

Лотиш В.В., Гуменюк Л.О., Гуменюк П.О.
Львівський національний технічний університет

СТРУКТУРНО – ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ (ESP)

Розроблено імітаційну модель управління поведінкою транспортного засобу при заносах з використанням системи курсової стійкості (ESP). Створено динамічну імітацію роботи контуру гальмівної системи, яка дозволяє ознайомитись з роботою контуру в динаміці, що значно покращує розуміння процесу гальмування; розроблено інтерактивну схему роботи ESP та ABS. Зона виводу інформації під час роботи моделі дозволяє візуалізувати проходження автомобілем тестової траси та отримувати індикацію швидкості автомобіля та повороту керма та індикацію втручання ESP. Таким чином, отримана комп'ютерна модель управління автомобілем при заносах з врахуванням роботи ESP, яка дозволяє спостерігати в динаміці роботу ESP та прослідковувати зв'язки, які виникають при роботі системи ESP та ABS. Застосування такого підходу дозволяє проводити імітаційне моделювання за різними сценаріями, залежно від формування різноманітних ситуацій, практично необмеженої складності.

Ключові слова: імітаційна модель, заноси, керування транспортним засобом, ESP, ABS, контур гальмівної системи, швидкість, поворот керма.

ВСТУП

За останні роки в Україні значно розширився автомобільний парк, наслідком чого стало зростання аварійності на дорогах. В середньому щорічно реєструється понад 100 тис. дорожньо-транспортних пригод (ДТП), в яких гинуть більше 3 тис. і отримують травми різного ступеня тяжкості до 40 тис. чоловік [1]. Значна кількість таких ДТП пов'язана з втратою керованості автотранспортним засобом і, відповідно, відхилення автомобіля від заданого водієм напрямку руху. Одним з основних факторів, які впливають на втрату керованості, є бічні сили, що виникають при поворотах транспортного засобу. Коли величина бічних сил перевищує силу зчеплення коліс з дорогою, відбувається довільне переміщення коліс автомобіля в поперечному напрямку, так званий занос. Зазвичай водій стикається з занесенням задніх коліс, занос передніх, якщо він виникає, тут же гаситься відцентровою силою. Як вихід з такої ситуації на сьогоднішній день пропонується оснащення автомобілів електронною системою курсової стійкості (ESP - Electronic Stability Program). Система дозволяє ефективно визначати момент початку бічного заносу автомобіля і формувати стабілізуючий момент [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Від самого початку розвитку автомобільного транспорту чимало спроб зроблено для створення гальмівних систем, надійних і легких у використанні (менші зусилля водія через використання підсилюючих механізмів, т.п.).

Але управління гальмівними системами стало можливим тільки з комерційною доступністю цифрових мікроконтролерів у кінці 1970х. Іншим важливим технологічним проривом стала розробка шини локальної мережі контролерів - Controller Area Network (CAN).

Шина CAN дозволила різним контролюючим модулям, датчикам і приводам автомобіля підтримувати зв'язок одне з одним, що, у свою чергу, зробило можливою інтеграцію систем контролю.

Після цього, першою розробкою в галузі гальмівних систем була антиблокувальна система гальм (ABS). ABS контролює ковзання коліс і запобігає блокуванню коліс, що дає можливість автомобілю залишатися керованим при важкому гальмуванні [3,4]. Оскільки ABS підтримує ковзання коліс на оптимальному значенні, вона максимізує доступну гальмівну силу.

Більшість аварій через втрату управління автомобіля трапляються через те, що при граничних умовах автомобіль поводить з великою відмінністю від нормальної поведінки в межах границі і водій не може прийняти необхідні коригуючі дії.

Отже, метою автомобільного розробника повинно бути забезпечення того, що поведінка автомобіля при граничних умовах не повинна сильно відрізнитись від поведінки у межах норми або того, щоб автомобіль якомога довше діяв у дограничній області. Автомобільні системи контролю стійкості були розроблені для досягнення цієї мети [5-7].

Апаратне забезпечення системи стабілізації курсової стійкості автомобіля складається з систем збору на обробки інформації.

Визначення настання аварійної ситуації здійснюється шляхом порівняння дій водія та параметрів руху автомобіля. У випадку, коли дії водія (бажані параметри руху) відрізняються від фактичних параметрів руху автомобіля, включається система ESP. На підставі сигналів, що надходять від датчиків, електронна система курсової стійкості активує відповідні системи безпеки і управляє їх роботою. Очевидно що, бортові системи ESP дуже складні. Тому розробка і налаштування системи ESP є затратним по коштах і часу процесом.

Комерційні бортові системи ESP мають дуже складні патентовані алгоритми. Складність може залежати від трьох основних факторів: (1) кількість контрольованих змінних і їх точне визначення, (2) кількість і тип систем, використаних для вироблення контролюючих сил, і (3) врахування змін, що трапляються в автомобілі з часом, або при зміні умов роботи.

Існуючі на ринку програмні інструменти для моделювання поведінки транспортних засобів на дорозі, часто володіють обмеженим функціоналом з точки зору управління поведінкою транспортного засобу [8-9].

В останні роки, завдяки розвитку графічного інтерфейсу і графічних пакетів, широкий розвиток отримало комп'ютерне структурно-функціональне моделювання. Покладено початок застосуванню комп'ютера навіть у концептуальному моделюванні, де він використовується, наприклад при побудові систем штучного інтелекту. Таким чином очевидно, що поняття “комп'ютерне моделювання” значно ширше традиційного поняття “моделювання на ЕОМ”.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ - побудова імітаційної моделі управління поведінкою транспортного засобу при заносах з використанням системи курсової стійкості (ESP). Застосування такого підходу дозволяє проводити імітаційне моделювання за різними сценаріями, залежно від формування різноманітних ситуацій, практично необмеженої складності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Функціональне моделювання роботи ESP: ESP вимірює кут повороту керма, бічне пришвидшення і темп ризику. Базуючись на цих вхідних параметрах система записує і обчислює передбачуваний напрям руху автомобіля і поведінку, припускає потребу втручання, коли автомобіль недо- або переповертає, наприклад, одне або кілька коліс гальмуються для коригування курсової стійкості (рис. 1).



Рисунок 1. Схема функціонування ESP.

Код для ESP має контроль недо- і переповороту. Важливими вхідними сигналами для ESP є A_x , темп ризику і кермівний кут. Базуючись на вході, якщо він іде вище певного порогу, вихідні сигнали рівнів гальм і рівень педалі коригують напрям і стійкість автомобіля (рис. 2). Якщо

автомобіль переповертає, гальмування зовнішнього переднього колеса допоможе утримати бажаний курс. При недоповороті коригування виконується гальмуванням внутрішнього заднього колеса.

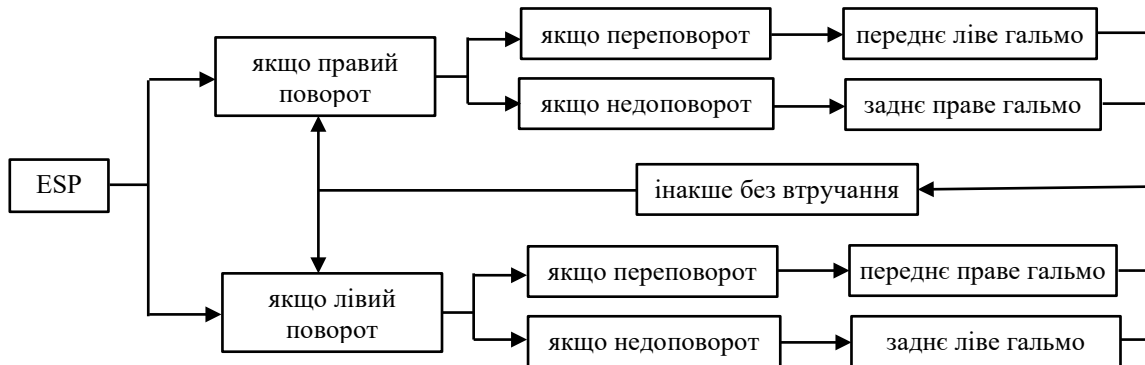


Рисунок 2. Схема функціонування ESP при регулюванні.

Функціональне моделювання роботи антиблокувальної системи (ABS): Для коду ABS важливими вхідними сигналами є швидкість колеса і рівень гальма. Вимірюючи швидкість коліс і швидкість автомобіля, коли якесь колесо іде з меншим значенням швидкості, ніж інші колеса, гальмівний фактор для цього колеса зменшується для уникнення блокування. В дійсності швидкість коліс автомобіля вимірюється в кожного колеса, якщо похідна швидкості колеса надто крута – гальмівний тиск зменшується [10] (рис. 3).

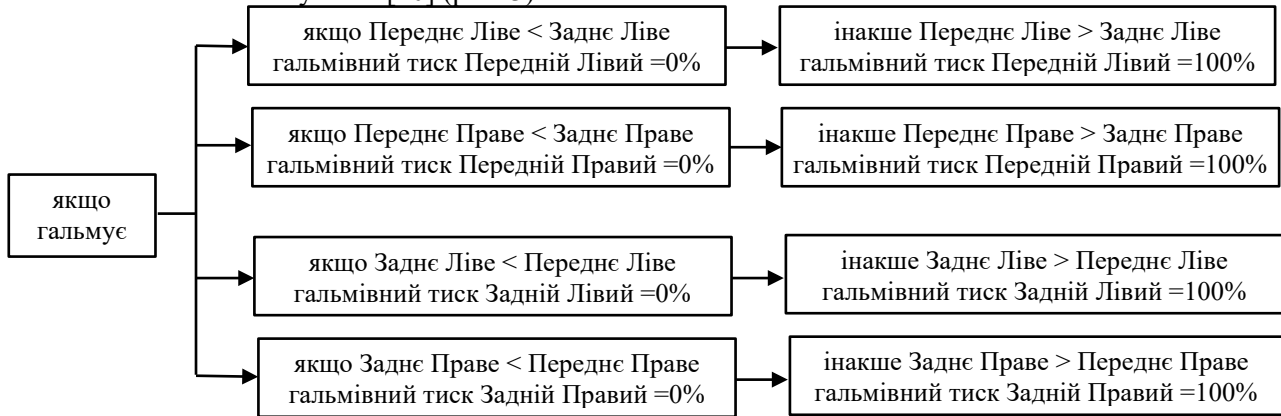


Рисунок 3. Схема функціонування ABS.

Функціональне моделювання роботи системи контролю тяги (TCS): Код для TCS втручається тільки в управління двигуном для регулювання ведучих коліс пришвидшенням. Якщо використовуються гальма, на TCS трапляється деякий шум, коли система активована. TCS програмується з кількома налаштуваннями з 2-35% ковзанням, залежно від умов і бажаної поведінки (рис. 4).



Рисунок 4. Схема функціонування TCS.

Таким чином отримуємо схеми функціонування ESP, ABS, TCS як в загальному, так і при роботі в режимі регулювання. Використовуючи дані схеми переходимо до комп'ютерного структурно-функціонального моделювання роботи ESP [11-15].

В якості середовища для створення структурно-функціональної моделювання роботи ESP вибрано Delphi.

В графічному редакторі створено зображення автомобіля з основними елементами роботи ESP. На зображенні показані гальмівна система, індикатори спрацювання ABS та ESP, а також інформаційні зв'язки даних систем між собою через систему регулювання ESP (рис. 5).

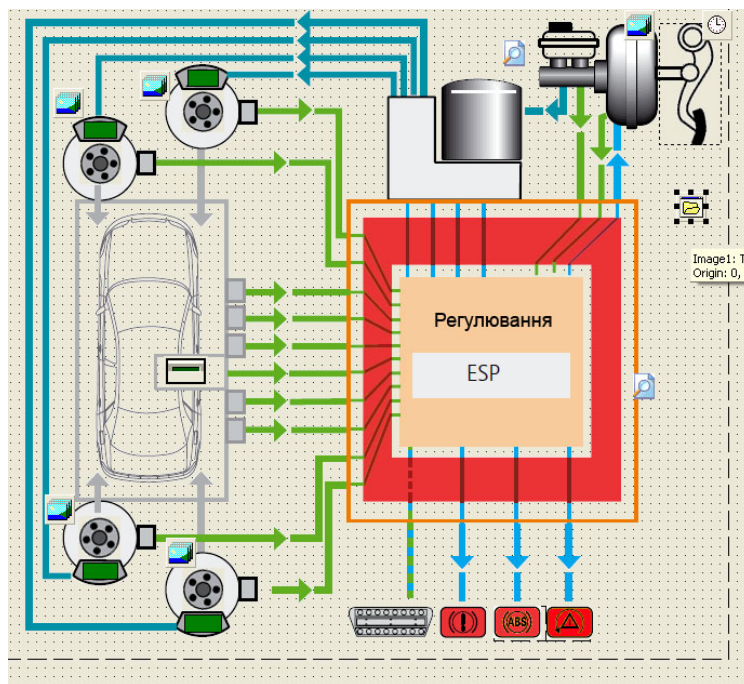


Рисунок 5. Базове зображення автомобіля з ESP.

Розміщення елементів ESP представлено в субмодальному вікні і також створено з застосування графічного редактора (рис. 6). Використання субмодального вікна для показу розміщення обладнання ESP надає можливість користувачу оперативно ознайомитись з розташуванням обладнання без виходу з режиму моделювання.

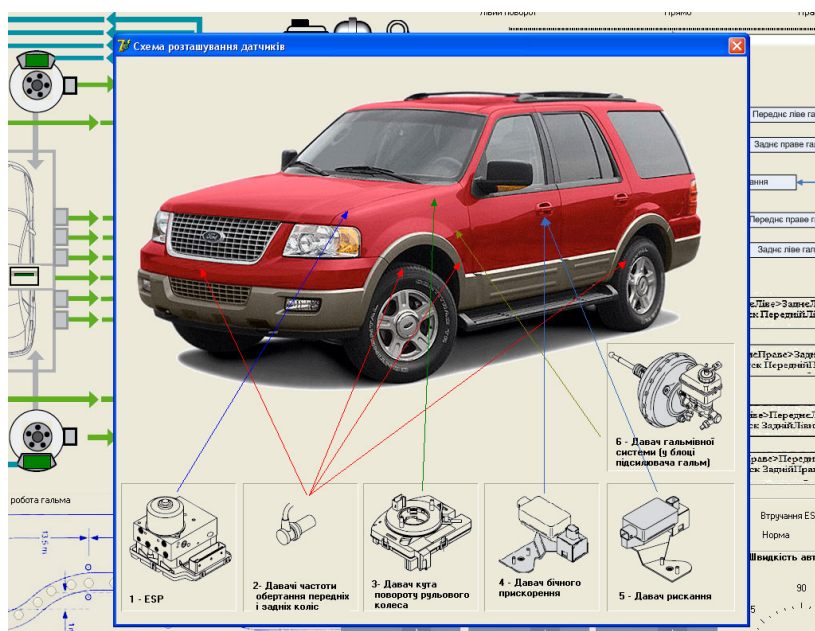


Рисунок 6. Зображення автомобіля з вказанням елементів ESP (субмодальне вікно).

Також за допомогою графічних засобів створено динамічну імітацію роботи контуру гальмівної системи (рис. 7). Така графічна імітація дозволяє ознайомитись з роботою контуру в динаміці, що значно покращує розуміння процесу гальмування. Імітація створюється за допомогою ряду

зображень, які в кінцевому варіанті об'єднуються в Gif файл. Для виводу системи також застосовується субмодальне вікно.



Рисунок 7. Зображення контуру гальмівної системи.

Наступним кроком створення функціональної моделі роботи ESP є отримання інтерактивної схеми роботи ESP та ABS (рис.8).

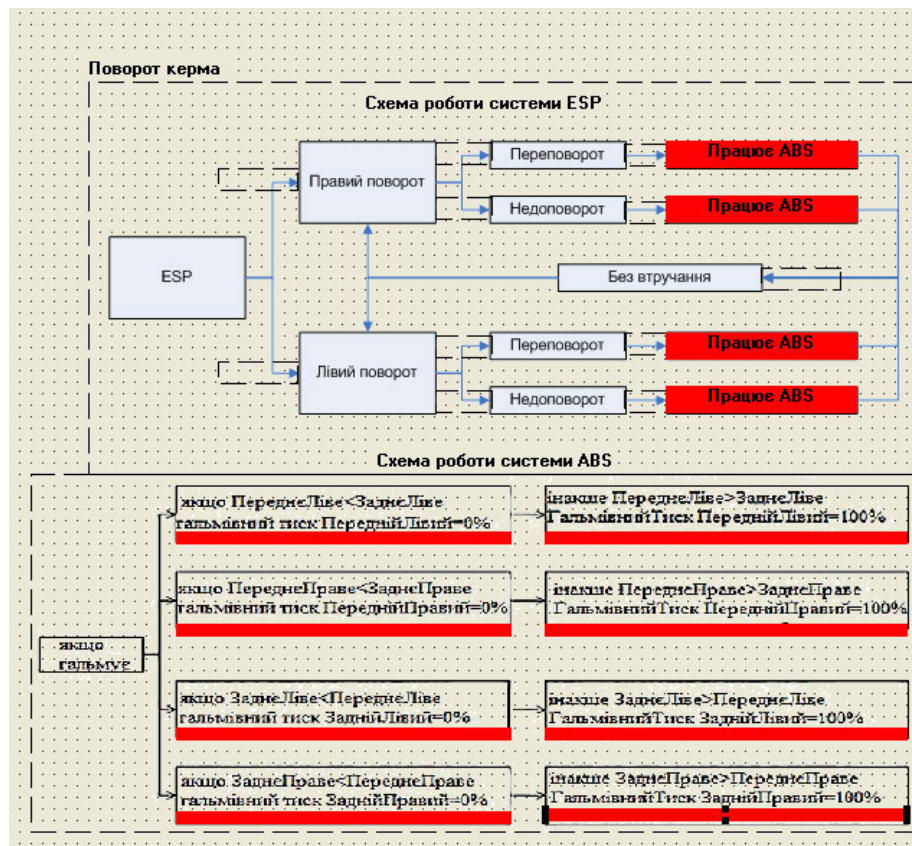


Рисунок 8. Зображення схеми функціонування ESP та ABS.

Останнім елементом фронтальної частини є зона виводу інформації під час роботи моделі (рис. 9). Ця зона складається з двох частин. Перша – візуалізація проходження автомобілем тестової траси. Друга частина – це індикація швидкості автомобіля, повороту керма та індикації втручання ESP.

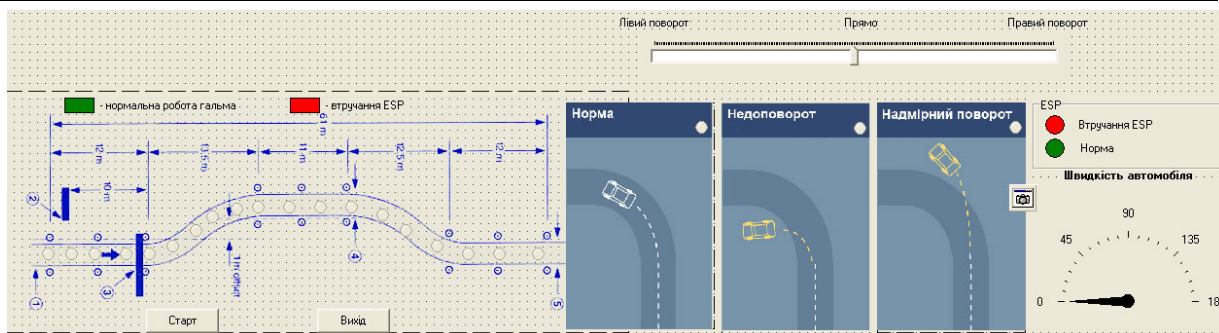


Рисунок 9. Зона виводу інформації.

Всі отримані зображення перенесені в програмне середовище (Delphi 7) і за допомогою невізуальних компонент вбудовані в структуру додатку.

Для моделі проведено розробку ряду процедур для імітації роботи ESP та ABS.

Для здійснення моделювання використовуються файли з вхідною інформацією. Це звичайні файли текстового формату, що містять інформацію про швидкість автомобіля, поворот керма, коефіцієнт K_{us} , відхилення швидкості на кожному колесі.

На початку моделювання здійснюється процедура читання з файлу інформації про поведінку автомобіля. Внаслідок порядкового зчитування інформації та опрацювання її в моделі отримуємо візуалізацію поведінки автомобіля при проходженні тестової траси (рис.10).

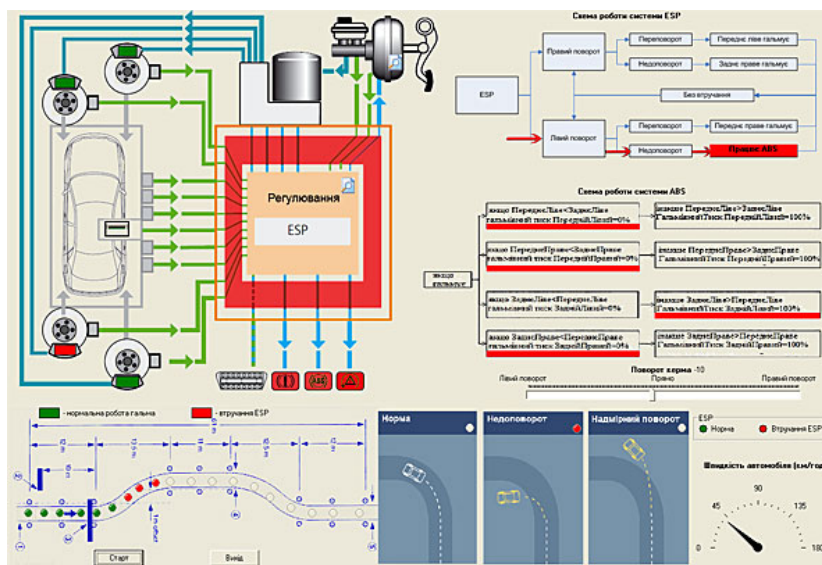


Рисунок 10. Візуалізація поведінки автомобіля при проходженні тестової траси.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

При розробці комп'ютерної моделі управління автомобілем при заносах з врахуванням роботи ESP було розглянуто базову динаміку автомобіля; проведено аналіз і класифікацію існуючих систем стабілізації курсової стійкості автомобіля; розглянуто сучасні електронні системи, котрі застосовуються в ESP; побудовано функціональну модель роботи ESP; розроблено алгоритм структурно-функціональної та імітаційної моделі управління автомобілем при заносах з врахуванням роботи ESP та здійснено його програмну реалізацію.

ВИСНОВКИ

Таким чином, отримана комп'ютерна модель управління автомобілем при заносах з врахуванням роботи ESP, яка дозволяє спостерігати в динаміці роботу ESP та прослідкувати зв'язки, які виникають при роботі системи ESP та ABS. Застосування такого підходу дозволяє проводити імітаційне моделювання за різними сценаріями, залежно від формування різноманітних ситуацій, практично необмеженої складності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Статистика аварійності за 2018 рік / Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна». URL: <http://dorndi.org.ua/ua/statistika-avariynosti-za-2018-rik> (дата звернення: 30.08.2019).
2. Forkenbrock G.J, Boyd P.L. Light Vehicle ESP Performance test development. NHTSA. ESV Paper No 07-0456, 2007.
3. Neuhas D. and Willms J, Vehicle Dynamics- Continuous Improvements in Vehicle Safety from ABS to ESC. SAE Paper No. 2005-26-065, 2005.
4. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons Ltd, 3rd Edition, 2001.
5. Van Zanten A T, Erhardt R, and Pfaff G, Robert Bosch GmbH. VDC: The Vehicle Dynamics Control System of Bosch. SAE Technical Paper Series, 950759, 1995.
6. Wielenga T J, Dynamotive, L.L.C. A Method for Reducing On-Road Rollovers Anti-Rollover Braking. SAE Paper No. 1999-01- 0123, 1999.
7. Effectiveness of ABS and vehicle stability control systems. Research report of the Royal automotive club of Victoria, Australia. 2004.
8. Писаренко А.В., Белоус А.В., Кононенко Д.В. Компьютерное моделирование поведения транспортного средства с антиблокировочной системой. *Збірник наукових праць Харківського національного університету у Повітряних Сил*. 2013. № 3(36). С. 162-166.
9. Назарько О.О., Болдовський В.М. Оценка курсовой устойчивости автомобиля против заноса в тяговом режиме движения с помощью ЭВМ. *Авт омобильный транспорт* . 2012. Вып. 31. С.26-28.
10. Pan W., Papelis Y.E. Real-Time Dynamic Simulation Of Vehicles With Electronic Stability Control: Modeling And Validation. *Int. J. Vehicle Systems Modeling and Testing*. Vol. 1, Nos. 1/2/3, 2005.
11. Горстко А.Б. Познакомьтесь с математическим моделированием. Москва: Знание, 1991. 160 с.
12. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. Москва: Конкорд, 1992. 519 с.
13. Сван Т. Delphi 4. Библия разработчика. Пер. с англ. Киев: Изд. “Диалектика”, 1998. 672 с.
14. Кренкель Т.Е. Персональные ЭВМ в инженерной практике. Москва: Радио и связь, 1989. 336с.
15. Остроменский П.И., Аксенов В.А. Математическое моделирование в машиностроении. Новосибирск, 1990. 83 с.

REFERENCES

1. Statystyka avariynosti za 2018 rik / *Derzhavne pidpryemstvo «Derzhavnyi dorozhnii naukovodoslidnyi instytut imeni M.P.Shulhina»*. URL: <http://dorndi.org.ua/ua/statistika-avariynosti-za-2018-rik> (data zvernennia: 30.08.2019).
2. Forkenbrock G.J, Boyd P.L, NHTSA. (2007). *Light Vehicle ESP Performance test development*, ESV Paper Number 07-0456.
3. Neuhas, D. and Willms, J. (2005). *Vehicle Dynamics- Continuous Improvements in Vehicle Safety from ABS to ESC*, SAE Paper No. 2005-26-065.
4. Wong, J. Y.(2001). *Theory of Ground Vehicles*. John Wiley & Sons Ltd, 3rd Edition.
5. Van Zanten A T, Erhardt R, and Pfaff G, Robert Bosch GmbH,(1995). *VDC: The Vehicle Dynamics Control System of Bosch*, SAE Technical Paper Series, 950759.
6. Wielenga T J, Dynamotive, L.L. (1999). *A Method for Reducing On-Road Rollovers Anti-Rollover Braking*, SAE Paper No. 1999-01- 0123.
7. Effectiveness of ABS and vehicle stability control systems. Research report of the Royal automotive club of Victoria, Australia. 2004.
8. Pisarenko A.V., Belous A.V., Kononenko D.V. (2013). *Komp'yuternoe modelirovanie povedeniya transportnogo sredstva s antiblokirovочноj sistemoj*. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl. № 3(36). S.162-166.
9. Nazar'ko O.O., Boldovs'kij V.M. (2012). *Ocenka kursovoj ustojchivosti avtomobilya protiv zanosu v tyagovom rezhime dvizheniya s pomoshch'yu EVM*. Avtomobil'nyj transport. Vyp. 31. S.26-28.
10. Pan W., Papelis Y.E. Real-Time Dynamic Simulation Of Vehicles With Electronic Stability Control: Modeling And Validation. *Int. J. Vehicle Systems Modeling and Testing*. Vol. 1, Nos. 1/2/3, 2005.
11. Gorstko A.B. (1991). *Poznakomtes' s matematicheskim modelirovaniem*. Moskva: Znanie, 160 s.
12. Buch G. *Ob'ektno-orientirovannoe proektirovanie s primerami primeneniya*. Per. s angl. Moskva: Konkord, 519 s.

13. Svan T. (1998). *Delphi 4. Bibliya razrobotchika*. Per. s angl. Kiev: Izd. "Dialektika", 672 s.
14. Krenkel' T.E. *Personal'nie EVM v inzhenernoj praktike*. Moskva: Radio i svyaz', 336 s.
15. Ostromenskij P.I., Aksenov V.A. *Matematicheskoe modelirovanie v mashinostroenii*. Novosibirsk, 83 s.

Lotysh V.V., Gumeniuk L.O., Humeniuk P.O. Structural - functional model of work of electronic system of course stability (ESP). A significant number of accidents are associated with the loss of vehicle control and, consequently, the deviation of the vehicle from the driver's direction of travel. The majority of accidents due to loss of control occur because under the limiting conditions the vehicle behaves differently from normal behavior and the driver cannot take the necessary corrective actions. An Electronic Stability Program (ESP) has been developed to ensure that the vehicle's behavior under extreme conditions is not very different from normal behavior. The system allows to effectively determine the moment of onset of lateral skidding of the vehicle and to form a stabilizing moment.

Existing programs for modeling the behavior of vehicles on the road often have limited functionality in terms of managing the behavior of the vehicle. In the proposed work, the authors have developed a simulation model of the behavior of the vehicle in the skids using the stability system (ESP).

A dynamic simulation of the operation of the brake system circuit has been created. It allows to get acquainted with the work of the circuit in the dynamics, This greatly improves the understanding of the braking process. The ESP and ABC interactive schemes have been developed. The information output area of the model visualizes the car passing the test track, gets an indication of the speed of the car, steering wheel and an indication of ESP intervention. In this way, a computer model of the vehicle's drift control was obtained, taking into account ESP. The model is monitoring the dynamics of ESP and traces the connections that occur when ESP and ABS. The use of this approach allows simulating different scenarios of almost unlimited complexity, depending on the formation of various situations.

Keywords: simulation model, skids, driving a vehicle, ESP, ABC, the outline of the brake system, speed, steering wheel turn.

ЛОТИШ Володимир Вячеславович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ, e-mail: admin@lntu.edu.ua ORCID 0000-0003-0899-8015

ГУМЕНЮК Лариса Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ, e-mail: l.gumeniuk@lntu.edu.ua ORCID 0000-0002-7678-7060

ГУМЕНЮК Павло Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ, e-mail: p.gumeniuk@lntu.edu.ua ORCID 0000-0002-6251-8548

LOTYSH Volodymyr, PhD. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU, e-mail: admin@lntu.edu.ua ORCID 0000-0003-0899-8015

GUMENIUK Larysa, PhD. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU, e-mail: l.gumeniuk@lntu.edu.ua ORCID 0000-0002-7678-7060

HUMENIUK Pavlo, PhD. in Engineering, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU, email: p.gumeniuk@lntu.edu.ua ORCID 0000-0002-6251-8548