

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.43.018.7:629.017

[http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2018-2-23\(37\)-24](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2018-2-23(37)-24)

ОЦІНКА ВИТРАТ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕНЕРГІЇ ДВИГУНА ПІД ЧАС РУХУ МАШИНИ «КРАБОМ»

А. Коробко, канд. техн. наук, доц.,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,

Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

М. Подригало, д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>,

О. Мазін, <https://orcid.org/0000-0003-2855-0170>,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Мета дослідження – визначення потужності та енергії двигуна під час руху мобільної машини «крабом».

Методи дослідження. Визначити затрати потужності двигуна, визначити затрати енергії двигуна.

Результати дослідження. Рух мобільної машини «крабом», який здійснюється поворотом усіх коліс в один бік на рівні між собою кути, дозволяє покращити маневреність мобільної машини. Маневреність визначається необхідним запасом потужності двигуна, завдяки якій забезпечується необхідна динамічність мобільної машини. За результатами дослідження кінематичних і динамічних моделей руху мобільної машини рухом «крабом» визначені затрати на здійснення цього маневру. Результати проведеного дослідження можуть бути корисні під час керування рухом автомобіля «крабом». У дослідженні рух мобільної машини за повороту напрямних коліс в один бік на рівні кути (рух «крабом») розглядається в рухомій і нерухомій системах координат. Під час руху «крабом» з'являється додаткова сила опору руху мобільній машині – бокова аеродинамічна сила. Потужність двигуна, яка витрачається на подолання сил опору під час повороту, визначається з урахуванням бокової і фронтальної аеродинамічних сил опору. Запропоновано коефіцієнт взаємозв'язку між потужністю на колесах з кінетичною енергією мобільної машини, яка рухається «крабом». Визначення витрат енергії двигуна здійснено за нульового прискорення мобільної машини, тобто її постійної швидкості. Ефективна робота двигуна, яка рівняється витраченій ефективній енергії, визначається з урахуванням часу здійснення маневру і величини бокового зміщення. Витрати енергії двигуна на рух мобільної машини «крабом» пропорційні її боковому зміщенню.

Висновки. Дослідження динаміки руху мобільної машини «крабом» дозволило визначити витрати ефективних потужності та енергії двигуна на її рух «крабом». Визначено, що рух «крабом» (з повертанням усіх коліс в один бік на рівні кути) можливий тільки для повнопривідних мобільних машин.

Ключові слова: потужність, енергія двигуна, рух «крабом», затрати енергії, маневреність.

Постановка проблеми. Рух автомобіля «крабом» здійснюється за повороту усіх коліс в один бік на рівні між собою кути. Маневреність визначається необхідним запасом потужності двигуна, завдяки якій забезпечується необхідна динамічність мобільної машини.

У статті за результатами дослідження кінематичних і динамічних моделей руху мобільної машини рухом «крабом» визначені

затрати на здійснення вказаного маневру.

Результати проведеного дослідження можуть бути корисні у керуванні рухом автомобіля «крабом».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню руху мобільної машини «крабом» присвячені роботи [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Такий спосіб використовується для паркування автомобіля. У сільськогосподарських мобільних машин цей спосіб ви-

користується під час виконання технологічних процесів.

Указаний спосіб руху не можна назвати поворотом, оскільки відсутній поворот поздовжньої осі машини. У роботі [2] запропоновано комбінований спосіб керування поворотом для реалізації руху автомобіля «крабом». Проте у відомих дослідженнях [1, 2] не визначені затрати потужності і механічної роботи двигуна на виконання цього маневру.

Мета і постановка задач дослідження. Метою дослідження є визначення потужності та енергії двигуна на здійснення руху мобільної машини «крабом». Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити затрати потужності двигуна;
- визначити затрати енергії двигуна.

Виклад основного матеріалу. Рух «крабом», як показали результати дослідження [1], дозволяє покращити маневреність мобільної машини, проте у вказаному дослідженні [1] не визначені потужнісні та енергетичні затрати двигуна на виконання маневру «рух крабом». Визначимо ці затрати.

Рух мобільної машини під час повороту напрямних коліс в один бік на рівні кути (рух «крабом») в роботі [1] розглядається в рухомій і нерухомій системах координат (рис. 1).

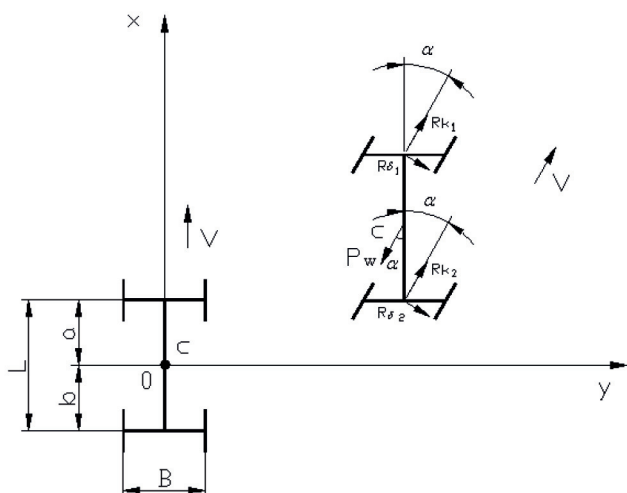


Рисунок 1 – Схема руху мобільної машини «крабом» в рухомій і нерухомій системах координат [1]

Під час руху «крабом» з'являється додаткова сила опору руху мобільній машині – бокова аеродинамічна сила P_{wy1} (рис. 2).

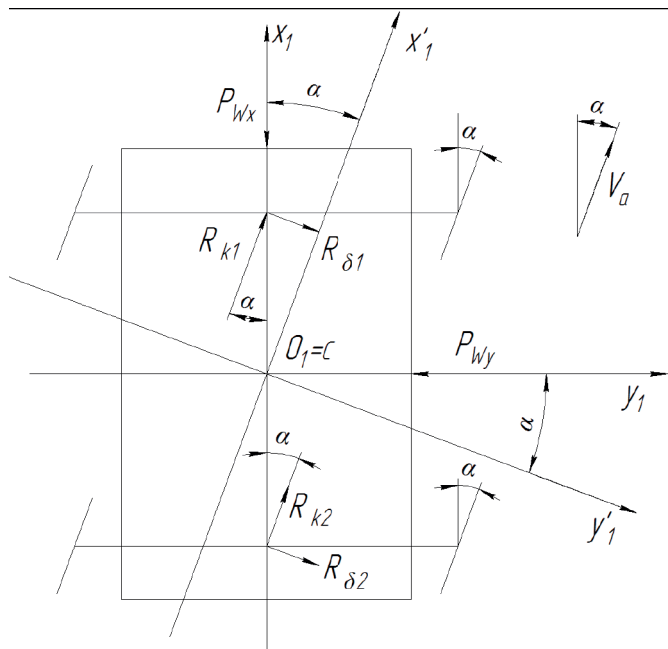


Рисунок 2 – Схема сил, які діють на мобільну машину під час руху «крабом»

Здійснимо перетворення системи координат $Y_1 O_1 X_1$, повернувши останню на кут α . У цьому випадку напрям вектора швидкості \vec{V}_a буде збігатися з напрямом осі $O_1 X'_1$ в перетвореній системі координат $Y'_1 O_1 X'_1$.

Рівняння руху мобільної машини в перетвореній рухомій системі координат $Y'_1 O_1 X'_1$:

$$\begin{cases} m_a \dot{V}''_{x1} = R_{k1} + R_{k2} - P_{wx} \cos \alpha - P_{wy} \sin \alpha; & (1) \\ m_a \dot{V}''_{y1} = P_{wx} \sin \alpha - P_{wy} \cos \alpha + R_{\delta1} + R_{\delta2}; & (2) \\ I_{zc} \varepsilon_z = R_{k1} a \sin \alpha - R_{k2} b \sin \alpha + R_{\delta1} a \cos \alpha - R_{\delta2} b \cos \alpha, & (3) \end{cases}$$

де \dot{V}''_{x1} , \dot{V}''_{y1} – компоненти лінійного прискорення центра мас автомобіля відносно осей $O_1 X'_1$ і $O_1 Y'_1$;

$R_{\delta1}$, $R_{\delta2}$ – сумарні бокові реакції на колесах передньої і задньої осей;

α – відстань від передньої осі до проекції центру мас автомобіля на горизонтальну площину (рис. 1);

I_{zc} – центральний момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі $O_1 Z_1$;

ε_z – кутове прискорення автомобіля в площині дороги;

P_{Wx}, P_{Wy} – лобова і бокова аеродинамічна сили, що діють на автомобіль

$$P_{Wx} = \frac{C_x}{2} \rho F_x V_x^2; \quad (4)$$

$$P_{Wy} = \frac{C_y}{2} \rho F_y V_y^2; \quad (5)$$

C_x, C_y – коефіцієнти лобового і бокового аеродинамічних опорів;

F_x, F_y – лобовий і боковий моделі автомобіля;

V_x, V_y – компоненти лінійної швидкості автомобіля відносно осей O_1X_1 і O_1Y_1 .

Очевидно (див. рис. 2), що

$$V_x = V_a \cos \alpha; \quad (6)$$

$$V_y = V_a \sin \alpha; \quad (7)$$

$$V'_{x1} = V_a; \quad (8)$$

Із рівняння (1) визначимо сумарну дотичну реакцію R_k на тягових колесах повнопривідного автомобіля

$$R_k = R_{k1} + R_{k2} = m_a \dot{V}'_{x1} + P_{Wx} \cos \alpha + P_{Wy} \sin \alpha. \quad (9)$$

Після підстановки виразів (4) і (5) у рівняння (9) отримаємо з урахуванням (6), (7)

$$R_k = m_a \dot{V}'_{x1} + \frac{\rho}{2} V_a^2 (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha). \quad (10)$$

Зі свого боку

$$R_k = P_k - m_a g \psi. \quad (11)$$

Підставивши (11) в (10), визначимо сумарну тягову силу P_k на тягових колесах

$$P_k = m_a g \psi + m_a \dot{V}'_{x1} + \frac{\rho}{2} V_a^2 (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha). \quad (12)$$

Враховуючи, що $V'_{x1} = V'_a$, перетворимо (12) до вигляду

$$P_k = m_a (g \psi + \dot{V}'_a) + \frac{\rho}{2} V_a^2 (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha). \quad (13)$$

Потужність двигуна, яка затрачується на рух автомобіля «крабом»

$$N_e = \frac{P_k V_a}{\eta_{\delta\delta}} = \frac{m_a V_a}{\eta_{\delta\delta}} \left[g \psi + \dot{V}'_a + \frac{\rho}{2 m_a} V_a^2 (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha) \right]. \quad (14)$$

Вираз (14) можна перетворити до вигляду

$$N_e = \frac{m_a V_a^2}{2} \frac{2g\psi + \frac{2\dot{V}'_a}{V_a} + \frac{\rho}{m_a} V_a (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha)}{\eta_{\delta\delta}}. \quad (15)$$

Коефіцієнт взаємозв'язку між потужністю на колесах з кінетичною енергією автомобіля, який рухається «крабом»

$$K_{очн} = \frac{2N_e \eta_{mp}}{m_a V_a^2} = \frac{2g\psi}{V_a} + \frac{2\dot{V}'_a}{V_a} + \frac{C_x \rho F V_a \cos^3 \alpha}{m_a} \left(1 + \frac{C_y F_y}{C_x F_x} \operatorname{tg}^3 \alpha \right) \quad (16)$$

Отже, вираз (16) можна представити у вигляді (за аналогією з роботою [1])

$$N_e = N'_{e1} + N'_{e2} + N'_{e3}, \quad (17)$$

де N'_{e1} – потужність, яка затрачується на рівномірно-поступальний рух автомобіля

$$N'_{e1} = N_e = \frac{m_a V_a}{\eta_{\delta\delta}} \left(g f + \frac{C_x \rho F_x V_a}{2 m_a} V_a^2 \right); \quad (18)$$

N'_{e2} – потужність, яка затрачується на створення лінійного прискорення

$$N'_{e2} = \frac{m_a V_a \dot{V}'_a}{\eta_{\delta\delta}}; \quad (19)$$

N'_{e3} – додаткова потужність, яка затрачується на рух автомобіля «крабом»

$$N'_{e3} = \frac{\rho}{2 \eta_{\delta\delta}} V_a^3 [C_y F_y \sin^3 \alpha - C_x F_x (1 - \cos^3 \alpha)]. \quad (20)$$

Визначення витрат енергії двигуна. Здійснимо вказане визначення за $\dot{V}'_a = 0$ і $V_a = \text{const}$.

Ефективна робота двигуна, яка дорівнює витраченій ефективній енергії, може бути визначена як (див. рівняння (14))

$$W_e = \int_0^{t_{ман}} N_e dt = \int_0^{t_{ман}} \frac{m_a V_a}{\eta_{mp}} \left[g \psi + \dot{V}'_a + \frac{\rho}{2 m_a} V_a^2 (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha) \right] dt \quad (21)$$

де $t_{ман}$ – час виконання маневру [3] за $\dot{V}'_a = 0$ і $V_a = \text{const}$

$$t_{ман} = \frac{H_{бок}}{V_a \sin \alpha} \quad (22)$$

$H_{бок}$ – бокове зміщення автомобіля під час здійсненні маневру «рух крабом».

За $\dot{V}_a = 0$ і $V_a = const$ інтегрування рівняння (21) дозволило отримати:

$$W_e = H_{бок} \frac{m_a g \psi + \frac{\rho}{2} (C_x F_x \cos^3 \alpha + C_y F_y \sin^3 \alpha) V_a^2}{\eta_{mp} \sin \alpha} \quad (23)$$

Із рівняння (23) видно, що витрати енергії двигуна W_e на рух автомобіля «крабом» пропорційні боковому зміщенню автомобіля $H_{бок}$.

Висновки. Дослідження динаміки руху автомобіля «крабом» дозволило визначити витрати ефективних потужності та енергії двигуна на рух автомобіля «крабом». Визначено, що рух «крабом» (з повертанням усіх коліс в один бік на рівні кути) можливий тільки для повнопривідних автомобілів.

Література

1. Бобошко А. А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин. Харьков : ХНАДУ, 2006. 172 с.

2. Застосування комбінованого способу керування для здійснення руху автомобіля «крабом» / Подригало М. А. та ін. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Збірник наукових праць. 2016. Вип. 75. С. 134–138.

3. Подригало М. А., Клец Д. М. Маневренность и управляемость колесных машин. Определение понятий и критерии оценки. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2012. Вып. 35. С. 15-21.

4. Бобошко А. А. Оценка управляемости колесных машин при повороте динамическим способом. Вісник НТУ «ХПІ». Автомобіле- та тракторобудування. 2007. № 12, С. 34–43.

5. Бобошко А. А. Определение взаимосвязи между компонентами реакций дороги на колеса автомобиля при движении на повороте. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2007. Вип. 60. С. 169–178.

6. Надикто В., Кюрчев В., Панченко А. Перспективи та ефективність використання модульних енергетичних засобів в Україні. Техніко-економічні аспекти розвитку та випробування нової техніки

і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. УкрНДІПВТ. 2003. Вип. 6. Кн. 2. С. 34-42.

Literature

1. Boboshko A. A. Non-conventional methods of maneuvering wheeled vehicles. Kharkov: HNADU, 2006. 172 p.

2. Application of the combined control method for carrying the car «crab». Podrygalo MA and others // The Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Collection of scientific works. 2016 75. P. 134-138.

3. Podrigalo M. A., Klets D. M. Maneuverability and controllability of wheeled vehicles. Definition of concepts and evaluation criteria. Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. 2012. Vol. 35. pp. 15-21.

4. Boboshko A. A. Assessment of the controllability of wheeled vehicles when turning in a dynamic way. Bulletin of NTU «KhPI». Automobile - that tractor. 2007. No. 12, P. 34–43.

5. Boboshko A. A. Determination of the relationship between the components of the reactions of the road to the wheels of the car when cornering. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства до університету Сілківського партнерства. 2007. Issue. 60. pp. 169–178.

6. Nadykto V., Kyrchev V., Panchenko A. Perspectives and efficiency of the use of modular energy resources in Ukraine. Technical and economic aspects of the development and testing of new technology and technologies for agriculture in Ukraine: Sb. sciences works. L. Pogorilyy UkrNDIPVT. 2003 6. Кн. 2. S. 34-42.

Literatura

1. Boboshko A. A. Netradicionnye sposoby manevrirovaniya kolesnyh mashin. Har'kov : HNADU, 2006. 172 s.

2. Zastosuvannja kombinovanogo sposobu keruvannja dlja zdijsnennja ruhu avtomobilja «krabom» / Podrigalo M. A. ta insh. Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhn'ogo universitetu. Zbirnik naukovih prac'. 2016. Vip. 75. S. 134–138.

3. Podrigalo M. A., Klec D. M. Manevrennost' i upravljaemost' kolesnyh mashin.

Opredelenie ponjatij i kriterii ocenki. Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. 2012. Vyp. 35. S. 15-21.

4. Boboshko A. A. Ocenka upravljaemosti kolesnyh mashin pri povorote dinamicheskim sposobom. Visnik NTU "HPI". Avtomobileta traktorobuduvannja. 2007. № 12, S. 34-43.

5. Boboshko A. A. Opredelenie vzaimosvjazi mezhdu komponentami reakcij dorogi na kolesa avtomobilja pri dvizhenii na povorote.

Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva. 2007. Vip. 60. S. 169-178.

6. Nadykto V., Kyurchev V., Panchenko A. Perespekty'vy' ta efekty'vnist' vy'kory'stannya modul'ny'x energety'chny'x zasobiv v Ukrayini. Texniko-ekonomichni aspekty' rozvy'tku ta vy'probuvannya novoyi texnyky' i texnologij dlya sil's'kogo gospodarstva Ukrayiny': zb. nauk. prac'. 2003. Vy'p. 6. Kn. 2. P. 34-42

UDC 621.43.018.7:629.017

EVALUATION OF ENGINE POWER AND ENERGY EXPENDITURES BY MOVING THE MOBILE MACHINE WITH "CRAB" STYLE

A. Korobko, Ph. D., Associate Professor,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

"Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production" Kharkiv branch,

M. Podrigalo, D. Science, Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>,

A. Mazin,

<https://orcid.org/0000-0003-2855-0170>

Kharkiv National Automobile and Highway University,

Summary

The purpose of the study is to determine the power and energy of the engine during the mobile car «crab style» motion.

Research methods. Determine the cost of engine power, determine the energy consumption of the engine.

Research results. The of the mobile car «crab» motion, which is rotated all the wheels in one direction at the level between the corners, allows you to improve the agility of the mobile car. Maneuverability is determined by the necessary reserve of engine power, which provides the necessary dynamics of a mobile car. According to the results of the study of kinematic and dynamic models of motion of a mobile car, the «crab» movement determined the costs for this maneuver. The results of the study can be useful in controlling the car's «crab» movement. In the study, the motion of a mobile machine for turning guide wheels in one direction at the angles (motion «crab») is considered in moving and fixed coordinate systems. During the «crab style» movement there is an additional force of motion resistance of a mobile machine - lateral aerodynamic force. The power of the engine, which is spent on overcoming the resistance forces during a turn, is determined taking into account lateral and frontal aerodynamic forces of resistance. The coefficient of the relationship between the power on wheels with the kinetic energy of a mobile car «crab style» moving is proposed. Determination of the energy consumption of the engine carried out at zero acceleration of the mobile machine, that is, its constant speed. Effective work of the engine, which is equal to the spent energy consumption, is determined taking into account the time of maneuver and the value of lateral displacement. The energy consumption of the engine at the mobile car «crab style» motion « is proportional to its lateral displacement.

Conclusions. The study of the dynamics of a mobile car «crab style» motion has allowed to determine

the cost of efficient power and energy of the engine on its «crab style» motion. It is determined that the «crab style» motion (with the return of all wheels in one direction at the corner level) is possible only for all-wheel drive mobile machines.

Key words: power, engine energy, «crab style» movement, energy consumption, maneuverability.

УДК 621.43.018.7:629.017

ОЦЕНКА ЗАТРАТ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ МАШИНЫ «КРАБОМ»

А. Коробко, канд. техн. наук, доц., e-mail: ak82andrey@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,

ХФ ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»

М. Подригало, д-р техн. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>,

А. Мазин, <https://orcid.org/0000-0003-2855-0170>,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация

Цель исследования. Целью исследования является определение мощности и энергии двигателя на осуществление движение мобильной машины «крабом».

Методы исследования. Определение затрат мощности двигателя, определение затрат энергии двигателя.

Результаты исследования. Движение «крабом» позволяет улучшить маневренность мобильной машины. Движение мобильной машины «крабом» осуществляется при повороте всех колес в одну сторону на углы, равные между собой. Маневренность определяется необходимым запасом мощности двигателя, за счет которой обеспечивается необходимая динамичность мобильной машины. В статье по результатам исследования кинематических и динамических моделей движения мобильной машины движением «крабом» определены затраты на осуществление указанного маневра. Результаты проведенного исследования могут быть полезны при создании управления движением автомобиля «крабом». Движение «крабом» позволяет улучшить маневренность мобильной машины. В исследовании движение мобильной машины при повороте направляющих колес в одну сторону на равные углы (движение «крабом») рассматривается в подвижной и неподвижной системах координат. При движении «крабом» появляется дополнительная сила сопротивления движению мобильной машины – боковая аэродинамическая сила. Мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления при повороте, определяется с учетом боковой и фронтальной аэродинамических сил сопротивления. Предложено коэффициент взаимосвязи между мощностью на колесах с кинетической энергией движущейся «крабом» мобильной машины. Определение затрат энергии двигателя осуществлено при нулевом ускорении мобильной машины, то есть постоянной ее скорости. Эффективная работа двигателя равняется затраченной эффективной энергии, определяется с учетом времени совершения маневра и величины бокового смещения. Затраты энергии двигателя на движение мобильной машины «крабом» пропорциональны ее боковому смещению.

Выводы. Исследование динамики движения мобильной машины «крабом» позволило определить расходы эффективной мощности и энергии двигателя на ее движение «крабом». Определено, что движение «крабом» (с поворотом всех колес в одну сторону на равные углы) возможно только для полноприводных мобильных машин.

Ключевые слова: мощность, энергия двигателя, движение «крабом», затраты энергии, маневренность.