СЕКЦІЯ "АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ"

УДК 629.113

Бас І.К., аспірант
Науковий керівник: Бас К.М.,к.т.н., завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства
(*Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна*)

КЕРОВАНЕ ПЕРЕНЕСЕННЯ КАР'ЄРНОГО САМОСКИДУ ПО ПРОГРАМНІЙ СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВІЙ ТРАСІ

Актуальність теми. Автомобільний транспорт широко застосовується при розробці корисних копалин відкритим способом. Найбільшої ефективності досягає використання автосамоскидів на кар'єрах малої та середньої продуктивності, або на глибоких горизонтах крупних кар'єрів у поєднанні з іншими видами транспорту. Через високу вартість використання техніки на подібних підприємствах, організація роботи транспорту повинна бути на високому рівні, щоб максимально знизити простої, забезпечити перевезення вантажів за найкоротшими, безпечними маршрутами, які обумовлені технологічними процесами [1]. Через це вимоги до облаштування автомобільних шляхів та технічного стану автосамоскидів в кар'єрах доволі жорсткі

За різних режимів руху автомобіля по просторовій криволінійній трасі в розв'язках і в поворотах, в ухилах і на прямих ділянках кар'єрних доріг актуальними є завдання оцінки динамічної навантаженості автосамоскиду і дорожньої поверхні [2], а також стійкості і керованості [3,4]. Вирішення цих завдань динамічного проектування [5,6] автомобіля дозволяє встановити еквівалентні контактні навантаження по опорних точках з урахуванням ознаки ведучого колеса, синтезувати потрібні органи управління, визначити необхідний крутний момент ведучого колеса для забезпечення необхідного режиму руху автомобіля по заданій трасі [7].

Відомо, що завдання по визначенню реакцій зв'язків колісних екіпажів з опорною поверхнею в двох і більше точках виявляється статично невизначеної [8,9]. Запропонований каскадний метод дозволяє обійти зазначене принципове ускладнення і знаходити розв'язання задачі по визначенню контактних рушійно-керуючих сил для кар'єрного автосамоскиду.

Мета роботи. Визначення еквівалентної контактної рушійної сили, що забезпечує заданий режим руху кар'єрного автосамоскиду по визначеній трасі.

Основний матеріал. Детермінована математична модель кінетики автомобіля в просторі за різних режимів руху на криволінійній трасі складається на основі нелінійних диференціальних рівнянь Ейлера-Лагранжа у формі кватерніоних матриць [8]. Тут у якості динамічної моделі самоскида приймається матеріальна точка заданої маси (m), до якої прикладені аеродинамічні сили, сила тяжіння, інерційні сили і шукані контактні рушійні сили (керуючі сили), що забезпечують необхідний режим руху по заданій просторовій криволінійній трасі.

Вводяться системи координат:

- земна, полюс і орієнтація осей, якої визначається зручністю опису автомобільної траси;
- пов'язана з автомобілем, полюс і орієнтація осей якої визначається в інерціальному просторі природного тригранника.

У прийнятій постановці завдання математична модель допускає такі спрощення:

- центр мас автомобіля поєднується з полюсом зв'язаної системи координат;

- матриця інерції автомобіля вироджується в нуль-матрицю, тобто не розглядається динаміка обертального руху автомобіля.

Динамікапоступальногорухуавтомобіляописуєтьсяоднієюквазішвидкістю (V_τ) – проекцією вектора лінійної швидкості центру маса втомобіля на дотичну до траєкторіїруху (трасі) і двома квазіприскореннями (W_τ, W_n):

- тангенціальним (W_τ);

- нормальним (доцентровим W_n).

У цих припущення хрівняння Ейлера-Лагранжа, що описують кінетику автомобіля, приймають просту форму:

$$\begin{Vmatrix} 0 \\ W_\tau \\ W_n \\ 0 \end{Vmatrix} = gA^t \cdot {}^t A^t \begin{Vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{Vmatrix} + \frac{qS}{m} R_d \cdot {}^t R_d \cdot \begin{Vmatrix} 0 \\ C_{1d} \\ C_{2d} \\ C_{3d} \end{Vmatrix} + \frac{1}{m} \begin{Vmatrix} 0 \\ N_\tau \\ N_n \\ N_b \end{Vmatrix},$$

де m – маса автомобіля;

g – прискорення сили тяжіння;

q – швидкісний напір;

S – характерна площа;

C_{1d}, C_{2d}, C_{3d} – аеродинамічні коефіцієнти;

W_τ, W_n – квазіприскорення;

A – кватерніона матриця в параметрах Родріга-Гамільтона, що визначають орієнтацію природного тригранника в земній системі координат;

R_d – кватерніона матриця, що визначає орієнтацію аеродинамічних осей щодо природних;

N_τ, N_n, N_b – рушійні сили.

Схема кар'єрного автосамоскиду, що має чотири опорні точки. Для чотириколісного автомобіля результуюча рушійна сила $\overline{N}$ підлягає розподілу за чотирма опорним точкам (K_1, K_2, K_3, K_4) з урахуванням ознаки ведучого-веденого колеса у вигляді системи чотирьох еквівалентних контактних рушійних сил ($\overline{Q}_1$, $\overline{Q}_2$, $\overline{Q}_3$, $\overline{Q}_4$).

Відповідна динамічна модель наводиться на рисунку 1.

Тут геометричні параметри і динамічне навантаження задані в зв'язаній системі координат:

$0_1 K_1 = h_1^T$; $0_1 K_2 = h_2^T$; $0_2 K_3 = h_3^T$; $0_2 K_4 = h_4^T$;

$M 0_1 = l_1$; $M 0_2 = l_2$;

$\overline{F}_1^T$ – динамічне навантаження на передню вісь;

$\overline{F}_2^T$ – динамічне навантаження на задню вісь.

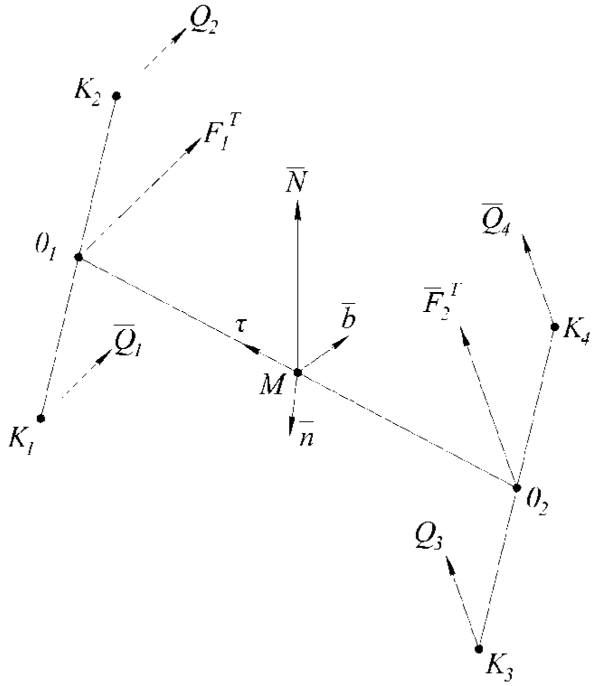

Рисунок 1 – Динамічна модель чотириколісного кар’єрного автосамоскиду, що побудована за тандемною схемою

Тоді, для асиметричної тандемної конструктивної схеми знаходимо:

$$Q_{1\tau}^T = \frac{h_2^T}{h_1^T + h_2^T} F_{1\tau}^T; \quad Q_{1n}^T = \frac{\mu_1}{1+\mu_1} F_{1n}^T; \quad Q_{1b}^T = \frac{h_2^T}{h_1^T + h_2^T} F_{1b}^T;$$

$$Q_{2\tau}^T = \frac{h_1^T}{h_1^T + h_2^T} F_{1\tau}^T; \quad Q_{2n}^T = \frac{1}{1+\mu_1} F_{1n}^T; \quad Q_{2b}^T = \frac{h_1^T}{h_1^T + h_2^T} F_{1b}^T;$$

$$Q_{3\tau}^T = \frac{h_4^T}{h_3^T + h_4^T} F_{2\tau}^T; \quad Q_{3n}^T = \frac{\mu_2}{1+\mu_2} F_{2n}^T; \quad Q_{3b}^T = \frac{h_4^T}{h_3^T + h_4^T} F_{2b}^T;$$

$$Q_{4\tau}^T = \frac{h_3^T}{h_3^T + h_4^T} F_{2\tau}^T; \quad Q_{4n}^T = \frac{1}{1+\mu_2} F_{2n}^T; \quad Q_{4b}^T = \frac{h_3^T}{h_3^T + h_4^T} F_{2b}^T,$$

де μ_1 та μ_2 – задані проектні параметри:

$$\mu_1 = \frac{Q_{1n}^T}{Q_{2n}^T}, \quad \mu_2 = \frac{Q_{3n}^T}{Q_{4n}^T}.$$

Тоді для повнопривідної конструктивної схеми в розгорнутій записи отримаємо:

$$Q_{1\tau}^T = \frac{h_2^T}{h_1^T + h_2^T} \cdot \frac{k}{1+k} N_\tau; \quad Q_{1n}^T = \frac{\mu_1}{1+\mu_1} \cdot \frac{l_2}{l_1+l_2} N_n; \quad Q_{1b}^T = \frac{h_2^T}{h_1^T + h_2^T} \cdot \frac{l_2}{l_1+l_2} N_b;$$

$$Q_{2\tau}^T = \frac{h_1^T}{h_1^T + h_2^T} \cdot \frac{k}{1+k} N_\tau; \quad Q_{2n}^T = \frac{1}{1+\mu_1} \cdot \frac{l_2}{l_1+l_2} N_n; \quad Q_{2b}^T = \frac{h_1^T}{h_1^T + h_2^T} \cdot \frac{l_2}{l_1+l_2} N_b;$$

$$Q_{3\tau}^T = \frac{h_4^T}{h_3^T + h_4^T} \cdot \frac{1}{1+k} N_\tau; \quad Q_{3n}^T = \frac{\mu_2}{1+\mu_2} \cdot \frac{l_1}{l_1+l_2} N_n; \quad Q_{3b}^T = \frac{h_4^T}{h_3^T + h_4^T} \cdot \frac{l_1}{l_1+l_2} N_b;$$

$$Q_{4\tau}^{T}=\frac{h_3^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{1}{1+k}N_\tau;\quad Q_{4n}^{T}=\frac{1}{1+\mu_2}\cdot\frac{l_1}{l_1+l_2}N_n;\quad Q_{4b}^{T}=\frac{h_3^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{l_1}{l_1+l_2}N_b.$$

Для передньопривідної і заднеприводної конструктивних схем відповідно отримаємо:

$$Q_{1\tau}^{T}=\frac{h_2^T}{h_1^T+h_2^T}\cdot\frac{k}{k-1}N_\tau;\quad Q_{2\tau}^{T}=\frac{h_1^T}{h_1^T+h_2^T}\cdot\frac{k}{k-1}N_\tau;$$

$$Q_{3\tau}^{T}=\frac{h_4^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{1}{k-1}N_\tau;\quad Q_{4\tau}^{T}=\frac{h_3^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{1}{k-1}N_\tau;$$

$$Q_{1\tau}^{T}=\frac{h_2^T}{h_1^T+h_2^T}\cdot\frac{k}{1-k}N_\tau;\quad Q_{2\tau}^{T}=\frac{h_1^T}{h_1^T+h_2^T}\cdot\frac{k}{1-k}N_\tau;$$

$$Q_{3\tau}^{T}=\frac{h_4^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{1}{1-k}N_\tau;\quad Q_{4\tau}^{T}=\frac{h_3^T}{h_3^T+h_4^T}\cdot\frac{1}{1-k}N_\tau;$$

Висновки. Запропоновано каскадний метод визначення контактних рушійних керуючих сил кар'єрного автосамоскиду в динаміці на підставі рівнянь кінетостатики. Метод можез астосовуватися для автомобілів із структурними схемами, щомаютьчотириопорні точки, та враховує ознаки ведучого-веденого колеса. Отримані результати дозволяють покращити точність моделювання просторового руху кар'єрних автосамоскидів та створюють передумови для проектування автомобільних доріг, конструкція та геометрія яких враховують технічні можливості та конструкції автомобілів, задовольняють вимогам технологічних процесів та зменшують шкідливий вплив на технічний стан рухомого транспорту.

Перелік посилань

1. Монастирський, Ю.А. Аналіз парків кар'єрних самоскидів підприємств центральної частини України / Ю.А. Монастирський, А. В. Гальченко, А. С. Вівчарик// Вісник НТУ «ХПІ».– Х. : НТУ«ХПІ», 2014. – №9 (1052). – С. 38-42.

2. Kravets, V.V. Evaluation of the Centrifugal, Coriolis and Gyroscopic Forceson a Railroad Vehicle Movingat High Speed./V.V. Kravets, T.V.Kravets// Int. Appl. Mech. 2008. 44, №.1. P. 101-109.

3. Beshta, O. Control of tandem-type two-wheelvehicleatvariousnotionmodesalongspatialcurvedlayofline./ O. Beshta, V. Kravets, K. Bas, T. Kravets, L. Tokar// Power Engineering, Controland Information Technologies in Geotechnical Systems, 2015 Taylorand Francis Group, London, P. 27-32.

4. Кравец, В.В. Управляемость двухколесного тандемного экипажа на криволинейной трассе/ В.В. Кравец, К.М. Басс, Т.В. Кравец, Н.С. Зубарев// Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Одеса-Коблево: Військова академія, 2015. – С. 114-117.

5. Герасюта, Н. Ф.Динамика полета: Основные задачи динамического проектирования ракет / Н. Ф. Герасюта, А. В. Новиков, Н. Г. Белецкая ; под ред.: С. Н. Конюхов . – Днепропетровск : Гос. конструкторское бюро "Южное" им. М.К.Янгеля, 1998 . – 365 с. :

6. Kravets, V.V. Dynamic Design of Ground Transport With the Help of Computation Experiment / V.V. Kravets, K.M. Bass, T.V. Kravets, L.A. Tokar Mechanics, Materials Science and Engineering, Vol. 1, October 2015 – pp. 105-111.

7. Kravets, V. Mathematical model of a pathand hodograph of surface transport / V. Kravets, T. Kravets, K. Bas, L. Tokar // Transportproblems. – 2014. – Pp. 830-841.

8. Kravets, V.V. Using quaternion matricestodescribethekinematicsandnonlinear dynamics of anasymmetricrigid body/, V.V. Kravets, T.V. Kravets, A.V. Kharchenko // Int. Appl. Mech. – 2009. – 44. #2. – Pp. 223-232.

9. PivnyakG.G. Elements of Calculus Quaternionic Matrices And Some Applications In Vector Algebra And Kinematics/ G.G. Pivnyak, V. V. Kravets, K. M. Bas, T.V Kravets & L.A. Tokar// Mechanics, Materials Science&Engineering, 2016 Vol 3. pp. 46-56.