

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА РОБОТИ ДВИГУНА В ПРОЦЕСІ РОЗГОНУ КОЛІСНОЇ МАШИНИ

Молодан А.О.

(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Запропоновано оцінювати потужності та роботи в процесі розгону машини за величиною механічної роботи, виконаної двигуном. Запропоновано метод визначення потужності двигуна і виконаної роботи з використанням моделі складного руху автомобіля при проходженні мірної ділянки. При зазначеному підході термін «напрацювання машини» відповідає фізичному змісту поняття «робота».

Ключові слова: колісна машина, мірна ділянка, процес розгону, потужність, робота.

Вступ. Надійна тривала робота двигуна можлива тільки в тому випадку, коли він правильно розрахований і обраний за тепловим і динамічним (при перехідних процесах) режимах і відповідає умовам навколишнього середовища. Застосування двигуна будь-якого типу перед усе пов'язане з підбором його за потужністю. Більша частина теплової енергії, що виділяється при згоранні палива у циліндрах двигуна, перетворюється в механічну. Ефективна потужність – потужність, що отримується на колінчастому валу. Вона менше індикаторної на 10...12%, так як частина потужності витрачається на подолання сил тертя в механізмах двигуна і приведення у дія допоміжних пристроїв (насоса, вентилятора, генератора та ін).

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Найбільш точним і об'єктивним показником машин може бути механічна робота, виконана двигуном з початку експлуатації чи поновлення експлуатації після ремонту мобільних машин [1, 2].

Спробою вирішити проблему визначення потужності двигуна мобільних машин були зроблені рядом авторів, в тому числі в роботах [3, 4]. Потужність двигуна в дорожніх умовах визначалася з використанням вимірювально – реєстраційний комплексу, що включає в себе кілька трикоординатних датчиків прискорень і комп'ютер [5]. Однак для визначення потужності двигуна при русі мобільних машин необхідно попередньо проводити їх вільний вибіг. Це необхідно для попереднього визначення параметрів опору руху машин, що залежать від швидкості.

В роботі [6] у вирішенні завдань управління мобільними машинами запропоновано використовувати модель складного руху. Для цього абсолютний рух автомобіля розкладається на переносний і відносний. До параметрів переносного руху відносяться переміщення, швидкості і прискорення контрольних точок рухомої системи координат відносно нерухомої [7]. Відносним рухом точки або твердого тіла є рух, що розглядається щодо рухомої системи координат [7].

Мета і постановка задачі. Метою дослідження є розробка математичної моделі оцінки виконаної роботи колісних машин у процесі розгону на мірній ділянці за виконаної двигуном механічної роботи.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- представити процес руху автомобіля на мірній ділянці дороги як сукупність переносного і відносного рухів;
- визначити роботу, виконану двигуном автомобіля при проходженні мірної ділянки.

Визначення потужності та роботи двигуна в процесі розгону колісної машини. Для реалізації поставленого завдання використовуємо модель складного руху. Переносну швидкість визначаємо на мірній ділянці довжиною S_M , яка дорівнює 1 км або 1000 м. Знаючи час T_M проходження мірної ділянки, визначимо переносну лінійну швидкість автомобіля

$$V_{\text{пер}} = \bar{V}_a = S_M / T_M. \quad (1)$$

Середня швидкість руху автомобіля на мірній ділянці шляху і буде швидкістю переносного руху. При переносному русі лінійна швидкість постійна, а значить прискорення дорівнює нулю. Константа тягової сили на колесах, що створює переносний рух буде дорівнює

$$P_{\text{кпер}} = m_a \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot \bar{V}_{\text{пер}}^2 = m_a \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{S_M^2}{T_M^2}, \quad (2)$$

де m_a – маса автомобіля;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

f – коефіцієнт опору коченню;

C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;

ρ – щільність повітря;

F – лобова площа кузова автомобіля (модель).

Потужність двигуна, що витрачається на переносний рух

$$N_{\text{кпер}} = P_{\text{кпер}} \cdot V_{\text{пер}} = \frac{S_M}{T_M} \cdot \left(m_a \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{S_M^2}{T_M^2} \right). \quad (3)$$

Робота, що витрачається на переносний рух на мірній ділянці шляху

$$A_{\text{кпер}} = P_{\text{кпер}} \cdot S_M = S_M \cdot \left(m_a \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{S_M^2}{T_M^2} \right). \quad (4)$$

Потужність двигуна, що витрачається на тертя в трансмісії

$$N_{\text{тр}} = P_{\text{тр}}^{\text{пр}} \cdot V_{\text{пер}}, \quad (5)$$

де $P_{\text{тр}}^{\text{пр}}$ – приведена до ведучих коліс умовна сила тертя в трансмісії.

Робота, наведеної сили тертя

$$A_{\text{кпер}} = P_{\text{тр}}^{\text{пр}} \cdot S_{\text{М}}. \quad (6)$$

Рівняння динаміки автомобіля

$$m_a \cdot \dot{V}_a = P_k - m_a \cdot g \cdot f - m_a \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot (V_{\text{пер}} + \Delta V)^2, \quad (7)$$

де α – кут граничного ухилу дороги;

\dot{V}_a – лінійне прискорення автомобіля;

ΔV – відносна швидкість руху,

$$\Delta V = V_a - V_{\text{пер}}. \quad (8)$$

При моделюванні прийемо допущення того, що величина $\Delta V(t)$ підпорядковується гармонійному закону (рис. 1)

З рівняння (7) визначимо сумарну тягову силу на провідних колесах

$$P_k = m_a \cdot \dot{V}_a + m_a \cdot g \cdot f + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot V_{\text{пер}}^2 + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot (2\Delta V \cdot V_{\text{пер}} + \Delta V^2) \quad (9)$$

Враховуючи співвідношення (2) перетворимо (9) на вигляд

$$P_k = m_a \cdot \dot{V}_a + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot (2\Delta V \cdot V_{\text{пер}} + \Delta V^2) + P_{\text{кпер}}. \quad (10)$$

Швидкість відносного руху (рис. 1)

$$\Delta V = \Delta V_{\text{max}} \cdot \sin(\Omega v \cdot t), \quad (11)$$

де ΔV_{max} – амплітуда коливань відносної швидкості;

Ωv – кругова частота коливань відносної швидкості автомобіля,

$$\Omega v = \frac{2\pi}{T_v}, \quad (12)$$

де ΔV_{max} – амплітуда коливань відносної швидкості;

T_v – період коливань відносної швидкості ΔV .

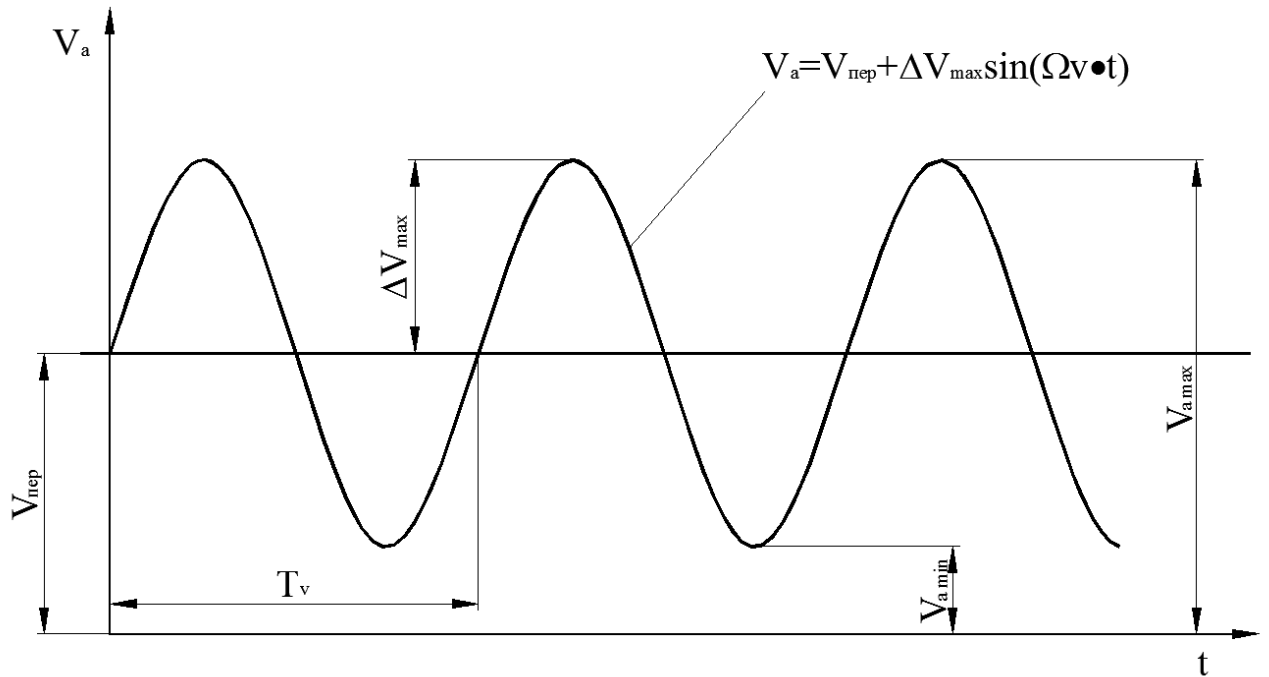


Рис.1. Прийнята модель зміни швидкості усталеного руху автомобіля

Коефіцієнт нерівномірності лінійної швидкості автомобіля

$$\delta_v = \frac{V_{a,max} - V_{a,min}}{V_{пер}} = \frac{2\Delta V_{max}}{V_{пер}}. \quad (13)$$

З рівняння (13) визначимо

$$\Delta V_{max} = \frac{\delta_v}{2} \cdot V_{пер}. \quad (14)$$

Лінійне прискорення автомобіля

$$\dot{V}_a = d(\Delta V)dt = \Delta V_{max} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t) = \frac{\delta_v}{2} \cdot V_{пер} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t). \quad (15)$$

З рівняння (10) визначимо компоненту тягової сили, що створює відносний рух

$$P_{конт} = P_k - P_{кпер} = m_a \cdot \dot{V}_a + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot (2\Delta V \cdot V_{пер} + \Delta V^2). \quad (16)$$

Рівняння (16) з урахуванням співвідношень (11), (14), (15) прийме наступний вигляд

$$P_{\text{котн}} = m_a \cdot [g \cdot \sin \alpha + 0,5 \cdot \delta_v \cdot V_{\text{пер}} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t)] + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot V_{\text{пер}}^2 [\delta_v \cdot \sin(\Omega v \cdot t) + 0,25 \cdot \delta_v^2 \cdot \sin^2(\Omega v \cdot t)] \quad (17)$$

Потужність на колесах, що реалізує відносний рух

$$N_{\text{котн}} = \int P_{\text{котн}} d(\Delta V). \quad (18)$$

Диференціюючи рівняння (11), визначимо

$$d(\Delta V) = \Delta V_{\text{max}} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t) dt = \frac{\delta_v}{2} \cdot V_{\text{пер}} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t) dt. \quad (19)$$

Після підстановки виразів (17) і (19) під знак інтегралу в рівняння (18) і інтегрування, отримаємо

$$N_{\text{котн}} = 0,5 \cdot \delta_v \cdot V_{\text{пер}} \left\{ \begin{array}{l} m_a \left[g \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\Omega v \cdot t) + 0,25 \cdot \delta_v \cdot V_{\text{пер}} \cdot \Omega v \cdot \cos(\Omega v \cdot t) + \right. \\ \left. + 0,5 \cdot \sin(2 \cdot \Omega v \cdot t) \right] + \\ \left. + 0,25 \cdot C_x \cdot F \cdot V_{\text{пер}}^2 \cdot \delta_v \cdot \sin^2(\Omega v \cdot t) \left[1 + \frac{\delta_v^2}{6} \cdot \sin(\Omega v \cdot t) \right] \right\}. \quad (20)$$

Робота компоненти тягової за час, виконана у відносному русі

$$A_{\text{котн}} = \int_0^{T_M} N_{\text{котн}} \cdot dt. \quad (21)$$

Після підстановки (20) в (21) і інтегрування, отримаємо

$$A_{\text{котн}} = 0,5 \cdot \delta_v \cdot V_{\text{пер}} \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \delta_v \cdot V_{\text{пер}} \left[\frac{T_M^2 \cdot \Omega v^2}{2} + 0,25 + 0,25 \cdot \cos(2 \cdot \Omega v \cdot T_M) \right] + \\ + 0,25 \cdot C_x \cdot F \cdot V_{\text{пер}}^2 \cdot \delta_v \left[\frac{T_M \cdot \Omega v}{2} - 0,25 \cdot \sin(\Omega v \cdot T_M) \right] + \\ + \frac{\delta_v^2}{6} \left(\frac{2}{3} + \frac{\cos^3(\Omega v \cdot T_M)}{3} - \cos(\Omega v \cdot T_M) \right) \end{array} \right\}. \quad (22)$$

Сумарна робота тягових сил

$$A_k = A_{\text{кпер}} + A_{\text{котн}} + A_{\text{тр}}. \quad (23)$$

З урахуванням співвідношень (4), (22) і (6) вираз (23) прийме вигляд

$$A_k = S_M \left(m_a \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{S_M^2}{T_M^2} \right) + P_{\text{тр}}^{\text{пр}} \cdot S_M +$$

$$+ \frac{\delta_v}{2} \cdot V_{\text{пер}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta_v}{4} \cdot V_{\text{пер}} \left[\frac{T_M^2 \cdot \Omega_v^2}{2} + \frac{1}{4} (1 - \cos(2 \cdot \Omega_v \cdot T_M)) \right] + \\ + \frac{\delta_v}{4} \cdot C_x \cdot F \cdot V_{\text{пер}}^2 \left[\frac{T_M \cdot \Omega_v}{2} - \frac{1}{4} \sin(2 \cdot \Omega_v \cdot T_M) + \right. \\ \left. + \frac{\delta_v^2}{6} \left(\frac{2}{3} + \frac{\cos^3(\Omega_v \cdot T_M)}{3} - \cos(\Omega_v \cdot T_M) \right) \right] \end{array} \right\}. \quad (24)$$

Висновки

1. Визначено, що показники напрацювання машини не пов'язані з виконаною роботою двигуном і неоднозначно характеризують процеси зносу в їх вузлах, оскільки є непрямими показниками. Об'єктивним показником напрацювання автомобіля є виконана двигуном робота.

2. Запропонований метод визначення виконаної роботи і розвиваємої потужності двигуном в процесі розгону колісної машини дозволяє в поєднанні з відповідним вимірювальним комплексом здійснювати оцінку напрацювання безпосередньо в процесі експлуатації автомобіля.

Список використаних джерел

1. Колегаев Р.Н. Определение оптимальной долговечности технических систем / Р.Н. Колегаев. – М.: Советскоерадио, 1967. – 112 с.
2. Лебедев А.Т. Оценка наработки мобильных машин по выполненной двигателем механической работе / А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.В. Абрамов, В.Н. Плетнев, В.О. Тесля // Механіка та машинобудування. Науково технічний журнал. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2011 – №2. – 295 с.
3. 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: дев'ята наукова конференція Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013р.: тези доповідей. – Харків, 2013. С. 239.
4. Пат. 101997 Україна, МПК G01L 5/13. Спосіб визначення зміни потужності на ведучих колесах автомобіля в процесі експлуатації / Абрамов Д.В., Кайдалов Р.О., Коробко А.І., Нікорчук А.І., Подригало М.А., Тарасов Ю.В.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № у 201503553; заявл. 16.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
5. Артемов Н.П. Мобильный регистрационно-измерительный комплекс для проведения динамических испытаний колёсных машин / Н.П. Артемов, М.А. Подригало, Д.М. Клец, Д.В. Абрамов, А.И. Коробко, О.А. Назарько, А.Н. Мостовая, В.О. Тесля // Совершенствование эксплуатационных свойств транспортно-

технологических машин и комплексов: международная научно-практическая конференция, 18-20 апреля: материалы. – Сургут, 2012. – С. 19-23.

6. Lebedev A. Operating of mobile machine units system using the model of multicomponent complex movement / A. Lebedev, N.Artiomov, M. Shuljak, [et. all] // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – 2015. – Вып. 36. – С. 60-66.

7. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М.: Наука, 1968. – 478 с.

Аннотация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗГОНА КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

А.А. Молодан

Предложено оценивать мощность и работу в процессе разгона машины по величине механической работы, выполненной двигателем. Предложен метод определения мощности двигателя и выполненной работы с использованием модели сложного движения автомобиля при прохождении мерного участка. При указанном подходе термин «наработка машины» соответствует физическому содержанию понятия «работа».

Abstract

DETERMINATION OF ENGINE POWER AND OPERATION IN THE PROCESS OF ACCELERATION WHEELED CAR

A. Molodan

It was proposed to evaluate the power and work in the process of acceleration of the machine by the amount of mechanical work performed by the engine. A method for determining the engine power and the work performed using the model of a complex movement of the vehicle during the passage of the measured section is proposed. With this approach, the term “machine time” corresponds to the physical content of the concept “work”.