

МОДЕЛЮВАННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ЗМАГАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ТРЕНАЖЕРІ-СИМУЛЯТОРІ СПОРТИВНОГО АВТОМОБІЛЯ

Лопатьєв А.О., Рибак Л.І.,
Виноградський Б.А., Рибак О.Ю.

Львівський державний університет фізичної культури

Метою роботи є з'ясування можливості моделювати інерційні змагальні навантаження на тренажері-симуляторі спортивного автомобіля нахилами його рухомої частини, а основним методом — математичне моделювання. Робота виконана згідно теми 2.17 «Моделювання біомеханічних систем у складнокоординатних видах спорту» Зведеного плану НДР у сфері фізичної культури та спорту на 2011–2015 рр.

Автомобіль є складною багатомасовою системою. У випадку прямолінійного руху автомобіля можна припустити, що основні переміщення системи відбуваються у вертикальній поздовжній площині симетрії. Механічна система спортивного автомобіля представлена згідно з моделлю, наведеною на рис. 1.

Для складання диференціальних рівнянь руху спортивного автомобіля скористаємося рівнянням Лагранжа 2-го роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} + \frac{d\Pi}{dq_k} + \frac{d\Phi}{dq_k} = Q_k \quad (1)$$

де T – кінетична енергія системи; Π – потенціальна енергія системи; Φ – дисипативна функція, що характеризує втрати енергії під дією сил опору; q_k – k -та узагальнена координата; Q_k – узагальнена сила, що відповідає k -тій узагальненій координаті.

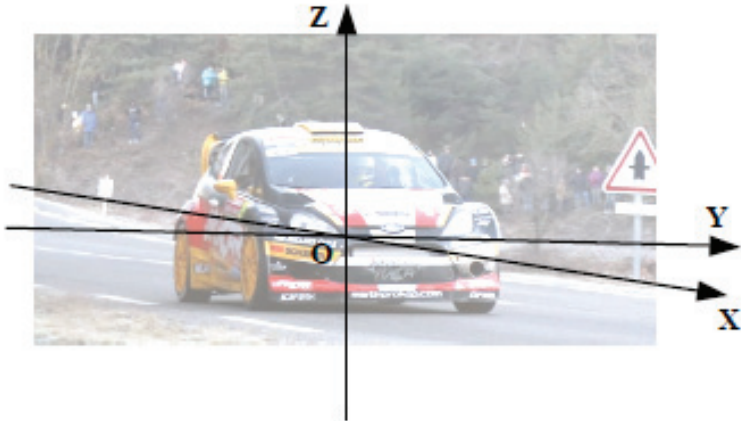


Рис. 1. Система координат для розрахунку руху спортивного автомобіля

Розв'язання системи рівнянь руху спортивного автомобіля в повному обсягу складне [1], однак залежно від конкретного практичного завдання й потрібної точності вона може бути істотно спрощена.

Розглянемо рух спортивного автомобіля Ford Fiesta RS WRC плоскою горизонтальною поверхнею з прискоренням.

Сила опору повітря для автомобіля Ford Fiesta RS WRC при коефіцієнті опору повітря $kW \approx 0,27$, лобовій площі автомобіля: $S = \text{клуб} \cdot B \cdot H$ (клуб = 0,95, ширина $B = 1,82$ м, а висота $H = 1,4$ м) та лінійній швидкості руху $V = 30$ м/с (середня швидкість спортивного автомобіля на гравійних трасах) обчислюється за формулою:

$$P_w = \kappa_w S V^2, \quad (1)$$

та становить 588,21 Н.

У випадку прискореного руху автомобіля моменти інерції обертових деталей трансмісії зручно звести до маси автомобіля шляхом порівняння кінетичної енергії деталей, що обертаються, з відповідною величиною кінетичної енергії зведеної маси, що рухається поступально. Розрахована сумарна зведена маса всіх коліс і трансмісії нашого автомобіля – 36,08 кг – додається до спорядженої маси автомобіля лише при розрахунку величини сили інерції.

Для коефіцієнта тертя між шиною та сухою гравійною чи ґрунтовою дорогою ктер = 0,4 максимальна тягова сила усіх коліс повнопривідного Ford Fiesta RS WRC: $P = MM \cdot g \cdot \text{ктер} = 5689,8 \text{ Н}$. Тоді максимальне прискорення автомобіля при розгоні становитиме:

$$a = (M_M g k_{\text{TEP}} - P_W - M_M g f) / (M_M + M_{\text{ЗВ}}) = 3,28 \text{ м/с}^2, \quad (2)$$

а при гальмуванні:

$$a = -(M_M g k_{\text{TEP}} + P_W + M_M g f) / (M_M + M_{\text{ЗВ}}) = -4,37 \text{ м/с}^2, \quad (3)$$

де MM – маса автомобіля, $M_{\text{ЗВ}}$ – сумарна зведена маса всіх коліс і трансмісії.

Розраховані прискорення повнопривідного спортивного автомобіля типу Ford Fiesta RS WRC на трасі з гравійно-ґрунтовим покриттям досягають значень щонайбільше 3,28 м/с² при розгоні та -4,37 м/с² при гальмуванні, а максимальне доцентрове прискорення при поворотах – $\pm 4,00 \text{ м/с}^2$. Кут нахилу рухомого підрамника тренажера назад, при якому величина горизонтальної відносно нього складової сили тяжіння імітуватиме прискорення автомобіля у напрямку його руху під час розгону, повинен бути 23,9°, під час гальмування – 26,5°, а під час проходження поворотів – 24,1°. У запропонованій конструкції тренажера-симулятора кути нахилу рухомого підрамника відносно нерухомої рами у поздовжній та поперечній вертикальних площинах досягають величини $\pm 35^\circ$, тобто інерційні навантаження на тіло спортсмена в розрахованих вище межах можуть бути реалізовані з запасом.

При нахилах рухомого підрамника на вказані кути нормальна складова сили тяжіння зменшується лише на 8,65–10,53 %, а додаткові вертикальні прискорення центра маси тіла не перевищують 0,02–0,04 м/с² (5–10% від прискорень, що моделюються), тому їх можна не враховувати.

Висновок: розраховані нами з похибкою, що не перевищує 1 – 2%, прискорення повнопривідного спортивного автомобіля типу Ford Fiesta RS WRC на трасі з гравійно-ґрунтовим покриттям можуть бути змодельовані нахилом рухомого підрамника тренажера на кути 23,9° назад, на 26,5° вперед та на 24,1° в боки, що викликають відповідні силам інерції зміни напрямку вектора сили тяжіння відносно нього.