

МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ

Anatoliy Yakovenko*, Leonid Pietrov*, Stanisław Sosnowski**

*The National Agricultural University of Odessa, Ukraine

**Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna w Ropczycach, Polska

Анотація. Приведено обґрунтування математичної моделі та одержано рівняння силового впливу на формування процесу переміщення енергетичного засобу з колісними рушіями.

Ключові слова: енергетичний засіб, силовий вплив, рушії, сили опору

ВВЕДЕНИЕ

Дослідження шляхів удосконалення існуючих та створення нових зразків енергетичних засобів з колісними рушіями за рахунок удосконалення силового впливу на формування процесу переміщення завжди є актуальними.

В теорії автомобіля [Avtamopov и др. 1968] процес переміщення тягово-транспортного засобу, його керованість описується без урахування всіх сил опору.

Окрім основних показників опору пересуванню [Ivanov и др. 1970] тягово-транспортного засобу обов'язково повинні враховуватись допоміжні процеси зчеплення колісного рушія з опорною поверхнею.

Тільки відповідність сил опору силам зчеплення колісних рушіїв з опорною поверхнею дає можливість створити формування удосконаленого процесу переміщення [Falkievich 1963].

Аналіз попередніх досліджень показав, що можна виділити не вирішену раніше частину загальної проблеми: узагальнення поняття силового впливу на формування процесу переміщення. Тому вибір нашого дослідження пов'язаний з залежністю формування процесу переміщення від активності силового впливу на прикладі тягово-транспортного засобу.

Предметом дослідження було взаємодія сил опору та дотичних сил, а науковими завданням – встановлення закономірності між силами опору та дотичними силами.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Одержання загальної оцінки силового впливу на формування процесу переміщення енергетичного засобу з математичним обґрунтуванням вирішувалось за допомогою тригонометричних рівнянь та теорії диференціальних рівнянь. Були вирішені такі окремі задачі:

1. Дано обґрунтоване визначення взаємодії основних силових факторів, які діють на енергетичний засіб з колісними рушіями.
2. Одержані рівняння для інженерних розрахунків по визначенню силових факторів.
3. Вперше в техніці рухомих енергетичних засобів одержане рівняння для аналізу формування процесу їх переміщення.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Математична модель для оцінки силового впливу на оптимальне формування процесу переміщення енергетичного засобу включає наступні поняття:

- сили опору – це сили, які сприяють поданню зовнішнього навантаження;
- дотичні сили тяги – це сили, які сприяють поданню зовнішнього навантаження;
- бокові сили – це сили, які сприяють підтримці заданого напрямку руху.

Силовий вплив на формування процесу переміщення енергетичного засобу відбувається як постійний процес зі змінною геометрією напрямку руху. Обмеженням у функціонуванні теорії є те, що енергетичний засіб розглядається, як моноліт - всі сили опору та дотичні сили діють рівномірно відносно центру ваги.

Умовою функціонування математичної моделі впливу на енергетичний засіб у часі і просторі, критерієм, за яким оцінюється запропонована математична модель, є відповідність сил опору до дотичних сил. Відмінність критерію від відомого полягає в тому, що він оцінює сукупність сил опору та дотичних сил відносно центру ваги.

Обмеженням щодо застосування критерію є міцність конструкції енергетичного засобу, спроможного витримати зовнішні навантаження.

Математична модель включає урівноважений силовий вплив на енергетичний засіб, який уявляємо як абсолютно тверде тіло. Цього уявлення, щодо енергетичного засобу достатньо для рішення поставленої задачі – визначення умови, при якій можливе взаємне урівноваження прикладених до енергетичного засобу сил.

При проектуванні енергетичного засобу враховуємо, що його конструкція в цілому при дії сил опору у межах неруйнування у більшій чи меншій мірі може змінювати свої розміри та форму, а також може руйнуватись за пропозицією.

Величина та характер сил опору, які діють на енергетичний засіб, пов'язані з конструктивною побудовою його носіїв енергетичної інформації (шасі, рама,). Тому енергетичні засоби поділимо на два класи: клас сталої (постійної) конструкції і клас конструкції зі змінною геометрією (наявність пружних елементів).

Під дією сил опору енергетичний засіб може змінити першопочатковий напрямок руху, в наслідок чого його елементи керування у конструкції згідно

виникнення сил опору відтворюють внутрішні сили, які повинні супроводжувати формування процесу переміщення енергетичного засобу. Ці внутрішні сили спрямовані на подолання сил опору у процесі переміщення та забезпечення керованості конструкції, не змінюючи вільно траєкторію руху. Ці сили повинні бути спрямовані на відновлення форми та розмірів траєкторії при відтворенні заданого формування процесу переміщення енергетичного засобу.

Для створення математичної моделі силового впливу на формування процесу переміщення енергетичного засобу необхідно знайти найбільші значення сил опору та внутрішніх сил, які через реакції зовнішнього середовища повинні подолати ці сили. Уявимо собі, наприклад, енергетичний засіб з колісними рушіями (рис.1), який рухається.

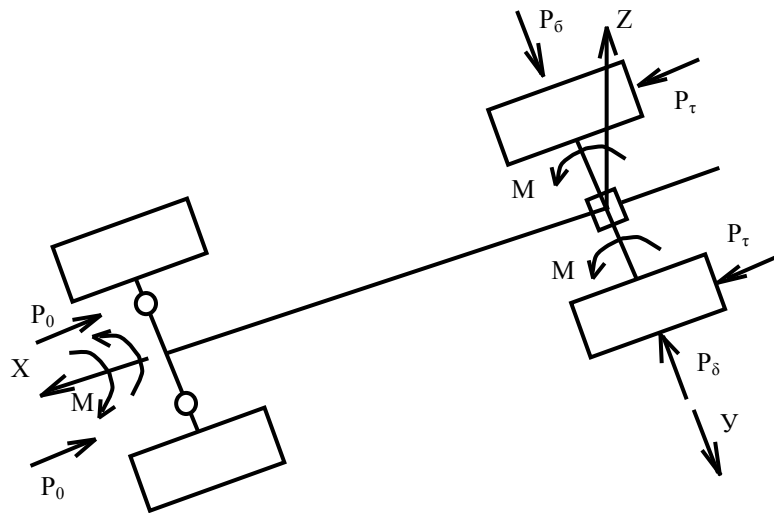


Рис.1. Енергетичний засіб з колісними рушіями

Fig. 1. Power possibilities of wheel movers

Виберемо систему координат X, Y, Z , при цьому:

- вісь X – співпадає з поздовжньою віссю енергетичного засобу;
- вісь Y – співпадає з віссю балки ведучого моста енергетичного засобу;
- вісь Z – вертикальна вісь.

У якості силового впливу розглянемо прикладені до колісного енергетичного засобу такі силові фактори:

- P_0 – сила опору переміщенню енергетичного засобу (відповідно внутрішня N_0)
- P_τ – дотична сила тяги колісного рушія (відповідно N_τ внутрішня)
- P_δ – сила опору боковому переміщенню (відповідно N_δ внутрішня).

З експлуатації енергетичних засобів з колісними рушіями [Автамонов и др. 1968] відомо, що на формування процесу переміщення суттєво впливає попередній

нахил кузова, який може викликати поворот осі з колісними рушіями у горизонтальній площині (рис. 2), завдяки дії пружних елементів.

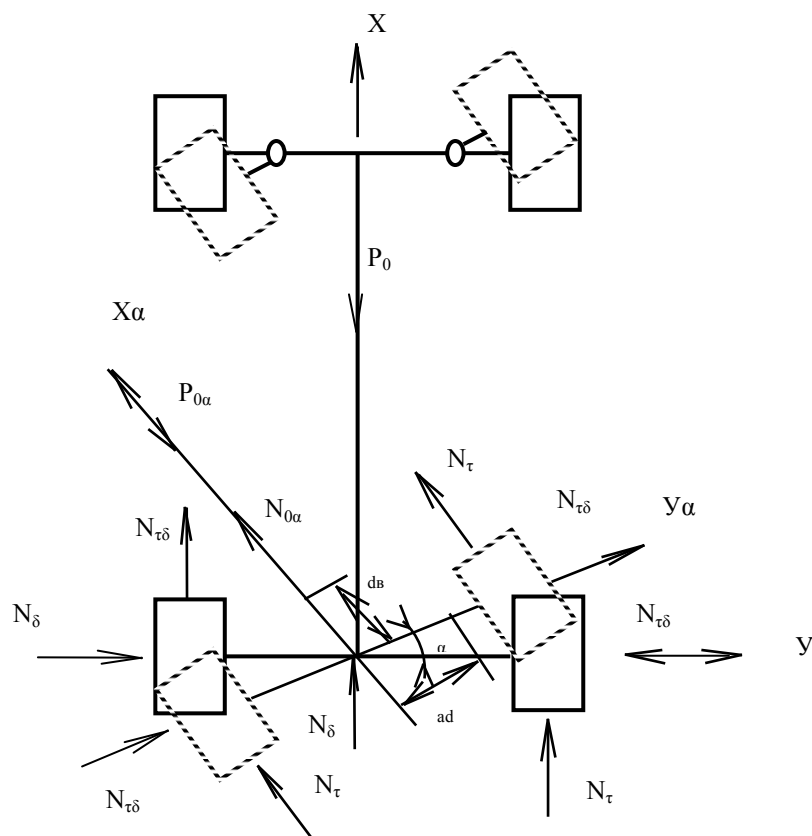


Рис.2. Зміна напрямку руху енергетичного засобу під дією зовнішніх сил

Fig. 2. Change of movement direction depending on external forces

На рис.2 осі X та Y визначають заданий напрямок руху, без відхилення від сформованого процесу переміщення. Осі X_α та Y_α визначають процес переміщення енергетичного засобу при зміні силового впливу відносно повздовжньої вісі на кут α .

На енергетичний засіб діють сили:

 N_{δ} – сила бокового опору; $N_{\tau\delta}$ – бокова сила зі зміною зчеплення під колесом;

N_0 – сила загального опору;

$N_{0\alpha}$ – сила загального опору при повороті осей на кут α ;

$N_{\delta\alpha}$ – сила бокового опору при зміні положення осей.

Як видно з рис.2 формування процесу переміщення буде визначатися у даний момент узагальненими координатами α_b та α_a .

Так як колісний енергетичний засіб знаходиться у керованому, стані тому сили на рис.2 повинні задовольняти загальному рівнянню динаміки [Vorontsov 1963].

Складемо наступні рівняння силового впливу на формування процесу переміщення енергетичного засобу відносно осей можливого відхилення напрямку руху з урахуванням напрямку осей попереднього напрямку руху:
Відносно осі X_a :

$$\sum X_\alpha = N_{0\alpha} - (N_0 + N_\tau) \cdot \cos \alpha - (N_\delta - N_{\tau\delta}) \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = 0 \quad (1)$$

Відносно осі Y_a :

$$\sum Y_\alpha = N_{\delta\alpha} - (N_0 + N_\tau) \cdot \cos(90^\circ - \alpha) + (N_\delta - N_{\tau\delta}) \cdot \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

Тоді сума робіт складових сил у рівняннях (1) та (2) буде визначатися наступними рівняннями:

$$N_{0\alpha} \cdot db - (N_0 \cdot db \cdot \cos \alpha + N_\tau \cdot dx) \cdot \cos \alpha - (N_\delta \cdot db \cdot \sin \alpha - N_{\tau\delta} \cdot dy) \cdot \sin \alpha = 0 \quad (3)$$

$$N_{\delta\alpha} \cdot da - (N_0 \cdot da \cdot \cos \alpha + N_\tau \cdot dx) \cdot \sin \alpha + (N_\delta \cdot da \cdot \sin \alpha - N_{\tau\delta} \cdot dy) \cdot \sin \alpha = 0 \quad (4)$$

Поділимо рівняння (3) на db , а (4) на da , при цьому будемо враховувати, що

$$\frac{dx}{db} = \sin \alpha; \quad \frac{dy}{db} = \cos \alpha; \quad \frac{dx}{da} = \cos \alpha; \quad \frac{dy}{da} = \sin \alpha$$

$$N_{0\alpha} - (N_0 \cdot \cos \alpha + N_\tau \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \alpha - (N_\delta \cdot \sin \alpha - N_{\tau\delta} \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \alpha = 0 \quad (5)$$

$$N_{\delta\alpha} - (N_0 \cdot \cos \alpha + N_\tau \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \alpha + (N_\delta \cdot \sin \alpha - N_{\tau\delta} \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha = 0 \quad (6)$$

Будемо враховувати, що дотичні сили тяги правого та лівого бортів однакові. Перетворюючи (5) та (6) одержимо наступні рівняння:

$$N_{0\alpha} = N_0 \cdot \cos^2 \alpha + N_\delta \cdot \sin^2 \alpha + \frac{N_\tau - N_{\tau\delta}}{2} \cdot \sin 2\alpha = 0 \quad (7)$$

$$N_{\delta\alpha} = \frac{N_0 - N_\delta}{2} \cdot \sin 2\alpha + N_\tau \cdot \sin^2 \alpha + N_{\tau\delta} \cdot \cos^2 \alpha = 0 \quad (8)$$

Формули (7) та (8) дозволяють визначити інтенсивність силового впливу для тягово-транспортного засобу при зміні напрямку руху під дією зовнішніх сил опору по будь-яким напрямкам, коли відомі інтенсивності зовнішнього навантаження: P_0 , P_δ та P_τ .

При інженерних розрахунках конструкцій, їх експлуатаційних можливостей важливо встановити, які силові фактори впливають на керованість енергетичного засобу.

Для визначення формування силового впливу на процес переміщення проведемо перебудову формул (7) та (8) у наступному вигляді:

$$N_{0\alpha} = N_0 \cdot \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} + N_\delta \cdot \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} + \frac{N_\tau - N_{\tau\delta}}{2} \cdot \sin 2\alpha = 0 \quad (9)$$

$$N_{\delta\alpha} = \frac{N_0 - N_\delta}{2} \cdot \cos 2\alpha + N_\tau \cdot \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} + N_{\tau\delta} \cdot \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} = 0 \quad (10)$$

Інакше рівняння (9) та (10) можуть мати такий вигляд:

$$N_{0\alpha} - \frac{N_0 + N_\delta}{2} = \frac{N_0 - N_\delta}{2} \cdot \cos 2\alpha - \frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \cdot \sin 2\alpha = 0 \quad (11)$$

$$N_{\delta\alpha} - \frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} = \frac{N_0 - N_\delta}{2} \cdot \sin 2\alpha + \frac{N_{\tau\delta} - N_\delta}{2} \cdot \cos 2\alpha = 0 \quad (12)$$

Підведемо до квадрату обидві частини формул (11) та (12) і складемо їх:

$$\left(N_{0\alpha} - \frac{N_0 + N_\delta}{2} \right)^2 + \left(N_{\delta\alpha} - \frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \right)^2 = \left(\frac{N_0 - N_\delta}{2} \right)^2 + \left(\frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \right)^2 \quad (13)$$

Як відомо з аналітичної геометрії, рівняння кола має вигляд:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R \quad (14)$$

де:

a та b – абсциса та ордината центру кола;

R – радіус кола.

Якщо порівняти рівняння (13) та (14), видно, що коли по осі абсцис відкласти значення $\frac{N_0 + N_\delta}{2}$, а по осі ординат значення $\frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2}$, тоді графік, який виражає силовий вплив на формування процесу переміщення енергетичного засобу, має вигляд кола

$$\begin{aligned} a &= \frac{N_0 + N_\delta}{2} \\ b &= \frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \end{aligned} \quad (15)$$

з радіусом кола

$$R = \sqrt{\left(\frac{N_0 - N_\delta}{2} \right)^2 + \left(\frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \right)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(N_0 - N_\delta)^2 + (N_{\tau\delta} - N_\tau)^2} \quad (16)$$

При розгляданні рухомості енергетичного засобу таке коло було названо „силовою ямою” [Petrov 2004].

Назвемо вираз (16) силовим формуючим радіусом процесу переміщення, за допомогою якого можливо прогнозувати силову керованість енергетичного засобу.

Тоді загальне рівняння силового впливу на формування процесу переміщення буде мати вигляд:

$$N_{zag} = \frac{N_0 + N_\delta}{2} + \frac{N_{\tau\delta} - N_\tau}{2} \pm R \quad (17)$$

На рис. 3 показаний конкретний приклад силового впливу (навантаження) на трактор.

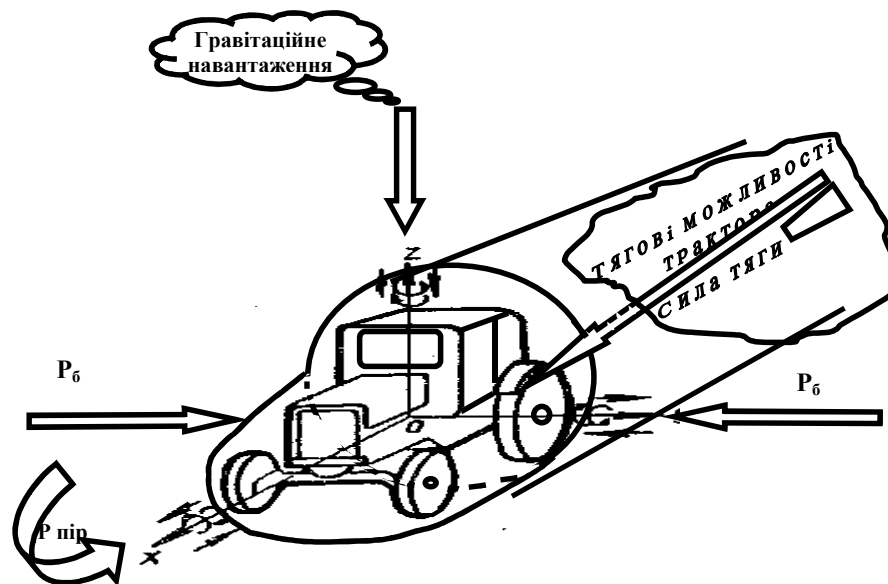


Рис. 3 Приклад силового навантаження на трактор

Fig. 3. An example of a force loading of a tractor

ВИСНОВКИ

1. Силовий вплив на формування процесу переміщення енергетичного засобу підкоряється закону кола.
2. Одержане рівняння (17) визначає узагальнюючу оцінку загального силового впливу на формування процесу переміщення енергетичного засобу з колісними рушіями.

ЛІТЕРАТУРА

- Avtamonov M.D., Illarionov V.A., Morin M.M. 1968: Teoria avtomobilya i avtomobilnoho dvigatielya. Mashg is, 283.
- Falkievich B.S. 1963: Teoria avtomobilya. Mashg is, 360.
- Ivanov V.V., Illarionov V.A., Morin M.M., Mastikov V.A. 1970: Osnovy teorii avtomobilya i traktora. Vyssha Shkola, 234.
- Petrov L.M. 2004: Teoria efektu silovoy yami. Nauk. tekhn. sb. Odessa, OISV, 9, 55–60.
- Voronkov V.V. 1963: Kurs teoreticheskoy mekhaniki. Nauka, 596.

MATHEMATICAL BASES OF POWER INFLUENCE
ON THE PROCESS OF ENERGETIC FACILITIES DISPLACEMENT

Summary: The paper presents the basis of a mathematical model and equation of power influence on energetic facilities displacement in wheel movers.

Key words: energetic facilities, power influence, mover, power resistance

Reviewer: Ilya Nikolenko, D. Sc. Eng.