

УДК 629.017

Д.І. Петренко, наук. пошукач

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

вул. Чернишевського, 24, а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600

petrenko_d.i@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ДИНАМІКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З УРАХУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

Розглядаються питання складання імітаційної Simulink/Simscapе моделі поздовжньої динаміки легкового автомобіля в гальмівному режимі з урахуванням робочого процесу в гальмівній системі. Розроблена імітаційна модель гальмівної системи, що входить до моделі автомобіля, дозволяє враховувати тип та властивості робочої рідини, опір проходження її у гідравлічному контурі, конструктивні параметри компонентів: вакуумного підсилювача, головного гальмівного циліндру, дискових гальмівних механізмів. Виконано тестування моделі в режимі екстреного гальмування та при циклічній зміні зусилля на гальмівній педалі.

Ключові слова: *гідравлічна гальмівна система, імітаційне моделювання, дисковий гальмівний механізм, вакуумний підсилювач.*

Постановка проблеми. Активна безпека автомобіля з кожним днем стає чи не найважливішою характеристикою транспортного засобу (ТЗ). Сучасна гальмівна система вже тривалий час оснащується різноманітними системами керування й цілком може вважатися мехатронною системою. Розробка, удосконалення і тестування алгоритмів функціонування систем контролю можливо лише при наявності високоточних імітаційних моделей об'єктів, що контролюються. Таким чином, модель гідравлічної гальмівної системи повинна бути універсальною, тобто мати можливість параметризації, і бути основою до розробки та адаптації автоматичних систем безпеки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В багатьох наукових працях [1, 2, 3], які присвячені розробці активних систем безпеки, спостерігається зміщення уваги у бік розробки більш довершеного контролю, й зменшена - до імітаційної моделі контрольованого об'єкту. Гальмівна динаміка легкового автомобіля вже розглядалась в роботі [4], але без урахування функціонування гальмівної системи. Характеристики об'єкту в більшості випадків замінюються математичними функціями, що часто не відповідають фізиці робочого процесу. В даному випадку необхідний більш комплексний підхід.

Мета статті. Представити функціонуючу модель гальмівної динаміки ТЗ з урахуванням функціонування гідравлічної гальмівної системи легкового автомобіля, яка в перспективі зможе комбінуватися з моделями систем автоматичного контролю.

Прийняті допущення. Деформація гальмівних накладок - кусково-лінійна; коефіцієнт тертя залежить від швидкості ковзання, але не залежить від температури; термічна задача в моделі не розглядається, тобто нагрів гальмівних механізмів (ГМ) не враховується; в'язкість, щільність і температура робочої рідини – незмінні; відсутні витоки рідини; створюється фіксоване розрідження в камерах підсилювача.

Матеріали. В роботі представлена імітаційна модель руху автомобіля в гальмівному режимі. В якості об'єкту моделювання виступає легковий автомобіль Audi A4 [5]. На рисунку 1 представлений загальний вид моделі гальмівної динаміки автомобіля, виконаної в пакеті Simulink/Simscapе [6]. Стандартними блоками бібліотеки Simscapе є блоки 1, 18, 19, 21, 22. Блок 1 імітує плоску поздовжню динаміку транспортного засобу, враховуючи його масо-габаритні параметри, опір повітря та опір дороги при русі на підйом. Блоки 18, 19, 21, 22 імітують колеса та взаємодію шини з дорожньою поверхнею в поздовжньому напрямку на основі параметризації моделі Пасейки; враховують ковзання колеса відносно дороги, опір руху, зміну нормальної реакції. Авторським блоком в моделі є блок «20 – Гальмівна система». Порти LFW, RFW, LRW, RRW блоку 20 являються портами зв'язку гальмівних механізмів з передніми та задніми колесами ТЗ (блоки 18, 19, 21, 22). Блок 13 встановлює нульовий кут підйому дороги, що дозволяє вести розрахунки для горизонтальної поверхні. Програма дозволяє впливати на стан системи та вимикати підсилювач, що імітує його відмову.

Під маскою блоку 20 представлена модель гальмівної системи (рисунк 2). Базовим елементом в моделі є авторський блок "1 – Гальмівна педаль – Підсилювач – Головний гальмівний циліндр", що імітує педаль, вакуумний двопоршневий підсилювач з головним гальмівним циліндром тандемного типу. Тестування блоку 1 представлено у роботі [7]. Діагональна система контурів роздається через елемент "2 – Х з'єднання". Блоки 3, 4, 9, 10, 14, 17, 18, 30 "Сегментований трубопровід" дозволяють враховувати гідравлічний опір та інерцію рідини. Виконавчими елементами є авторські блоки 5, 11, 19, 21 – "Дисковий гальмівний механізм", які пов'язані механічним зв'язком з блоками коліс 18, 19, 21, 22.

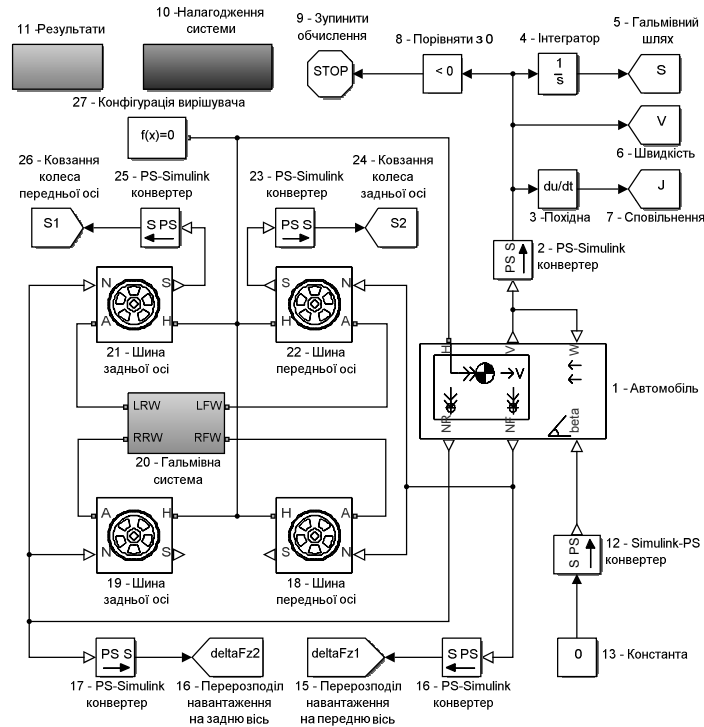


Рисунок 1 – Загальний вид імітаційної моделі у середовищі Simulink/Simscapе

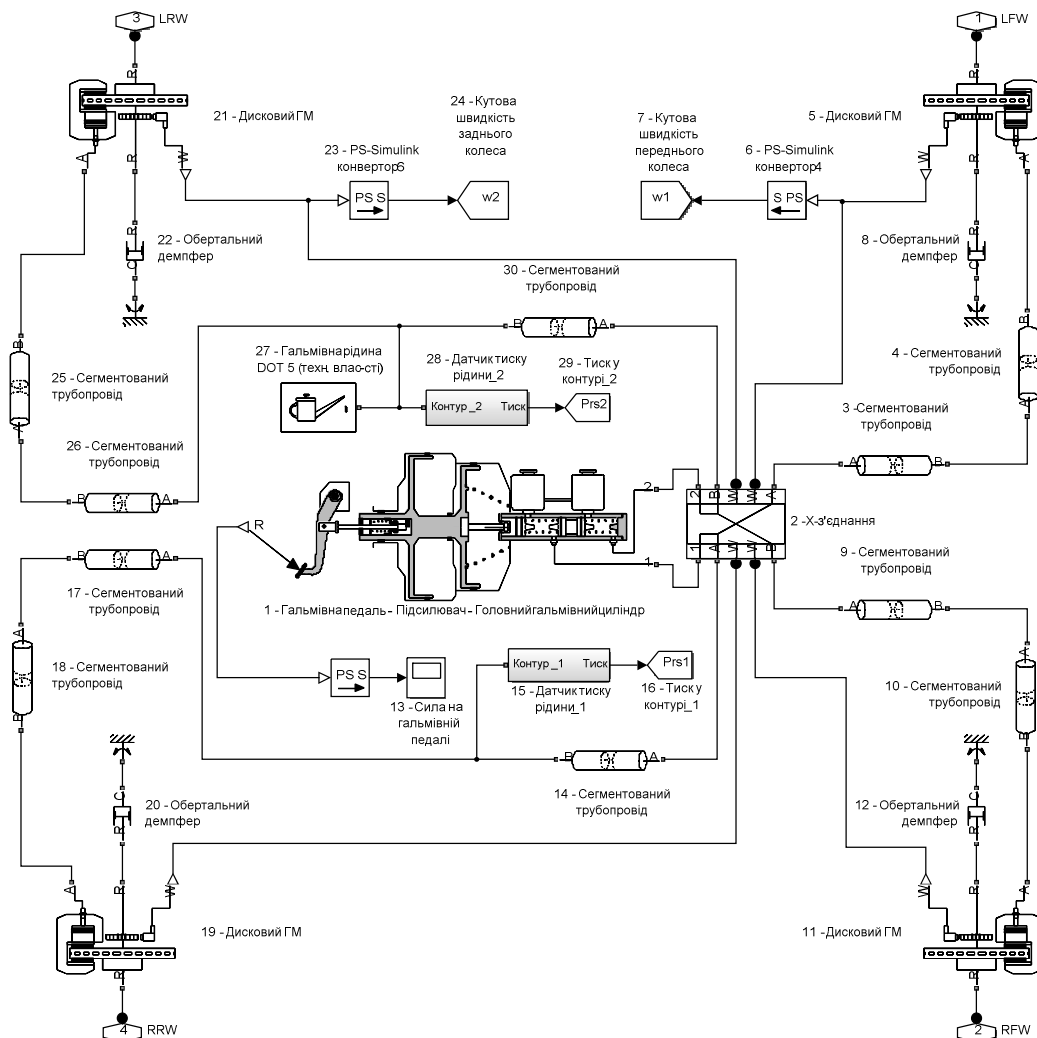


Рисунок 2 – Підсистема блоку моделі гальмівної системи

Блок "Дисковий гальмівний механізм" (рисунок 2) імітує дисковий гальмівний механізм з рухомою скобою та складається зі стандартних блоків бібліотеки Simscape. Блоки 5 і 11 моделюють гальмівні механізми передніх коліс, блоки 19 і 21 – задніх коліс, та відрізняються лише геометричними параметрами.

Змодельована гальмівна система не має у своєму складі моделі регулятора гальмівних сил. Це пов'язано з тим, що в складі даної системи функції регулятора виконує ABS, а точніше - система EBD (електронна система розподілу гальмівних сил). В моделі гальмівної системи (рисунок 2) блок "2 – X з'єднання" в подальшому розвитку перетвориться на блок модулятора ABS.

Результати. Оцінювання гальмівного процесу проводиться по багатьом параметрами, серед яких: зміна зусилля на гальмівній педалі, тиск у контурах гальмівного приводу, кутова швидкість коліс автомобіля, ковзання коліс, сповільнення та гальмівний шлях. За результатами моделювання отримуємо графічне зображення процесів вказаних параметрів за часом.

Перший тест виконувався на перевірку моделі при екстремому гальмуванні: максимальне зусилля на педалі – 300 Н; початкова швидкість – 80 км/год; дорожня поверхня – сухий асфальтобетон з коефіцієнтом зчеплення 0,9. Результати представлені на рисунках 3 – 8: максимальний тиск у контурі гідроприводу склав близько 10 МПа, максимальне сповільнення досягає $9,3 \text{ м/с}^2$, гальмівний шлях - 31 м.

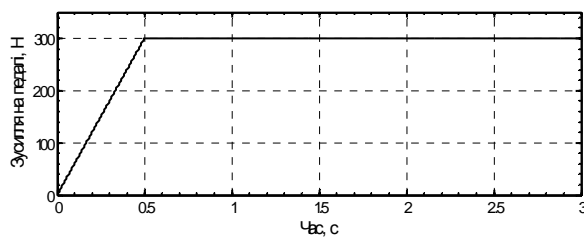


Рисунок 3 – Закон зміни зусилля на гальмівній педалі

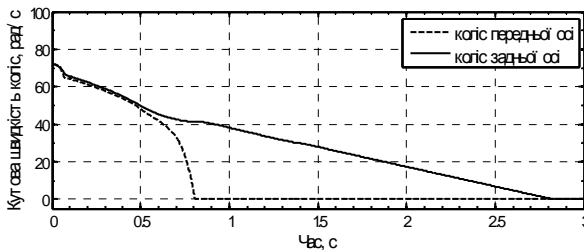


Рисунок 5 – Кутова швидкість коліс автомобіля

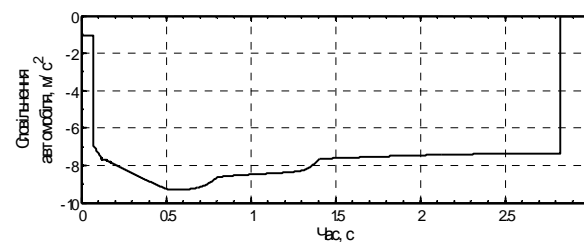


Рисунок 7 – Сповільнення автомобіля

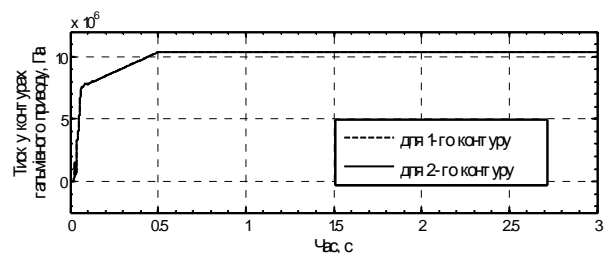


Рисунок 4 – Тиск у контурах гальмівного приводу

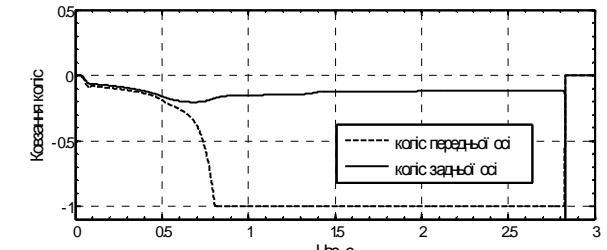


Рисунок 6 – Ковзання коліс транспортного засобу

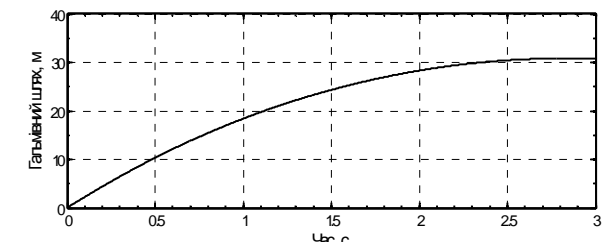


Рисунок 8 – Гальмівний шлях

Другий тест виконувався при циклічній зміні зусилля на гальмівній педалі з наступними умовами: максимальне зусилля на педалі – 300 Н; початкова швидкість – 80 км/год; дорожня поверхня – мокрий асфальт з коефіцієнтом зчеплення 0,7. Результати представлені на рисунках 9 – 14: максимальний тиск у контурі гідроприводу склав близько 10 МПа, максимальне сповільнення досягає $7,4 \text{ м/с}^2$, гальмівний шлях – 40 м.

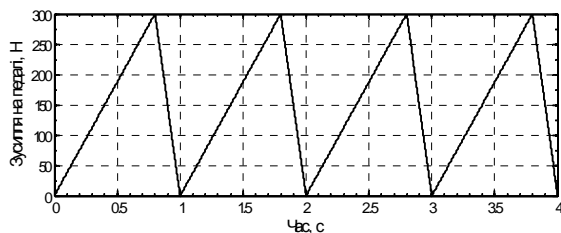


Рисунок 9 – Закон зміни зусилля на гальмівній педалі

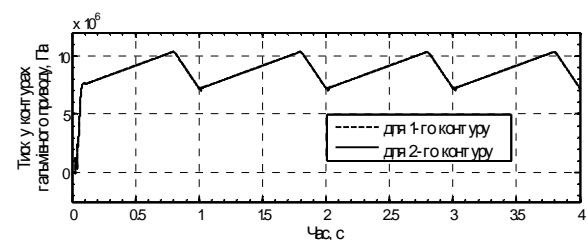


Рисунок 10 – Тиск у контурах гальмівного приводу

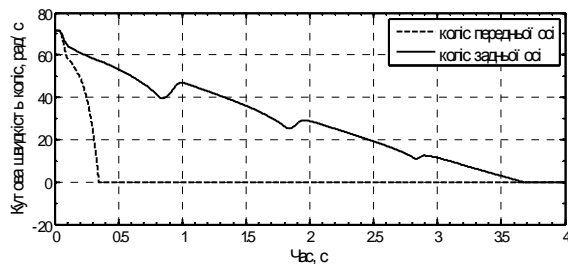


Рисунок 11 – Кутова швидкість коліс автомобіля

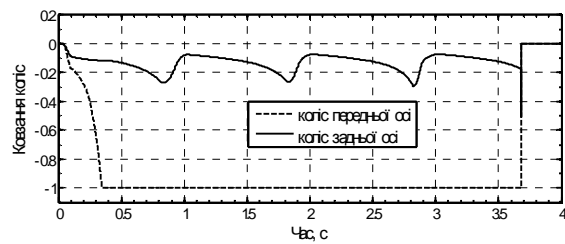


Рисунок 12 – Ковзання коліс транспортного засобу

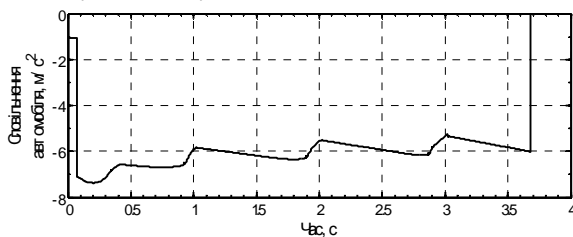


Рисунок 13 – Сповільнення автомобіля

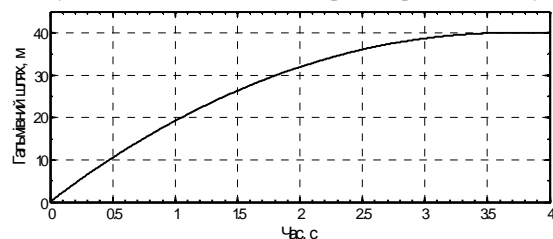


Рисунок 14 – Гальмівний шлях

Висновки. Завданням тестування було встановлення працездатності моделі гальмівної системи легкового автомобіля у широкому спектрі експлуатаційних режимів, стійкості режиму гальмування. Численність вихідних параметрів не дозволяє відобразити їх у повній мірі, тому представлено декілька найважливіших вихідних параметрів функціонування гальмівної системи для кожного з тестів. Тест 1 виконаний з метою перевірки на здатність зупинити транспортний засіб при даних технічних параметрах. Тест 2 – відобразити дії водія при гальмуванні на мокрому асфальті та для перевірки реакції системи на імпульсну дію, схожу на регулювання гідравлічного тиску системою ABS. При обох тестах (рисунки 3 – 8) проявляється блокування коліс передньої осі. Це відповідає вимогам, що пред'являються до гальмівного керування легкового автомобіля. На графіках зміни тиску в гальмівних контурах (рисунок 4, до 0,1 с, і рисунок 10, до 0,07 с) спостерігається ділянка слідкуючої дії вакуумного підсилювача, далі коефіцієнт підсилення зменшується до 1 і збільшення зусилля на штокові підсилювача забезпечується лише зусиллям водія. Сповільнення ТЗ (рисунки 7 і 13) характеризується максимальним значенням на ділянці до блокування коліс передньої осі, яке призводить до подальшого зменшення зчеплення колеса з дорогою.

Деталізація моделі гальмівної системи дозволяє налаштувати її за багатьма параметрами, узгоджувати з конкретними конструктивними особливостями. Основна мета розробки - перспектива інтеграції моделі гальмівної системи з іншими апаратами ABS/ESP/ADAS, що дасть можливість створювати алгоритми керування та прототипи мехатронних систем транспортних засобів.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Ming-chin Wu Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode PWM control / Ming-chin Wu, Ming-chang Shin. // PERGAMON: Mechatronics, Elsevier. – 2003. – Vol. 13. – P. 331–351.
2. Rangelov K.Z. Simulink model of a quarter-vehicle with anti-lock braking systems. PhD thesis / K.Z. Rangelov. – Eindhoven University of Technology, Stan Ackerman Institute, Netherlands, 2004. – 132 p. – ISBN 90-444-0377-X.
3. Schofield B. Model-based vehicle dynamics control for active safety. PhD thesis. – Lund University, Sweden, 2008. – 186 p. – ISSN 0280-5316.
4. Дячук М.В. Імітаційне моделювання гальмівної динаміки легкового автомобіля з антиблокувальною системою / М.В. Дячук, Д.І. Петренко // Вісник Севастопольського національного технічного університету. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: збірник наукових праць. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – Вип. 135. – С. 38 – 41.
5. Програма самообучення 409: Audi A4 '08. Audi AG, Ingolstadt, Germany, 2008. – 76 p.
6. Simscape examples. [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples/index.html>.
7. Петренко Д.І. Імітаційне моделювання вакуумного підсилювача та ГГЦ гальмівної системи легкового автомобіля / Д.І. Петренко, М.В. Дячук // Інтенсифікація робочих процесів строительных и дорожных машин: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2012. – Вип. 66. – С. 216–223.

Надійшла до редакції 03.06.2013 р.

Петренко Д.И. Моделирование тормозной динамики легкового автомобиля с учетом имитационной модели тормозной системы

Рассматриваются вопросы составления имитационной Simulink/Simscape модели продольной динамики легкового автомобиля в тормозном режиме с учетом рабочего процесса в тормозной системе. Разработанная имитационная модель тормозной системы, которая входит в модель автомобиля, позволяет учитывать тип и свойства рабочей жидкости, сопротивление прохождения ее в гидравлическом контуре, конструктивные параметры компонентов: вакуумного усилителя, главного тормозного цилиндра, дисковых тормозных механизмов. Выполнено тестирования модели в режиме экстренного торможения и при циклическом изменении усилия на тормозной педали.

Ключевые слова: гидравлическая тормозная система, имитационное моделирование, дисковый тормозной механизм, вакуумный усилитель.

Petrenko D.I. Modelling of car brake dynamic with account brake system simulation model

Questions of Simulink/Simscape cars longitudinal braking dynamics simulation are considered. The developed simulation model of a braking system is integrated with dynamic car model. It allows to consider type and properties of a hydraulic fluid, passage resistance in a hydraulic circuit, vehicle parameters components: vacuum booster, main brake cylinder, disk brakes. Model testing for emergency braking mode and for cyclic change of effort on a brake pedal are executed.

Keywords: hydraulic braking system, simulation, disk brake, vacuum booster.