графіку, обумовлювати відповідну куту неоднорідність жорсткості асиметричної шини тощо.

6. Розроблено метод аналізу систем, що містить автомобіль на еластичних колесах та експлуатуються на дорогах с твердим покриттям, в наслідок чого, змінюються жорсткість шин та їх відведення, які, в свою чергу, обумовлюють зміну силової взаємодії коліс з опорною поверхнею.

7. На основі розроблених методів створені алгоритми та розрахункові програми для ПЕОМ, з використанням яких вирішено низку прикладних задач аналізу конструкції еластичних коліс, що адаптивно пристосовуються до геометричних й масових характеристик легкового автомобіля.

8. Матеріали роботи можуть бути основою для подальших досліджень у напрямку розробки перспективних конструкцій еластичних шин, які дозволяють поліпшити КСР легкового автомобіля.

9. Отримані нові експериментальні залежності на низці обладнання і різних режимах випробування шин: при дослідженні залежності бічної сили від кута відведення, а також для перевірки адекватності вибраних математичних моделей експериментальним даним, що відповідають дорожнім умовам.

10. Результати роботи у вигляді аналітичних і розрахункових методів використовуються ПРАТ "Росава", ТОВ "Дніпрошина", а також у навчальному процесі на бакалаврському і магістерському рівнях вищої освіти за спеціальністю «Автомобільний транспорт» у Вінницькому національному технічному університеті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ruth Blanck, Johanna Kresin, Stefan Klinski Umweltrecht an der HWR Berlin Klimaschutz im Verkehr: Reformbedarf der fiskalpolitischen Rahmenbedingungen und internationale Beispiele. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutz-im-verkehr-reformbedarf-der>
- [2] Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden. Режим доступу: <http://www.vufo.de/> - Заголовок з екрану
- [3] S. Wolfsried, B. Breuer, T. Becherer, und an., «Intelligente Reifen – Schon bald Realität?», *ATZ*, №10, s. 772-773, 1999.
- [4] В. П. Сахно, В. М. Поляков, С. М. Шарай, І. С. Мурований, і О. Є. Омельницькій, *Шарнірно-зчленовані автобуси. Маневреність та стійкість: монографія*. Луцьк, Україна: ІВВ Луцького НТУ, 2021.
- [5] А. М. Ляпунов, *Собрание сочинений. Т. 2*. М.-Л., СССР: АН СССР, 1956.
- [6] А. С. Литвинов, Ред., *Управляемость и устойчивость автомобиля*. М., СССР: Машгиз, 1963.
- [7] S. de Lavaud, «The problem of independent rear wheels», *Technique Moderne*. v. 20, N. 71, 1928.
- [8] В. Ю. Гиттис, *Автомобили. Теория и конструкция*. М., СССР: Гострансиздат, 1931.
- [9] Е. А. Чудаков, *Теория автомобиля*. М., СССР: Машгиз, 1950.
- [10] M. Olley, «Stabile and unstable steering», *General motors*, pp. 19-28, 1934 (Report).
- [11] И. Рокар, *Неустойчивость в механике*. М., СССР: Изд-во иностр. лит., 1959.
- [12] Я. Таборек, *Механика автомобиля*. М., СССР: Машгиз, 1960.
- [13] Д. Р. Эллис, *Управляемость автомобиля*. М., СССР: Машиностроение, 1975.
- [14] Дж. Вонг, *Теория наземных транспортных средств*. М., СССР: Машиностроение, 1982.
- [15] М. Г. Беккер, *Введение в теорию систем «местность – машина»*. М., СССР: Машиностроение, 1973.

- [16] H. B. Pacejka, «De bestudering van net getrad van een zich over een vlakke horisontale weg», *Technische Hogeschool. Delft*, pp. 32-41, 1954.
- [17] H. B. Pacejka, and E. Bakker, «The magic formula tyre modell», *Prog. 1st Collog. Models for Vehicle Dynamics Analysis. Delft*, pp. 1-18, 1993.
- [18] H. Troger, and K. Zeman, «A monlinear analzsis of the generis tzpes of loss of stabiliti of the steadz state motion of a tractor-semitrailer», *Venicle system Dynamics*, № 4, pp. 161-172, 1984.
- [19] R. Tiemann, «Die Unwucht bereifter Personenwagen – Räder», *ATZ 62*, № 9, s. 232-237, 1960.
- [20] Н. Г. Четаев, *Устойчивость движения*. М., СССР: Наука, 1990.
- [21] И. Г. Малкин, *Теория устойчивости движения*. М.-Л., СССР: Гостехтеориздат, 1952.
- [22] Н. Н. Красовский, *Некоторые задачи теории устойчивости движения*. М., СССР: Физматгиз, 1959.
- [23] В. И. Зубов, *Устойчивость движения*. М., СССР: Высш. шк., 1984.
- [24] Я. М. Певзнер, «О качении автомобильных шин при быстро меняющихся режимах увода», *Автомобильная промышленность*, №6, с. 15-19, 1968.
- [25] Я. М. Певзнер, *Теория устойчивости автомобиля*. М., СССР: Машгиз, 1947.
- [26] Г. В. Зимелев, *Теория автомобиля*. М., СССР: Воениздат, 1957.
- [27] Б. С. Фалькевич, *Теория автомобиля*. М., СССР: Машгиз, 1963.
- [28] Б. В. Андреев, *Теория автомобиля*. Красноярск, СССР : Изд-во Краснояр. ун-та, 1984.
- [29] И. С. Цитович, *Динамика автомобиля*. Мн., СССР : Наука и техника, 1981.
- [30] Г. Б. Безбородова, и В. Г. Галушко, *Моделирование движения автомобиля*. К., СССР : Вища школа, 1978.
- [31] А. С. Литвинов, и Я. И. Фаробин, *Автомобиль: теория эксплуатационных свойств*. М., СССР: Машиностроение, 1989.

- [32] Б. А. Куров, С. А. Лаптев, и И. В. Балабин, *Испытания автомобилей* М., СССР: Машиностроение, 1976.
- [33] Д. А. Антонов, *Теория устойчивости движения многоосных автомобилей*. М., СССР: Машиностроение, 1978.
- [34] Д. А. Антонов, *Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей*. М., СССР: Машиностроение, 1984.
- [35] А. А. Хачатуров, *Динамика системы «дорога – шина – автомобиль – водитель»*. М., СССР: Машиностроение, 1976.
- [36] А. И. Гришкевич, *Автомобили. Теория*. Мн., СССР : Высш. шк., 1986.
- [37] Г. А. Смирнов, *Теория движения колесных машин*. М., СССР: Машиностроение, 1990.
- [38] Л. Г. Лобас, *Механика многозвенных систем с качением*. К., Украина: Наукова думка, 2000.
- [39] Л. Г. Лобас, *Неголономные модели колесных экипажей*. К., Украина : Наук. Думка, 1986.
- [40] В. А. Острейковский, *Анализ устойчивости и управляемости систем методами теории катастроф*. М., Россия: Высш. шк., 2005.
- [41] В. Л. Лобас, «Бифуркации круговых движений однозвенных систем с качением», *Прикладная механика*, Т. 32, № 10, с. 88-94, 1996.
- [42] Л. Г. Лобас, и В. Г. Вербицкий, «Об устойчивости движения транспортных машин с учетом колебаний управляющего колесного модуля», *Прикладная механика*. Т. 31, № 4, с. 85-91, 1995.
- [43] Л. Г. Лобас, и В. Г. Вербицкий, *Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин*. К., СССР : Наукова думка, 1990.
- [44] Л. Г. Лобас, «Математическая модель связанных систем с качением», *Прикладная механика*, Т. 20, № 6, с. 80-87, 1984.
- [45] Л. Г. Лобас, и В. Г. Вербицкий, «Об устойчивости движения транспортных машин с учетом колебаний управляющего колесного модуля», *Прикладная механика*, Т. 31, № 4, С. 85-91, 1995.
- [46] В. Г. Вербицкий, и Л. Г. Лобас, «Бифуркации стационарных состояний в системах с качением при постоянных силовых возмущениях», *ПММ*, Т. 58, вып. 5. с. 165-170, 1994.
- [47] В. Г. Вербицкий, В. А. Макаров, и А. С. Волохов, «Бифуркационное множество как оценка управляемости модели колесного экипажа», *Устойчивость, управление и динамика твердого*

тела : VIII Междунар. конф., 3-7 сент. 2002 г. : тезисы докл. – Донецк, с. 32-33, 2002.

[48] В. Г. Вербицкий, «Бифуркационные множества и катастрофы в многообразиях стационарных состояний пневмоколесных машин при постоянных силовых воздействиях», *Прикладная механика*, Т. 31, № 3, с. 89-95, 1995.

[49] В. Г. Вербицкий, и М. Я. Садков, «Математическое моделирование границ устойчивости автомобиля в различных эксплуатационных условиях», *Автомобильный транспорт : сб. науч. трудов.* – Харьков: ХГАДТУ, с. 45-48, 2000.

[50] 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.

[51] 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.

[52] В. П. Сахно, В. Г. Вербицкий, А. А. Веремчук, та ін., «Устойчивость движения автомобиля с учетом управляющего колесного модуля», *Новые технологии в машино - приборостроении и на транспорте : междунар. науч.-техн. конф., 10-14 сентября 2001 г. : материалы конф.* – Севастополь, с. 315-318, 2001.

[53] В. П. Сахно, В. Г. Вербицкий, та В. А. Макаров, «До питання поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля шляхом зміни властивостей його шин», *Автошляховик України*, № 1, С. 19-22, 2009.

[54] М. Загороднов, «Покращання показників маневреності і стійкості шарнірно-зчленованих автобусів». автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук., фак-т інформ., К., 2005.

[55] А. Солтус, «Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей». автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук., фак-т інформ., К., 1995.

[56] А. Н. Юрченко, В. Н. Дугельный, и Д. В. Савенок, «Исследование режимов движения АТС методом построения фазовых диаграмм», *Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов*, с. 174-176, 2003.

[57] А. Н. Юрченко, В. Н. Дугельный, и Д. В. Савенок, «Математическое моделирование упругих свойств пневматического колеса», *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*, № 7, Ч. 1, с. 156-161, 2004.

[58] А. Н. Юрченко, В. Н. Дугельный, и Д. В. Савенок, «Определение параметров курсовой устойчивости автомобиля на основе графо-аналитического метода построения бифуркационного множества», *Автомобильный транспорт: сб. научн. трудов*, с. 55-58, 2002.

[59] В. Дугельный, «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.

[60] А. Н. Юрченко, В. А. Макаров, и В. Н. Дугельный, «Лаборатория для исследования характеристик шин легковых автомобилей», *Механіка та машинобудування*, № 2, с. 168-175, 2001.

[61] Ю. Л. Мариенбах, и Е. Е. Черейский, «Экспериментальное исследование устойчивости автомобиля, управляемого водителем, при прямолинейном движении», *Труды семинара по устойчивости и управляемости автомобилей НАМИ*, Вып. 3, с. 26-38, 1969.

[62] М. А. Подригало, и В. П. Волков, «Определение радиусов инерции автомобиля на стадии его проектирования», *Автомобильная промышленность*, № 6, с. 19-22, 2003.

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

[64] Е. Е. Александров, В. П. Волков, Д. О. Волонцевич, и др., *Повышение устойчивости и управляемости колесных машин в тормозных режимах*. Харьков, Украина: НТУ «ХПИ», 2007.

[65] 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.

[66] Л. С. Литвинов, *Управляемость и устойчивость автомобиля*. М., СССР: Машиностроение, 1971.

[67] И. И. Артоболевский, Ред., *Политехнический словарь*. М., СССР: Советская энциклопедия, 1977.

[68] А. Н. Нарбут, и Ю. И. Егоров, *Автомобили. Основные термины: толковый словарь*. М., Россия: ООО «Изд-во Астрель», 2002.

[69] С. Мишин, «По примеру паука», *За рулем*, №8, с. 65, 2001.

[70] С. Мишин, «Шины от «Pirelli» серии «P Zero Sistem»», *За рулем*, №1, с. 93-94.

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

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

[73] Я. Е. Фаробин, «К вопросу о методике определения оптимальных углов поворота управляемых колес четырехосных автомобилей», *Автомобильная промышленность*, №2, с. 23-27, 1969.

[74] Я. Е. Фаробин, «О коэффициентах качения колеса с шиной при уводе», *Конструирование, исследование, испытание автомобилей*, с. 34-38, 1955.

[75] Я. Е. Фаробин, «О рациональной форме рулевой трапеции», *Автомобильная промышленность*, №2, с. 14-17, 1959.

[76] Г. В. Каменков, *Устойчивость движения. Колебания. Аэродинамика. Избранные труды. Т. 1*. М., СССР: 1971.

[77] Н. Е. Жуковский, *К динамике автомобиля*. М., СССР: Гостехтеориздат, 1950.

[78] А. С. Добрин, «Об устойчивости движения многоосных автомобилей относительно заданной траектории», *Труды семинара по устойчивости и управляемости автомобилей*, Вып. 2, с. 27-39, 1968.

[79] П. С. Линейкин, «О качении автомобиля», *Труды Сарат. Автомоб.-Дор. ин-та*, № 5, с. 3-22, 1939.

[80] М. А. Левин, и Н. А. Фуфаев, *Теория качения деформируемого колеса*. М., СССР: Наука, 1989.

[81] В. А. Макаров, и В. Н. Дугельный, «Исследование причин преждевременного выхода из эксплуатации автомобильных шин», *Автошляховик України*, №1. с. 21-22, 1999.

[82] А. Н. Юрченко, *Автомобильные шины: требования, эксплуатация, износ*. Харьков, Украина: ДП ХМЗ «ФЭД», 2003.

[83] В. Н. Кравец, *Испытания автомобильных шин*. Горький, СССР: Горьковск. гос. ун-т, 1976.

[84] Б. В. Левинсон, и В.С. Гернер, *Пособие по диагностированию технического состояния автомобилей*. М., СССР: Техника, 1974.

[85] В. А. Макаров, «Диагностирование работоспособности шин по величине деформации в области контакта», *Долговечность автомобилей: сб. науч. трудов НПИ*. Новочеркасск, СССР, с. 114-117, 1973.

[86] В. А. Макаров, и В. Н. Дугельный, «Анализ методов контроля эксплуатационного состояния эластичных пневматических шин», *Автошляховик України*. №3, с. 12-14, 1999.

[87] В. А. Макаров, и В. Н. Дугельный, «О диагностировании технического состояния шин», *Системотехника автомобильного транспорта: республиканская науч.-техн. конф., 18-19 ноября 1998 г.: материалы конф. (Харьков)*, с. 143-145, 1999.

[88] В. А. Макаров, и В. Н. Дугельный, «Повышение работоспособности автомобиля путем управления жесткостными характеристиками шин», *Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов*, с. 43-45, 2000.

[89] В. И. Кнороз, Ю. М. Юрьев, и Ф. Е. Межевич, *Универсальный барабанный стенд для испытания шин*. М., СССР: НАМИ, 1965.

[90] В. И. Кнороз, и Е. В. Кленников, *Шины и колеса*. М., СССР: Машиностроение, 1975.

[91] С. П. Захаров, Н. А. Туровская, И. А. Чижов, и др., «Влияние неоднородности шины в радиальном направлении на вертикальные колебания оси колеса», *Каучук и резина*, №9, с. 45-49, 1974.

[92] А. В. Костенко, «Вплив п'яткового моменту шин на показники курсової стійкості автомобіля», *62 наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету: тези доповідей (Київ)*, с. 33, 2006.

[93] А. В. Костенко, «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 (Київ)*, с. 27, 2004.

[94] P. Zeranski, «Das Reifenmoment», *Kraftfahrzeugtechnik*, №7, s. 211-215, 1973.

[95] О. Тімков, «Поліпшення показників маневреності та стійкості автопоїздів з наближеними осями причепа». автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук., фак-т інформ., К., 2005.

[96] С. И. Мавродий, «Теоретическое обоснование ударного метода экспресс-диагностики давления воздуха в автомобильных шинах» *Автомобильный транспорт*, Вып. 17, с. 56-60, 1980.

[97] A. W. Bull, «Tire behavior in Steering», *SAE Journal*, v. 45, №2, pp. 54-59, 1931.

[98] В. И. Новопольский, и А. А. Байдуков, «О природе боковой силы, возникающей при качении наклоненного автомобильного колеса», *Каучук и резина*, №9, с. 24-26, 1984.

[99] Е. В. Кленников, *Шины легковых автомобилей*. М., СССР: Транспорт, 1979.

[100] 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.

[101] Б. Л. Бухин, *Неоднородность пневматических шин*. М., СССР: ЦНИИТЭнефтехим, 1979.

[102] Б. А. Бухин, и А. Б. Ненахов, «Влияние неоднородности пневматических шин на их нагруженность», *Каучук и резина*, №11, с. 38-40, 1987.

[103] Б. Л. Бухин, *Введение в механику пневматических шин*. М., СССР: Химия, 1988.

[104] 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.

[105] 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.

[106] В. А. Макаров, та А. В. Костенко, «До питання про прогнозування стійкості стаціонарного руху легкового автомобіля при його експлуатації», *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. №7 (125), Ч. 2, с. 239-243, 2008.

[107] В. А. Макаров, и О. Г. Буланцева, «О подходе к оценке социально-экологической эффективности устойчивости движения

автомобилей», *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*, № 1, с. 4-9, 2007.

[108] А. И. Елсуков, М. И. Капустин, и Е. К. Чабуткин, «Исследование неравномерности радиальной жесткости пневматической шины», *Каучук и резина*, №7, с. 45-47, 1977.

[109] С. П. Захаров, В. С. Калининский, и Н. А. Туровская, «Влияние неоднородности шины на колебания управляемых колес легкового автомобиля», *Каучук и резина*, №4, с. 30-34, 1982.

[110] С. П. Захаров, и Н. А. Туровская, «Влияние переменной радиальной жесткости шины на вертикальные колебания неподрессоренных масс легкового автомобиля и ее износ», *Каучук и резина*, №12, с. 43-48, 1973.

[111] С. П. Захаров, В. С. Калининский, и Н. А. Туровская, «Влияние радиальной неоднородности шины на вертикальные колебания оси колеса и кузова автомобиля», *Каучук и резина*, №12, с. 45-48, 1978.

[112] С. П. Захаров, и Н. А. Туровская, «Выбор критериев оценки радиальной неоднородности шины по длине ее окружности», *Каучук и резина*, №4, с. 40-42, 1978.

[113] С. П. Захаров, и Н. А. Туровская, «Исследование изменения радиальной жесткости шины по длине окружности колеса», *Каучук и резина*, №9, с. 45-48, 1973.

[114] Л. М. Гусаров, Н. М. Рухлядева, Б. Г. Гаврилов, и др., «Влияние неравномерности распределения нитей корда каркаса на неоднородность шин», *Каучук и резина*. №4, с. 24-27, 1987.

[115] В. Ф. Куличкин, «Влияние радиального биения и нагрузки на изменение радиальной силовой неоднородности шины», *Каучук и резина*, №10, с. 22-25, 1983.

[116] С. Г. Вашев, и Ю. А. Мачинский, «О постоянной жесткости шин», *Автомобильный транспорт Украины*, с. 77-79, 1972.

[117] *Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. ДСТУ 8816:2018*. К., Україна: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

[118] В. А. Макаров, «Оптимізація курсової стійкості руху транспортного засобу шляхом керування кутом розвалу при переміщенні автомобіля», *Вісник Північного наукового центру ТАУ*, Вип. 5, с. 62-65, 2002.

[119] В. А. Макаров, В. М. Сирота, и В. Н. Дугельный, «Исследование ситуаций, вызывающих нарушение курсовой устойчивости движения автомобилей, и подготовка водителей к этим ситуациям на автотренажере», *Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов.*, с. 28-32, 2001.

[120] В. А. Макаров, В. Г. Хребет, и В. Н. Дугельный, «Об одном подходе к прогнозированию курсовой устойчивости стационарных режимов движения автотранспортного средства», *АТК. Проблемы и пути развития: междунар. науч.-техн. конф. (Москва)*, с. 83-85, 2000.

[121] Freudenstein G. Luftreifen bei Schräg und Kurvenlauf (Experimentelle und theoretische Untersuchung an LKW-Reifen), *Deutsche Kraftfahrzeugforschung*. 1961. S. 152.

[122] М. Куликов, «Черная метка», *Автомеханик*, №8, с. 20-26, 1998.

[123] Е. П. Куприн, «Четырнадцатидюймовый лидер», *Автомобильный транспорт*, № 3, с. 38, 1998.

[124] В. И. Кнороз, Е. В. Кленников, И. П. Петров, и др., *Работа автомобильной шины*. М., СССР: Транспорт, 1976.

[125] А. Н. Запорожцев, и Е. В. Кленников, *Износ шин и работа автомобиля*. М., СССР: НИИНАвтопром, 1971.

[126] В. А. Илларионов, *Стабилизация управляемых колес автомобиля*. – М., СССР: Транспорт, 1966.

[127] Н. Я. Говорущенко, *Диагностика технического состояния автомобилей*. М., СССР: Транспорт, 1970.

[128] Н. Я. Говорущенко, В. П. Волков, и И. К. Шаша, *Обеспечение безопасности движения на автомобильном транспорте*. Харьков, Украина: Изд-во ХНАДУ, 2007.

[129] А. Юрченко, «Научные основы диагностирования технического состояния ходовой части автомобилей». дис. ... доктора техн. наук., фак-т інформ., Харьков, 1996.

[130] В. Л. Бидерман, Ю. С. Левин, Л. Д. Слюдиков, и Л. А. Упорина, *Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин*. М., СССР: ЦНИИТЭнефтехим, 1970.

[131] В. Н. Тарновский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков, *Как увеличить пробег шин. Советы автолюбителям*. – М., Россия: Транспорт, 1993.

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

[133] К. Бакфиш, и Д. Хайнц, *Новая книга о шинах*. М., Россия: ООО «Изд-во Астрель», 2003.

[134] В. А. Щегорцов, В. А. Щарбин, Н. П. Новиков, и др., «Методические рекомендации по определению восстановленных шин», *АЗС: эксплуатация, экономика и учет*, №2 (26), с. 99-101, 2002.

[135] В. А. Макаров, и В. В. Нужный, «Несовершенства эластичных пневматических шин дорожных транспортных средств», *Удосконалення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і дорожніх машин: зб. наук. праць*, с. 95-96, 1998.

[136] *Основные виды разрушения автомобильных шин*. М., СССР: ЦНИИТЭнефтехим, 1988.

[137] Ю. П. Баранов, А. П. Болдин, Власов В.М., и др., *Техническая эксплуатация автомобилей*. М., СССР: Транспорт, 1983.

[138] В. Е. Канарчук, А. А. Лудченко, И. П. Курников, и И. А. Луйк, *Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. Кн. 1: Теоретические основы. Технология*. К., Украина: Выща шк., 1991.

[139] Н. Heider, *Kraftfahrzeuglenkung*. Berlin, Deutschland: VEB Verlag Technik, 1970.

[140] З. Д. Дерех, В. Ф. Душник, Ю. Е. Заворицкий, и др., *Комментарии к Правилам дорожного движения Украины*. К., Украина: Издательство «Радуга», 2002.

[141] А. В. Костенко, «К вопросу о влиянии жесткостной неоднородности асимметричных шин на курсовую устойчивость автомобиля», *Системні методи керування, технології та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: зб. наук. пр.*, Вип. 15, с. 116-118, 2002.

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

[143] 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.

[144] X. 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.

[145] G. Hamel, «Die Lagrange-Euleschem Gleichungen der Mechanic», *Z. angew. Math. and Phys*, №2, s. 1-57, 1904.

[146] Ulrich Günther, «Im Auto wächst die Zahl der «Netzteilnehmer»», *VDI Nachrichten*, №47, pp. 14-18, 2001.

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

[148] A. Lüders, O. Hofmann, H. Brinkmann. «Beitrag zum Problem der Laufunruhe von Fahrzeugrädern», *ATZ 73*, №1, S. 1-8, 1996.

[149]. Райн Тимоти, Томсон Рональд, Крон Стивен, и Демино Кеннет, *Непневматическая шина*. 2004.

[150] 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 контакті нелінійний стабілізуючий момент», *Автошляховик України*, № 13, с. 84-86, 2010.

[151] 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.

[152] В. М. Поляков, О. М. Тімков, та Д. Ю. Приходченко, «Визначення бічних сил, що діють на колеса автопоїзда, з урахуванням конструктивних та експлуатаційних факторів», *Вісник НТУ*. №13, с. 41-48, 2006.

[153] В. Г. Вербицкий, В. А. Макаров, и Р. А. Кулиев, «О подходе к определению параметров увода шин при стационарном движении легкового автомобиля по окружности», *Вісник ДонНАБА*, с. 106-111, 2007.

[154] В. Г. Вербицкий, В. А. Макаров, та А. В. Костенко, «До питання про вплив розташування шин із жорсткісною неоднорідністю на курсову стійкість руху легкового автомобіля», *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*, №2, с. 7-15, 2007.

[155] 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.

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

[157] M. Mitschke, «Zur Kurshaltung von Personenkraftwagen», *ATZ*, №9, s. 330-334, 1973.

[158] В. П. Сахно, В. Г. Вербицький, О. А. Веремчук, та ін., «До визначення умов безпечної втрати стійкості прямолінійного руху автомобіля з керованим колісним модулем», *Вісник Північного наукового центру Транспортної академії України*, №5, с. 76-78, 2000.

[159] Е. П. Куприн, Ред., «Каждому мосту – по соответствующей шине», *Автомобильный транспорт*, №3, с. 43, 1998.

[160] «Новая Opel Vectra будет напичкана электроникой», *АВТОВОСТОК*, №47, с. 10, 2001.

[161] О. Растегаев, «Bridgestone: новые технологии», *Авторевю*, №19, с. 29, 1997.

[162] J. Sommer, und S. Köhne, «Messung der mechanischen und physischen Zusammenhänge in der Bodenaufstandfläche vor Reifen», *ATZ 102*, №4, s. 258-264, 2000.

[163] Rudolf Schulze, Chefredakteur Dipl.-Ing., «Im Spieoland lockt das Batmöbel», *VDI nachrichten*. №44, s. 33, 2001.

[164] В. А. Макаров, «Забезпечення курсової стійкості руху легкового автомобіля шляхом регулювання кута розвалу керованих коліс», *Вісник Північного наукового центру ТАСУ*, Вип. 6, с. 121-124, 2003.

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

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

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

[168] В. П. Сахно, та А. В. Костенко, «Вибір факторів при плануванні експерименту для дослідження курсової стійкості руху»,

Управління проектами, системний аналіз і логістика, №3, с. 137-140, 2006.

[169] А. Н. Познизовкин, Ю. М. Власко, М. Б. Ляликов, и др., *Краткий автомобильный справочник*. М., Россия: АО «Трансконсалтинг», 1994.

[170] А. В. Гарачук., и В. Н. Дугельный, «Изменение жесткостных характеристик эксплуатируемых шин», *Автомобильный транспорт*, Вып. 4, с. 40-42, 2000.

[171] Gauß F. Über Seitenführungskraft von Personenwagen. *Deutsche Kraftfahrzeugforschung*. 1959. № 133. pp. 28 – 33.

[172] В. А. Макаров, О. В. Петров, та А. В. Костенко, «Математична модель автомобіля з керуючим колісним модулем та її застосування для оцінки впливу жорсткісної неоднорідності шин на стійкість руху», *Вісник Північного наукового центру ТАУ*, №6, с. 150-152, 2003.

[173] В. А. Макаров, О. В. Петров, та А. В. Костенко, «До питання покращення стійкості руху автомобіля зі зношеним протектором шин за рахунок корегування в них внутрішнього тиску повітря», *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*. №1, с. 15-22, 2006.

[174] Й. Раймпель, *Шасси автомобиля: амортизаторы, шины и колеса*. М., СССР: Машиностроение, 1986.

[175] А. И. Путьк, и П. Л. Сюрье, «Исследование контактных параметров пневматических шин с твердой опорной поверхностью», *Автомобильные дороги. Автомобильный транспорт*, №351, с. 71-79, 1973.

[176] В. Н. Михлин, *Управление надежностью сельскохозяйственной техники*. М., СССР: Колос, 1984.

[177] H. Martin, «Druckverteilung in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn», *ATZ* 28. № 9, s. 230-236, 1936.

[178] В. А. Макаров, «О прогнозировании долговечности шин», *Автомобильный транспорт*, с. 29-32, 1998.

[179] «Un service parmi les plus importants...l'entretien des pneus!», *L'Automobile*, №4, s. 12-31, 1971.

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

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

**Володимир Андрійович Макаров
Тамара Володимирівна Макарова
Дмитро Вікторович Борисюк
Олександр Володимирович Вдовиченко**

**ПОЛПШЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ РУХУ
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ ЗА ПІДТРИМКИ
ЕЛАСТИЧНИХ РУШІВ**

Монографія

Видається в авторській редакції

Оригінал-макет підготовлено М. Машницьким

Підписано до друку 09.08.2022 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам № P2022-065.

Вінницький національний технічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
Email: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.