

ров другої, яке впливає на динамічну стійкість рухомої машини.

Розрахунок за заданими залежностями дає можливість диференціювати причини опрокидання колесної машини при русі на ухилі, т. є. визначити, чим обумовлено опрокидання: діями водія по керуванню колесною машиною або параметрами ухилу опорної поверхності, по якій вона рухалась.

В. Т. Придиба, заступник директора з наукової роботи Львівського НДІСЕ, кандидат технічних наук

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЕКСТРЕНО ЗАГАЛЬМОВАНОГО АВТОМОБІЛЯ ПРИ НЕПРАЦЮЮЧОМУ ГАЛЬМІВНОМУ МЕХАНІЗМІ ПРАВОГО ПЕРЕДНЬОГО КОЛЕСА

Методом чисельного моделювання розраховано параметри руху екстрено загальмованого автомобіля із непрацюючим гальмівним механізмом правого переднього колеса та проаналізовано одержані результати.

Методом чисельного моделювання проведено розрахунок параметрів руху екстрено заторможеного автомобіля з непрацюючим тормозним механізмом правого переднього колеса і проаналізовані отримані результати.

Наявність нерівномірності гальмівних сил на колесах транспортного засобу (ТЗ) призводить до виникнення пари сил, дія яких за певних обставин може зумовити відхилення траєкторії його руху від заданого напрямку та спричинити проковзування коліс у поперечному напрямку з втратою керуваності. Небезпечність різко зростає при застосуванні екстреного гальмування, під час якого блокуються колеса. Унаслідок цього автомобіль може виїхати на смугу зустрічного руху чи за межі проїзної частини, що може призвести до дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) з важкими наслідками. Тому вимоги п. 31.4.1 Правил дорожнього руху України (ПДР) забороняють експлуатацію ТЗ, якщо у результаті екстреного гальмування при швидкості 40 км/год автомобіль розвертається на кут більше 8° або займає смугу руху більше ніж 3,5 м.

У зв'язку з цим становить інтерес розрахунок руху загальмованого ТЗ за наявності несправностей, які зумовлюють нерівномірність дії гальмівних сил на колесах. Аналіз результатів такого розрахунку дає підстави для встановлення причинного зв'язку наявних несправностей з фактом ДТП.

Очевидно, що рівняння руху матеріальної точки, які зазвичай застосовуються в експертній практиці, не можуть забезпечити вирішення поставленого завдання, оскільки вони придатні лише для дослідження поступального руху матеріальних об'єктів. Застосування цих рівнянь до розрахунку руху ТЗ можливе тільки у випадках, коли можна знехтувати їх обертальною складовою.

Положення ТЗ у кожен момент часу, яке визначається положенням його центру мас і кутом розвороту, дозволяють установити рівняння плоского руху твердого тіла¹. Їх застосування до моделювання руху ТЗ передбачає, що всі точки ТЗ рухаються паралельно площині проїзної частини.

У загальному випадку рівняння, що описують рух ТЗ як плоский рух твердого тіла, становлять систему трьох нелінійних диференціальних рівнянь 2-го порядку, які зазвичай не мають точного аналітичного рішення, котре було б зручним для практичного застосування². Саме це було основною причиною обмеженого використання таких моделей в інженерній практиці, зокрема в судовій автотехнічній експертизі. На даний час за наявності ефективних методів чисельного рішення таких систем змогу реалізувати їх, – з другого, застосування моделей плоского руху твердого тіла в експертній практиці не викликає труднощів.

Визначимо положення екстрено загальмованого автомобіля при непрацюючому гальмівному механізмі правого переднього колеса в кожен момент часу на шляху його гальмування. Для цього використаємо комп'ютерну програму PV1 з чисельного моделювання руху автомобіля, розроблену в межах наукової роботи «Дослідження впливу нерівномірності гальмівних сил на колесах автомобіля на параметри його руху»³.

Вихідні дані, які необхідно задати для функціонування програми PV1, складають конструктивні параметри автомобіля, характеристики взаємодії колеса з дорожнім покриттям, початкові умови та параметри самої програми.

Конструктивні параметри ТЗ, рух якого досліджується, прийнято на основі технічних даних автомобіля ВАЗ-2109: $M_A = 1000$ кг – маса ТЗ; $J_Z = 1445$ кг·м² – момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, що проходить через його центр мас; $R_1 = 590$ кг – навантаження на передню вісь автомобіля; $b_1 = 0,97$ м – відстань від центра мас автомобіля до передньої осі; $B = 2,46$ м – база автомобіля; $a = 1,4$ м – колія автомобіля.

Ефективність гальмування того чи іншого колеса ТЗ моделюється за допомогою коефіцієнта гальмування. При непрацюючому гальмівному ме-

¹ Див.: Теоретична механіка : навч. посіб. / [П. П. Смерека, І. В. Кузьо, В. Т. Придиба, Я. А. Зінько]. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2004. — 228 с.

² Див.: Дослідження параметрів руху автомобіля під час заносу методом чисельного моделювання : звіт про НДР (закл.) / Львівський НДІСЕ ; кер. В. Т. Придиба. — Львів, 2007. — 60 с. — № Держреєстр. 0106U001129.

³ Див.: Дослідження впливу нерівномірності гальмівних сил на колесах автомобіля на параметри його руху : звіт про НДР (закл.) / Львівський НДІСЕ ; кер. В. Т. Придиба. — Львів, 2009. — 70 с. — № Держреєстр. 0108U004348.

ханізмі переднього правого колеса (наприклад, за відсутності тиску в його приводі) воно вільно обертатиметься. Ураховуючи опір коченню, коефіцієнт гальмування для нього можна прийняти $KPR = 0,01$. Для всіх інших коліс прийнято $KPL = KZP = KZL = 1$.

Максимальний кут уводу, за якого настає бічне проковзування шин, для легкових автомобілів зазвичай становить близько 3° . Тому для розрахунків прийнято $\delta M = 3^\circ$. Коефіцієнт зчеплення шини з дорожнім покриттям $\Phi = 0,7$.

Розрахунок починається з того моменту, коли сповільнення автомобіля досягає максимального усталеного значення. При цьому вважається, що в цей момент центр мас автомобіля збігається з початком нерухомої системи координат Oxy , а автомобіль рухається зі швидкістю 40 км/год паралельно осі Ox , яку спрямовано вздовж дороги. За цих обставин початкові умови характеризуються такими значеннями: $X_{c0} = 0$; $Y_{c0} = 0$ – координати центра мас автомобіля в початковий момент; $\gamma_0 = 0$ – кут між повздовжньою віссю автомобіля та віссю Ox ; $V_{x0} = 40$ км/год $\approx 11,111$ м/с; $V_{y0} = 0$ – компоненти початкової швидкості центра мас автомобіля відповідно вздовж осі Ox і осі Oy ; $\omega_0 = 0$ – швидкість обертання (кутова швидкість) автомобіля навколо вертикальної осі в початковий момент часу.

Рух автомобіля досліджується на проміжку часу $TK = 2,5$ с, на якому чисельний метод визначає розв'язок для $M = 100$ кроків. Результатом роботи програми PV1 є дані про положення ТЗ і його швидкість у кожен момент часу з кроком 0,025 с на інтервалі 2,5 с, які подано у вигляді таблиці та графіків (рис. 1–3).

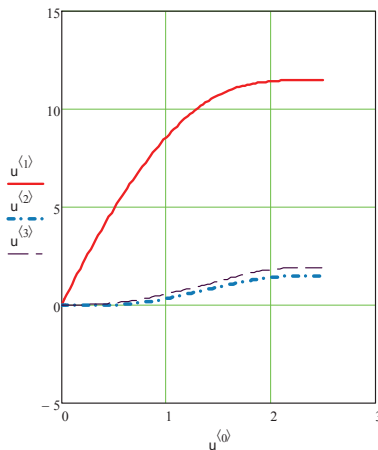
У першій колонці відображено порядковий номер кроку інтегрування, у другій – час. У третій, четвертій і п'ятій колонках, які позначено цифрами «1», «2» та «3», наведено відповідно значення координат центра мас автомобіля в повздовжньому та поперечному до дороги напрямках і кута його розвороту. Значення наступних трьох колонок відображують відповідно складові швидкості центра мас (у повздовжньому та поперечному до дороги напрямках) і кутову швидкість обертання автомобіля.

Для зручності проведення аналізу одержаних результатів у програмі PV1 передбачено побудову графічних залежностей. На рис. 1 відображено зміну координат центра мас автомобіля та кута його розвороту з часом. Більш наглядно переміщення автомобіля характеризує траєкторія переміщення центра мас автомобіля, наведена на рис. 2. На рис. 3 зображено графічні залежності змінювання компонентів швидкості автомобіля під час його гальмування.

Використовуючи можливості сучасного комп'ютерного забезпечення, результати розрахунків можна подати й у більш наглядному вигляді. Так, на рис. 4 в результаті накладання на траєкторію руху центра мас автомобіля його масштабного зображення з урахуванням кута розвороту одержано зображення положень автомобіля, які він займає через кожні 0,5 с. Таке представлення є досить наглядним і зручним для якісного аналізу руху автомобіля.

Фрагмент таблиці з результатами розрахунку програми PV1

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-------|-------|------------------------|-----------------------|--------|------------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.111 | 0 | 0 |
| 1 | 0.025 | 0.276 | $-8.011 \cdot 10^{-6}$ | $3.041 \cdot 10^{-4}$ | 10.987 | $-9.329 \cdot 10^{-4}$ | 0.024 |
| 2 | 0.05 | 0.549 | $-5.795 \cdot 10^{-5}$ | $1.199 \cdot 10^{-3}$ | 10.863 | $-3.233 \cdot 10^{-3}$ | 0.047 |
| 3 | 0.075 | 0.819 | $-1.753 \cdot 10^{-4}$ | $2.666 \cdot 10^{-3}$ | 10.739 | $-6.223 \cdot 10^{-3}$ | 0.07 |
| 4 | 0.1 | 1.086 | $-3.697 \cdot 10^{-4}$ | $4.696 \cdot 10^{-3}$ | 10.616 | $-9.298 \cdot 10^{-3}$ | 0.092 |
| 5 | 0.125 | 1.35 | $-6.364 \cdot 10^{-4}$ | $7.285 \cdot 10^{-3}$ | 10.492 | -0.012 | 0.115 |
| 6 | 0.15 | 1.611 | $-9.574 \cdot 10^{-4}$ | 0.01 | 10.368 | -0.014 | 0.137 |
| 7 | 0.175 | 1.869 | $-1.303 \cdot 10^{-3}$ | 0.014 | 10.244 | -0.014 | 0.16 |
| 8 | 0.2 | 2.123 | $-1.631 \cdot 10^{-3}$ | 0.018 | 10.12 | -0.012 | 0.183 |
| 9 | 0.225 | 2.375 | $-1.891 \cdot 10^{-3}$ | 0.023 | 9.996 | $-8.215 \cdot 10^{-3}$ | 0.206 |
| 10 | 0.25 | 2.623 | $-2.024 \cdot 10^{-3}$ | 0.029 | 9.872 | $-2.089 \cdot 10^{-3}$ | 0.23 |
| 11 | 0.275 | 2.868 | $-1.976 \cdot 10^{-3}$ | 0.035 | 9.748 | $6.28 \cdot 10^{-3}$ | 0.255 |
| 12 | 0.3 | 3.11 | $-1.69 \cdot 10^{-3}$ | 0.042 | 9.624 | 0.017 | 0.28 |
| 13 | 0.325 | 3.349 | $-1.102 \cdot 10^{-3}$ | 0.049 | 9.5 | 0.03 | 0.307 |
| 14 | 0.35 | 3.585 | $-1.487 \cdot 10^{-4}$ | 0.057 | 9.375 | 0.046 | 0.335 |
| 15 | 0.375 | 3.818 | $1.24 \cdot 10^{-3}$ | 0.066 | 9.25 | 0.065 | 0.364 |
| 16 | 0.4 | 4.048 | $3.134 \cdot 10^{-3}$ | 0.075 | 9.125 | 0.087 | 0.394 |
| 17 | 0.425 | 4.274 | $5.608 \cdot 10^{-3}$ | 0.085 | 9 | 0.112 | 0.425 |
| 18 | 0.45 | 4.498 | $8.736 \cdot 10^{-3}$ | 0.096 | 8.873 | 0.139 | 0.458 |
| 19 | 0.475 | 4.718 | 0.013 | 0.108 | 8.747 | 0.17 | 0.492 |
| 20 | 0.5 | 4.935 | 0.017 | 0.121 | 8.619 | 0.204 | ... |



- $u^{<0>}$ – час (t);
- $u^{<1>}$ – координата центра мас у по-
вздовжньому до дороги на-
прямі (X_C);
- $u^{<2>}$ – координата центра мас у по-
перечному до дороги напрямі
(Y_C);
- $u^{<3>}$ – кут розвороту автомобіля (γ)

Рис. 1. Зміна координат центра мас автомобіля та кута його розвороту з часом

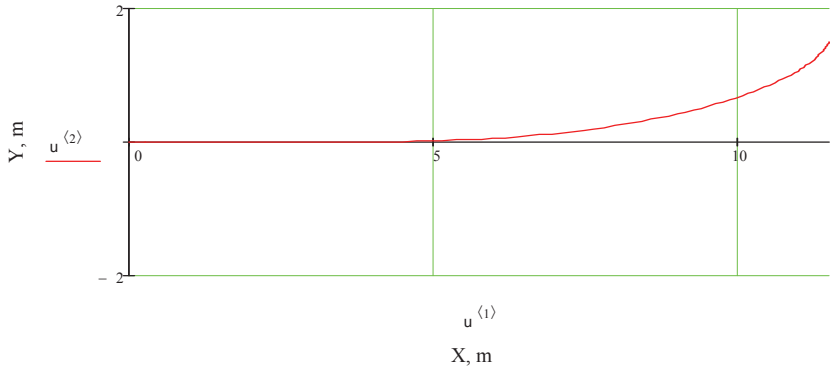
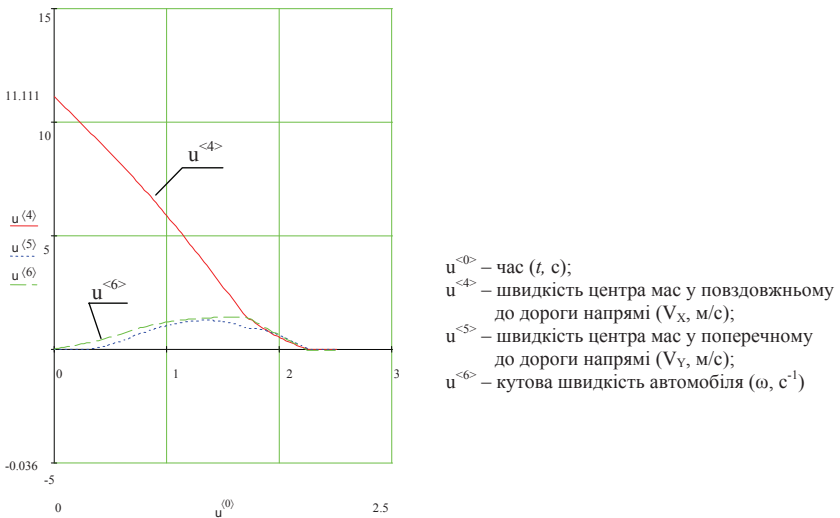


Рис. 2. Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля



- $u^{(0)}$ – час (t , с);
- $u^{(4)}$ – швидкість центра мас у повздовжньому до дороги напрямі (V_{X_3} , м/с);
- $u^{(5)}$ – швидкість центра мас у поперечному до дороги напрямі (V_{Y_3} , м/с);
- $u^{(6)}$ – кутова швидкість автомобіля (ω , с⁻¹)

Рис. 3. Зміна з часом складових швидкості загальмованого автомобіля

За одержаними результатами відсутність сили гальмування на правому передньому колесі автомобіля суттєво впливає на його рух, який характеризується не тільки повздовжнім, а й поперечним переміщенням і обертальною складовою. При цьому переміщення його центра мас має чітко виражений криволінійний характер (рис. 2).

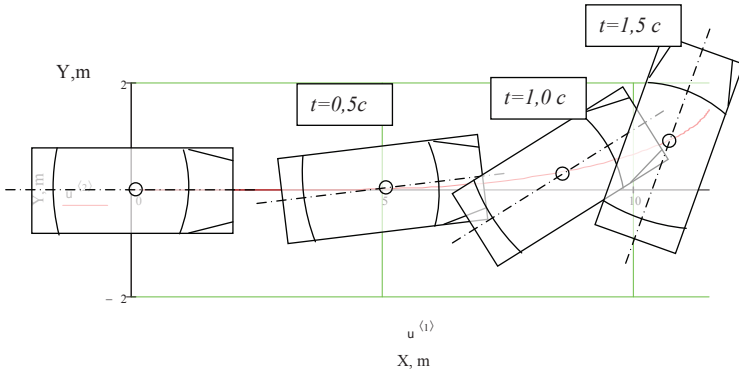


Рис. 4. Положення автомобіля відповідно в початковий момент і через 0,5, 1,0 та 1,5 с після початку гальмування

Час руху загальмованого автомобіля визначається на основі того, що в момент зупинки значення компонентів його швидкості є рівними або близькими до нуля. При заданих вихідних даних час руху автомобіля до зупинки складає 2,3 с і в кінцевому положенні центр мас автомобіля змістився в поперечному до дороги напрямі на відстань 11,483 м, а в поперечному – ліворуч на відстань 1,496 м. При цьому на шляху гальмування автомобіль розвернувся проти ходу годинникової стрілки на кут $108,7^\circ$ (1,897 радіан).

Одержані результати значно перевищують установлені вимогами п. 31.4.1 ПДР обмеження, а тому експлуатація даного автомобіля з наявною несправністю заборонена. Якщо автомобіль виїхав на смугу зустрічного руху під час екстреного гальмування (про що можуть свідчити зафіксовані на місці пригоди сліди гальмування), то результати розрахунків дають підстави зробити висновок про наявність причинного зв'язку між невідповідністю дій водія вимогам п. 31.4.1 ПДР і фактом ДТП.

О. І. Стабровський, старший науковий співробітник Львівського НДІСЕ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ПРОЦЕСІ ЗУСТРІЧНОГО ТА ПЕРЕХРЕСНОГО ЗІТКНЕНЬ

На підставі прикладної програми комп'ютерної запропоновано методику визначення швидкостей руху транспортних засобів перед зустрічним і перехресним зіткненнями.