

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.03.54

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО ЗАПАСУ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА  
В МОМЕНТ РОЗГОНУ АВТОМОБІЛЯ, ЩО ЗДІЙСНЮЄ ОБГІН

М.А. Подригало, проф., д.т.н., Д.В. Абрамов, докторант, к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, В.О. Тесля, асист., к.т.н., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

*Анотація.* Запропоновано методика визначення необхідного запасу потужності двигуна в момент розгону автомобіля, що здійснює обгін. Визначено залежність необхідного запасу потужності двигуна автомобіля, що здійснює обгін, від часу розгону, часу обгону, відносного зміщення, маси автомобіля та швидкості.

*Ключові слова:* обгін, запас потужності, автомобіль, час обгону, час розгону, швидкість, прискорення.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ЗАПАСА МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ  
В МОМЕНТ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО ОБГОН

М.А. Подригало, проф., д.т.н., Д.В. Абрамов, докторант, к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, В.О. Тесля, ассист., к.т.н., Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

*Аннотация.* Предложена методика определения необходимого запаса мощности двигателя в момент разгона автомобиля, осуществляющего обгон. Определена зависимость необходимого запаса мощности двигателя автомобиля, осуществляющего обгон, от времени разгона, времени обгона, относительного смещения, массы автомобиля и скорости.

*Ключевые слова:* обгон, запас мощности, автомобиль, время обгона, время разгона, скорость, ускорение.

DETERMINING THE NECESSARY ENGINE RESERVE POWER CAPACITY AT  
THE MOMENT OF OVERTAKING CAR ACCELERATION

M. Podryhalo, Prof., D. Sc. (Eng.), D. Abramov, Ph. D. student, Ph. D. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University, V. Teslya, T. Asst., Ph. D. (Eng.), Ternopil Ivan Puluj National Technical University

*Abstract.* The method of determining the necessary engine reserve power capacity at the time of overtaking car acceleration is proposed. The dependence of the necessary engine reserve power capacity of the overtaking car on the acceleration time, overtaking time, relative displacement, the car weight and speed is determined.

*Key words:* overtaking, reserve of power, car, overtaking time, acceleration time, velocity, acceleration.

## Вступ

Одним з найбільш складних і небезпечних маневрів, що виконується водіями під час

руху в транспортному потоці, є обгін. За наявною статистикою близько чверті дорожньо-транспортних пригод (ДТП), внаслідок яких завдано шкоди здоров'ю людини,

відбуваються з вини водіїв, що не виконують вимоги безпеки під час здійснення маневру обгону [1–3]. Безпека обгону забезпечується тільки в тому випадку, якщо смуга дороги, на яку повинен виїхати транспортний засіб (ТЗ), що здійснює обгін, на всій ділянці, необхідній для завершення обгону, вільна, а її ширина дозволяє рухатися з високою швидкістю.

Рішення про здійснення обгону необхідно приймати до його початку без повного виходу на зустрічну смугу та набору швидкості з урахуванням наявності ділянок шляху, де обгін заборонено, відстані до зустрічного автомобіля та його швидкості, а також швидкості, габаритів та кількості ТЗ, що рухаються в попутному напрямку, ухилу дороги, запасу потужності двигуна автомобіля, що здійснює обгін, його завантаження, технічного стану та якості пального, швидкості ТЗ, що рухається у попутному та зустрічному напрямках. Для підвищення безпеки виконання маневру обгону на автомобілях встановлюються відповідні бортові системи запобігання зіткненню, в яких значення наявного та необхідного запасів потужності двигуна є параметрами, що визначають безпеку виконання цього маневру.

У цій статті запропоновано методику визначення необхідного запасу потужності двигуна в момент розгону автомобіля, що здійснює обгін. Визначено залежність необхідного запасу потужності двигуна автомобіля, що здійснює обгін, від параметрів, що характеризують умови виконання обгону.

### Аналіз публікацій

У роботі [4] задля підвищення безпеки виконання маневру обгону запропоновано бортову систему запобігання зіткненню, що має підвищену достовірність оцінювання безпеки виконання обгону ТЗ, які рухаються в попутному напрямку. Також розроблено схему пристрою для запобігання зіткненню автомобілів при обгоні. Запропонована система враховує основні фактори, що впливають на процес виконання маневру обгону.

Існуючі методи визначення потужності двигуна автомобіля в дорожніх умовах ґрунтуються на використанні параметрів, отримуваних при попередньому проведенні вибігу [5], а також безгальмівні способи, що базуються на використанні як навантаження

механічних втрат у самому двигуні сумісно з відключенням частини циліндрів та застосуванням навантажувальних пристроїв [6]. Застосовується також віброакустичний спосіб, що базується на залежності показників потужності двигуна від величини акустичного випромінювання, що генерується вихлопними газами [7]. Також відомий спосіб визначення потужності двигуна [8] шляхом вимірювання прискорення колінчастого вала за максимальної подачі палива і вимірювання дійсного моменту інерції двигуна. Шляхом добутку цих параметрів визначають крутний момент  $i$ , відповідно, потужність двигуна. Спосіб визначення потужності двигуна автомобіля в експлуатації без попереднього проведення його вибігу [9] базується на використанні математичної залежності потужності від параметрів руху автомобіля. Визначення потужності двигуна автомобіля здійснюється із застосуванням лінійних акселерометрів за допомогою одночасного визначення моментів опору, що виникають у трансмісії автомобіля, а також сумарного дорожнього та аеродинамічного опорів.

Тож поточна потужність двигуна ТЗ, що здійснює обгін, визначається у процесі роботи розглянутої вище системи запобігання зіткненню. Однак визначення необхідного запасу потужності двигуна задля безпечного виконання маневру обгону відсутнє.

Рух автомобілів у потоці можна розглядати як систему мобільних машин, що не мають між собою жорсткого механічного зв'язку, але здійснюють рух по паралельним або одних і тих самих траєкторіях [10]. Відмінність такої системи від традиційної механічної полягає у відсутності механічного зв'язку між її ланками. У такій системі зв'язок між ланками може розглядатись як візуальний або інформаційний, ланки можуть розглядатися як точкові маси, а рух окремої ланки – як складний [10]. Причому рух ланки розглядається одночасно по відношенню до двох систем відліку, одна з яких є умовно нерухомою, а інша рухається по відношенню до першої. Рух ланки (ТЗ) при цьому розглядається як складний. Таким чином, рух автомобілів при виконанні маневру обгону можливо подати як складний рух

### Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є збільшення достовірності оцінювання безпеки обгону з

виїздом на смугу зустрічного руху автомобілів, які рухаються у попутному напрямку.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити методику визначення необхідного запасу потужності двигуна в момент розгону автомобіля, який здійснює маневр обгону;
- визначити залежність необхідного запасу потужності двигуна автомобіля, що здійснює обгін, від параметрів, що характеризують умови виконання обгону.

### Визначення необхідного запасу потужності двигуна

Розкладемо рух автомобіля при обгоні на два рухи: переносний і відносний. Переносний

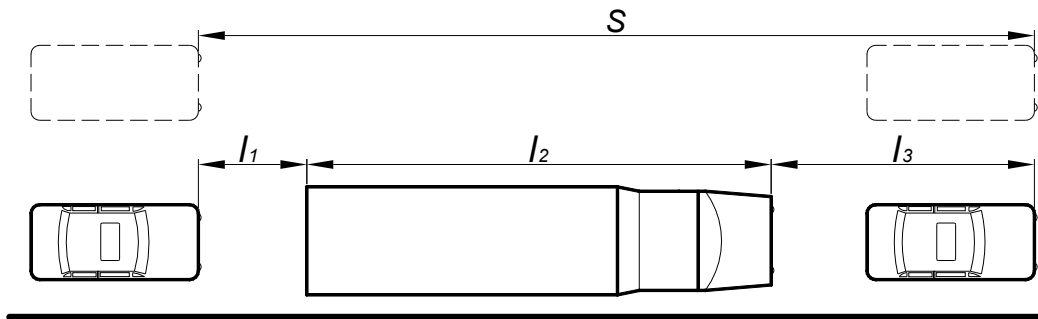


Рис. 1. Схема розміщення автомобілів при виконанні маневру обгону

$$S_{\text{відн}} = \int_0^{t_{\text{обг}}} V_{\text{відн}} \cdot dt = l_1 + l_2 + l_3 = S_{\text{відн1}} + S_{\text{відн2}}, \quad (2)$$

де  $S_{\text{відн1}}$  – шлях автомобіля при обгоні, у відносному русі за час розгону  $t_{\text{розг}}$ ;  $S_{\text{відн2}}$  – шлях автомобіля, що здійснює обгін, у відносному русі за час руху ( $t_{\text{обг}} - t_{\text{розг}}$ ) з постійною швидкістю, де  $t_{\text{обг}}$  – загальний час виконання маневру обгону.

$$S_{\text{відн1}} = \dot{V}_{\text{відн}} \cdot \frac{t_{\text{розг}}^2}{2}, \quad (3)$$

де  $\dot{V}_{\text{відн}}$  – прискорення автомобіля у відносному русі при розгоні під час виконання маневру обгону.

$$S_{\text{відн2}} = V_{\text{відн}} \cdot (t_{\text{обг}} - t_{\text{розг}}). \quad (4)$$

Відносну швидкість під час розгону автомобіля можна визначити за формулою

рух – це рух автомобіля, що рухається у попутному напрямку (лінійна швидкість руху  $V_{\text{пер}} = V_0$  є середньою складовою руху потоку). Відносний рух – це рух автомобіля, що обганяє, відносно автомобіля, який обганяють. Здійснюється з перемінною відносною лінійною швидкістю  $V_{\text{відн}}$

$$V_{\text{відн}} = V_a - V_0, \quad (1)$$

де  $V_a$  – абсолютна лінійна швидкість руху автомобіля.

Для здійснення обгону автомобіль, що обганяє, у відносному русі повинен зміститися на відстань  $S_{\text{відн}}$  (рис. 1)

$$V_{\text{відн}} = \dot{V}_{\text{відн}} \cdot t_{\text{розг}}. \quad (5)$$

Підставивши формулу (2) у вирази (3) і (4), з урахуванням виразу (5), та після проведення перетворень отримаємо рівняння для визначення зміщення автомобіля у відносному русі за час обгону

$$S_{\text{відн}} = \dot{V}_{\text{відн}} \cdot t_{\text{розг}} \left( t_{\text{обг}} - \frac{t_{\text{розг}}}{2} \right) = l_1 + l_2 + l_3. \quad (6)$$

З рівняння (5) визначимо прискорення автомобіля у відносному русі при розгоні

$$\dot{V}_{\text{відн}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{\text{розг}} \cdot \left( t_{\text{обг}} - \frac{t_{\text{розг}}}{2} \right)}. \quad (7)$$

З урахуванням формули (5) вираз (7) набуде вигляду

$$V_{\text{відн}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{\text{обг}} - \frac{t_{\text{розг}}}{2}} \quad (8)$$

Тягова сила на ведучих колесах автомобіля, що здійснює обгін, до початку цього маневру визначатиметься за формулою

$$P_{K_0} = m_a \cdot g \cdot f + kF \cdot V_0^2, \quad (9)$$

де  $m_a$  – повна маса автомобіля;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $f$  – коефіцієнт опору коченню;  $kF$  – фактор аеродинамічного повітря ( $k$  – коефіцієнт опору повітря;  $F$  – мідель).

Тягова сила на ведучих колесах автомобіля, що здійснює обгін, у процесі розгону визначатиметься як

$$P_K = m_a \cdot g \cdot f + kF \cdot V_a^2 + m_a \cdot \dot{V}_a, \quad (10)$$

де  $\dot{V}_a$  – абсолютне лінійне прискорення автомобіля.

Ефективна потужність двигуна автомобіля, що здійснює обгін, до початку цього маневру та під час розгону визначатиметься відповідно за формулами

$$N_{e_0} = \frac{P_{K_0} \cdot V_0}{\eta_{\text{тр}}^{\text{зар}}}; \quad (11)$$

$$N_e = \frac{P_K \cdot V_a}{\eta_{\text{тр}}^{\text{зар}}}, \quad (12)$$

де  $\eta_{\text{тр}}^{\text{зар}}$  – загальний ККД трансмісії.

З урахуванням виразів (9) та (10) рівняння (11) та (12) набудуть вигляду

$$N_{e_0} = \frac{1}{\eta_{\text{тр}}^{\text{зар}}} (m_a \cdot g \cdot f \cdot V_0 + kF \cdot V_0^3); \quad (13)$$

$$N_e = \frac{1}{\eta_{\text{тр}}^{\text{зар}}} \cdot (m_a \cdot g \cdot f \cdot V_a + kF \cdot V_a^3 + m_a \cdot \dot{V}_a \cdot V_a). \quad (14)$$

Запас потужності двигуна, необхідної для створення потрібного прискорення автомобіля

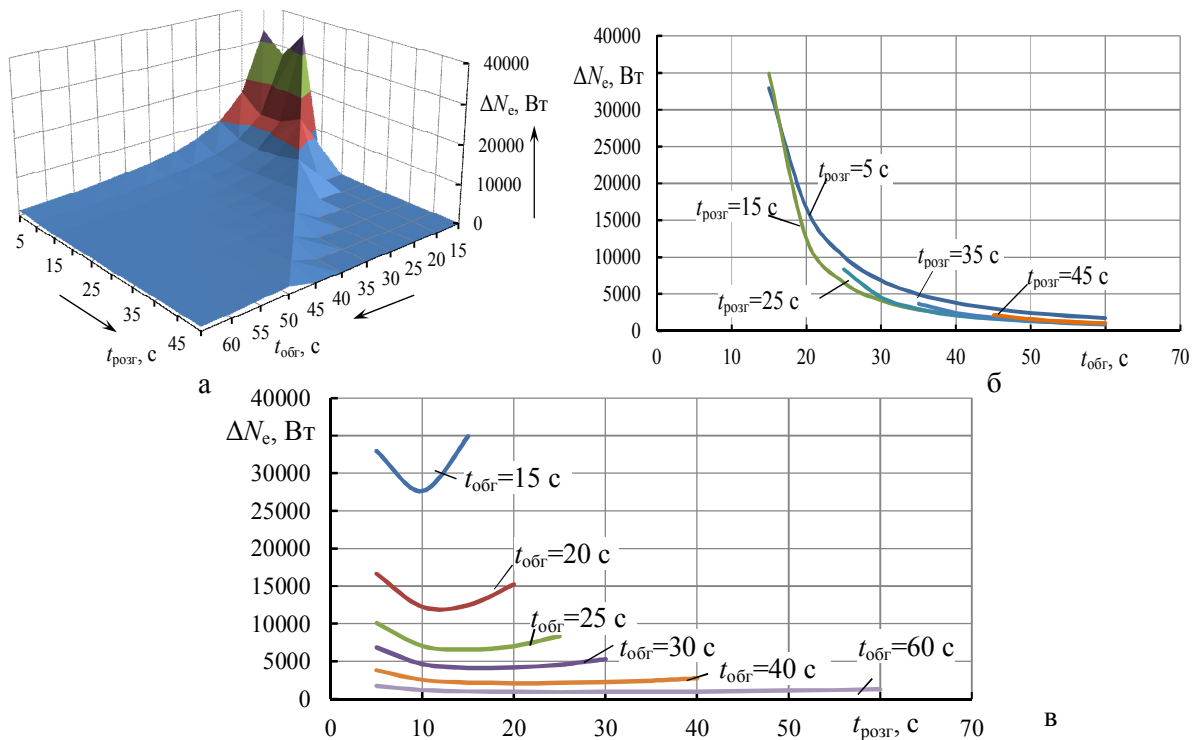


Рис. 2. Графіки залежності необхідного запасу потужності двигуна  $\Delta N_e$  автомобіля VAZ-2111 від часу розгону  $t_{\text{розг}}$  та часу обгону  $t_{\text{обг}}$  при  $V_0 = 16,667$  м/с,  $m_a = 1135$  кг,  $S_{\text{відн}} = 31,5$  м: а – графік залежності  $\Delta N_e$  від часу розгону та часу обгону; б – графіки залежності  $\Delta N_e$  від часу обгону за різних значень часу розгону; в – графіки залежності  $\Delta N_e$  від часу розгону за різних значень часу обгону

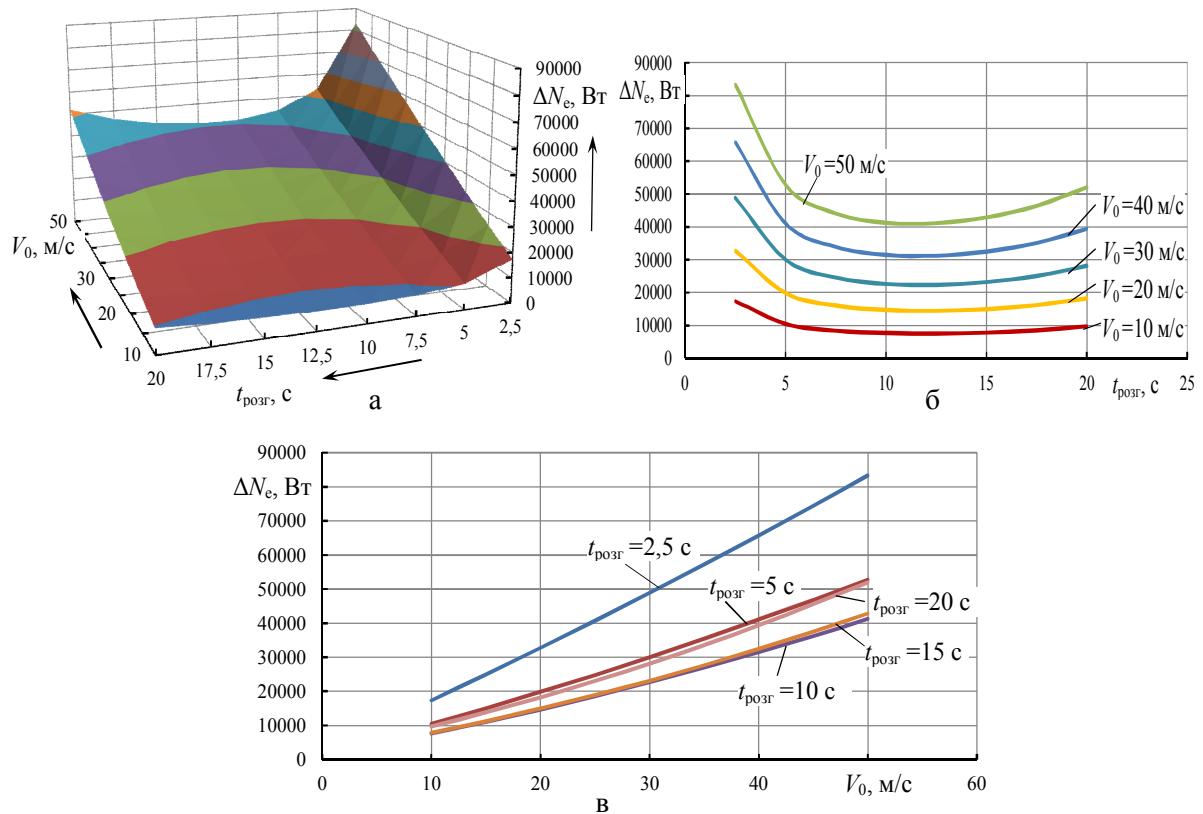


Рис. 3. Графіки залежності необхідного запасу потужності двигуна  $\Delta N_e$  автомобіля ВАЗ-2111 від часу розгону  $t_{розг}$  та швидкості потоку  $V_0$  при  $S_{відн} = 31,5$  м,  $m_a = 1135$  кг,  $t_{обг} = 20$  с: а – графік залежності  $\Delta N_e$  від часу розгону та швидкості потоку; б – графіки залежності  $\Delta N_e$  від часу розгону за різних значень швидкості потоку; в – графіки залежності  $\Delta N_e$  від швидкості потоку за різних значень часу розгону

при виконанні маневру обгону, з урахуванням виразів (13), (14) визначатиметься за формулою

$$\Delta N_e = N_e - N_{e0} = \frac{1}{\eta_{тр}^{зар}} \cdot \{m_a \cdot g \cdot f \cdot (V_a - V_0) + kF \cdot (V_a^3 - V_0^3) + m_a \cdot \dot{V}_a \cdot V_a\} \quad (15)$$

З урахуванням виразу (1) та після перетворень формула (15) набуде вигляду

$$\Delta N_e = \frac{V_{відн}}{\eta_{тр}^{зар}} \cdot \left[ m_a \cdot g \cdot f + kF(3V_0^2 + 3V_0 \cdot V_{відн} + V_{відн}^2) + m_a \cdot \dot{V}_{відн} \cdot \frac{V_0 + V_{відн}}{V_{відн}} \right] \quad (16)$$

Підставимо вирази (7), (8) для  $\dot{V}_{відн}$  та  $V_{відн}$  у рівняння (16) та отримаємо запас потужності двигуна, необхідної для створення потрібного прискорення автомобіля при виконанні маневру обгону

$$\Delta N_e = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{\eta_{тр}^{зар} \cdot \left( t_{обг} - \frac{t_{розг}}{2} \right)} \left\{ m_a \cdot g \cdot f + kF \times \left[ 3V_0^2 + 3V_0 \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{обг} - \frac{t_{розг}}{2}} + \left( \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{обг} - \frac{t_{розг}}{2}} \right)^2 \right] + m_a \cdot \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{розг} \left( t_{обг} - \frac{t_{розг}}{2} \right)} \cdot \left( V_0 + \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_{обг} - \frac{t_{розг}}{2}} \right) \right\} \quad (17)$$

На рис. 2, 3 наведені графіки залежності необхідного запасу потужності двигуна автомобіля ВАЗ-2111 від часу його розгону  $t_{розг}$  та часу обгону  $t_{обг}$ , від швидкості потоку  $V_0$ , відносного зміщення  $S_{відн} = l_1 + l_2 + l_3$  та маси автомобіля  $m_a$ . Причому було взято  $k=0,27$ ;  $F=2,42$  м<sup>2</sup>;  $\eta_{тр}^{зар} = 0,9$ ;  $f=0,014$ .

Таким чином, отриманий вираз (17) дозволяє визначити можливість здійснення обгону автомобіля за заданих параметрів  $V_0$ ;  $V_a$ ;  $t_{обг}$ ;  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$  і параметрів автомобіля  $kF$  і  $\eta_{тр}^{зар}$ .

### Висновок

Застосування запропонованої методики визначення необхідного запасу потужності двигуна в момент розгону автомобіля, що здійснює обгін, у відповідній бортовій системі запобігання зіткненню дозволить збільшити достовірність оцінювання безпеки обгону з виїздом на смугу зустрічного руху автомобілів, які рухаються у попутному напрямку.

Запас потужності двигуна, необхідний для створення потрібного прискорення автомобіля при виконанні маневру обгону, залежить від часу його розгону  $t_{розг}$  та часу обгону  $t_{обг}$ , від швидкості потоку  $V_0$ , відносного зміщення  $S_{відн}$  та маси автомобіля  $m_a$ .

Для автомобіля ВАЗ-2111 необхідний запас потужності для безпечного виконання маневру обгону склав  $\Delta N_e = 12$  кВт за часу розгону  $t_{розг} = 15$  с, часу обгону  $t_{обг} = 20$  с, швидкості потоку  $V_0 = 16,667$  м/с, маси автомобіля  $m_a = 1135$  кг, відносного зміщення  $S_{відн} = 31,5$  м.

### Література

1. Синкович М.Р. Повышение безопасности движения автотранспортных средств при совершении маневра обгон: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / М.Р. Синкович. – Иркутск, 2012. – 20 с.
2. Пеньшин Н.В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте: учебное пособие / Н.В. Пеньшин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 456 с.
3. Ломакин В.В. Безопасность автотранспортных средств: учебник для вузов / В.В. Ломакин, Ю.Ю. Покровский, И.С. Степанов, О.Г. Гоманчук; под ред. В.В. Ломакина. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 296 с.
4. Подригало М.А. Розробка способу та бортових засобів запобігання зіткненню автомобілів при виконанні маневру обгону / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – 2013. – Вып. 33. – С. 29–35.
5. Пат. 80213 Україна МПК G01L 5/13. Спосіб визначення потужності двигуна автомобіля в експлуатації / М.А. Подригало, Д.М. Клец, Д.В. Абрамов, А.І. Коробко, А.М. Мостова, В.О. Тесля; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201207280; заявл. 15.06.2012; опубл. 27.05.2013; Бюл. №10.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник / О.А. Лудченко. – К.: Вища школа, 2007. – 528 с.
7. Сидоров В.И. Техническая диагностика: учебное пособие / В.И. Сидоров. – М.: МАДИ, 1986. – 112 с.
8. Пат. 2361187 Российская Федерация МПК G01M 15/04. Способ определения мощности двигателя внутреннего сгорания / Н.В. Щетинин, А.Г. Арженовский, Д.В. Казаков, Д.О. Мальцев, С.В. Асатурян, С.Н. Микрюков, И.И. Чичиланов; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. № 2007146150/06; заявл. 11.12.07; опубл. 10.07.2009.
9. Абрамов Д.В. Розробка експериментального методу визначення потужності двигуна при русі автомобіля по дорозі / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Новітні технології – для захисту повітряного простору: тези доповідей дев'ятої наукової конференції Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 17–18 квітня 2013 р. – Харків, 2013. – 424 с.
10. Lebedev A. Operating of mobile machine units system using the model of multi-component complex movement / A. Lebedev, N.Artemov, M. Shuljak, et. all // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 36. – С. 60–66.

Рецензент: Є.М. Гецович, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 29 жовтня 2015 р.