

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КРАВЧУК ПАВЛО МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 629.113

**РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС СЕРТИФІКАЦІЇ**

Спеціальність 05.22.02 – ”Автомобілі та трактори”

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Автомобілі" Національного транспортного університету (НТУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Грищук Олександр Казимирович,
Національний транспортний університет,
проректор з навчальної роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шуклінов Сергій Миколайович,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
професор кафедри "Автомобілі";

кандидат технічних наук, доцент
Сосик Андрій Юрійович,
Запорізький національний
технічний університет,
доцент кафедри "Автомобілі".

Захист відбудеться **"16" грудня** 2015 р., о 10⁰⁰ годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42.

Автореферат розісланий "14" листопада 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день з'являються розповсюджені модифікації і комплектації колісних транспортних засобів (КТЗ), створених на основі базових моделей. Відповідно до чинного законодавства, кожна нова модифікація або комплектація повинна пройти сертифікацію, у тому числі за гальмівними властивостями, зокрема для вантажних автомобілів з пневматичною гальмівною системою, що вимагає проведення відповідних випробувань, досить складних і дорогих. У зв'язку з цим виникає питання: чи завжди потрібно проводити ці випробування, чи можна визначити розрахунковим шляхом досить точно необхідні для сертифікації показники гальмівної ефективності КТЗ?

У Правилах ЕЭК ООН № 13-09:2000, IDT зазначено, «...якщо представлений КТЗ належить до типу, що вже пройшов відповідні випробування і не існує стосовно нього істотних відмінностей у певних характеристиках (категорія КТЗ, його максимальна маса, розподіл її між осями, максимальна конструктивна швидкість, гальмівна система, число й розташування осей, тип двигуна, число передач і їхні передаточні числа, передаточне число ведучого моста, розмір шин), то результати випробувань базового КТЗ зможуть бути поширені на модифікацію або комплектацію». Проте, дане формулювання не зовсім точне: у ньому немає кількісного визначення поняття «істотні відмінності». Тому скористатися ним на практиці неможливо.

Вихід полягає у проведенні розрахунково-експериментального аналізу показників гальмівної ефективності модифікації або комплектації КТЗ для її сертифікації. При цьому можна припустити, що істотні відмінності настають тоді, коли розрахункові показники перебувають на межі нормованих значень.

Тому для модифікації і комплектації КТЗ доцільно розробити розрахункові моделі, які могли б оцінити величину відмінностей, що виникають у показниках гальмівної ефективності від базової моделі з пневматичною гальмівною системою, і не проводити щораз весь комплекс випробувань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в межах науково-дослідних робіт кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету: держбюджетної теми «Поліпшення показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів і автопоїздів» (№ держреєстрації 0108U001424) та держбюджетної теми «Підвищення продуктивності, економічності та безпеки автомобілів та автопоїздів» (№ держреєстрації 0110U008227).

Метою роботи є розрахункове визначення гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою під час їх сертифікації на основі розрахунково-експериментального аналізу процесу гальмування.

Для досягнення зазначеної мети в роботі вирішувалися **такі задачі:**

1. Вибір та обґрунтування основних показників для оцінки гальмівної ефективності КТЗ.

2. Розробка математичної моделі процесу гальмування КТЗ і на її основі проведено дослідження щодо визначення ступеня впливу конструктивних і експлуатаційних параметрів на оціночні показники ефективності гальмування й критерії оцінки стійкості КТЗ при гальмуванні.

3. Розробка алгоритму і програми, що реалізують на персональному комп'ютері (ПК) математичну модель процесу гальмування КТЗ.

4. Проведення експериментальних досліджень для одержання динамічних характеристик гальмівних приводів КТЗ. Перевірено адекватність математичної моделі процесу гальмування КТЗ і правомірність прийнятих умов і допущень.

5. Розробка експериментально-розрахункової методики визначення показників гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ для сертифікації.

6. Визначення межі зміни технічних і експлуатаційних параметрів базової моделі КТЗ, що допускають використання результатів її гальмівних випробувань для сертифікації модифікацій і комплектацій.

Об'єктом досліджень є гальмівна ефективність КТЗ.

Предметом досліджень є вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на гальмівну ефективність КТЗ.

Методи досліджень передбачали математичне моделювання гальмівної ефективності КТЗ, багатоваріантні розрахунки на персональному комп'ютері показників гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою та перевірку адекватності розробленої математичної моделі шляхом проведення експериментальних досліджень КТЗ.

Наукову новизну отриманих результатів складають:

- обґрунтування розрахунково-експериментального методу визначення гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ, яка враховує особливості конструкції КТЗ, дорожні фактори та режим їх експлуатації;

- кількісна оцінка ступеня впливу експлуатаційних і конструктивних параметрів на гальмівну ефективність модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ під час їх сертифікації;

- діапазони можливих варіацій технічних параметрів КТЗ, за яких оціночні показники ефективності гальмівної системи відповідають нормативним значенням.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблена методика оцінювання гальмівної ефективності КТЗ дозволяє оцінити ефективність гальмування базової моделі КТЗ, її модифікацій і комплектацій з використанням робочої, запасної, стоянкової і допоміжної гальмівних систем, розподіл гальмових сил між осями транспортних засобів, а також стійкість КТЗ при гальмуванні.

Методика і програми розрахунку показників ефективності гальмування базової моделі КТЗ, її модифікацій і комплектацій можуть бути використані для сертифікації, а також при розробці нормативної документації та висновків

науково-технічної експертизи щодо узгодження переобладнання КТЗ шляхом внесення конструкційних змін у зазначені транспортні засоби.

Результати основних наукових досліджень у вигляді методики і програми розрахунку визначення показників ефективності гальмування КТЗ для сертифікації, що реалізуються на персональному комп'ютері, застосовуються у виробничій діяльності на підприємстві ДП «Випробувально-технічний центр ДТЗ» та у відділі погодження проектів конструкцій транспортних засобів «Центру безпеки дорожнього руху та автоматизованих систем при МВС» при розробці нормативної документації та висновків науково-технічної експертизи щодо узгодження переобладнання КТЗ шляхом внесення конструкційних змін у зазначені транспортні засоби.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно і опубліковані у 20 наукових працях. Робота [3] написана одноосібно. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належать: [2, 17] – досліджено можливості розрахункового визначення показників гальмівних властивостей автотransпортних засобів з метою їх сертифікації, [4] – аналіз перспектив розвитку гальмівних систем колісних транспортних засобів, [1, 15] - розробка математичної моделі руху автопоїзда в режимі гальмування, [5, 16, 18] - розглянуто стійкість руху автопоїзда в режимі гальмування, [6, 7, 8, 9, 10] - визначено ефективність робочої (двигун від'єднаний та з'єднаний трансмісією), запасної (аварійної), стоянкової та додаткової гальмівних систем дорожнього транспортного засобу, [11] - розроблена методика розрахунку показників гальмівних властивостей дорожніх транспортних засобів для сертифікації, [12] – проаналізовано сертифікацію гальмівних властивостей і її задачі, [13] – розглянуто нормування гальмівних властивостей КТЗ в Україні, [14] – розроблено методику розрахунку показників гальмівних властивостей дорожніх транспортних засобів для сертифікації.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідались і обговорювались на LXIV науково-практичній конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету (м. Київ, НТУ 2008 р.) [19] та на 13 Міжнародній науково-практичній конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладної проблеми логістики» (м. Київ, Міністерство транспорту та зв'язку України 2011 р.) [20].

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 робіт, в тому числі 13 у фахових виданнях України, 1 – у іноземному виданні 2 – у матеріалах апробаційного характеру, отримано 4 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір. Одну роботу виконано без співавторів.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 108 найменувань. Повний обсяг дисертації становить 185 сторінок, з них 172 сторінки основного тексту, 33 рисунки на 29 сторінках, 11 таблиць на 13 сторінках, список використаних джерел на 11 сторінках.

Основний зміст

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, надані відомості про апробацію та публікацію основних положень роботи.

У першому розділі виконано аналіз стану теоретичних і експериментальних досліджень динаміки гальмування КТЗ. Проведено аналітичний огляд наукових праць, присвячених дослідженням динаміки гальмування КТЗ, зокрема робіт Д.А. Антонова, А.О. Арутюнянца, Ю.Б. Беленького, Л.Л. Борисова, А.С. Брикова, Н.А. Бухаріна, Б.Б. Генбома, А.Б. Гредескула, Л.В. Гуревича, Я.Х. Закіна, В.А. Іларіонова, Н.К. Клепика, Л.К. Климова, В.С. Колеснікова, Г.М. Косолапова, Н.Ф. Метлюка, Я.Н. Нефедьева, Е.В. Осепчугова, Я.М. Певзнера, М.А. Петрова, І.К. Пчеліна, А.А. Ревіна, В.Г. Розанова, Я.Е. Фаробіна, А.К. Фрумкіна, М.М. Щукіна, О. Bode, J.R. Ellis, E. Heuker, R.H. Madison, M. Scholz, A. Slibar, R. Troitzsch і багатьох інших вітчизняних і зарубіжних дослідників.

Проведений аналітичний огляд і аналіз наукових праць та нормативних документів, що регламентують гальмівні властивості КТЗ, доводить, що останнім часом процес оцінювання якості КТЗ зводиться до затвердження результатів сертифікаційних випробувань. Аналіз досліджень методів оцінювання гальмівних властивостей КТЗ свідчить про те, що перспективним напрямом оцінювання гальмівних властивостей КТЗ може бути експериментально-аналітичний метод (змішаний метод розрахунку з використанням спрощених експериментальних досліджень та теорії експлуатаційних властивостей КТЗ). Проте, у міжнародних нормативних документах, котрі регламентують гальмівні властивості КТЗ, містяться не зовсім точні та об'єктивні формулювання деяких положень, що стримує їх використання на практиці.

На основі аналізу літературних джерел визначені мета і задачі дослідження.

У другому розділі розроблена математична модель процесу гальмування КТЗ.

В основу математичної моделі робочого процесу гальмування КТЗ покладена динамічна характеристика гальмівної системи. Отримана експериментально така характеристика слугує вихідним матеріалом розрахункового методу оцінки гальмівних властивостей КТЗ.

Динамічною характеристикою гальмівної системи називається графік залежностей тиску в гальмівних камерах мостів автомобіля від часу $p_i = f(t)$, який може бути перебудований в гальмівну діаграму. У багатьох нормативних документах і підручниках наводяться гальмівна діаграма автомобіля, на якій відображається три етапи гальмування: τ_{zi} – тривалість запізнювання; τ_{ni} – тривалість наростання сповільнення; $\tau_{усті}$ – тривалість усталеного гальмування мостів автомобіля.

За допомогою розробленої математичної моделі показано, що розходження в тривалостях запізнювання τ_{zi} і наростання τ_{ni} , а також питомих гальмівних сил $\gamma_{zi\max}$ (при усталеному сповільненні) i -го моста КТЗ ускладнює гальмівну діаграму. Внаслідок цього на гальмівна діаграма одиночного автомобіля відображає п'ять етапів гальмування, сідельного автопоїзда – сім етапів гальмування, причіпного автопоїзда – дев'ять етапів гальмування. При цьому розрахунок показників ефективності гальмування стає значно більше точним.

На рисунку 1 приведена апроксимована гальмівна діаграма автомобіля КамАЗ-53205.

Диференціальне рівняння руху КТЗ при гальмуванні (двигун від'єднаний від трансмісії) має наступний вигляд:

- для одиночного автомобіля

$$\frac{dV}{dt} = -g \cdot \gamma_{z1} - g \cdot \gamma_{z2} = -g \cdot (\gamma_{z1} + \gamma_{z2}) = -g \cdot \gamma_z; \quad (1)$$

- для сідельного автопоїзда

$$\frac{dV}{dt} = -g \cdot \gamma_{z1} - g \cdot \gamma_{z2} - g \cdot \gamma_{z\Pi} = -g \cdot (\gamma_{z1} + \gamma_{z2} + \gamma_{z\Pi}) = -g \cdot \gamma_{zAP}; \quad (2)$$

- для причіпного автопоїзда

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -g \cdot \gamma_{z1} - g \cdot \gamma_{z2} - g \cdot \gamma_{z3} - g \cdot \gamma_{z4} = -g \cdot (\gamma_{z1} + \gamma_{z2} + \gamma_{z3} + \gamma_{z4}) = \\ &= -g \cdot \gamma_{zAP}, \end{aligned} \quad (3)$$

де γ_{z1} , γ_{z2} , $\gamma_{z\Pi}$, γ_{z3} , γ_{z4} – питомі гальмівні сили відповідно переднього моста автомобіля, візка автомобіля, візка напівпричепа, переднього і заднього мостів причепа;

γ_z – питома гальмівна сила КТЗ.

Диференціальне рівняння руху КТЗ при гальмуванні (двигун з'єднаний з трансмісією) має наступний вигляд:

- для одиночного автомобіля

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{g \cdot \gamma_{z1}}{\delta_{обр.г}} - \frac{g \cdot \gamma_{z2}}{\delta_{обр.г}} - \frac{g \cdot \gamma_{z2.\partial в}}{\delta_{обр.г}}; \quad (4)$$

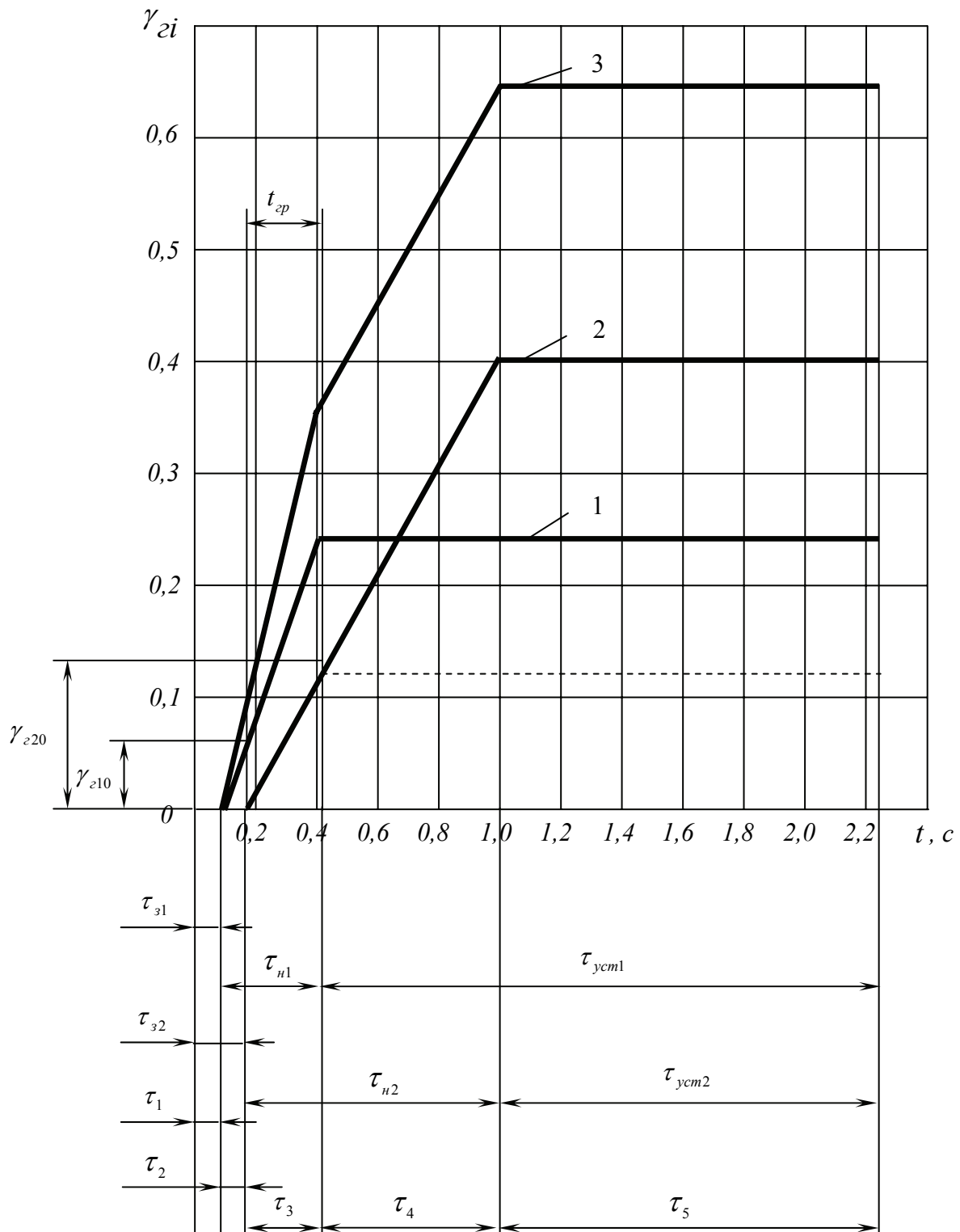


Рисунок 1 – Апроксимована гальмівна діаграма автомобіля КамАЗ-53205: 1 – 3 – питомі гальмівні сили відповідно переднього та заднього мостів, автомобіля.

- для сидельного автопоїзда

$$\frac{dV}{dt} = -g \cdot \frac{\gamma_{z1}}{\delta_{обр.г}} - g \cdot \frac{\gamma_{z2}}{\delta_{обр.г}} - g \cdot \frac{\gamma_{z2\partial в}}{\delta_{обр.г}} - g \cdot \frac{\gamma_{z\Pi}}{\delta_{обр.г}}; \quad (5)$$

- для причіпного автопоїзда

$$\frac{dV}{dt} = -g \cdot \frac{\gamma_{21}}{\delta_{обр.2}} - g \cdot \frac{\gamma_{22}}{\delta_{обр.2}} - g \cdot \frac{\gamma_{22.дв}}{\delta_{обр.2}} - g \cdot \frac{\gamma_{23}}{\delta_{обр.2}} - g \cdot \frac{\gamma_{24}}{\delta_{обр.2}}, \quad (6)$$

де $\gamma_{22.дв}$ – питома гальмівна сила двигуна КТЗ;

$\delta_{обр.2}$ – коефіцієнт обліку мас, що оберталися, при гальмуванні.

Інтегруванням диференціального рівняння руху КТЗ при гальмуванні (1-6), визначається швидкість в кінці кожного етапу, а потім, враховуючи, що $V = \frac{dS}{dt}$ повторним інтегруванням визначається гальмівний шлях на кожному етапі.

Повний гальмівний шлях S_2 екстреного гальмування КТЗ рівний сумі гальмівних шляхів, що визначаються на кожному етапі гальмівної діаграми. При цьому гальмівний шлях S_2 і усталене сповільнення $j_{уст}$, отримані розрахунком, порівнюються з нормованими значеннями для даної категорії КТЗ. При $S_2 \leq [S_2]$ і $j_{уст} \geq [j_{уст}]$ КТЗ володіє необхідною ефективністю гальмування.

Проте, при гальмуванні КТЗ відбувається перерозподіл вертикальних навантажень на його мости і гальмівна діаграма, рис. 1, може змінитися при варіації конструктивних і експлуатаційних параметрів за рахунок обмеження питомих гальмівних сил. Необхідно також відмітити можливість блокування коліс КТЗ, що визначена спеціальною методикою, розробленою в дисертаційній роботі.

З урахуванням наведених обмежень у дисертаційній роботі розроблена методика експериментально-розрахункового визначення показників ефективності гальмування КТЗ для сертифікації, яка представлена у вигляді програми для персонального комп'ютера. Крім того, отримані формули для визначення показників ефективності робочої, запасної (аварійної), стоянкової та додаткової гальмівних систем відповідно методик їх випробувань по ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002.

У третьому розділі викладені результати теоретичних досліджень автомобіля, зокрема визначені:

- ефективність гальмування КТЗ з використанням робочої (двигун від'єднаний від трансмісії та з'єднаний з нею: випробування типу 0, типу I, типу II), запасної (аварійної) (при відмові кожного контура робочої гальмівної системи; при відмові привода регулятора гальмівних сил), стоянкової (загальмовування КТЗ при розташуванні його на ухилі, як для руху униз, так і нагору);

- показники стійкості КТЗ при гальмуванні робочою гальмівною системою (втрата стійкості при гальмуванні може відбуватися відмінністю в процесі роботи гальмівних механізмів коліс однієї осі – нерівномірність гальмівних сил однієї осі);

- розподіл гальмівних сил між осями КТЗ.

При цьому використано метод динамічного випробування КТЗ робочою гальмівною системою з двигуном, від'єднаним від трансмісії, і додатковою гальмівною системою (спуск загальмованого КТЗ по ділянці дороги, що має поздовжній ухил); буксирування по горизонтальній ділянці дороги загальмованого КТЗ спеціальним автомобілем-тягачем; часткове гальмування КТЗ його додатковою гальмівною системою на горизонтальній ділянці дороги із заданою початковою швидкістю гальмівних систем.

Модифікація і комплектація КТЗ обумовлена зміною бази автомобіля, вантажопідйомністю, розподілом мас по осям, типом двигуна і трансмісії, тощо. Розглянуто вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів на оціночні показники ефективності гальмування й критерії оцінки стійкості КТЗ при гальмуванні.

На рис. 2-4 приведені залежності гальмівного шляху S_z та усталеного сповільнення $j_{уст}$ автомобіля КамАЗ-53205 від конструктивних параметрів (гальмування робочою гальмівною системою).

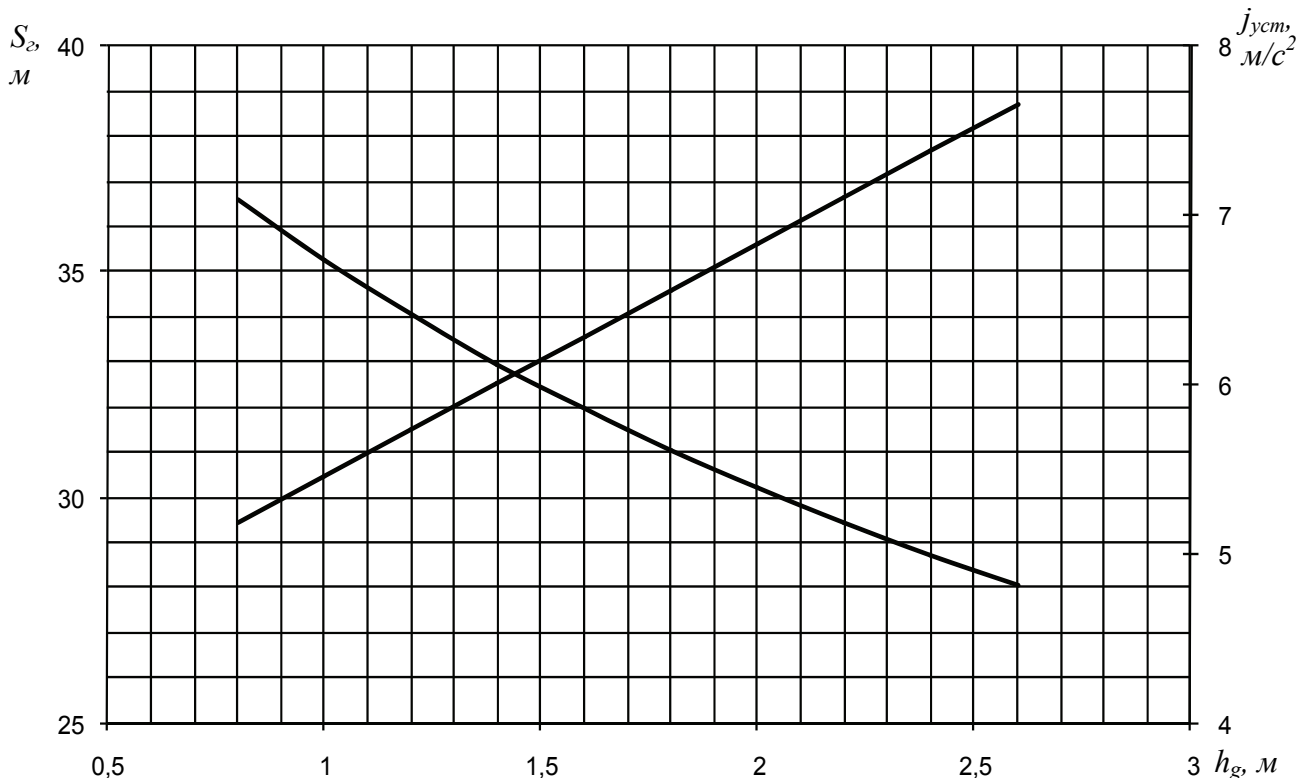


Рисунок 2 - Залежність гальмівного шляху і усталеного сповільнення КТЗ від висоти розміщення центра мас (КТЗ з двигуном, від'єднаним від трансмісії)

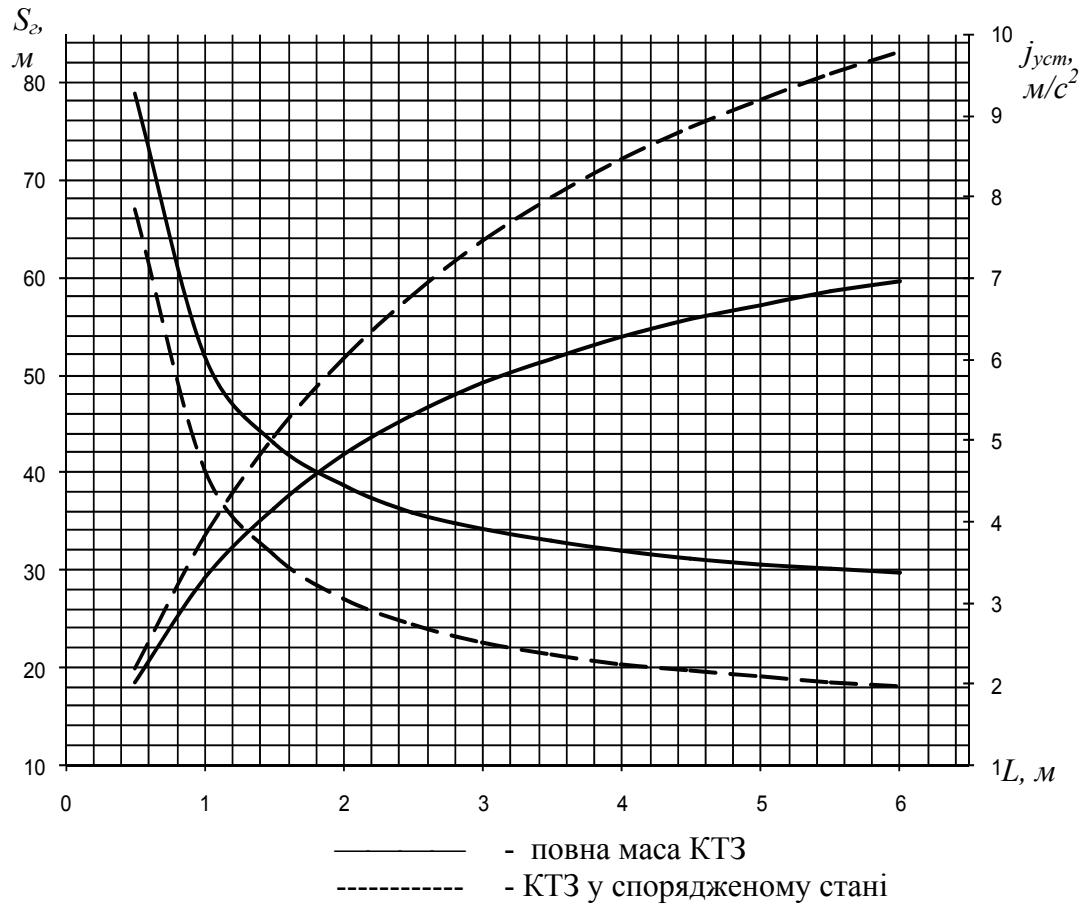


Рисунок 3 – Залежність гальмівного шляху і усталеного сповільнення КТЗ від бази КТЗ (КТЗ з двигуном, від'єднаним від трансмісії)

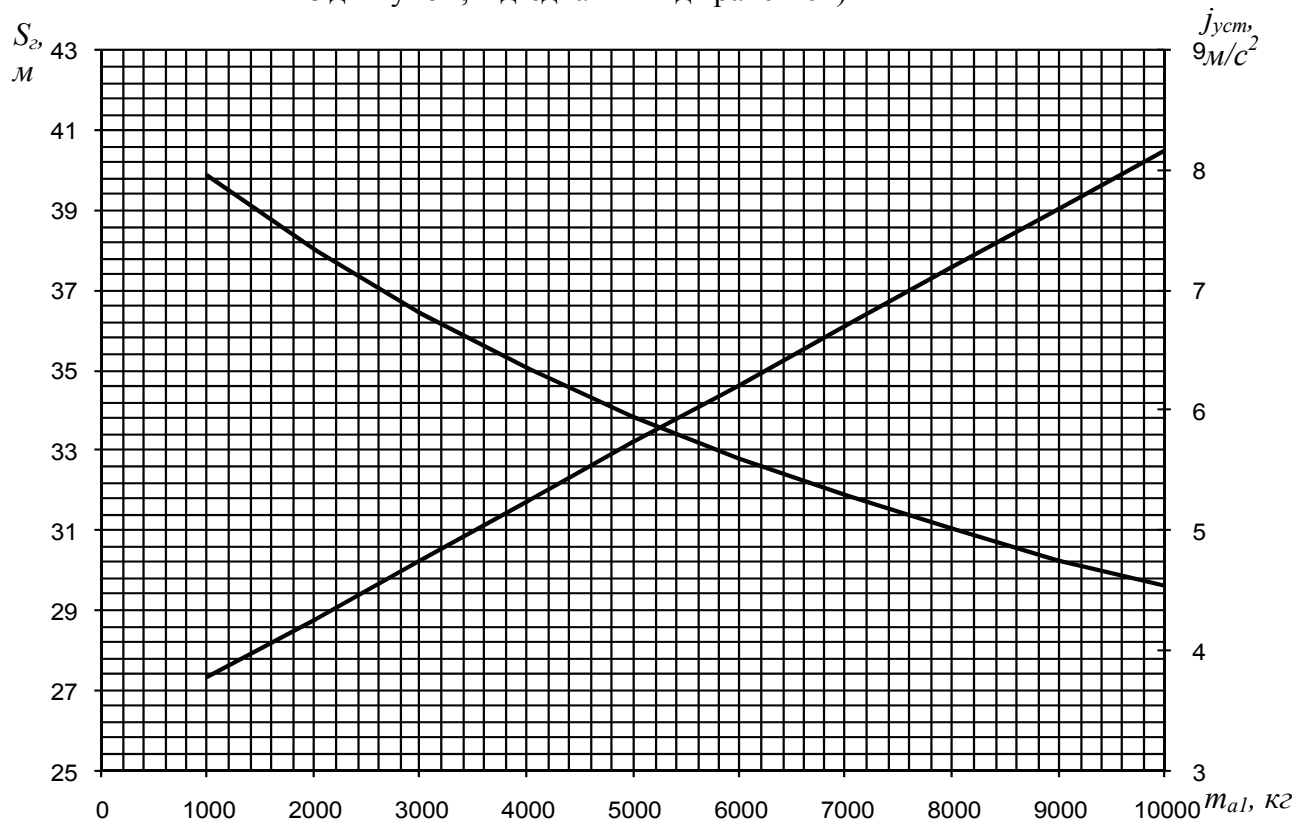


Рисунок 4 – Залежність гальмівного шляху і усталеного сповільнення КТЗ від розподілу маси по осям (КТЗ з двигуном, від'єднаним від трансмісії)

На рис. 5 приведено залежність гальмівного шляху S_2 та усталеного сповільнення $j_{уст}$ автомобіля КамАЗ-53205 від експлуатаційних параметрів (гальмування робочою гальмівною системою).

Використовуючи результати аналітичних розрахунків, можна оцінити раціональність застосування того або іншого способу гальмування. Порівнюючи способи гальмування з від'єднаним і з'єднаним двигуном з трансмісією (рис. 5), можна визначити оптимальний коефіцієнт поздовжнього зчеплення $\varphi_{x.onm}$, при якому доцільний перехід від одного способу гальмування до іншого, більш раціонального для даних умов.

Так, для КТЗ КамАЗ-53205 з повною масою на дорогах з коефіцієнтом поздовжнього зчеплення $\varphi_x < 0,3$, екстрене гальмування доцільно здійснювати двигуном, з'єднаним з трансмісією; на дорогах з коефіцієнтом поздовжнього зчеплення $\varphi_x > 0,3$, екстрене гальмування доцільно здійснювати двигуном, від'єднаним від трансмісії. Аналогічно для КТЗ КамАЗ-53205 у спорядженому стані на дорогах з коефіцієнтом поздовжнього зчеплення $\varphi_x < 0,2$, екстрене гальмування доцільно здійснювати з двигуном, з'єднаним з трансмісією; на дорогах з коефіцієнтом поздовжнього зчеплення $\varphi_x > 0,2$, екстрене гальмування доцільно здійснювати двигуном, від'єднаним від трансмісії.

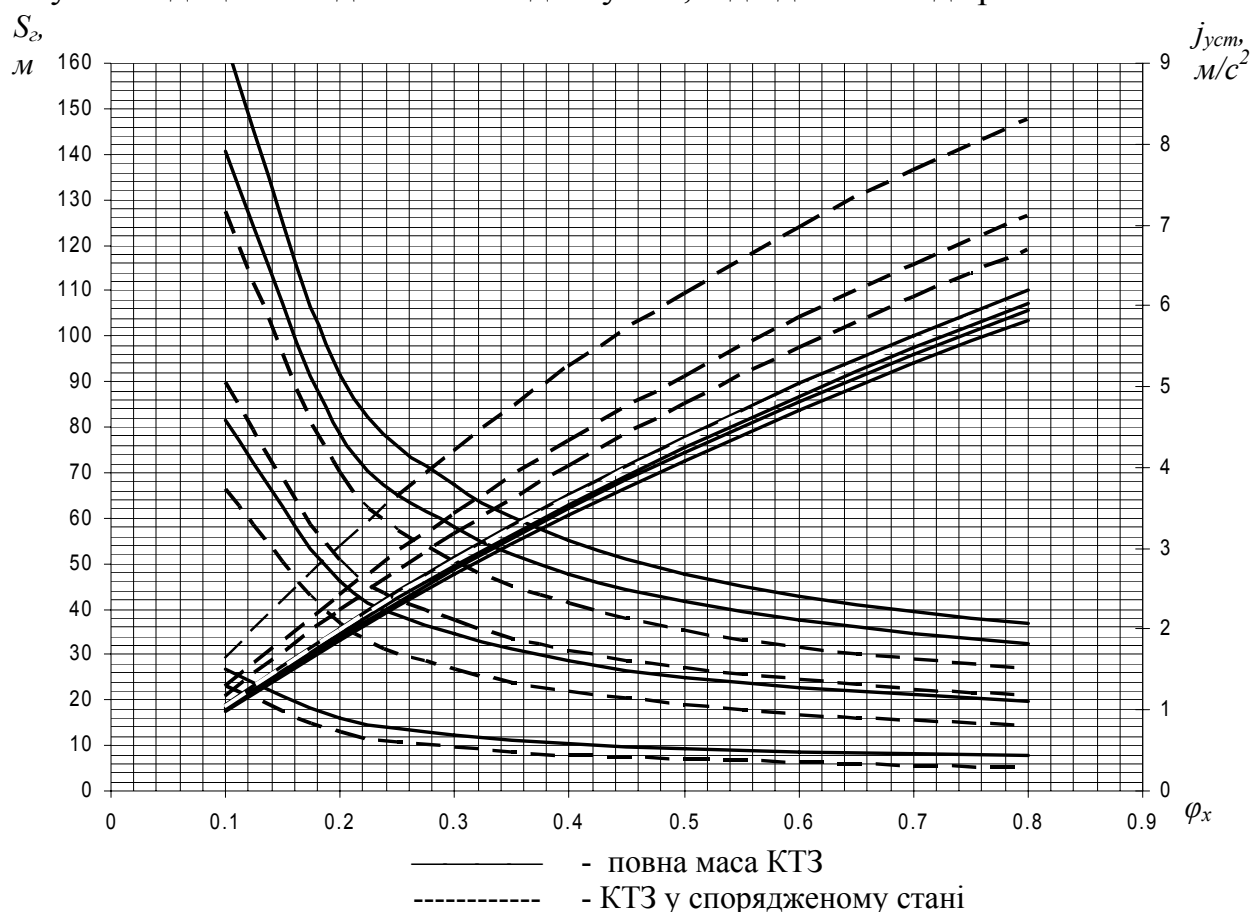


Рисунок 5 – Залежність гальмівного шляху і усталеного сповільнення КТЗ від коефіцієнта
повздовжнього зчеплення колеса з опорною поверхнею

Відповідно до рис. 5 при гальмуванні КТЗ КамАЗ-53205 з повною масою на дорозі з $\varphi_x < 0,3$, гальмівний шлях менше (усталене сповільнення більше), коли двигун з'єднаний з трансмісією, а на дорозі з $\varphi_x > 0,3$ – коли двигун від'єднаний від трансмісії. Так, при $\varphi_x = 0,25$ відносна різниця гальмівних шляхів при гальмуванні двигуном з'єднаним або від'єднаним від трансмісії становить 14,0...16,2%, відносна різниця усталеного сповільнення – 7,5...8,1%; при $\varphi_x = 0,80$ відносна різниця гальмівних шляхів при гальмуванні двигуном з'єднаним або від'єднаним від трансмісії становить 12,1...13,8%, відносна різниця усталеного сповільнення – 6,0...6,3%.

При гальмуванні КТЗ КамАЗ-53205 у спорядженому стані на дорозі з $\varphi_x < 0,2$, гальмівний шлях менше (усталене сповільнення більше) при двигуні з'єднаному з трансмісією, а на дорозі, характеризуючи $\varphi_x > 0,2$ – при двигуні від'єднаному від трансмісії. Так, при $\varphi_x = 0,10$ відносна різниця гальмівних шляхів при гальмуванні двигуном з'єднаним або від'єднаним від трансмісії становить 29,6...42,0%, відносна різниця усталеного сповільнення – 21,0...26,4%; при $\varphi_x = 0,80$ відносна різниця гальмівних шляхів при гальмуванні двигуном з'єднаним і від'єднаним від трансмісії становить 21,5...27,4% відносна різниця усталеного сповільнення – 14,4...16,8%.

Проведені розрахунки дозволили порівняти розрахункові значення показників ефективності гальмування КТЗ з їх нормованими значеннями та встановити межі можливих варіацій конструктивних і експлуатаційних параметрів, табл. 1.

Перевірка показала, що розподіл гальмівних сил автомобіля КамАЗ-53205 при повній масі та в спорядженому стані відповідає вимогам ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002.

Таблиця 1 – Діапазони варіацій і оптимальні значення технічних параметрів КТЗ КамАЗ-53205

Тип випробування	Діапазони варіації технічного параметра			
	h_g , м	L , м	m_a , кг	φ_x
Випробування "0" РГС	0,9...2,2	2,65...5,0 (1,5...5,0)	2000...8000	0,6...0,9 (0,6...0,9)

Примітка. В дужках вказані значення для КТЗ в спорядженому стані.

Теоретично досліджено вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів на оціночні показники ефективності робочої гальмівної системи (S_2 і $j_{уст}$) КТЗ КамАЗ-53205. Порівнянням отриманих значень показників ефективності гальмування КТЗ із їхніми нормованими значеннями встановлено межі можливих варіацій конструктивних і експлуатаційних параметрів.

При випробуваннях для визначення ефективності робочої гальмівної системи досліджуваного КТЗ (при базових значеннях конструктивних і

експлуатаційних параметрів) оціночні показники ефективності гальмування (S_2 і $j_{уст}$) перебувають у межах нормативних значень.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням процесу гальмування КТЗ та містить методику розрахунку показників гальмівних властивостей КТЗ для сертифікації та вихідні результати експериментальних випробувань.

Основними задачами експериментальних дослідження процесу гальмування КТЗ є:

- перевірка адекватності основних теоретичних висновків і рекомендацій;
- експериментальне одержання динамічних характеристик гальмівних приводів КТЗ.

Експериментальні дослідження проводилися в Державному підприємстві “Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут” (ДП “ДЕРЖАВТОТРАНСНДПРОЕКТ”).

За допомогою розробленої методики та експериментальних випробувань, які проводилися в лабораторії випробувань та діагностики автомобілів ДП “ДЕРЖАВТОТРАНСНДПРОЕКТ”, були отримані динамічні характеристики модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ при їх сертифікації.

Експериментальні випробування проводилися на стенді для діагностики гальмівного керування автомобілів мод. СТ2, на якому можна визначити гальмівну силу коліс однієї осі, зусилля на гальмівній педалі або зчіпному пристрої, тривалість спрацьовування гальмівної системи, коефіцієнт нерівномірності гальмівних сил коліс однієї осі, питому гальмівну силу КТЗ (за умови підключення електронних ваг або введення значення маси КТЗ), а при випробуваннях в дорожніх умовах використовувалися бортовий вимірювальний комплекс БВК-1М, рис. 6, та комплект датчиків Datron, рис. 7, які можуть визначати гальмівний шлях, швидкість, сповільнення КТЗ та зусилля на органі керування.

Перед проведенням стендових випробувань автомобіль був завантажений баластом відповідно до вимог технічної документації щодо розподілу маси по осях.

Метою експериментальних досліджень була перевірка адекватності розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку показників гальмівної ефективності КТЗ.

Для перевірки адекватності математичної моделі в реальному процесі гальмування на дорожньому покритті приймалися вихідні дані, що відповідають даним реального процесу гальмування в дорожніх умовах, а саме: фактичні значення початкової швидкості гальмування; гальмівні сили, які підводять на колеса КТЗ і тривалість спрацьовування робочої гальмівної системи визначених на гальмівному стенді.



Рис. 6 - Бортовий вимірювальний комплекс мод. БВК-1М



Рис. 7 - Комплект датчиков Datron

Для перевірки адекватності математичної моделі проводилося експериментально-розрахункове визначення показників гальмівної ефективності КТЗ для сертифікації випробування типу 0 із повною масою і у спорядженому стані; із двигуном, від'єднаний від трансмісії і з'єднаний з нею.

Для перевірки достовірності розробленої математичної моделі процесу гальмування КТЗ і правомірності прийнятих умов і допущень були співставленні результати експериментальних випробувань і теоретичних розрахункових досліджень, табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння результатів експериментальних та розрахунковими досліджень базової моделі автомобіля КамАЗ-53205

Вид випробування	Вид перевірки	Початкова швидкість гальмування (V_0), км/год	Зусилля на орган керування (P_{ped}), Н (кгс)	Гальмівний шлях (S_2), м	Усталене сповільнення ($j_{уст}$), м/с ²	ΔS_2 , %	$\Delta j_{уст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
КамАЗ-53205 Тип 0 (двигун від'єднаний від трансмісії)	БВК-1	60,0	686	30,8	5,95	4,3...4,5	6,3...6,7
	Розрахунок	60,0	—	29,48	6,35		
	Нормативне значення	60	≤ 686 (70)	$\leq 36,7$	$\geq 5,0$	—	—
КамАЗ-53205 Тип 0 (двигун з'єднаний з трансмісією)	БВК-1	27	686	5,74	7,22	7,8...8,5	3,6...3,7
	Розрахунок	27	—	5,29	7,49		
	БВК-1	49,5	686	14,8	6,80	4,5...4,7	3,5...3,7
	Розрахунок	49,5	—	15,5	7,05		
	БВК-1	72	686	31,4	6,55	2,2...2,3	3,7...3,8
	Розрахунок	72	—	30,7	6,8		
	Нормативне значення	Виконується серія гальмувань у діапазоні швидкостей від 30% до 80% від V_{max} , але не більше, $V_{max} = 90$	≤ 686 (70)	$\leq 0,15 \times V_0 + V_0^2/103,5$. Обчислене нормативне значення $\leq 11,1$ $\leq 31,1$ $\leq 60,9$	$\geq 4,0$	—	—

Як видно з табл. 2, результати проведених експериментальних випробувань підтвердили адекватність розробленої математичної моделі процесу гальмування КТЗ і правомірність прийнятих умов і допущень, а також висновків, отриманих при теоретичному дослідженні. Розбіжність теоретичних і експериментальних даних по визначенню гальмівного шляху складає 2,2...8,5%, по визначенню усталеного сповільнення – 3,5...6,7%.

Результати експериментальних випробувань та аналітичних розрахунків якісно збігаються. Максимальна розбіжність розрахункових і експериментальних даних при визначенні гальмівного шляху S_2 не перевищує 8,5%, при визначенні усталеного сповільнення $j_{уст}$ – 6,7%. Це свідчить про те,

що математична модель процесу гальмування КТЗ описує його з достатньою адекватністю.

Отримано свідоцтва про реєстрацію авторського права на твори [15, 16, 17, 18] та результати основних наукових досліджень у вигляді методики і програми розрахунку визначення показників ефективності гальмування КТЗ для сертифікації, що реалізуються на персональному комп'ютері, впроваджені у виробничій діяльності на підприємстві ДП «Випробувально-технічний центр ДТЗ» та у відділі погодження проектів конструкцій транспортних засобів «Центру безпеки дорожнього руху та автоматизованих систем при МВС» при розробці нормативної документації та висновків науково-технічної експертизи щодо узгодження переобладнання КТЗ шляхом внесення конструкційних змін у зазначені транспортні засоби.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача пов'язана з визначенням гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою під час їх сертифікації на основі розрахунково-експериментального аналізу процесу гальмування.

2. Розроблена математична модель процесу гальмування модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою, яка дозволяє оцінити ефективність гальмування КТЗ, стійкість КТЗ при гальмуванні, розподіл гальмових сил між осями транспортних засобів і сумісність гальмового керування причепів з автомобілями-тягачами.

3. Визначено оптимальні коефіцієнти поздовжнього зчеплення коліс із опорною поверхнею $\varphi_{x, \text{опт}}$, при якому доцільний перехід від одного способу гальмування до іншого, більш раціональний в даних умовах. На дорогах з коефіцієнтом $\varphi_x < 0,20$ і $\varphi_x < 0,30$ (КамАЗ-53205 з повною масою і в спорядженому стані) екстрене гальмування доцільно здійснювати двигуном, з'єднаний з трансмісією. На дорогах з коефіцієнтом φ_x , що перевищує зазначені вище значення, екстрене гальмування доцільно здійснювати двигуном, від'єднаним від трансмісії.

4. Розроблений і реалізований у вигляді програми для ПК експериментально-розрахунковий метод сертифікації КТЗ дозволяє в широкому діапазоні змінювати вхідні параметри КТЗ і умови їх експлуатації, оцінити ефективність гальмівних властивостей модифікацій і комплектацій базової моделі. Розроблена методика закладає основи експрес-методу визначення показників гальмівної ефективності КТЗ.

5. Розроблена методика оцінювання гальмівної ефективності КТЗ дозволяє оцінити ефективність гальмування базової моделі КТЗ, її модифікацій і комплектацій з використанням робочої, запасної, стоянкової і допоміжної гальмівних систем, розподіл гальмових сил між осями транспортних засобів, а також стійкість КТЗ при гальмуванні.

6. Результати проведених випробувань підтвердили адекватність розробленої математичної моделі процесу гальмування КТЗ і правомірність

прийнятих умов і допущень, а також висновків, отриманих при теоретичному дослідженні. Розбіжність теоретичних і експериментальних даних по визначенню гальмівного шляху для вантажних автомобілів категорії N3 складає в межах 2,2...8,5%, по визначенню усталеного сповільнення – у межах 3,5...6,7%.

7. Виконана кількісна оцінка ступеня впливу експлуатаційних і конструктивних параметрів на гальмівну ефективність модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ під час їх сертифікації, а також діапазони можливих варіацій технічних параметрів КТЗ, за яких оціночні показники ефективності гальмівної системи відповідають нормативним значенням.

8. Розроблена методика і програми розрахунку визначення показників ефективності гальмування КТЗ для сертифікації прийнята до впровадження ДП «Випробувально-технічний центр ДТЗ» та відділом погодження проєктів конструкцій транспортних засобів «Центру безпеки дорожнього руху та автоматизованих систем при МВС» при розробці нормативної документації та висновків науково-технічної експертизи щодо узгодження переобладнання КТЗ шляхом внесення конструкційних змін у зазначені транспортні засоби.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Кравчук П.М. Математична модель руху автопоїзда в режимі гальмування / П.М. Кравчук, О.К. Грищук // Автошляховик України, №2.(202), Київ, 2008 р. – С. 22-23.
2. Грищук О.К. Щодо можливості розрахункового визначення показників гальмівних властивостей автотранспортних засобів з метою їх сертифікації / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Вісник Національного транспортного університету Ч.1 – К.: НТУ, 2006. – №13. – С. 105-106.
3. Кравчук П.М. Можливість розрахункового визначення показників гальмівних властивостей колісних транспортних засобів при сертифікації / П.М. Кравчук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2012. – Випуск 26. – С. 151-154.
4. Грищук О.К. Перспективи розвитку гальмівних систем колісних транспортних засобів / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Автошляховик України, №1.(195), Київ, 2007 р. – С. 23-24.
5. Кравчук П.М. Стійкість руху автопоїзда в режимі гальмування / П.М. Кравчук, О.К. Грищук, Ю.В. Бабін // Автошляховик України, №6.(206), Київ, 2008 р. – С. 10-11.
6. Кравчук П.М. До визначення ефективності робочої гальмівної системи при процесі гальмуванні одиночного дорожнього транспортного засобу (двигун від'єднаний від трансмісії) / П.М. Кравчук, О.К. Грищук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2010. – Випуск 21. – С. 149-156.
7. Грищук О.К. До визначення ефективності робочої гальмівної системи при процесі гальмуванні колісного транспортного засобу (двигун

з'єднаний з трансмісією) / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.2. – К.: НТУ, 2011. – Випуск 24. – С. 388-392.

8. Грищук О.К. До визначення ефективності запасної (аварійної) гальмівної системи дорожнього транспортного засобу. / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Проектування, виробництво та експлуатація автотransпортних засобів і поїздів: Щорічний науково-виробничий журнал. – Л. 2010. – Випуск 18. – С. 56-60.

9. Кравчук П.М. До визначення ефективності стоянкової гальмівної системи дорожнього транспортного засобу / П.М. Кравчук, О.К. Грищук // Автошляховик України, №5.(211), Київ, 2009 р. – С. 12-17.

10. Кравчук П.М. До визначення ефективності додаткової гальмівної системи дорожнього транспортного засобу. / П.М. Кравчук, О.К. Грищук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 19. – С. 157-167.

11. Грищук О.К. Методика розрахунку показників гальмівних властивостей дорожніх транспортних засобів для сертифікації. / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2010. – Випуск 20. – С. 217-220.

12. Грищук О.К. Сертифікація гальмівних властивостей і її задачі. / О.К. Грищук, П.М. Кравчук, Л.В. Горпинюк // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2013. – Випуск 27. – С. 90-94.

13. Кравчук П.М. Нормування гальмівних властивостей колісних транспортних засобів в Україні / П.М. Кравчук, Р.Ю. Нілов, Ю.В. Бабін // Автошляховик України, №2.(238), Київ, 2014 р. – С. 8-10.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав з напрямку

14. Грищук А.К. Методика расчета показателей тормозных свойств дорожных транспортных средств для сертификации / А.К. Грищук, П.Н. Кравчук, Г.А. Филиппова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Десятой Международной научно-технической конференции: В 4-х томах: Том 2. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2012. – С. 25-28.

Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

15. Грищук О.К. Математична модель руху автопоїзда в режимі гальмування / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №45151 від 13.08.2012.

16. Грищук О.К. Застосування математичної моделі процесу гальмування колісних транспортних засобів для сертифікації / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №45152 від 13.08.2012.

17. Грищук О.К. Щодо можливості розрахункового визначення показників гальмівних властивостей автотракторних засобів з метою їх

сертифікації / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №45153 від 13.08.2012.

18. Грищук О.К. Стійкість руху автопоїзда в режимі гальмування / О.К. Грищук, П.М. Кравчук // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №45154 від 13.08.2012.

Опубліковані праці апробаційного характеру

19. Кравчук П.М. Розрахункове визначення показників гальмівних властивостей автотранспортних засобів з метою їх сертифікації / П.М. Кравчук // LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2008. – С. 34.

20. Кравчук П.М. Застосування математичної моделі процесу гальмування колісних транспортних засобів для сертифікації. / П.М. Кравчук, О.К. Грищук // Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладної проблеми логістики: Збірник доповідей 13 Міжнародної науково-практичної конференції. – К.: Міністерство транспорту та зв'язку України, 2011. – С. 113-115.

АНОТАЦІЯ

Кравчук П.М. Розрахункове визначення гальмівної ефективності колісних транспортних засобів під час сертифікації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі і трактори. – Національний транспортний університет. – Київ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена визначенню гальмівної ефективності модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою під час їх сертифікації на основі розрахунково-експериментального аналізу процесу гальмування.

Розроблено математичну модель процесу гальмування модифікацій і комплектацій базової моделі КТЗ з пневматичною гальмівною системою, яка дозволяє оцінити ефективність гальмування КТЗ, стійкість КТЗ при гальмуванні, розподіл гальмових сил між осями транспортного засобу і сумісність гальмового керування автомобілів-тягачів з причепами.

Розроблено методику оцінювання гальмівної ефективності КТЗ, яка дозволяє оцінити ефективність гальмування базової моделі КТЗ, її модифікацій і комплектацій з використанням робочої, запасної, стоянкової і допоміжної гальмівних систем, розподіл гальмових сил між осями транспортного засобу, а також стійкість КТЗ при гальмуванні.

Результати бортового вимірювального комплексу підтвердило достовірність розробленої методики оцінювання гальмівної ефективності КТЗ і правомірність прийнятих умов і допущень, а також висновків, отриманих при теоретичному дослідженні.

Виконано кількісну оцінку ступеня впливу експлуатаційних і конструктивних параметрів на гальмівну ефективність модифікацій і

комплектацій базової моделі КТЗ під час їх сертифікації, а також встановлено діапазони можливих варіацій технічних параметрів КТЗ, за яких оціночні показники ефективності гальмівної системи відповідають нормативним значенням.

Ключові слова: експериментально-аналітичний метод, математична модель, ефективність гальмування, гальмівний шлях, усталене сповільнення.

АННОТАЦИЯ

Кравчук П.М. Расчетное определение тормозной эффективности колесных транспортных средств во время сертификации. – Рукопись.

Диссертация для получения научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – Автомобили и тракторы. – Национальный транспортный университет. – Киев, 2015.

В мире характеризуется широким появлением разных модификаций и комплектаций автомобильных транспортных средств (АТС), которые созданы на основе базовых моделей. В соответствии с действующим законодательством Украины АТС должны пройти сертификацию, в том числе по тормозным свойствам, что требует проведения соответствующих испытаний, которые достаточно сложные и дорогие. В связи с этим разработано новое направление оценки тормозных свойств АТС (экспериментально-аналитический метод).

Диссертация посвящена определению тормозной эффективности модификаций и комплектаций базовой модели АТС при их сертификации на основе расчетно-экспериментального анализа процесса торможения.

Разработана методика оценки тормозной эффективности АТС, которая позволяет оценить эффективность торможения базовой модели АТС, её модификаций и комплектаций с использованием рабочей, запасной, стояночной и вспомогательной тормозных систем, распределение тормозных сил между осями транспортного средства, а также устойчивость АТС при торможении. Даная методика дает возможность провести расчетное определение показателей тормозных свойств модификаций и комплектаций АТС для сертификации на основе экспериментально-расчетного анализа процесса торможения базовой модели, исследования процесса торможения АТС для определения степени влияния конструктивных и эксплуатационных параметров на оценочные показатели эффективности торможения и критерии оценки стойкости АТС при торможении, экспериментальные исследования для получения динамических характеристик тормозных поводов АТС.

Результаты проведенных испытаний подтверждают адекватность разработанной математической модели процессу торможения АТС и правомерность принятых условий и допущений, а также выводов, полученных при теоретическом исследовании. Разбегность теоретических и экспериментальных данных по определению тормозного пути для грузовых автомобилей категории N3 составляет в 2,2...8,5%, по определению установившегося замедления – 3,5...6,7%.

Выполнено количественную оценку степени влияния эксплуатационных и конструктивных параметров на тормозную эффективность модификаций и

комплектаций базовой модели АТС при их сертификации, а также установлено диапазоны возможных вариаций технических параметров КТС, при которых оценочные показатели эффективности тормозной системы соответствуют нормативным значениям.

Результаты работы внедрены в ДП «Испытательно-технический центр АТС» и в отдел согласования проектов конструкций транспортных средств «Центра безопасности дорожного движения и автоматизированных систем при МВД» при разработке нормативной документации и выводов научно-технической экспертизы относительно согласования переоборудования АТС путем внесения конструкционных изменений в отмеченные транспортные средства.

Ключевые слова: экспериментально-аналитический метод, математическая модель, эффективность торможения, тормозной путь, установившееся замедление.

ABSTRACT

Kravchuk P.M. Determination of braking efficiency of the motor vehicles during their certification. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences with a specialty 05.22.20 – Automobiles and tractors. – National Transport University. – Kyiv, 2015.

The thesis is devoted to defining of braking efficiency modifications and complete sets of basic model of vehicles with pneumatic braking system during their certification on the basis of settlement and experimental analysis of braking process.

The mathematical model of brake modifications and complete sets of basic model of vehicles with pneumatic brake system was developed, which allows to evaluate the effectiveness of vehicle braking, stability of the vehicle during braking, brake force of distribution between the axles of vehicles and control of truck brake compatibility with trailer.

The method of evaluation of braking efficiency of vehicles was developed, which allows to estimate the effectiveness of vehicle braking base model, its modifications and complete sets using labor, spare, auxiliary and parking brake systems, brake force distribution between the axles of vehicle and vehicle stability during braking.

The results of onboard measuring complex confirmed the reliability of assessment techniques, which were developed by the vehicle braking efficiency and legitimacy, acceptance of the terms and assumptions and conclusions obtained during theoretical study.

Quantitative assessment of the impact of operating and design parameters on the braking efficiency modifications and complete sets of basic vehicle models during their certification were done, and setting the range of possible variations of technical parameters of the vehicle in which the estimated performance of brake system meet the regulatory values.

Key words: experimental and analytical method, mathematical model, braking efficiency, braking distance, steady deceleration.

Підписано до друку 13.11.2015р.
Папір офсетний №1. Гарнітура Times New Roman
Формат 60 х 84 / 8. Тираж 100. Зам. 4345.

Редакційно-видавничий відділ НТУ.
01010, Україна, Київ, вул. Кіквідзе, 39, тел. +(38 044) 284 26 26