ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н. Клеца Дмитра Михайловича
на дисертаційну роботу Разбойнікова Олександра Олександровича
на тему «Поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі
по нерівній дорозі», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.22.02 - автомобілі та трактори

Актуальність теми дисертації.

Курсова стійкість – здатність автомобіля, керованого водієм, зберігати заданий напрямок прямолінійного руху при дії на нього зовнішніх сил. Стійкість є важливою експлуатаційною властивістю транспортного засобу. Ймовірним і небезпечним є порушення поперечної стійкості, що виникає внаслідок дії бічних сил (відцентрової сили, поперечної складової сили тяжіння, бічного вітру, ударів об нерівності дороги тощо).

Питанням дослідження і поліпшення стійкості руху в період експлуатації автомобілів присвячено значну кількість наукових робіт.

Втрата курсової стійкості найбільш імовірна на ділянках дороги з нерівним покриттям і низьким коефіцієнтом зчеплення. При русі по нерівній дорозі коефіцієнт зчеплення раптово може зменшитися, що призводить до буксування коліс, а буксування, в свою чергу, тягне за собою зменшення зчеплення. Крім того, при русі автомобіля з великою швидкістю наїзд колеса на нерівність, практично наявної на будь-якій ділянці, призводить до зміни вертикальних реакцій дороги, а в деяких випадках і до відриву колеса від опорної поверхні і його повороту, що також може привести до зміни траєкторії руху автомобіля. Втрата стійкості може бути викликана також поворотом керованих коліс, поривом бічного вітру, дисбалансом коліс і іншими причинами.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Разбойникова О.О., яка присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі з поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано відповідно до НДР «Поліпшення експлуатаційних властивостей автопоїздів та автомобілів з різними енергетичними

КАНЦЕЛЯРІЯ НТУ
Вх. № 01/159
«15» 02 2021 р.

установками», № держреєстрації 0114U000119 (2016 р.); «Поліпшення експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів з комбінованими енергетичними установками», № держреєстрації 0117U000125 (2017–2019 рр.); «Поліпшення експлуатаційних властивостей метробусів та оцінка придатності дорожнього одягу для їх руху», № держреєстрації 0119U101798 (2019–2020 рр.), що виконувались співробітниками кафедри автомобілів Національного транспортного університету.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій.

Сформульовані в роботі наукові положення та рекомендації в достатній мірі обґрунтовані і підтверджуються отриманими результатами теоретичних та експериментальних досліджень. Обґрунтованість та достовірність результатів дослідження підтверджена коректним використанням сучасних методів імітаційного моделювання. Результати імітаційного моделювання підтверджено експериментальними дослідженнями, які проводились на фізичній моделі автомобіля з пасивною та активною підвісками.

Основні положення, що визначають наукову новизну дисертаційної роботи.

Основні наукові результати, висунуті на захист, полягають у вирішенні науково-практичного завдання щодо поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі шляхом керування робочими процесами його активної підвіски. Одержані здобувачем основні положення мають всі ознаки наукової новизни, найбільш вагомими з яких є:

- вперше виявлено вплив вертикальних коливань центрів керованих коліс автомобіля на моменти сил, що діють відносно осей їх повороту, які впливають на курсову стійкість автомобіля при русі по нерівній дорозі;

- удосконалено залежності моментів сил відносно осей повороту керованих коліс автомобіля, які відрізняються від раніше відомих тим, що враховано поточні значення реакцій нерівної дороги на шини, поточний кут атаки дорожньої нерівності, зміну кутової орієнтації несучої системи автомобіля і геометричних параметрів напрямного пристрою його підвіски, що впливають на показники курсової стійкості автомобіля;

- отримала подальший розвиток методика визначення тангенційних реакцій опорної поверхні на колеса автомобіля, що враховує коефіцієнти окружної жорсткості шин, зміну їх радіусів кочення, а також поточні значення коефіцієнтів повздовжнього зчеплення шин з дорогою і нормальних реакцій опорної поверхні на колеса автомобіля та їх вплив на показники курсової стійкості автомобіля при русі по нерівній дорозі.

Значення отриманих результатів для теорії і практики.

Основні результати дисертаційної роботи можуть бути використані для модернізації існуючих та створення нових автомобілів, у тому числі з активною підвіскою. Проведені дослідження дозволили:

- розробити розрахункову схему та математичну модель автомобіля, що дає можливість враховувати при його проектуванні особливості конструкції та робочі процеси в системі рульового керування і підвісці, а також особливості взаємодії еластичних шин з нерівною опорною поверхнею при визначені показників курсової стійкості автомобіля;

- сформулювати вимоги та розробити алгоритм роботи активної підвіски, критерієм якості якої обрано мінімальне відхилення керованих коліс від заданого положення;

- розробити та створити конструкцію виконавчого пристрою активної підвіски фізичної моделі автомобіля, яка базується на технічному рішенні, що захищено патентом на корисну модель №118498.

Результати досліджень прийняті до впровадження Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ), автоцентром «Атлант-М Київ» – офіційного дилеру Volkswagen AG в Києві та Київській області (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців за освітньою програмою «Автомобільні транспортні засоби».

Повнота викладення наукових положень та отриманих результатів в опублікованих працях.

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 30 наукових працях, в тому числі 7 статей у фахових виданнях МОН України, 2 статті - у закордонному виданні, 1 патент на корисну модель, а також в 20 тезах доповідей на всеукраїнських і міжнародних конференціях.

Основні положення дисертації були представлені та отримали позитивну оцінку на 17-ти міжнародних та 9-ти всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота викладена на 214 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 123 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 41 рисунком та 6 таблицями. Список використаних джерел містить 155 найменувань.

Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. Всі основні положення та висновки, що містяться в дисертації, відображені в авторефераті. Дисертація і автореферат оформлені відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення, інформація про апробацію та публікацію основних положень дисертації.

У **першому розділі** на основі огляду джерел інформації проведено аналіз досліджень курсової стійкості автомобіля при русі по нерівній дорозі. Визначено поняття терміну «курсова стійкість автомобіля» та критерії її оцінювання при прямолінійному русі. Показано, що у випадку, якщо час руху автомобіля в межах коридору безпеки перевищує 5 с після початку дії збурення – його курсова стійкість задовільна, інакше – незадовільна. Значення курсового кута автомобіля та поперечного відхилення його центру мас через 1,5 с після початку дії збурення прийняті за додаткові критерії оцінювання курсової стійкості автомобіля. Визначено пріоритетний шлях поліпшення курсової стійкості автомобіля при русі по нерівній дорозі, який передбачає керування робочими процесами його активної підвіски.

На основі проведеного аналізу інформаційних джерел сформульована мета дисертаційної роботи – поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі шляхом керування робочими процесами його активної підвіски, а також сформовані основні завдання дослідження.

У **другому розділі** розроблено розрахункову схему та математичну модель руху автомобіля по нерівній дорозі. Для визначення координат

характерних точок автомобіля та моменту їх виходу за межі коридору безпеки введено нерухому та рухомі системи координат. В роботі прийнято, що деформація несучої системи автомобілі та шарнірів підвісок відсутня, опір повітря не враховується.

При теоретичному дослідженні виявлено вплив вертикальних коливань центрів керованих коліс на моменти сил, що діють відносно осей їх повороту. Це пояснюється тим, що вертикальна складова сили інерції керованого колеса (внаслідок вертикального прискорення його маси) діє на плечі відносно осі його повороту.

Заслуговує на увагу те, що враховано гіроскопічний момент та момент сил сухого тертя, що діє в рульовому керуванні. В описі роботи підвіски враховано поточне положення її пружних і демпферних пристроїв, а також зміну геометричних параметрів напрямного пристрою.

У **третьому розділі** проведено теоретичне дослідження курсової стійкості автомобіля з активною підвіскою, що рухається по нерівній дорозі. У відповідності з отриманими теоретичними відомостями сформульовано вимоги та розроблено алгоритм роботи активної підвіски, критерієм якості якої обрано мінімальне відхилення керованих коліс від заданого положення.

Бажані значення нормальної і тангенційної реакцій дороги на ліве кероване колесо в характерних точках долання дорожньої нерівності визначаються з рівнянь моментів від дії нормальних і тангенційних реакцій опорної поверхні, а також моментів від дії вертикальних сил інерції на керовані колеса автомобіля. Важливо, що при цьому для колеса, яке долає дорожню нерівність, враховується її поточний кут атаки та відповідний (нормальній реакції) динамічний радіус колеса. Значення інших параметрів прирівнюються до статичних (праве кероване колесо рухається по рівній опорній поверхні).

У **четвертому розділі** для підтвердження адекватності математичної моделі та обґрунтування результатів теоретичних досліджень розглянуто експериментальне дослідження курсової стійкості автомобіля з пасивною та активною підвісками при русі по нерівній дорозі. Об'єктом експериментальних досліджень обрано фізичну модель автомобіля. Слід звернути увагу на те, що для цього об'єкту експериментальних досліджень розроблено конструкцію

виконавчого пристрою активної підвіски, що захищено патентом на корисну модель.

Експериментальні дослідження моделі автомобіля проведено з пасивною та активною підвісками при русі по нерівній дорозі проведено на спеціально створеній трасі. Розроблений оригінальний комплекс контрольно-вимірювального обладнання та створена траса для проведення експериментальних досліджень дозволили визначити параметри руху автомобіля при русі по нерівній дорозі та провести порівняльний аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Важливо, що розроблена методика порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень дозволила виявити вплив вертикальних коливань центрів керованих коліс автомобіля на моменти сил, що діють відносно осей їх повороту.

Висновки результатів дисертаційного дослідження сформульовані логічно і послідовно, відповідають структурі дослідження, містять основні результати дисертаційних досліджень, викладені достатньо повно та відображають реалізацію поставлених завдань.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Методологія дисертації сучасна: використані математичні методи, імітаційне моделювання, експериментальна перевірка основних положень, оцінювання теоретичних та експериментальних результатів. Робота написана чіткою технічною мовою.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації та автореферату.

Оцінюючи зміст представленої до захисту дисертаційної роботи Разбойнікова Олександра Олександровича, обґрунтованість її висновків та рекомендацій є необхідність звернути увагу на дискусійні, з мого погляду, наукові положення дисертаційної роботи, які можуть стати предметом обговорення під час захисту, а саме:

1. Бажано б було більш детально висвітлити інформацію щодо особливостей систем керування активними підвісками легкових автомобілів (розділ 1).

2. В роботі бічна реакція опорної поверхні на колесо автомобіля визначається на основі нелінійної теорії відведення, запропонованою Д. А. Антоновим. Для чого в рівнянні (2.32) використано питомий коефіцієнт

впливу кута нахилу площини обертання колеса до вертикалі на відведення шини K_γ, а коефіцієнт корекції, що враховує зміну кута нахилу площини обертання колеса (визначається за згаданою теорією) прирівнюється до одиниці (q_γ=1) (стор. 82) ?

3. Для чого враховувати кути повороту та відведення окремо для лівого та правого коліс автомобіля, якщо за результатами розрахунку значення кутів відведення коліс автомобіля та їх повороту не досягають 1 град (стор. 103) ?

4. Не достатньо обґрунтовано припущення в математичному описі щодо відсутності деформації в шарнірах підвіски автомобіля (стор. 64).

5. Незрозуміло, чому момент «$t_{ВКЗ}$» проходження фізичної моделі автомобіля під відеокамерою ВКЗ на графічних залежностях (рис. 4.9, а) не співпадає з наведеним на (рис. 4.9, б) ?

6. За результатами теоретичного дослідження взаємодії коліс автомобіля з нерівною опорною поверхнею дороги (п. 2.2.1) визначено, що «найбільш суттєвий внесок в зміну курсового кута автомобіля та його траєкторію чинить зміна кутів повороту його керованих коліс», що є очевидним фактом (стор. 103).

7. У роботі зустрічаються вирази, що потребують уточнення, наприклад «…коліс автомобіля, що рухається на *середніх швидкостях*» (висновок 3 до розділу 1), «…сумарні сили підвіски правого колеса *дещо зменшуються*» (стор. 111) тощо.

Наведені зауваження по роботі в цілому носять рекомендаційний характер щодо доцільності проведення в майбутньому додаткових досліджень за напрямом, що розглядається, і не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та результати дослідження, які апробовані та впроваджені.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Разбойнікова Олександра Олександровича на тему «Поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі» є самостійно виконаною, завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують конкретну науково-прикладну задачу підвищення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі з урахуванням впливу

вертикальних коливань центрів керованих коліс автомобіля на моменти сил, що діють відносно осей їх повороту.

Дисертація Разбойнікова О.О. за змістом, актуальністю, науковим рівнем, якістю теоретичних, експериментально-дослідницьких та методичних розробок відповідає рівню дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук. Вибрану тему дисертаційної роботи необхідним чином розкрито; поставлену мету досягнуто; завдання дисертаційної роботи виконано. Тема дисертації відповідає спеціальності 05.22.02 – автомобілі та трактори. Автореферат дисертації розкриває основні її положення та висновки, є ідентичним дисертації за структурою і змістом та не містить інформації, що є відсутньою у дисертаційній роботі.

Дисертація за своїм змістом відповідає п.п.9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор Разбойніков Олександр Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори.

Офіційний опонент
провідний науковий співробітник кафедри
комп'ютерних технологій і мехатроніки
Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету,
доктор технічних наук, професор Д.М. Клец

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
№ 02070168

Підпис Клеца Д.М.
засвідчую
Секретар Приходько П.К.