

А.О. МОЛОДАН, Є.О. ДУБІНІН, Д.М. КЛЕЦ, О.С. ПОЛЯНСЬКИЙ, А.І. КОРОБКО, В.Ю. БАЙДАЛА, М.В. КРАСНОКУТСЬКИЙ

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІСНИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вдосконалено перспективний метод випробувань засобів транспорту на динамічну стійкість положення, що дозволяє кількісно оцінити їх поперечну стійкість при русі нерівностями. В якості критерію оцінки запропонований до використання коефіцієнт динамічної стійкості. Застосування розробленого методу на практиці дозволяє отримати оцінку параметрів стійкості в реальному часі при експлуатації засобів транспорту.

Розроблено структурну схему забезпечення надійності експлуатації колісного транспортного засобу, засновану на зниженні впливу кваліфікації водія як елемента системи «водій-машина-дорожні умови» на її стійкість положення з урахуванням результатів моніторингу технічного стану.

Для проведення експериментів та оцінювання результатів використано мобільний реєстраційно-вимірний комплекс (МРВК) для оцінювання та підвищення безпеки використання колісних засобів транспорту з урахуванням сучасних засобів і підходів. В якості платформи мобільного реєстраційно-вимірнього комплексу служить одноплатний комп'ютер Raspberry Pi версії 3B+. Архітектура МРВК – модульна, підтримується установка додаткових інерційних датчиків, пристроїв фото-відеофіксації, GPS, а також пристроїв, сумісних з USB. Операційна система – Raspbian на основі дистрибутива Debian (GNU/Linux).

Для подальшої автоматизації процесу управління колісним транспортним засобом було розроблено перспективну схему роботи реєстраційно-вимірнього комплексу з елементами штучного інтелекту, який дозволяє без участі водія проводити необхідні дії з його управління та забезпечення, в тому числі, безпеки експлуатації.

Результати можуть бути використані при оцінюванні відповідності та експлуатації колісних засобів транспорту.

Ключові слова: метод випробувань, критерій, засіб транспорту, стійкість положення, реєстраційно-вимірний комплекс.

A. MOLODAN, Ye. DUBININ, D.KLETS, O. POLYANSKY, A. KOROBKO, V. BAIDALA, M. KRASNOKUTSKY

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF TESTING THE DYNAMIC PROPERTIES OF WHEELED MACHINES WITH THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The method of testing vehicles for dynamic position stability has been improved, which makes it possible to assess their lateral stability when driving on irregularities. The dynamic stability coefficient is proposed for use as an assessment criterion. The application of the developed method allows to obtain an assessment of stability in real time during the operation of transport means.

The structural scheme has been developed to ensure the reliability of the operation of wheeled vehicle, based on reducing the influence of the driver's qualifications as an element of the "driver-vehicle-road conditions" system on its position stability, taking into account the results of monitoring the technical condition.

To conduct experiments and evaluate the results, the mobile registration and measurement complex (MRMC) was used to assess and improve the safety of exploitation of wheeled vehicles, taking into account modern means and approaches. A single-board computer Raspberry Pi version 3B + serves as a platform for the mobile registration and measurement complex. The architecture of MRMC is modular; it supports the installation of additional inertial sensors, photo and video fixation devices, GPS, as well as devices compatible with USB. Operating system – Raspbian based on Debian distribution (GNU / Linux).

To further automate the process of controlling a wheeled vehicle, the promising scheme for the operation of the registration and measuring complex with elements of artificial intelligence was developed, which allows, without the participation of the driver, to carry out the necessary actions to control it and ensure, including operational safety.

The results can be used to assess the suitability and performance of wheeled vehicles.

Key words: test method, criterion, means of transport, position stability, registration and measurement complex.

Вступ. Випробування вимагають розробки нових показників і критеріїв оцінки якості вимірювань, відповідно, і розробки нових методів випробувань, в тому числі, їх

метрологічного забезпечення. Точність результатів досягається державною системою метрологічного забезпечення. Основою цієї системи є еталонна база держави.

У профільних випробувальних лабораторіях є достатньо інформації про технологічні процеси випробувань, тому лабораторії можуть пропонувати кожному замовникові свої підходи до оцінювання якості: які показники необхідно вимірювати, з якою точністю, яка буде достовірність та адекватність отриманих результатів.

Основою розробки методів випробувань є окремі елементи системного та процесного підходів, що сприяють розробці ефективної стратегії дослідження транспортних засобів, вивчення взаємозв'язків і синтезу адекватної моделі методу випробувань. Ефективність розробленого методу випробувань визначається правильністю вибору сукупності концептів та їх взаємозв'язків і взаємовпливу, що дозволяє вирішити поставлені завдання та досягти мети. Слід відзначити, що умови навколишнього середовища повинні відповідати вимогам нормативної документації на методи випробувань та забезпечувати необхідну точність вимірювань під час проведення випробувань [1].

Питання забезпечення поперечної стійкості засобів транспорту, особливо шарнірно-зчленованих, займають особливе місце в зв'язку з їх конструкцією. В даний час оцінку статичної стійкості проводять на спеціальних стендах, причому існуючий технічний рівень засобів транспорту дозволяє забезпечувати таку стійкість і задовольняти вимогам, що пред'являються. При цьому в реальних умовах експлуатації пріоритетною для забезпечення є динамічна стійкість положення. Відомо, що кут нахилу опорної поверхні, по якій засіб транспорту може впевнено рухатися без перекидання, повинен бути не більше половини статичного кута стійкості, визначеного на стенді. На практиці вимір кута нахилу поверхні в процесі руху являє собою певні труднощі, також складно врахувати можливі динамічні навантаження від мікронерівностей рельєфу дороги.

При цьому перекидання можливо при наявності одночасної дії двох факторів – нахилу опорної поверхні та впливу мікронерівностей.

Для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних засобів транспорту пропонується використовувати вдосконалений мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В даний час для оцінки стійкості положення колісних транспортних засобів використовується велика кількість параметрів і критеріїв, розроблених різними авторами [2-7]. Всі вони дозволяють з різним ступенем точності оцінити існуючий технічний рівень засобів транспорту щодо їх стійкості положення. Частина запропонованих критеріїв вимагає наявності великого обсягу вихідних даних. Тому питання розробки перспективних методів випробувань засобів транспорту на стійкість положення, заснованих на визначенні відповідних критеріїв з мінімальними витратами, є актуальними.

Для підвищення безпеки експлуатації колісного засобу транспорту необхідно розширювати контроль його різних систем і механізмів, забезпечити якісно вищий рівень випробувань і впроваджувати нові пристрої з широкими функціональними можливостями [8]. Використання акселерометрів грає в цьому значну роль [9, 10].

Проведення випробувань для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних транспортних засобів потребує застосування мобільних комплексів, які дозволяють без втручання в конструкцію машини здійснювати визначення її основних параметрів [8, 10]. Існуючі аналоги (наприклад, CORRSYS DATRON) мають високу вартість, однак вітчизняні повною мірою не дозволяють проводити ряд необхідних випробувань в дорожніх умовах: визначати аеродинамічні параметри, показники потужності колісних транспортних засобів і ККД [11].

При розробці нових методів випробувань необхідно комплексне рішення сукупності різних завдань, що включають, в загальному вигляді, оперативне аналізування інформації та вироблення й отримання керуючих сигналів, що забезпечують формування відповідних рішень [12]. Вирішення зазначених завдань можливе лише в разі застосування системного підходу з

використанням адаптивного управління, що дозволить вирішувати завдання з урахуванням конкретних умов.

Мета та постановка задачі. Метою дослідження є вдосконалення перспективного методу випробувань засобів транспорту на динамічну стійкість положення. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити критерій оцінки стійкості положення й апробувати його на практиці, зробити необхідні випробування за допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу з елементами штучного інтелекту як основи інтелектуальної платформи для оцінювання та підвищення безпеки використання колісних транспортних засобів з урахуванням сучасних засобів і підходів.

Метод випробувань на динамічну стійкість положення. У розвиток методів проведення випробувань засобів транспорту на стійкість пропонується метод оцінки динамічної стійкості положення засобів транспорту, заснований на застосуванні методу парціальних прискорень [13]. Була отримана умова збереження динамічної поперечної стійкості положення машини при русі поперечним ухилом з урахуванням впливу жорсткості підвіски та приведеної жорсткості системи «шини-грунт»

$$w_x^{ПВ} \leq \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot 1 - \cos(\alpha - \beta - \alpha_n - \alpha_\kappa)}{h_c \cdot \frac{i_x^2}{h_c^2} \cdot \cos \alpha + \sec \alpha}}, \quad (1)$$

де $w_x^{ПВ}$ – кутова швидкість засобів транспорту в поперечній площині, перпендикулярній до опорної поверхні, отримана при дії збурюючих факторів; h_c – висота центру мас засобу транспорту; $\alpha, \beta, \alpha_n, \alpha_\kappa$ – кути поперечної статичної стійкості, поперечного нахилу поверхні, крену на підвісці, крену при деформації шин і опорної поверхні відповідно; i_x – радіус інерції засобу транспорту відносно горизонтальної осі, що проходить через центр мас; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

В якості критерію стійкості пропонується використовувати коефіцієнт динамічної стійкості $K_{ДС}$, який визначається по залежності

$$K_{ДС} = \frac{\omega_{nom}}{\omega_{гран}}, \quad (2)$$

де ω_{nom} – поточне значення кутової швидкості засобу транспорту в поперечній площині; $\omega_{гран} = w_x^{ПВ}$ – гранична за умовою перекидання кутова швидкість засобу транспорту в поперечній площині.

При $K_{ДС} < 1$ стійкість положення забезпечується. При досягненні $K_{ДС} \geq 1$ існує реальна небезпека перекидання, необхідно застосовувати відповідні заходи для його запобігання.

Для визначення поточного значення кутової швидкості засобу транспорту в поперечній площині ω_{nom} експериментально встановлюються компоненти прискорень за допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу (МРВК) [14], адаптованого для оцінки стійкості положення. Лінійні прискорення по двох осях перераховуються у відповідну кутову швидкість, використовуючи результати роботи [15], за формулою

$$\omega_{nom} = \sqrt{\frac{-(a_{AY_1} + a_{BY_1}) \cdot (Y_A + Y_B) - (a_{AZ_1} + a_{BZ_1}) \cdot (Z_A + Z_B)}{(Y_A + Y_B)^2 + (Z_A + Z_B)^2}} \quad (3)$$

де $a_{AY_1}, a_{BY_1}, a_{AZ_1}, a_{BZ_1}$ і – бічна та вертикальна компоненти лінійних прискорень, що реєструються датчиками А і В у поперечній площині, перпендикулярній опорної поверхні, відповідно; Y_A, Y_B, Z_A, Z_B – відстані від датчиків А і В до осі перекидання по горизонталі та вертикалі відповідно.

У процесі руху транспортного засобу датчики прискорень безперервно з частотою 80 с^{-1} фіксують величини компонент лінійних прискорень, які, відповідно до конструктивних особливостей машини та місцями установки датчиків, в режимі реального часу можуть бути перераховані в поточну кутову швидкість. Отримане значення параметра порівнюється з отриманими за формулою (1) граничними значеннями для різних допустимих кутів поперечного нахилу опорної поверхні. Кут нахилу транспортного засобу можна визначити з використанням МРВК [16] або додаткового обладнання – інклінометрів. Пропонований перспективний метод був апробований на практиці при експлуатації шарнірно-зчленованих колісних тракторів з номінальним тяговим зусиллям 35 кН.

Розроблено структурну схему забезпечення надійності експлуатації колісного транспортного засобу, засновану на зниженні впливу кваліфікації водія як елемента системи «водій-машина-дорожні умови» на її стійкість положення з урахуванням результатів моніторингу технічного стану (рис. 1). Для її реалізації був використаний МРВК [17, 18]. В даний час розвиток електроніки та мікропроцесорної техніки дозволяє отримати якісно новий вимірювальний комплекс з широкими можливостями щодо його розвитку та модернізації.



Рис. 1. – Структурна схема забезпечення надійності експлуатації колісної машини

В якості платформи мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу служить одноплатний комп'ютер Raspberry Pi версії 3B+ (табл. 1). Архітектура МРВК – модульна, підтримується установка додаткових інерційних датчиків, пристроїв фото-відеофіксації, GPS, а також пристроїв, сумісних з USB. Операційна система – Raspbian на основі дистрибутива Debian (GNU/Linux).

На рис. 2 представлена платформа, яка працює в мобільному режимі (бездротова передача сигналу акселерометрів на сервер, живлення здійснюється від акумулятора PowerBank).

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики платформи

Мікро-архітектура	Частота	Кількість ядер	ОЗП	GPIO	USB	Ethernet	Wi-Fi	Bluetooth
Cortex-A53 (ARM v8)	1,4 ГГц	4	1 ГБ	40 пінів	4 порта	Gigabit через USB2	802.11ac	4.2

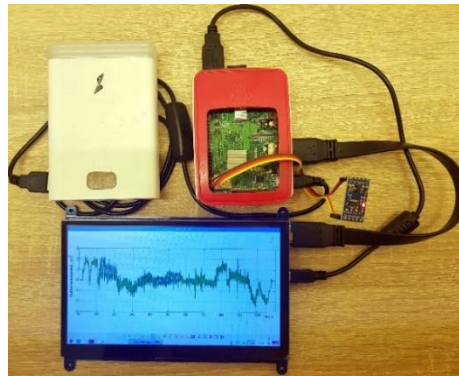


Рис. 2. – Робота платформи в мобільному режимі

МРВК починає фіксувати дані після натискання на кнопку RUN на сенсорному екрані, про що свідчить анімація в режимі реального часу (рис. 3). З цього моменту можна виконувати заїзди випробуваного транспортного засобу. Кожен запуск програми призводить до створення файлу формату «csv» на карті пам'яті. Назва файлу дається за поточним часом, у форматі ДД-ММ-РР, наприклад «18-05-09.csv». Архівні файли зручно обробляти за допомогою будь-якого табличного процесора або текстового редактора. Авторське програмне забезпечення дозволяє змінювати налаштування МРВК в процесі його роботи.

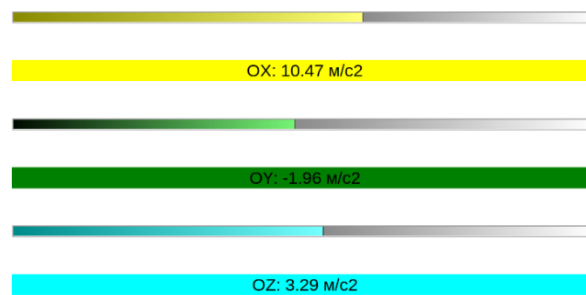


Рис.3. – Відображення сигналу акселерометра в режимі реального часу

Для подальшої автоматизації процесу управління колісним транспортним засобом було розроблено перспективну схему роботи реєстраційно-вимірювального комплексу з елементами штучного інтелекту (рис. 4), який дозволяє без участі водія проводити необхідні дії з його управління та забезпечення, в тому числі, безпеки експлуатації.



Рис. 4. – Схема функціонування реєстраційно-вимірювального комплексу з елементами штучного інтелекту

Експлуатаційні випробування проводилися в різних дорожніх умовах [19]. На рис. 5, 6 наведені приклади результатів проведених досліджень у вигляді графіків.

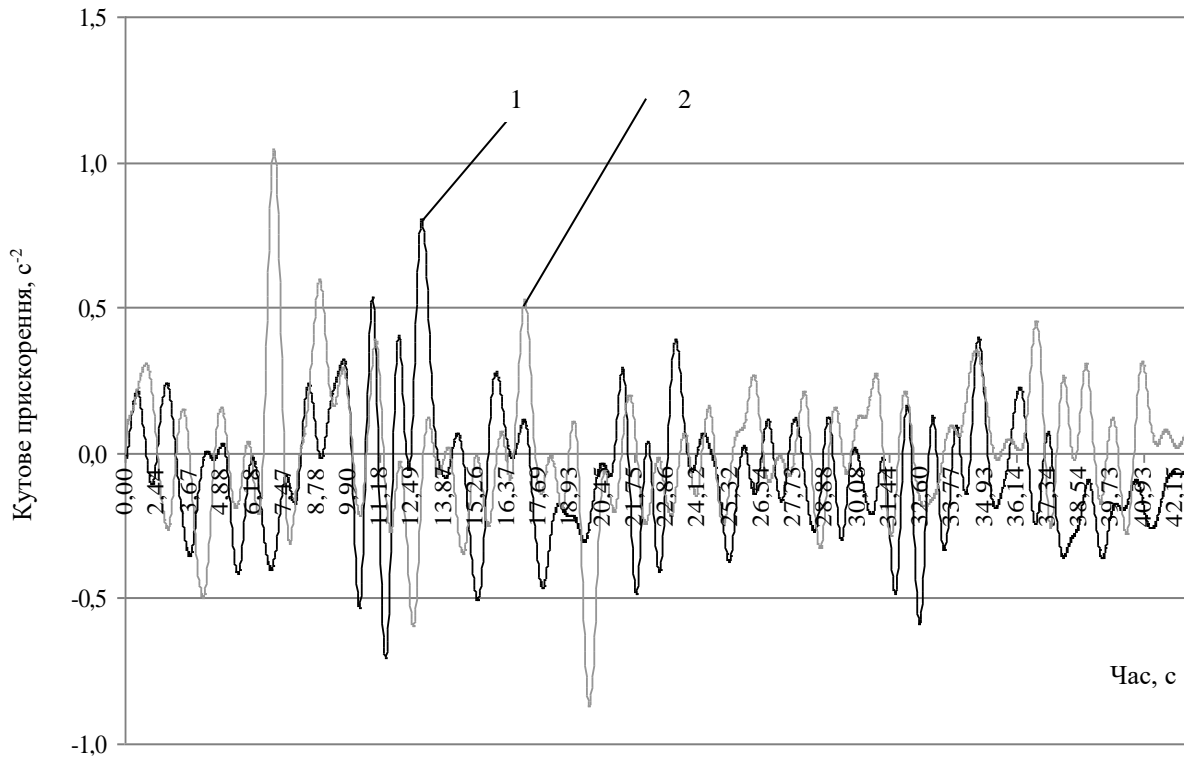


Рис. 5. – Кутові прискорення секцій при русі з двохосьовим причепом на ділянці з істотними нерівностями мікропрофілю ($V = 5,6$ м/с, $\beta = 0^\circ$, $h_{H\max} = 0,2$ м)

1 – передня секція; 2 – задня секція

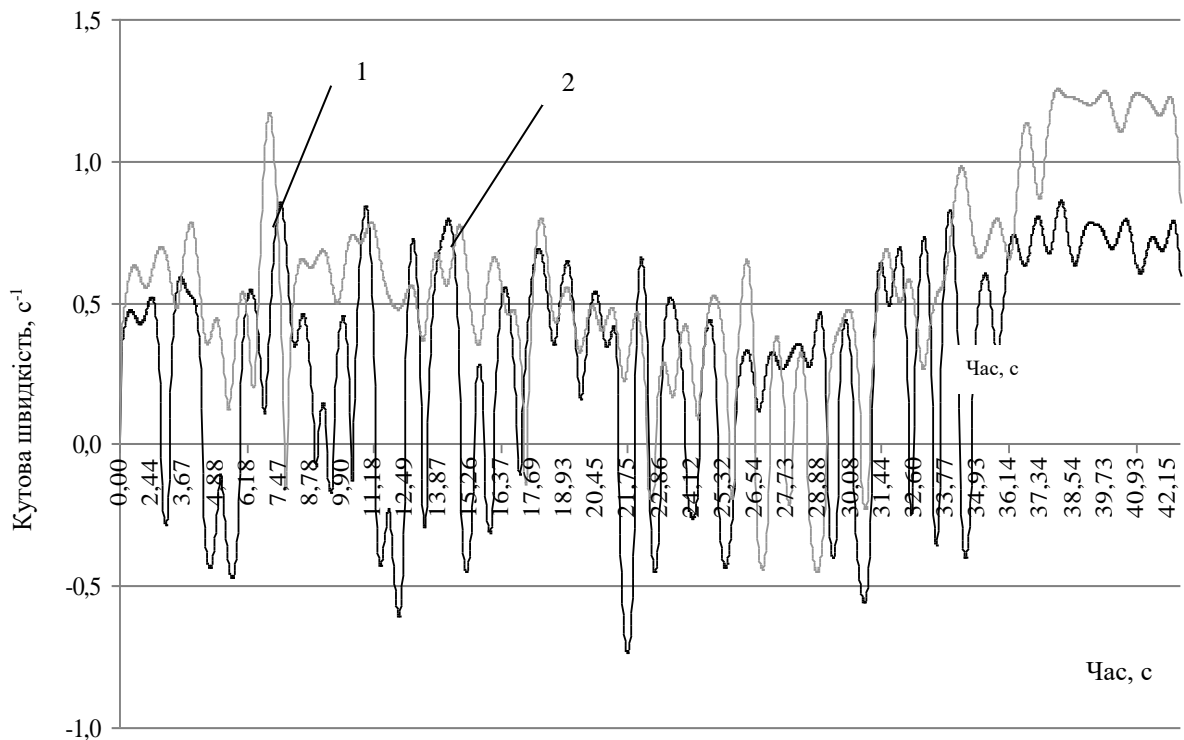


Рис. 6. – Кутові швидкості секцій при русі з двохосьовим причепом на ділянці з істотними нерівностями мікропрофілю ($V = 5,6$ м/с, $\beta = 0^\circ$, $h_{H\max} = 0,2$ м)

1 – передня секція; 2 – задня секція

Таким чином, запропонований перспективний метод випробувань засобів транспорту на стійкість положення передбачає виконання наступного алгоритму:

Визначення граничної за умовою перекидання кутової швидкості засобу транспорту в поперечній площині для різних кутів нахилу опорної поверхні.

Установка на засіб транспорту МРВК, адаптованого для оцінки динамічної стійкості положення, отримання компонент лінійних прискорень.

Визначення поточних значень кутової швидкості засобу транспорту в поперечній площині $\omega_{\text{пот}}$ (для шарнірно-зчленованих – для кожної секції окремо).

Розрахунок критерію стійкості – коефіцієнта динамічної стійкості $K_{\text{ДС}}$. При $K_{\text{ДС}} < 1$ стійкість положення забезпечується. При досягненні $K_{\text{ДС}} \geq 1$ існує реальна небезпека перекидання.

Застосування нечітких когнітивних моделей дозволяє автоматизувати рішення ряду складно формалізованих задач, що виникають на різних етапах прийняття керівного рішення [20]. Нечітку когнітивну карту зручно представити у вигляді зваженого орієнтованого графа, вершини якого (показники) відповідають об'єктам безлічі об'єктів моделі (показників), а дуги – причинно-наслідковим зв'язкам (рис. 7).

Усі розрахунки і передача результатів даних випробувань повинні систематично належним чином перевірятися [21]. У випадку, коли результати випробувань одержані через систему електронної обробки даних, частково як у нашому випадку, то надійність системи повинна виключати можливість їх спотворення. Система повинна мати можливості виявляти несправності обчислювальної техніки під час виконання обчислень для вжиття відповідних заходів.

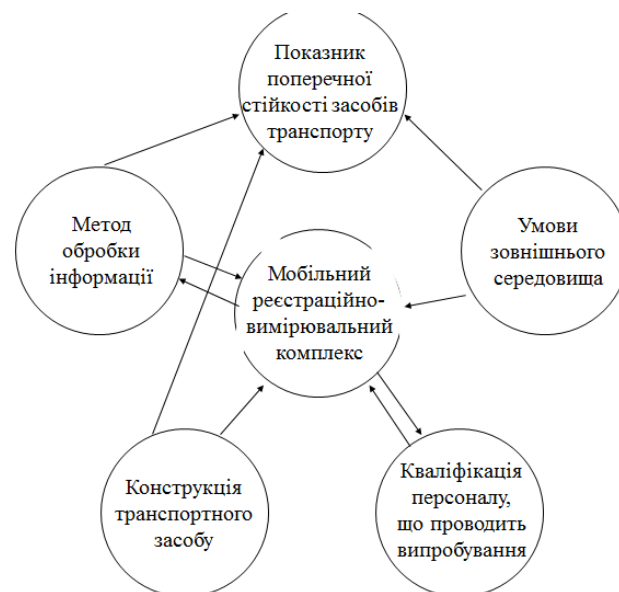


Рис.7. – Зважений орієнтований граф оцінювання параметрів, які впливають на поперечну стійкість колісної машини

Подальший розвиток запропонованого методу полягає в створенні бортових систем для прогнозування та запобігання перекиданню на основі інформування водія або автоматизації процесу зменшення швидкості руху аж до повної зупинки колісної машини. Розвиток системи можливий у варіанті системи проактивного управління, як системи динамічної стабілізації транспортних засобів.

Висновки. 1. Вдосконалено перспективний метод випробувань засобів транспорту на стійкість положення з використанням мобільного реєстраційно-вимірний комплекс, адаптованого для таких досліджень.

2. Розглянуто вимоги до мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу для оцінювання та підвищення безпеки використання колісних машин з урахуванням сучасних засобів і підходів та його перспективну схему роботи з елементами штучного інтелекту.

3. Запропонований метод випробувань апробований на практиці, отримана кількісна оцінка поперечної стійкості при русі по нерівностях на прикладі шарнірно-зчленованого колісного трактора з номінальним тяговим зусиллям 35 кН. У розглянутих умовах експлуатації коефіцієнт динамічної стійкості досягав 0,94, що підтверджує необхідність подальшої автоматизації процесу зменшення швидкості руху аж до повної зупинки засобу транспорту.

Список літератури:

1. Коробко А.І. Методологія розроблення нових методів випробувань. Журнал інженерних наук. Науковий журнал. 2017. Том 4, Випуск 1. С. Н7-Н13.
2. Львов Е.Д. Теория трактора / Львов Е.Д. – М.: Машгиз, 1960. – 252 с.
3. Гинцбург Б.Я. Тракторы и автомобили. Раздел: «Теория и расчет тракторов и автомобилей». Уч. пособие / Гинцбург Б.Я. – М.: Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования, 1964. – 91 с.
4. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов / Коновалов В.Ф. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
5. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. Изд. 2-е / Трепененков И.И. – М.: Машгиз, 1963. – 271 с.
6. Матюхов Г.Ф. К вопросу о поперечной устойчивости трактора / Г.Ф. Матюхов // Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – № 9. – С. 9-12.
7. Задорожня В.В. Підвищення безпеки використання колісних машин при виконанні транспортних робіт на поперечному схилі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 „Експлуатація та ремонт засобів транспорту” / В.В. Задорожня. – Харків, 2014. – 20 с.
8. Клец Д. Применение акселерометров в системах пассивной безопасности автомобилей / Д. Клец, А. Коробко, Я. Ревтов, Д. Безъязычный // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – 2009. – Вып. 24 – С.41-44.
9. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2 кн. / Ж. Аш. – М.: Мир, 1992. – 480 с.
10. Klets D. Accelerometers application in the automobile dynamic testing // Active Processes in Higher Technical Education to Train Specialists for Transportation and Highway Engineering and Automobile Industry: collection of scientific works International Conference / D. Klets, A. Korobko, M. Podrigalo, E. Voronova. – Kharkiv, 2009. – P.51-54.
11. Подригало М.А. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань тягово-транспортних машин / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, В.І. Гацько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 87-99.
12. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. Учебное пособие. М. : Изд-во. МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005. 200 с.
13. Дубинин Е.А. Прогнозирование динамической устойчивости положения шарнирно-сочлененных средств транспорта методом парциальных ускорений / Е.А. Дубинин, А.С. Полянский // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета: Сб. науч. трудов. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2013. – Вып. 40.– С. 37-41.
14. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М.А., Коробко А.І., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. – № u201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
15. Клец Д.М. Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений / Д.М. Клец, Е.А. Дубинин // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. праць. – Х.: ФОП Томенко Ю.І., 2014. – Вип. 151. – С. 373-378.
16. Клец Д.М. Определение угла продольного наклона автомобиля при проведении динамических испытаний / Д.М. Клец // Транспортне машинобудування. – 2011. – № 18. – С. 24-29.
17. Клец Д.М. Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних машин / Д.М. Клец, Є.О. Дубінін, Холодов А.П., Слинченко І.В. // Вісник ХНАДУ: Зб. наук. праць, – Х.:ХНАДУ, 2020. – Вип. 88, Т. II. – С. 56-60.
18. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія [текст]. Розділ 15. Вдосконалення концепції оцінювання та забезпечення експлуатаційних властивостей колісних машин / Д.М. Клец, Є.О. Дубінін, А.П. Холодов, І.В. Слинченко // Херсонська державна морська академія. – Херсон, 2019. – 810 с.

19. Павлов В.А. Транспортные прицепы и полуприцепы / В.А. Павлов, С.А. Муханов. – М.: Воениздат, 1981. – 191 с.
20. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. Учебное пособие. М. : Изд-во. МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005. 200 с.
21. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT). [Чинний від 2017-07-01]. Київ, 2017. VI, 28 с. (Національний стандарт України)

References (transliterated):

1. Korobko A.I. Metodolohiia rozroblennia novykh metodiv vyprobuvan. Zhurnal inzhenernykh nauk. Naukovyi zhurnal. 2017. Tom 4, Vypusk 1. S. N7-N13.
2. Lvov E.D. Teoriya traktora / Lvov E.D. – М.: Mashhyz, 1960. – 252 s.
3. Hynsburh B.Ia. Traktory y avtomobyly. Razdel: «Teoriya y raschet traktorov y avtomobylei». Uch. posobyе / Hynsburh B.Ia. – М.: Vsesoiuznyi sel'skokhoziaistvennyi unystytut zaочноho obrazovaniya, 1964. – 91 s.
4. Konovalov V.F. Dynamicheskaiya ustoichyvost traktorov / Konovalov V.F. – М.: Mashynostroeniye, 1981. – 144 s.
5. Trepenenkov Y.Y. Eksploatatsyonnye pokazately sel'skokhoziaistvennykh traktorov. Yzd. 2-e / Trepenenkov Y.Y. – М.: Mashhyz, 1963. – 271 s.
6. Matiukhov H.F. K voprosu o poperechnoi ustoichyvosti traktora / H.F. Matiukhov // Traktory y selkhoz mashyny. – 1959. – № 9. – S. 9-12.
7. Zadorozhnia V.V. Pidvyshchennia bezpeky vykorystannia kolisnykh mashyn pry vykonanni transportnykh robot na poperechnomu skhyli: avtoref. dys. na здobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.22.20 „Eksploatatsiia ta remont zasobiv transportu” / V.V. Zadorozhnia. – Kharkiv, 2014. – 20 s.
8. Klets D. Prymenenye akselerometrov v systemakh passyvnoi bezopasnosti avtomobylei / D. Klets, A. Korobko, Ya. Revtov, D. Bezъязыchnyi // Avtomobylnyi transport. Sbornyk nauchnykh trudov. – 2009. – Выр. 24 – S. 41-44.
9. Ash Zh. Datchyky yzmeritelnykh system: V 2 kn. / Zh. Ash. – М.: Myr, 1992. – 480 s.
10. Klets D. Accelerometers application in the automobile dynamic testing // Active Processes in Higher Technical Education to Train Specialists for Transportation and Highway Engineering and Automobile Industry: collection of scientific works International Conference / D. Klets, A. Korobko, M. Podrigalo, E. Voronova. – Kharkiv, 2009. – R.51-54.
11. Podryhalo M.A. Metrolohichne zabezpechennia dynamichnykh vyprobuvan tiahovo-transportnykh mashyn / M.A. Podryhalo, A.I. Korobko, D.M. Klets, V.I. Hatsko // Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka. Traktorna enerhetyka v roslынnytstvi. – 2009. – Vyp. 89. – S. 87-99.
12. Demenkov N.P. Nечetkoe upravlenye v tekhnicheskyykh systemakh. Uchebnoe posobyе. М. : Yzd-vo. MHTU ymeny N.Э. Baumana, 2005. 200 s.
13. Dubynyn E.A. Prohnozyrovanye dynamicheskoi ustoichyvosti polozheniya sharnyrno-sochlenennykh sredstv transporta metodom partsyalnykh uskorenyi / E.A. Dubynyn, A.S. Polianskyi // Uchenyye zapysky Krymskoho ynzhenerno-pedahohyчесkoho unyversyteta: Sb. nauch. trudov. – Symferopol: NYTs KYPU, 2013. – Выр. 40. – S. 37-41.
14. Pat. 51031 Ukraina, MPK G01P 3/00. Systema dlia vyznachennia parametriv rukhu avtotransportnykh zasobiv pry dynamichnykh (kvalimetrychnykh) vyprobuvaniakh / Podryhalo M.A., Korobko A.I., Klets D.M., Faist V.L.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kharkivskyi nats. avtom.-dorozhn. unyversytet. – № u201001136; zaiavl. 04.02.10; opubl. 25.06.10, Biul. № 12.
15. Klets D.M. Metod opredeleniya parametrov dvyzheniya sredstv transporta s pomoshchiu datchykov uskorenyi / D.M. Klets, E.A. Dubynyn // Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii sil'skohospodarskoho vyrobnyctva: Zb. nauk. prats. – Kh.: FOP Tomenko Yu.I., 2014. – Vyp. 151. – S. 373-378.
16. Klets D.M. Opredelenye uhla prodolnoho naklona avtomobylia pry provedenyy dynamicheskyykh uspytaniy / D.M. Klets // Transportne mashynobuduvannia. – 2011. – № 18. – S. 24-29.
17. Klets D.M. Mobilnyi reiestratsiino-vymiriuvalniy kompleks dlia otsiniuvannia ta pidvyshchennia eksploatatsiinykh vlastyvostei kolisnykh mashyn / D.M. Klets, Ye.O. Dubinin, Kholodov A.P., Slynchenko I.V. // Visnyk KhNADU: Zb. nauk. prats. – Kh.:KhNADU, 2020. – Vyp. 88, T. II. – S. 56-60.
18. Systemy i zasoby transportu. Problemy eksploatatsii i diahnozyky: monohrafiia [tekst]. Rozdil 15. Vdoskonalennia kontseptsii otsiniuvannia ta zabezpechennia eksploatatsiinykh vlastyvostei kolisnykh mashyn / D.M. Klets, Ye.O. Dubinin, A.P. Kholodov, I.V. Slynchenko // Khersonska derzhavna morskа akademiia. – Kherson, 2019. – 810 s.
19. Pavlov V.A. Transportnye prytserы y poluprytserы / V.A. Pavlov, S.A. Mukhanov. – М.: Voenydzat, 1981. – 191 s.
20. Demenkov N.P. Nечetkoe upravlenye v tekhnicheskyykh systemakh. Uchebnoe posobyе. М. : Yzd-vo. MHTU ymeny N.Э. Baumana, 2005. 200 s.

21. DSTU ISO/IEC 17025:2017. Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii (ISO/IEC 17025:2017, IDT). [Chynnyi vid 2017-07-01]. Kyiv, 2017. VI, 28 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy)

Надійшла (received) 19.12.2022 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Молодан Андрій Олександрович (Molodan Andrii) – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0017-740X>; e-mail: tmirm@ukr.net

Дубінін Євген Олександрович (Dubinin Yevhen) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6176-7358>; e-mail: dubinin-rmn@ukr.net

Клец Дмитро Михайлович (Klets Dmytro) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-1030>; e-mail: dubinin-rmn@ukr.net

Полянський Олександр Сергійович (Polyansky Oleksandr) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6435>; e-mail: khadi.pas@gmail.com

Коробко Андрій Іванович (Korobko Andriy) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>; e-mail: ak82andrey@gmail.com

Байдала Владислава Юріївна (Baidala Vladyslava) – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8836-6784>; e-mail: vlada.baidala@gmail.com

Краснокутський Максим Володимирович (Krasnokutsky Maksym) – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри технології машинобудування і ремонту машин, м. Харків, Україна. e-mail: simson1988@ukr.net <https://orcid.org/0009-0002-0132-4245>