



**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.*

На основаних прикладній комп'ютерній програмі пропонується методика визначення швидкостей руху транспортних засобів перед зустрічними та перехресними зіткненнями.

Процес зіткнення транспортних засобів (ТЗ) доцільно розглядати як такий, що складається з трьох етапів: зближення, взаємодія між ТЗ і відкидання (рух після контактування). Зміна кінетичної енергії автомобіля на першому та третьому етапах (зближення й відкидання) визначається як робота сил опору при переміщенні кожного з автомобілів до місця зіткнення та від місця зіткнення до місця кінцевої зупинки за загальноприйнятими формулами<sup>1</sup>.

У процесі взаємодії ТЗ відбувається зміна (перерозподіл) кількості руху кожного з них. Разом з тим оскільки час удару (взаємодії) дуже малий ( $t_v \rightarrow 0$ ), а сили взаємодії шин з дорожнім покриттям у момент зіткнення значно менші, за сил удару, що діють на автомобілі в процесі контактування ( $F_v \gg F_{\text{тер}}$ ), то на основі закону збереження кількості руху можна записати таку формулу

$$\sum \vec{Q} = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 = \vec{Q}'_1 + \vec{Q}'_2,$$

де  $\sum \vec{Q}$  – сумарна кількість руху системи під час взаємодії;  $\vec{Q}_1$  – кількість руху автомобіля 1 перед зіткненням;  $\vec{Q}_2$  – кількість руху автомобіля 2 перед зіткненням;  $\vec{Q}'_1$  – кількість руху автомобіля 1 після зіткнення;  $\vec{Q}'_2$  – кількість руху автомобіля 2 після зіткнення.

З метою вироблення єдиного підходу до вирішення завдань щодо визначення швидкості руху ТЗ до зіткнення<sup>2</sup>, а також урахування пропозицій секції НКМР, фахівці Львівського НДІСЕ протягом 2009 р. розробили методичні рекомендації<sup>3</sup>, в основу яких покладено комп'ютерну програму розрахунку величин швидкостей руху ТЗ перед зіткненням, яка дає змогу автоматизувати вирішення завдань, пов'язаних з механізмом зустрічного та перехресно-кутового зіткнення. Запропонована програма працює в середовищі Microsoft Excel, яка входить до стандартного набору офісних комп'ютерних програм Windows.

У програмі передбачено можливість:

— розрахунку руху автомобілів на ділянках з різними коефіцієнтами зчеплення коліс з дорогою;

<sup>1</sup> Див.: *Иларионов В. А.* Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В. А. Иларионов. — М. : Транспорт, 1989.

<sup>2</sup> Див.: Дослідження параметрів руху транспортних засобів в процесі зіткнення : звіт про НДР (закл.) / Львівський НДІСЕ ; кер. А. Разумов. — Львів, 2006. — 43 с. — № Держреєстр. 0102U000819.

<sup>3</sup> Див.: Визначення параметрів руху транспортних засобів в процесі зустрічного зіткнення (методичні рекомендації) : звіт про НДР (закл.) / Львівський НДІСЕ; кер. А. Разумов. — Львів, 2009. — 39 с. — № Держреєстр. 0102U000819.

— розрахунку руху автомобілів при заданому діапазоні значень коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою та сповільнення автомобіля в процесі гальмування.

Проведення розрахунків передбачає побудову масштабної схеми місця зіткнення ТЗ, на якій треба позначити:

— проїзну частину дороги, праве та ліве узбіччя, тротуари, інші необхідні елементи конструкції дороги або прилягаючої території;

— дорожню розмітку, світлофорні об'єкти та дорожні знаки;

— положення ТЗ у момент кінцевої зупинки;

— зафіксовані на схемі огляду сліди гальмування, бокового ковзання й інші сліди, що мають значення для вирішення справи;

— положення ТЗ у момент первинного контактування відповідно до висновку транспортно-трасологічної експертизи;

— систему координат, при цьому вісь  $x$  паралельна осі дороги, вісь  $y$  перпендикулярна осі дороги. Початок координат найбільш доцільно сумістити з центром мас одного з автомобілів у момент первинного контактування.

Траєкторії руху ТЗ до та після зіткнення встановлюються за зафіксованими на місці пригоди слідами. У разі відсутності слідової інформації переміщення центрів мас автомобілів після зіткнення приймається як лінійне від місця зіткнення до місця кінцевої зупинки. Очевидно, що це припущення дає змогу одержати тільки наближені значення кінцевих величин.

При проведенні розрахунків і графічних побудов на схемах прийнято:

— позначення 1 та інші індекси з цифрою 1 стосуються автомобіля 1;

— позначення 2 та інші індекси з цифрою 2 стосуються автомобіля 2.

З урахуванням наведених умов на масштабній схемі позначаємо:

— положення автомобіля 1 у місці кінцевої зупинки – положення 11;

— положення автомобіля 1 у момент зіткнення – положення 12;

— положення автомобіля 1 у момент початку утворення слідів гальмування (за їх наявності) – положення 13;

— положення автомобіля 2 у місці кінцевої зупинки – положення 21;

— положення автомобіля 2 у момент зіткнення – положення 22;

— положення автомобіля 2 у момент початку утворення слідів гальмування (за їх наявності) – положення 23.

На масштабну схему наносимо відповідні положення центрів мас:  $C_{11}$ ;  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{22}$ ,  $C_{23}$ , а також, у разі необхідності, й інші характерні проміжні дані.

Для проведення розрахунків програма вимагає заповнити таблицю вихідних даних (табл. 1), у якій вказуються:

— споряджена маса автомобілів – приймається зі свідцтва про реєстрацію автомобілів або з відповідних каталогів;

— кількість пасажирів (без водія) та маса вантажу – заповнюється відповідно до заданих вихідних даних;

— дійсна маса автомобіля – розраховується програмою автоматично (усі цифри, позначені в програмі кольором або кольоровим фоном, розрахо-

вуються автоматично та втручання оператора не потребують). Дійсна маса визначається за формулою

$$M_A = M_0 + (1 + N_{II}) \cdot 80 + M_B,$$

де  $M_0$  – споряджена маса автомобіля, кг;  $N_{II}$  – кількість пасажирів у салоні автомобіля (цифра 1 ураховує водія); 80 – розрахункова маса на одного пасажирів для легкового автомобіля (якщо розрахунок проводиться для автобуса або вантажного автомобіля, то маса одного пасажирів приймається відповідно до визначених розрахункових мас пасажирів згідно з вимогами;  $M_B$  – маса додаткового вантажу, що перевозиться в автомобілі.

— габаритна довжина  $L_A$ , ширина  $B_A$  автомобіля, передній звіс  $C$  і база  $L$  – визначаються з відповідних каталогів;

— віддаль  $a$  від центру мас до передньої осі визначається з відповідних каталогів. У разі відсутності даних (за замовчуванням) віддаль від центру мас визначається з виразу  $a = L/2$ ;

— кут між напрямом осі  $x$  і повздовжньою віссю автомобіля 1 ( $\alpha_{22}$ ) у момент первинного контактування визначається або на підставі висновку транспортно-трасологічної експертизи, або, наприклад, на основі положення слідів гальмування перед зіткненням, або інших заданих даних. Кут між напрямом осі  $x$  і повздовжньою віссю автомобіля 2 ( $\beta_{22}$ ) у момент первинного контактування визначається програмою з виразу  $\beta_{22} = \alpha_{22} + \lambda_3$ , де  $\lambda_3$  – кут зіткнення автомобілів. Значення усіх кутів відраховуються від додатного напрямку осі  $x$  у напрямку проти ходу руху годинникової стрілки;

— кути нахилу повздовжніх осей автомобілів до осі  $x$  у місці їх кінцевої зупинки можуть бути визначені або графічним методом з побудованої масштабної схеми, або за допомогою розрахункових рівнянь типу

$$\alpha_{21} = \arcsin\left(\frac{Y_{II-1} - Y_{3-1}}{L_1}\right), \text{ рад},$$

де  $Y_{II-1}$ ,  $Y_{3-1}$  – віддалі вздовж осі  $y$  від двох точок автомобіля, наприклад, від переднього правого колеса ( $Y_{II-1}$ ) і від заднього правого колеса автомобіля до осі  $x$  ( $Y_{3-1}$ );  $L_1$  – віддаль між обраними точками уздовж напрямку гіпотенузи, наприклад, це база автомобіля;

— якщо автомобіль 1 або 2 перед зіткненням знаходився в загальмованому стані й до моменту зіткнення зафіксовано сліди гальмування, то відповідні величини вписуються у графу  $S_{Ю}$ . Якщо автомобіль (чи автомобілі) знаходились у незагальмованому стані, то в цій графі вказується 0;

— сповільнення при гальмуванні та час наростання сповільнення при гальмуванні визначаються відповідно до дорожніх умов і завантаження автомобіля згідно з рекомендаціями<sup>1</sup>. Якщо є необхідність для одного чи обох

<sup>1</sup> Див.: Визначення параметрів руху транспортних засобів в процесі зустрічного зіткнення (методичні рекомендації).

автомобілів внести значення для двох варіантів розрахунку, то для даного показника (а також усіх інших) перше значення для автомобілів 1 і 2 вноситься відповідно в графі 4 та 5, а друге значення – у графі 6 і 7. Програмою передбачено, що переміщення від місця зіткнення до місця кінцевої зупинки може проходити по двох ділянках з різними коефіцієнтами зчеплення коліс з дорогою. Для кожної ділянки треба визначити переміщення центру мас автомобіля по осях  $x$  і  $y$  (така розбивка дає змогу автоматично визначити кут нахилу напрямку переміщення кожного автомобіля до осі  $x$  після зіткнення). Якщо переміщення відбувається тільки по одній однорідній ділянці руху, то для другої ділянки у всіх графах слід поставити 0. При зазначенні переміщення автомобілів по осях необхідно вказувати відповідні знаки відповідно до прийнятого додатного напрямку координатних осей  $x$  і  $y$ , наприклад:  $X_{11} = -5,2$ . Сумарне переміщення на кожній ділянці автоматично визначається за формулою

$$S_{12} = \sqrt{X_{12}^2 + O_{12}^2}, \text{ м;}$$

— кут розвороту автомобіля в процесі переміщення від місця зіткнення до місця кінцевої зупинки встановлюється автоматично за формулами:

$$\epsilon_1 = \alpha_{12} - \alpha_{11}, \quad \epsilon_2 = \beta_{22} - \beta_{21}.$$

(знак + показує, що розворот автомобіля відбувався в напрямі проти ходу руху годинникової стрілки, знак – показує, що розворот автомобіля відбувався в напрямі за ходом руху годинникової стрілки;

— коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою може встановлюватися для кожної ділянки руху кожного автомобіля різним, тобто за варіантами для діапазону значень. Наприклад, можна задати, що:

— при переміщенні автомобіля 1 по асфальту  $F_{12} \approx F_{x1} = 0,7-0,8$ ;  
 — при переміщенні автомобіля 1 по ґрунтовому узбіччю  $F_{11} \approx F_{x2} = 0,5-0,6$ ;

— при переміщенні автомобіля 2 по асфальту

$$F_{22} \approx F_{y1} = 0,8 \quad F_{x1} = 0,8 \quad (0,7-0,8) = 0,56-0,64;$$

— при переміщенні автомобіля 2 по ґрунтовому узбіччю

$$F_{21} \approx F_{y2} = 0,8 \quad F_{x2} = 0,8 \quad (0,5-0,6) = 0,40-0,48.$$

Обґрунтування обрання прийнятого значення коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою в кожному конкретному випадку покладається на експерта;

— якщо переміщення та розвертання автомобілів від місця зіткнення до місця кінцевої зупинки проходять по двох ділянках з різними коефіцієнтами зчеплення, то призначення середнього значення коефіцієнта зчеплення при розвертанні автомобіля можна визначати як середньозважене значення за формулами:

$$F_{1P} = \frac{F_{y1} \cdot S_{11} + F_{y2} \cdot S_{12}}{S_{11} + S_{12}}, \quad F_{2P} = \frac{F_{y1} \cdot S_{21} + F_{y2} \cdot S_{22}}{S_{21} + S_{22}},$$

де  $S_{12}$ ,  $S_{22}$  – відповідно переміщення автомобілів 1 і 2 по асфальтовому покриттю, м;  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  – відповідно переміщення автомобілів 1 та 2 по ґрунтовому узбіччю, м;  $F_{y2}$  – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою в поперечному напрямі на сухому асфальтовому покритті;  $F_{y1}$  – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою в поперечному напрямку на сухому ґрунтовому узбіччі.

Приклад задання вихідних даних для проведення розрахунку наведено в табл. 1. У таблицю вихідних даних включено низку показників, які розраховуються автоматично комп'ютером для того, аби звернути увагу експерта на окремі пункти вихідних даних, що задаються. Коли експерт бачить, що одержані цифри не відповідають логічному змісту або масштабній схемі, то необхідно визначити причину неправильного розрахунку даних.

Таблиця 1

**Вихідні дані для проведення розрахунку**

Показник	Одиниця виміру	Умовне позначення	Значення для автомобілів	
			автомобіль 1	автомобіль 2
1	2	3	4	5
Споряджена маса автомобіля	кг	$M_0$	965	1030
Кількість пасажирів		$N_{II}$	3	1
Маса вантажу	кг	$M_B$	0	0
Дійсна маса автомобіля	кг	$M_A$	1285,0	1190,0
Довжина автомобіля	м	$L_r$	4,073	4,116
Ширина автомобіля	м	$B_A$	1,611	1,611
Передній звіс	м	$C$	0,603	0,628
База автомобіля	м	$L$	2,424	2,424
Віддаль від передньої осі до центру мас	м	$a$	1,100	1,100
Віддаль від задньої осі до центру мас	м	$b$	1,324	1,324
Кут зіткнення	град	$\lambda_3$		160,00
Початковий напрям руху автомобілів до осі $x$	град	$\alpha_{22}, \beta_{22}$	191,00	351,00
Кут нахилу повздовжньої осі автомобіля до осі $x$ у місці кінцевої зупинки	град	$\alpha_{21}, \beta_{21}$	327,00	311,00
Довжина слідів гальмування до зіткнення	м	$S_{Ю}$	10,00	0,00

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5
Сповільнення при гальмуванні	м/с <sup>2</sup>	$J_A$	6,00	0,00
Час спрацювання гальмової системи	с	$T_3$	0,30	0,00
Переміщення автомобілів після зіткнення:				
а) по асфальтовому покриттю:				
— по осі $x$	м	$X_{12}, X_{22}$	-1,60	0,30
— по осі $y$	м	$Y_{12}, Y_{22}$	0,25	-2,00
— разом;	м	$S_{12}, S_{22}$	1,62	2,02
б) по ґрунтовому узбіччю:				
— по осі $x$	м	$X_{11}, X_{21}$	1,60	0,00
— по осі $y$	м	$Y_{11}, Y_{21}$	0,25	0,00
— разом;	м	$S_{11}, S_{21}$	1,62	0,00
в) сумарне переміщення				
— по осі $x$	м	$X_1, X_2$	-3,20	0,30
— по осі $y$	м	$Y_1, Y_2$	0,50	-2,00
— разом	м	$S_1, S_2$	3,24	2,02
Кут розвороту автомобілів після зіткнення	град	$\epsilon_1, \epsilon_2$	136,00	-40,00
Коефіцієнт зчеплення шин з дорогою при переміщенні:				
— по асфальтовому покриттю		$F_{12}, F_{22}$	0,56	0,56
— по ґрунтовому узбіччю		$F_{11}, F_{21}$	0,40	0,40
— при розвертанні		$F_{1p}, F_{2p}$	0,48	0,56

Крім того, під час уведення вихідних даних на листі «Діаграма» експерт має можливість візуально проконтролювати правильність заданих ним величин за напрямками векторів кількості руху до зіткнення, напрямом відхилення векторів після зіткнення та їх співмірності. Наприклад, якщо автомобіль 2 до зіткнення рухався під кутом  $200^\circ$  до осі  $x$ , то відповідний вектор кількості руху повинен знаходитись у третьому квадранті діаграми. Якщо напрям відкидання автомобіля після зіткнення на діаграмі відображується дзеркально відносно осі  $y$ , то це вказує на неправильно заданий знак переміщення автомобіля у вихідних даних.

Пояснення щодо заповнення таблиці вихідних даних і розрахунку величин швидкостей руху автомобілів до зіткнення по варіантам (проводиться в автоматичному режимі), а також узагальнений алгоритм розрахунку основних параметрів докладно наведено в роботі<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Див.: Визначення параметрів руху транспортних засобів в процесі зустрічного зіткнення (методичні рекомендації).

Розрахункова частина програми складається з двох частин: відкритої, яку експерт бачить на екрані монітора, і закритої, яка не виводиться на екран. У відкритій частині виведено всі основні дані, необхідні для перенесення в таблицю розрахунку швидкості руху при виконанні дослідження. У закритій частині проводяться додаткові обчислення: перерахунки кутів з градусів у радіани, перевірка окремих контрольних сум показників, розподіл значень розрахункових кутів по квадрантах координатної осі, розрахунок величини векторів кількості руху для автоматичної побудови діаграми кількості руху до та після зіткнення й ін.

При проведенні експертних досліджень таблиця розрахунків у повному обсязі наводиться в додатку до висновку, а у висновок подається скорочена таблиця результатів розрахунку, наприклад (табл. 2):

Таблиця 2

**Результати розрахунків величин швидкості руху автомобілів до та після зіткнення**

Параметр	Умовне познач.	Швидкість руху автомобіля, км/год	
		автомобіль 1	автомобіль 2
Швидкість руху автомобіля після зіткнення	$V'_1, V'_2$	28,28	21,14
Швидкість руху автомобіля перед зіткненням	$V_1, V_2$	82,63	54,96
Швидкість руху автомобіля перед гальмуванням	$V_{1p}, V_{2p}$	92,71	54,96

За результатами проведених розрахунків комп'ютер в автоматичному режимі будує векторну діаграму кількості руху автомобілів до та після зіткнення. Векторна діаграма кількості руху дозволяє експерту, з одного боку, візуально контролювати правильність заданих ним величин за напрямками векторів, а з другого – показує розподіл кількості руху ТЗ під час взаємного контактування.

Розроблена програма дає можливість застосувати єдиний експертний підхід до вирішення завдання з визначення швидкості руху ТЗ перед зіткненням і зменшити витрати часу на оброблення математичного матеріалу при проведенні дослідження.