

МЕТОД АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно О.П., кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Т.М., кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD MODELLING OF THE CAR SAFETY CONTROL

Sakhno V.P., Dh.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Poliakov V.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Sakno O.P., Ph.D., Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Kolesnikova T.M., Ph.D., Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

МЕТОД АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Сахно В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков В.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно О.П., кандидат технических наук, ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Т.М., кандидат технических наук, ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

Постановка проблеми. Помітне зростання кількості автомобілів у країні за останні роки в значній мірі забезпечується збільшенням їх ефективності експлуатації. Виникає потреба забезпечувати справний технічний стан сучасних конструкцій автомобілів. Метод аналізу функціонального резонансу (МАФР) використовується для вивчення складних соціотехнічних систем. Він був створений та описаний Еріком Холнегелем, який зазначив, що складні технічні системи містять велику кількість підсистем і компонентів, змінність продуктивності яких зазвичай поглинається системою з мінімальним впливом на загальну систему. Основними джерелами цієї мінливості є люди, технології, організація, яка забезпечує справний стан техніки.

Холнегель заявив, що оскільки ці елементи не пов'язані один з одним лінійно, вони можуть призвести до аварії (дорожньо-транспортних пригод). Коли варіації компонентів стають занадто великими, щоб їх засвоїти системою, то результат стає несприятливим або випадковим. Це стосується функціонального резонансного ефекту, що виникає внаслідок ситуації, коли система не в змозі функціонувати в нормальному режимі роботи через зміни повсякденної її продуктивності.

Модель МАФР описує, як функції системних компонентів автомобіля здатні резонувати і створювати небезпеки в процесі експлуатації, які можуть вийти з-під контролю та спричинити аварії чи дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) внаслідок низького рівня функціонування системи технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) автотранспортних засобів (АТЗ).

Аналіз останніх публікацій. Метод аналізу функціонального резонансу (МАФР) [1] підтримує процес системного аналізу, що спрямований на виявлення взаємозалежностей та системних поведінок, що потенційно є важливими для інструмента, який зосереджується на взаємозалежності процесу та їх динаміці. Метод МАФР – це метод моделювання складних організаційно-технічних систем, отриманий з теорії стійкої забезпечення здоров'я [2], яка стосується того, як досягти успіху роботи технічної системи за допомогою адаптації її у складних умовах [3]. Останні документи показали використання МАФР для розуміння імплементації керівних принципів та для керування зусиллями з управління безпекою [4]. МАФР передбачає виявлення функцій (технологічної, людської чи організаційної діяльності) у повсякденній роботі функціонування технічної системи [5-6].

Мета роботи – на основі методу МАФР змодельовати контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану (ТС), що впливає на погіршення керованості, стійкості, плавності та ходових якостей в процесі експлуатації.

Результати досліджень. Діяльність МАФР полягає в тому, щоб з системної точки зору зафіксувати вплив ТС ходової частини на зміну експлуатаційних властивостей та безпеку руху автомобіля. Використання МАФР приймає системну перспективу, що означає, що аналіз не може бути обмежений певною частиною соціально-технічної системи, але він повинен розглянути більш широку картину, коли організація розглядається як ціле, а не як обслуговування та збірка компонентів ходової частини АТЗ [7-8]. МАФР аналізує організацію як соціально-технічну систему, де технологія вбудована в соціальний контекст, який розробляє, тестує, запускає та підтримує справний технічний стан АТЗ.

МАФР базується на чотирьох основних принципах:

I. Принцип еквівалентності: працездатність і непрацездатність рівнозначні тому, що вони обидва впливають із змінною роботою та функціонування системи в цілому. Не існує спеціальних причин, які працюють лише на відмови.

II. Принцип приблизних коригувань: мінливість як спосіб пристосувати людину до керування системи ТОВР та умов експлуатації АТЗ. Люди (фахівці) завжди мають коригувати те, що вони роблять, щоб відповідати ситуації (безпеки руху). Така мінливість ефективності неминуча, повсюдна і необхідна.

III. Принцип виникнення несподіваності: поява працездатності і непрацездатності не є прямим результатом мінливості в межах певної задачі чи функції, а це поєднання мінливості багатьох функцій. Змінність функціонування системи може поєднуватися несподівано, що призводить до непропорційно великих результатів (нелінійні ефекти). Результат виникає, якщо його не можна віднести або пояснити (неправильними) функціями системи.

IV. Принцип функціонального резонансу: несподівані «посилені» ефекти взаємодій між різними джерелами мінливості лежать в основі явища, описаного функціональним резонансом. Функціональний резонанс – це детектовний сигнал (тобто можна виявити), який виходить із ненавмисної комбінації мінливості багатьох сигналів. Функціональний резонанс – це альтернатива лінійній причинності.

Моделі МАФР можуть бути використані для дослідження потенційних джерел мінливості шляхом моделювання та ідентифікації контекстно-залежних людських, технологічних та організаційних аспектів системи в загалі.

Цей підхід підтримує оцінку потенціалу системи для вирішення мінливості з огляду на очікувану та несподівану мінливість, що впливає з роботи технічної системи (або автомобіля в цілому).

Основна одиниця аналізу – функціональний шестикутник (рис. 1). За допомогою шести аспектів кожної функції (тобто часу, контролю, виходу, ресурсу, передумови та вхідних даних) вивчаються системні взаємодії, що спрямовані на виявлення потенційних джерел резонансу. Таким чином, висновок функції може бути входом, передумовою або навіть примусовим контрольним аспектом однієї чи модельної іншої функції системи (табл. 1). Цей процес також може призвести до ідентифікації можливих джерел затухання для небажаної мінливості. Наприклад, якщо ресурси для певної функції оцінюються як «більше, ніж потрібно», це може вказати на існування «запасної системи», яка може діяти як демпферний бар'єр, що забезпечує безпеку руху АТЗ. Процес дослідження можливих зв'язків між функціями, для виявлення як потенційних небажаних джерел мінливості, так і бар'єрів, називається інстанцією (тобто безпосередня близькість) МАФР.

Для рішення поставленої мети використовується технічне забезпечення ResilienceDS [9]. Такий інструмент дозволяє моделювати соціотехнічну систему «Людина-Автомобіль-Організація (система

ТО і ремонту)» та формувати формальні моделі для постійної оцінки ефективності функціонування системи ТО і ремонту та умов підвищення експлуатації АТЗ.

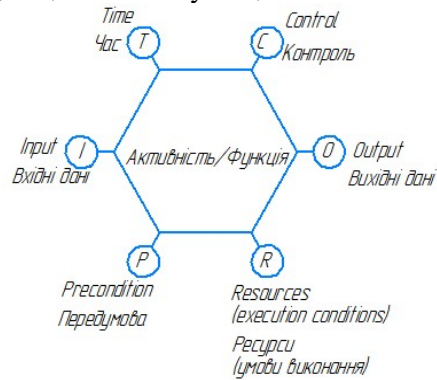


Рисунок 1 – Функції МАФР
Figure 1 – FRAM Function

Таблиця 1 – Характеристика функціональних елементів МАФР
Table 1 – Characteristics of FRAM functional units

| Параметр та символ англійською | Параметр українською | Опис |
|--------------------------------|----------------------|--|
| Input <i>I</i> | Вхідні дані | Вхідна інформація (або вхідні дані), яка характеризує функцію в процесі функціонування системи. Це є посилання на попередні функції. Вхідні дані запускають виконання або дію функції. |
| Output <i>O</i> | Вихід | Результат виконання функції (вихідні дані). Надає посилання на подальші функції. Представляє результат зміни технічного стану елементів системи (автомобіля). |
| Time <i>T</i> | Час | Час, необхідний для обробки (підготовки, діагностування, обслуговування елементів системи) функціональним підрозділом або підсистеми. |
| Control <i>C</i> | Контроль | Обмеження, методи та процедури контролю. Вони визначають, як функція передає технічні дані та/оба контролюється. |
| Preconditions <i>P</i> | Передумови | Системні умови, які визначають умови функціонування та, які повинні бути задоволені перед виконанням функції. |
| Resources <i>R</i> | Ресурси | Ресурси, які потрібні або використовуються під час обробки функції або функціонування елементів системи (автомобіля). |

Збір даних для моделювання МАФР проводився у три різні фази. По-перше, весною 2019 року було організовано дводенне відвідування СТО, що обслуговують фірмові легкові автомобілі в м. Дніпро. В рамках візиту було ознайомлення із загальним щодо відмови організації в конкретних випадках та конкретно з оточенням та завданням ТОiP легкових автомобілів. Другий етап збору даних полягав у семінарі, який відбувся на початку осені 2019 року. У роботі семінару брали участь дослідники, контактна особа та, головне, працівники, які обслуговували легкові автомобілі. Метою семінару було обговорення, перегляд та оновлення попередньої моделі МАФР, розробленої на основі інформації, зібраної під час відвідування фірмового СТО та офіційної документації. Семінар допоміг дослідникам визначити деякі функції та визначити їх аспекти (вхід, вихід, контроль, передумови, час та ресурси для забезпечення справного стану АТЗ).

Зібрані дані були використані для розробки моделі МАФР технічного обслуговування АТЗ. Модель складається з набору функцій, які описують дії, що проводяться з обслуговування АТЗ, що забезпечують їх справний стан.

В нашому дослідженні для забезпечення безпеки руху АТЗ в процесі експлуатації необхідно проводити обов'язково періодичні технічні впливи ходової частини (рис. 2): діагностика, перевірка стану амортизаторів, пружин, опорних чашок, гальмівних колодок, дисків, шлангів, люфтів в кульових опорах, рульових наконечниках, сайлент-блоків, регулювання і заміна підшипників маточини, розвал-сходження, перевірка стану автомобільної шини та контроль за ресурсом автомобільної шини. Все це впливає на експлуатаційні властивості АТЗ в процесі експлуатації:

стійкість, керованість, паливна економічність автомобіля. Коли ресурс автомобільної шини наближається до граничного стану, то підвищується вірогідність виникнення дорожньо-транспортних пригод [10]. На рис. 3 представлено вплив ТС ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля методом МАФ.

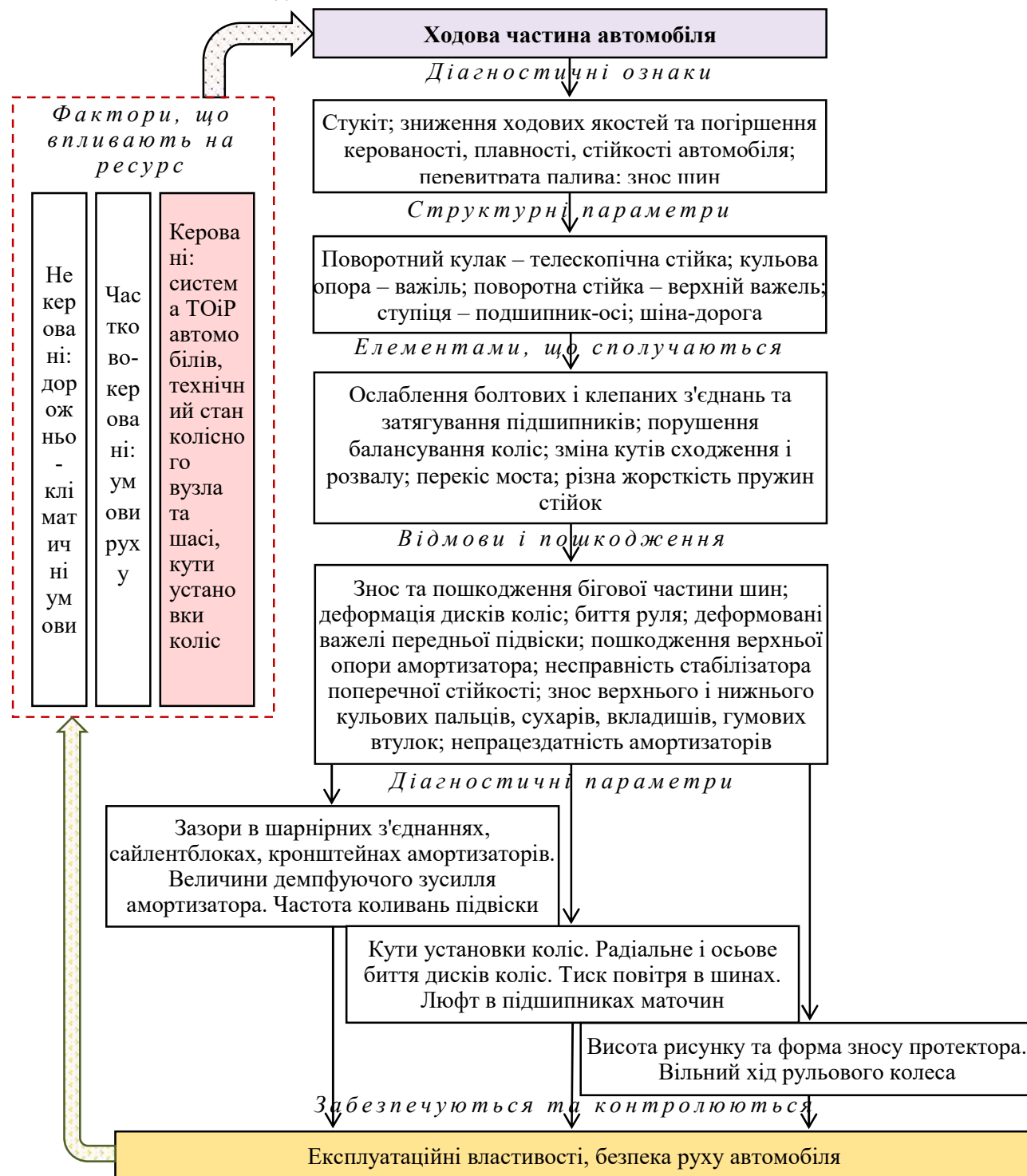


Рисунок 2 – Структурно-слідча модель ходової частини автомобіля
Figure 2 – Structural and investigative model of the running gear of the car

Таким чином необхідно формувати нову систему [11] ТОiP АТЗ, що визначає сучасні принципи та методи (рис. 4). Дана система моделювання нової технології ТОiP реалізується в оболонці системи проектування автомобілів нового покоління.

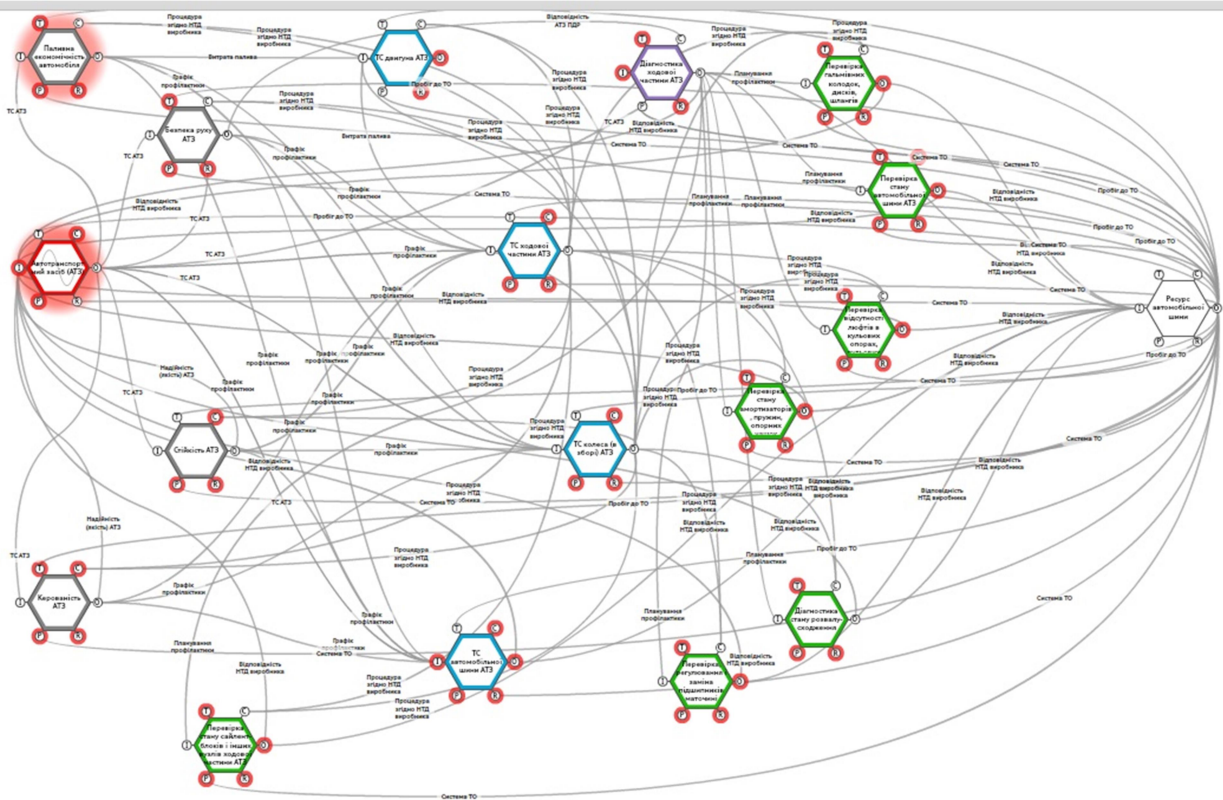


Рисунок 3 – МАФР-модельювання за контролем безпеки руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану (ТС) в процесі технічної експлуатації
 Figure 3 – Functional Resonance Analysis Method modelling of the car safety control because of the change of its technical condition (TC) in the process of technical operation

Система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей технологій ТОіР нового покоління може формуватися в рамках рекурентного підходу (повторюваність) на базі наступних типів принципів: відомих принципів, котрі можна представити множиною $R_s = \{R_{s1}, R_{s2}, R_{s3}, \dots, R_{si}, \dots, R_{sp}\}$; нових принципів – $R_n = \{R_{n1}, R_{n2}, R_{n3}, \dots, R_{ni}, \dots, R_{nj}\}$; якісно нових принципів – $R_h = \{R_{h1}, R_{h2}, R_{h3}, \dots, R_{hi}, \dots, R_{hg}\}$; принципіальні нові принципи – $R_m = \{R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, \dots, R_{mi}, \dots, R_{md}\}$; принципів на рівні нових рішень – $R_x = \{R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}, \dots, R_{xi}, \dots, R_{xv}\}$; ...; принципів на рівні відкриття – $R_w = \{R_{w1}, R_{w2}, R_{w3}, \dots, R_{wi}, \dots, R_{wy}\}$.

Система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління може також формуватися в рамках генерування множин варіантів композицій принципів на базі морфологічного ящику:

$$R = \begin{vmatrix} R_{s1} & R_{s2} & R_{s3} \cdots & R_{si} & R_{sp} \\ R_{n1} & R_{n2} & R_{n3} \cdots & R_{ni} & R_{nj} \\ R_{h1} & R_{h2} & R_{h3} \cdots & R_{hi} & R_{hg} \\ R_{m1} & R_{m2} & R_{m3} \cdots & R_{mi} & R_{md} \\ R_{x1} & R_{x2} & R_{x3} \cdots & R_{xi} & R_{xv} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{w1} & R_{w2} & R_{w3} \cdots & R_{wi} & R_{wy} \end{vmatrix} \quad (1)$$

де R – загальна система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління; R_{ij} – i -й принцип j -го типу принципів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління.

Слід зазначити, що любий принцип створення технологій нового покоління R_{ni} може утворювати від перетинання деякої підмножиною p_i відомих принципів:

$$R_{nj} = \bigcap_{i=1}^{p_j} p_i \quad (2)$$

де R_{nj} – поле, що утворює нові принципи створення технологій; R_{si} – множина відомих принципів моделювання технологій; p_j – потужність підмножиною відомих принципів.

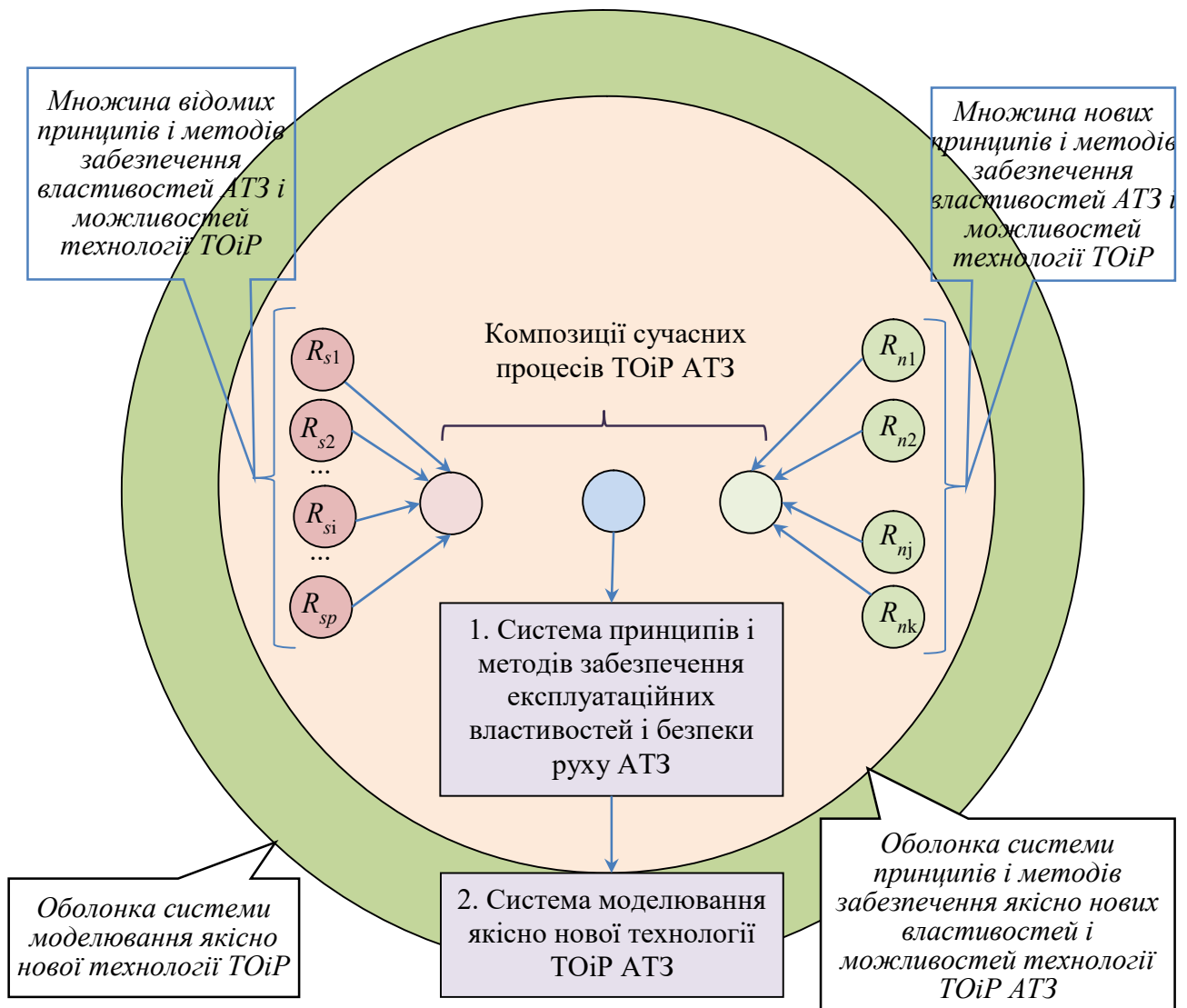


Рисунок 4 – Гіпотетична діаграма загальної методології моделювання якісної нової технології TOiP автомобілів (технологія нового покоління)

Figure 4 – Hypothetical diagram of a general methodology for modeling high-quality new car maintenance technology (next-generation technology)

Висновки. МАФР, який доповнює підхід до аналізу умов забезпечення безпеки руху та підвищення експлуатаційних властивостей АТЗ, є інноваційним методом, який використовується в авіації, медицині, ядерній енергетиці, морському або автомобільному транспорті. Він використовується для аналізу повсякденної діяльності з метою створення моделей виконання конкретних завдань. Потім ця модель може бути використана для конкретних видів аналізу з метою перевірки доцільності запропонованих рішень або втручання, щоб виявити причини помилок, можливих загроз або вузьких місць, а також зрозуміти, як здійснюється діяльність. Це може бути основою аналізу ризиків або розслідування нещасних випадків, які вже відбулися, або прогнозування можливих майбутніх подій.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля з використанням МАФР, безумовно, виявило, що обслуговування АТЗ є складним видом діяльності людини і потребує нових підходів до технологій нового покоління (автомобілі нового покоління – гібриди, електро, автономні). Модель МАФР дала уявлення про те, як

успішне та якісне виконання робіт з ТОіР автомобіля залежить від складної взаємодії декількох його частин, що працюють в технічній системі. Взаємозв'язки є настільки складними, що їх майже неможливо сприймати. Таким чином, важливі соціально-технічні механізми системи «Людина-Автомобіль-Організація системи ТОіР», що регулюють зв'язки між функціями. Це можуть бути неформальні, людські механізми, технології ТОіР нового покоління або конкретні інструменти, такі як контроль за технічним станом основних частин автомобіля, технологічний процес обслуговування, діагностування (загальне та по елементне), інструкції та регламент роботи ремонтної бригади тощо. Моделювання МАФР впливу ТС ходової частини на експлуатаційні властивості автомобіля показало, що необхідно приділяти значну увагу сучасній поелементній діагностиці, тому що це значно впливає на безпеку руху. Виконання цих функцій ґрунтується більше на сучасних знаннях про конструкцію автомобіля нового покоління та їх технологію ТОіР, таким чином, може зазнавати більшої мінливості.

Подальший розвиток. Інноваційний метод МАФР визначає основні чинники, що впливають на безпеку руху автомобіля (періодичність ТОіР; умови експлуатації; якість конструкції автомобіля; рівень кваліфікації ремонтних робітників і обладнання щодо ТОіР тощо), потребують подальшого врахування їх для забезпечення проведення своєчасних режимів ТОіР на основі повної сучасної діагностики автомобілів нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. From FRAM (Functional Resonance Accident Model) to FRAM (Functional Resonance Analysis Method) / Hollnagel E. // Presentation at the FRAM workshop, École des Mines de Paris – Centre for Research on Risk and Crises (CRC) 20-22 February, Sophia Antipolis, France, 2008.
2. Resilient health care: turning patient safety on its head / Braithwaite J., Wears R. L., Hollnagel E. // *International Journal for Quality in Health Care*, Volume 27, Issue 5. – October 2015. – P. 418–420, <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzv063>
3. Learning from patient safety incidents in incident review meetings: organisational factors and indicators of analytic process effectiveness / Anderson J.E., Kodate N. // *Saf. Sci.*, 80. – 2015. – P. 105–114.
4. Clay-Williams R. Where the rubber meets the road: using FRAM to align work-as-imagined with work-as-done when implementing clinical guidelines / R. Clay-Williams, J. Hounsgaard, E. Hollnagel // *Implement. Sci.*, 10 (1). – 2015. – p. 125-136.
5. Blood sampling – two sides to the story / Pickup L., Atkinson S., Hollnagel E. et al. // *Appl. Ergon.* 59. – 2017. – P. 234–242.
6. Proposing leading indicators for blood sampling: application of a method based on the principles of resilient healthcare / Raben D.C., Bogh S.B., Viskum B. et al. // *Cognit. Technol. Work*, 19 (4). – 2017. – P. 809–817.
7. Comparing a multilinear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis / Herrera I.A., Woltjer R. // *Reliability Engineering and System Safety*, 95. – 2010. – p. 1269-1275.
8. FRAM modelling of the transfer of control over aircraft / Rutkowska, P., Krzyżanowski, M. // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 101. – 2018. – P. 159-166.
9. A software-supported process for assembling evidence and handling uncertainty in decision-making / Davis J. P., Hall J. W. // *Decision Support Systems*, 35(3). – 2003. – pp. 415-433.
10. Сакно О. П. Управління ресурсом шин засобів транспорту за рахунок удосконалення контролю зносу протектора [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Сакно Ольга Петрівна ; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2013. – 216.
11. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов. – М.: Машиностроение, 2009. – 346 с.

REFERENCES

1. Hollnagel E. From FRAM (Functional Resonance Accident Model) to FRAM (Functional Resonance Analysis Method). Presentation at the FRAM workshop, École des Mines de Paris – Centre for Research on Risk and Crises (CRC) 20-22 February, Sophia Antipolis, France, 2008.
2. Braithwaite J., Wears R. L., Hollnagel E. Resilient health care: turning patient safety on its head. *International Journal for Quality in Health Care*, Volume 27, Issue 5, October 2015, pp. 418–420, <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzv063>
3. Anderson J.E., Kodate N. Learning from patient safety incidents in incident review meetings: organisational factors and indicators of analytic process effectiveness. *Saf. Sci.* 80, 2015. pp. 105–114.

4. Clay-Williams R., Hounsgaard J., Hollnagel E. Where the rubber meets the road: using FRAM to align work-as-imagined with work-as-done when implementing clinical guidelines. *Implement. Sci.*, 10 (1), 2015, pp. 125.
5. Pickup L., Atkinson S., Hollnagel E. et al. Blood sampling – two sides to the story. *Appl. Ergon.* 59, 2017. pp. 234–242.
6. Raben D.C., Bogh S.B., Viskum B. et al. Proposing leading indicators for blood sampling: application of a method based on the principles of resilient healthcare. *Cognit. Technol. Work*, 19 (4), 2017. pp. 809–817.
7. Herrera I.A., Woltjer R. Comparing a multilinear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 2010, pp. 1269-1275.
8. Rutkowska P., Krzyżanowski M. FRAM modelling of the transfer of control over aircraft. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 101, 2018, pp. 159-166.
9. Davis J. P., Hall J. W. A software-supported process for assembling evidence and handling uncertainty in decision-making. *Decision Support Systems*, 35(3), 2003, pp. 415-433.
10. Sakno O. P. Upravlinnya resursom shy'n zasobiv transportu za raxunok udoskonalennya kontrolyu znosu protektora [Managing resources tires of transport by improving monitoring tread wear [Text]: Dis. ... candidate. Sc. Sciences: 05.22.20 / Sakno Olga; Shidnoukr. nat. University of them. Vladimir Dahl]. – Lugansk, 2013. – 216. [in Ukrainian].
11. Mihaylov A. N. *Osnovy sinteza funktsionalno-orientirovannykh tekhnologiy mashinostroeniya* [Basics of the synthesis of function-oriented engineering technologies]. Moscow: Mashinostroyeniye, 2009. 346 p. [in Russian].

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Метод аналізу функціонального резонансу для моделювання контролю безпеки руху автомобіля / В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.П. Сакно, Т.М. Колеснікова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті змодельоване контролю за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану в процесі експлуатації використовуючи метод аналізу функціонального резонансу.

Об'єкт дослідження – контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану в процесі експлуатації використовуючи метод аналізу функціонального резонансу.

Мета роботи – на основі методу аналізу функціонального резонансу змодельовати контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану, що впливає на погіршення керованості, стійкості, плавності та ходових якостей в процесі експлуатації.

Метод дослідження – імітаційне моделювання.

Для забезпечення справного технічного стану легкового автомобіля було проаналізовано технології його технічного обслуговування. Практична обробка статистичних даних реалізована за допомогою інструменту ResilienceDS.

На основі статистичних даних було проаналізовано причини зміни технічного стану ходової частини легкового автомобіля та їх вплив на експлуатаційні властивості.

Для рішення поставленої мети використовується технічне забезпечення ResilienceDS. Такий інструмент дозволив змодельовати соціотехнічну систему «Людина-Автомобіль-Організація системи технічного обслуговування» та сформулювати формальні моделі для постійної оцінки ефективного функціонування системи технічного обслуговування та умов підвищення експлуатації автомобілів.

Зібрані дані на фірмовому СТО легкових автомобілів були використані для розробки моделі технічного обслуговування за методом аналізу функціонального резонансу. Модель складається з набору функцій, які описують дії, що проводяться з обслуговування легкових автомобілів.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля за методом аналізу функціонального резонансу, безумовно, виявило, що обслуговування автомобіля є складним видом діяльності. Модель за методом аналізу функціонального резонансу дала уявлення про те, як успішне та якісне виконання робіт з технічного обслуговування автомобіля залежить від складної взаємодії декількох його частин, що працюють в технічній системі. Взаємозв'язки є настільки складними, що їх майже неможливо сприймати. Таким чином, важливі соціально-технічні механізми системи «Людина-Автомобіль-Організація системи технічного обслуговування», що регулюють зв'язки між функціями. Це можуть бути неформальні, людські механізми або конкретні інструменти, такі як рівень технічного стану автомобіля, технологічний процес обслуговування, інструкції та регламент роботи ремонтної бригади.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості автомобіля за методом аналізу функціонального резонансу показало, що необхідно приділяти значну увагу поелементній діагностиці. Виконання цих функцій ґрунтується більше на сучасних знаннях про конструкцію автомобіля нового покоління та його технологію технічного обслуговування, таким чином, може зазнавати більшої мінливості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ, КОНТРОЛЬ, БЕЗПЕКА РУХУ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ, МЕТОД АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ

ABSTRACT

Sakhno V.P., Poliakov V.M., Sakno O.P., Kolesnikova T.M. Functional Resonance Analysis Method modelling of the car safety control. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In the article, the car safety control is simulated because of the change of its technical condition during operation using the functional resonance analysis method.

The object of the study is car safety control because of the change of its technical condition during operation using the functional resonance analysis method.

The purpose of the article, based on the method of functional resonance analysis, is to simulate the car safety control because of the change of its technical condition, which affects the deterioration of steerability, stability, smoothness and unning characteristics during operation.

The research method is simulation modeling.

To ensure the proper technical condition of the car, the technology of its maintenance has been analyzed. The practical processing of statistics is implemented using the ResilienceDS tool.

On the basis of statistical data, the reasons for changing the technical condition of the running gear of the car and their influence on the operational properties were analyzed.

ResilienceDS hardware is used to achieve this goal. Such a tool allowed us to model the socio-technical system "Human-Car-Organization of maintenance system" and to form formal models for the continuous evaluation of the stability and conditions of increasing the operation of cars.

The data collected on the service station of cars was used to develop a maintenance model by the functional resonance analysis method. The model consists of a set of features that describe the steps taken to service a car.

Simulation of the influence of the running gear technical condition on the performance of the car by the functional resonance analysis method has certainly revealed that car maintenance is a complex activity. The model by the functional resonance analysis method gave an idea of how successful and high-quality car maintenance works depend on the complex interaction of several of its parts that work in the technical system. Relationships are so complex that they are almost impossible to perceive. Thus, the important socio-technical mechanisms of the system "Human-Car-Organization of maintenance system" that regulate the relationship between functions. These can be informal, human mechanisms or specific tools, such as the level of technical condition of the car, the technological process of service, instructions and regulations of the repair team. The simulation of the influence of the technical condition of the undercarriage on the performance of the car by the functional resonance analysis method showed that considerable attention should be paid to elemental diagnostics. The performance of these functions is based more on current knowledge of the design of a new generation car and its maintenance technology, thus, may be more volatile.

KEYWORDS: VEHICLE, CONTROL, SAFETY, TECHNICAL CONDITION, MAINTENANCE SYSTEM, FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Метод анализа функционального резонанса для моделирования контроля безопасности движения автомобиля / В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.П. Сакно, Т.Н. Колесникова // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье смоделировано контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния в процессе эксплуатации используя метод анализа функционального резонанса.

Объект исследования – контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния в процессе эксплуатации используя метод анализа функционального резонанса.

Цель работы – на основе метода анализа функционального резонанса смоделировать контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния, что влияет на ухудшение управляемости, устойчивости, плавности и ходовых качеств в процессе эксплуатации.

Метод исследования – имитационное моделирование.

Для обеспечения исправного технического состояния легкового автомобиля были проанализированы технологии его технического обслуживания. Практическая обработка статистических данных реализована с помощью инструмента ResilienceDS.

На основе статистических данных были проанализированы причины изменения технического состояния ходовой части легкового автомобиля и их влияние на эксплуатационные свойства.

Для решения поставленной цели используется техническое обеспечение ResilienceDS. Такой инструмент позволил смоделировать социотехническую систему «Человек-Автомобиль-Организация системы технического обслуживания» и сформировать формальные модели для постоянной оценки эффективного функционирования системы технического обслуживания и условий повышения эксплуатации автомобилей.

Собранные данные на фирменном СТО легковых автомобилей были использованы для разработки модели технического обслуживания по методу анализа функционального резонанса. Модель состоит из набора функций, которые описывают действия, проводимые по обслуживанию легковых автомобилей.

Моделирование влияния технического состояния ходовой части на эксплуатационные свойства легкового автомобиля по методу анализа функционального резонанса, безусловно, выявило, что обслуживание автомобиля является сложным видом деятельности. Модель методом анализа функционального резонанса дала представление о том, как успешное и качественное выполнение работ по техническому обслуживанию автомобиля зависит от сложного взаимодействия нескольких его частей, работающих в технической системе. Взаимосвязи настолько сложными, что их почти невозможно воспринимать. Таким образом, важные социально-технические механизмы системы «Человек-Автомобиль-Организация системы технического обслуживания», регулирующих связи между функциями. Это могут быть неформальные, человеческие механизмы или конкретные инструменты, такие как уровень технического состояния автомобиля, технологический процесс обслуживания, инструкции и регламент работы ремонтной бригады. Моделирование влияния технического состояния ходовой части на эксплуатационные свойства автомобиля по методу анализа функционального резонанса показало, что необходимо уделять значительное внимание поэлементной диагностике. Выполнение этих функций основывается больше на современных знаниях о конструкции автомобиля нового поколения и его технологии технического обслуживания, таким образом, может подвергаться большему изменению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬ, КОНТРОЛЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА, МЕТОД АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

АВТОРИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Автомобілі», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно Ольга Петрівна, кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net, тел. +38(050)-29-55-116, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Тетяна Миколаївна, кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, e-mail: tnk1403@ukr.net, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, orcid.org/0000-0002-8568-4688

AUTHORS:

Sakhno Vladimir Prokhorovich, Doctor of Engineering, professor, National transport university, head of the department «Avtomobili», e-mail: sakhno@i.ua, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Poliakov Viktor Mihailovich, Doctor of Engineering, assistant of professor, National transport university, professor of Avtomobili chair, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Sakno Olha Petrivna, candidate of technical Sciences (PhD), Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, assistant of professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, e-mail: sakno-olga@ukr.net, ph. +38-050-29-55-116, Ukraine, 49600, Dnipro, Chernyshevsky Str., 24A, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Kolesnikova Tetiana Mikolaivna, candidate of technical Sciences (PhD), Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, assistant of professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, e-mail: tnk1403@ukr.net, Ukraine, 49600, Dnipro, Chernyshevsky Str., 24A, orcid.org/0000-0002-8568-4688

АВТОРЫ:

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой «Автомобили», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Емельяновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобили», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Емельяновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно Ольга Петровна, кандидат технических наук, ГВУЗ «Приднипровская государственная академия строительства и архитектуры», доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net, тел. +38(050)-29-55-116, Украина, 49600, г. Днепро, ул. Чернышевского, 24а, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колесникова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, ГВУЗ «Приднипровская государственная академия строительства и архитектуры», доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: tnk1403@ukr.net, Украина, 49600, г. Днепро, ул. Чернышевского, 24а, orcid.org/0000-0002-8568-4688

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутареич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів та теплотехніки, Київ, Україна

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна

REVIEWERS:

Hutareych Yu.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the Department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.

Kravchenko A.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr Polytechnic state university, head of the department of automobiles and transport technologies, Zhytomyr, Ukraine