

УДК 629.113

Р.М. Рогатинський, д.т.н., проф.; Р. В. Хорошун; А.Д. Бобков; Р.Б. Шимків

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАСІ

R.Rogatynskiy, Dr., Prof.; R. Horoshyn; A. Bobkov; R. Shymkiv

SIMULATION OF VEHICLE MOVEMENT ON A CURVULAR ROAD

Питання курсової стійкості руху автомобілів при русі по криволінійній трасі з урахуванням змінних в часі сил, є актуальним, оскільки змінна динаміка автомобіля по криволінійних трасах призводить до зміни параметрів стійкості автомобіля.

У відомих дослідженнях проводили дослідження курсової стійкості для окремих випадків прямолінійного та колового руху автомобіля без врахування зміни кривини траси та, відповідно, без функціонального зв'язку траєкторії руху автомобіля із розташуванням траси [1].

Метою дослідження є встановлення закономірностей переміщення автомобіля при проходженні криволінійної траси, визначення його кінематичних та динамічних показників та параметрів курсової стійкості як функцій кривини траси.

Нехай в базовій (нерухомій) системі координат XOY , що нерухомо зв'язана з трасою задано рівняння траси в параметричному виді як функція шляху по її середній лінії

$$X = X(l); Y = Y(l). \quad (1)$$

де l - параметр довжини шляху по серединній лінії.

Початкові значення параметрів траси приймемо $X(0) = L; Y(0) = 0$, а напрямки осей OX та OY визначатимемо за географічними координатами.

Кривина траси буде

$$K(l) = \frac{|X_l' Y_l'' - Y_l' X_l''|}{(X_l'^2 + Y_l'^2)^{(3/2)}}. \quad (2)$$

Якщо смуга руху зміщена відносно серединної лінії на віддаль u , то її рівняння залежно від параметра l буде

$$X_T(l) = X(l) + \frac{u \cdot Y'}{\sqrt{X_l'^2 + Y_l'^2}}; \quad Y_T = Y(l) + \frac{u \cdot X'}{\sqrt{X_l'^2 + Y_l'^2}}. \quad (3)$$

Для побудови траєкторії руху автомобіля по криволінійній трасі розглянемо його велосипедну модель, в якій два передніх та два задніх коліс заміщені одним переднім та одним заднім уявними колесами, розміщеними на осі автомобіля.

При слідуванні за трасою кут повороту уявного переднього колеса буде функцією часу $\theta_t = \theta(t)$.

Співвідношення між елементарними переміщеннями уявного заднього ds_2 та переднього ds_1 коліс (задньої та передньої осей автомобіля), без врахування кутів відведення коліс буде

$$ds_2 = ds_1 \cos \theta_t. \quad (4)$$

Із врахуванням кутів відведення, відповідно переднього δ_1 та заднього δ_2 коліс, залежність (4) прийме вигляд.

$$ds_2 \cos \delta_2 = ds_1 \cos(\theta_t - \delta_1). \quad (5)$$

Відповідно, співвідношення між їхніми швидкостями при русі із змінним напрямком буде

$$v_2 = v_1 \frac{\cos(\theta_t - \delta_1)}{\cos \delta_2}. \quad (6)$$

Радіус та кривина траєкторії руху переднього ($R_1; k_1$) та заднього ($R_2; k_2$) коліс:

$$R_1 = \frac{ds_1}{d\varphi} = \frac{L \cos \delta_2}{\sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}; \quad (7) \quad k_1 = \frac{\sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}{L \cos \delta_2}; \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{ds_2}{d\varphi} = \frac{L \cos(\theta_t - \delta_1)}{\sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}; \quad (9) \quad k_2 = \frac{\sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}{L \cos(\theta_t - \delta_1)}. \quad (10)$$

Якщо переднє колесо автомобіля завжди слідуватиме по лінії траси, то $k_1 = K_T$, і кут повороту уявного переднього колеса має змінюватись за законом

$$\theta_t = \theta(l_B) = \arcsin[L \cdot K_T(l_1) \cdot \cos \delta] + \delta_1 - \delta_2, \quad (11)$$

де $l_1 = \int_0^{l_1} v_1(t) dt$ - біжуча довжина шляху по середині смуги руху автомобіля.

Розмістимо початок системи координат $O_A x_A y_A$ автомобіля посередині задньої його осі, а вісь координат $O_A x_A$ спрямуємо за напрямом руху. Відповідно вісь $O_A x_A$ разом із корпусом автомобіля повернеться на елементарний кут $d\varphi$, що рівний

$$d\varphi = \frac{ds_1 \sin(\theta_t - \delta_1) + ds_2 \sin \delta_2}{L}. \quad (12)$$

Миттєва кутова швидкість повороту автомобіля відносно вертикальної осі буде

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v_1 \sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}{L \cos \delta_2} = \frac{v_2 \sin(\theta_t - \delta_1 + \delta_2)}{L \cos(\theta_t - \delta_1)}. \quad (13)$$

Миттєвий центр обертання корпусу $C_\omega(x_{C_\omega}; y_{C_\omega})$ в системі координат автомобіля буде:

$$x_{C_\omega} = \frac{L \operatorname{tg} \delta_2}{\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2}; \quad y_{C_\omega} = \frac{L}{\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2} \quad (14).$$

При відомих координатах центра ваги автомобіля $C_m(x_M; y_M)$, радіус його повороту при русі по криволінійній трасі

$$R_M = \sqrt{(x_{C_\omega} - x_M)^2 + (y_{C_\omega} - y_M)^2} \quad (15)$$

Рух по криволінійній траєкторії призводить до перерозподілу сил, що діятимуть на автомобіль, а саме: вагу $G = mg$, силу поздовжнього прискорення $F_a = m \cdot dv_c / dt$, відцентрову силу $F_\omega = m\omega R_M^2$, момент сил, що діє в площині автомобіля $M = I\varepsilon$, де I – момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, що проходить через центр його ваги та момент $\vec{M}_h = (\vec{F}_\omega + \vec{F}_a) \times \vec{h}_M$, що направлений на перекидання автомобіля. Вказані сили та моменти врівноважуються реакціями на чотирьох колесах, траєкторії руху яких та кути повороту однозначно задаються відомими координатах миттєвого центра обертання та які визначаються із диференціальних рівнянь руху.

На першій ітерації приймають, що кути відведення рівні нулю. На другій ітерації за встановленими силами уточнюються кути відведення переднього δ_1 та заднього δ_2 уявних коліс велосипедної моделі та переносять їх на реальні колеса. На наступних ітераціях від велосипедної моделі переходять до моделі чотирьох колісного автомобіля.

Література:

1. Макаров В.А., Волохов О.С. Моделювання руху автомобіля з урахуванням тягової сили й перерозподілу маси // Автомобільний транспорт. - 2013. - В. 32.- С.23-28.