

Мурований І.С.¹, Крук А.С.²

¹Луцький національний технічний університет

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз

ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРУ ЗАГАЛЬМОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ АНАЛІЗІ ОБ'ЇЗДУ НЕРУХОМОЇ ПЕРЕШКОДИ

У даній статті розглядається маневрування загальмованого транспортного засобу, обладнаного антиблокувальною системою (АБС) гальм, при аналізі об'їзду нерухомої перешкоди, як дослідження технічного аспекту механізму ДТП. Використовуючи розроблену математичну модель, встановлено критерії безпечного об'їзду нерухомої перешкоди, які враховують габарити транспортного засобу, швидкість його руху на момент початку маневру, дорожні умови, а також розташування перешкоди. Важливою частиною дослідження є врахування зменшення швидкості автомобіля внаслідок гальмування, що істотно впливає на параметри маневру.

В статті надається детальний опис алгоритмів аналізу механізму ДТП, в залежності від поставлених перед експертом задач. На основі отриманих даних сформульовано умови безпечного об'їзду перешкод для різних типів маневрів: "вхід в поворот", "вхід-вихід" та "зміна смуги руху". Пропонуються також алгоритми вирішення типових задач, які можуть виникнути при проведенні судової автотехнічної експертизи, зокрема особливу увагу приділено встановленню наявності у водія технічної можливості уникнути наїзду на нерухому перешкоду.

Ця робота має значення для покращення методик судової автотехнічної експертизи та розробки ефективних алгоритмів для аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з зіткненням з нерухомою перешкодою, що також сприяє розробці заходів для запобігання аварійних ситуацій на дорогах, забезпечуючи більшу безпеку дорожнього руху.

Ключові слова: гальмування, маневр, об'їзд перешкоди, антиблокувальна система гальм, переміщення, швидкість, курсовий кут, час маневру, автотехнічна експертиза.

ВСТУП

Стан ринку вантажних перевезень в Україні з моменту повномасштабного російського вторгнення на нашу територію значно скоротився у порівнянні з довоєнним періодом, що в значній мірі зумовлено закриттям повітряного простору та більшістю морських портів України фактично від моменту запровадження режиму воєнного стану. Такі обставини неминуче привели до зменшення обсягів перевезень в галузі транспорту та логістики України. Виходячи з аналітичних даних за 2022 рік [1] війна призвела до зменшення обсягів вантажних перевезень автомобільним транспортом на 22%, залізничним – на 48%, морським – на 85% та авіаційним – майже на 100%. Як видно з наведеної статистики найменше падіння обсягів вантажних перевезень зазнав автомобільний транспорт, що зумовлено, зокрема, меншою вразливістю автотранспортної інфраструктури для ворожих ударів. Підписання у 2022 році між Україною та Європейським Союзом угоди про вантажні перевезення автомобільним транспортом звільнило українських перевізників від необхідності отримувати дозволи на виконання рейсів в країні ЄС, відкрило нові перспективи для двосторонніх міжнародних автоперевезень та, відповідно, збільшенню частки таких перевезень на ринку вантажних перевезень України.

Однак ринок автомобільних перевезень останнім часом стикається з рядом серйозних викликів, одним з яких є зростання аварійності на українських шляхах. Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в Україні за минулий рік збільшилась на чверть. Так, згідно статистики [2], у 2023 році трапилося 23 тисячі 642 ДТП (+26,9%): загинуло 3 тисячі 53 учасники (+9,4%), постраждали – 29 тисяч 502 (+27,5%). Тому проблема забезпечення безаварійної експлуатації автомобільного транспорту стала однією з актуальних проблем нашого суспільства. В значній мірі ефективність роботи, спрямованої на зниження кількості дорожньо-транспортних пригод, визначається всебічним і повним аналізом механізму їх розвитку. Лише на основі такого аналізу можливо встановити їх причини, а також визначити обставини, котрі сприяли аварійності, і, відповідно, можна розробити заходи, спрямовані на їх усунення.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Технічні аспекти дослідження дорожньо-транспортних пригод відносяться до автотехнічної експертизи, яка вивчає і аналізує обставини події та механізм її розвитку, зокрема: траєкторію руху та інші просторово-динамічних характеристики пригоди, встановлює наявність у водія технічної

можливості запобігти пригоді, відповідності з технічної точки зору дій водія вимогам Правил дорожнього руху, а також встановлює причинно-наслідкові зв'язки між діями водія та ДТП [3].

Одним з видів дорожньо-транспортних пригод є зіткнення з нерухомим об'єктом у межах смуги руху транспортного засобу (ТЗ), який становить перешкоду для руху [4]. При виникненні перешкоди для руху, яку водій об'єктивно спроможний виявити, він, відповідно до вимогами п.12.3 Правил дорожнього руху [5], повинен негайно вжити заходів для зменшення швидкості аж до зупинки транспортного засобу або безпечного для інших учасників руху об'їзду перешкоди. Питання щодо встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути наїзду на нерухому перешкоду є предметом інженерно-транспортної (автотехнічної) експертизи.

В експертній практиці дослідження питання встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути зіткнення з перешкодою шляхом застосування маневру об'їзду проводиться при умові руху автомобіля з постійною швидкістю [6, 7, 8]. Зазначена умова пов'язана з тим, що при застосуванні гальмування в екстремальній ситуації відбувається, як правило, блокування керованих коліс і, як наслідок, втрата керованості транспортного засобу. Тому дослідження можливості застосування водієм одночасно з гальмуванням маневру не мало технічного підґрунтя. Але з вдосконаленням конструкції робочої гальмівної системи автомобілів, а саме, з обладнанням більшості сучасних автомобілів антиблокувальною системою гальм (АБС), яка запобігає, під час застосування водієм екстреного гальмування, блокуванню коліс і, відповідно, дає можливість одночасно виконувати контрольований маневр, що, в свою чергу, розширює можливості водія запобігти дорожньо-транспортній пригоді у випадку виявлення перешкоди у межах смуги руху транспортного засобу.

На основі перевіреної багаторічною практикою методики розрахунку параметрів маневру транспортних засобів [6, 7, 8], опираючись на положення теоретичної механіки та теорії автомобіля, були проведені дослідження параметрів руху транспортних засобів при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування, за умови наявності антиблокувальної системи в конструкції робочої гальмівної системи автомобіля [9, 10]. В таблиці 1 приведена математична модель для дослідження параметрів руху транспортних засобів при виконанні таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху» [10].

Таблиця 1. Формули для розрахунку положення загальмованого ТЗ в кінці маневру

№	Параметри	Вид маневру		
		“Вхід в поворот”	“Вхід-вихід”	“Зміна смуги руху”
1	2	3	4	5
2	Час маневру $\tau_M, \text{с}$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$
3	Повздожнє переміщення $x(\tau_M), \text{м}$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$
4	Поперечне переміщення $y(\tau_M), \text{м}$	$\frac{9}{160} \frac{jg \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2)$	$\frac{27}{512} \frac{jg \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2)$	$\frac{27}{8192} \frac{jg \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2)$
5	Курсовий кут $\gamma(\tau_M), \text{рад}$	$\frac{27}{24} \frac{jg \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^2 (3V_0 - 2j \tau_M)$	$\frac{27}{32} \frac{jg \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^2 (2V_0 - j \tau_M)$	0

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В залежності від поставленої перед експертом задачі метою його дослідження може бути обґрунтування технічної спроможності показів учасників ДТП, встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути ДТП шляхом одночасного застосування гальмування та маневру тощо.

В загальному випадку серед вихідних даних, заданих експерту, повинна міститись інформація стосовно ширини перешкоди B_n , яку необхідно об'їхати, та віддалі до неї в момент виникнення небезпеки для руху S_a .

Під час виконання екстреного маневру внаслідок поперечних та кутових відхилень, які обумовлюють "рискання" ТЗ, ширина смуги, яку він займає (так званий динамічний коридор $B_{ок}$), перевищує його габаритну ширину B_a . В експертній практиці ширину динамічного коридору при маневрі, як правило, визначають наступним чином [6]:

$$B_{ок} = B_a + 2\Delta_б = B_a + (0,01L_a + 0,036)V_a \quad (1)$$

де:

B_a, L_a – габаритна ширина та довжина ТЗ відповідно;

$\Delta_б$ – безпечний інтервал;

V_a – швидкість руху автомобіля на початку маневру.

Формула (1) отримана на основі емпіричних залежностей і застосовується у випадку руху автомобіля з постійною впродовж всього маневру швидкістю. У даному випадку швидкість автомобіля впродовж маневру зменшується за рахунок гальмування і в момент об'їзду перешкоди може бути незначною. Використання значення швидкості ТЗ на початку маневру обумовлює отримання завищеної величини динамічного коридору, що на думку авторів дозволяє компенсувати складність маневру, пов'язану з одночасним застосуванням гальмування.

Таким чином, для гарантування уникнення контактування з перешкодою з кожної сторони автомобіля повинен бути забезпечений безпечний інтервал:

$$\Delta_б = \frac{1}{2}(B_{ок} - B_a) = (0,005L_a + 0,018)V_a \quad (2)$$

Для встановлення умов безпечного об'їзду перешкоди необхідно визначити положення передніх габаритних точок автомобіля в кінці маневру (Рисунок 1).

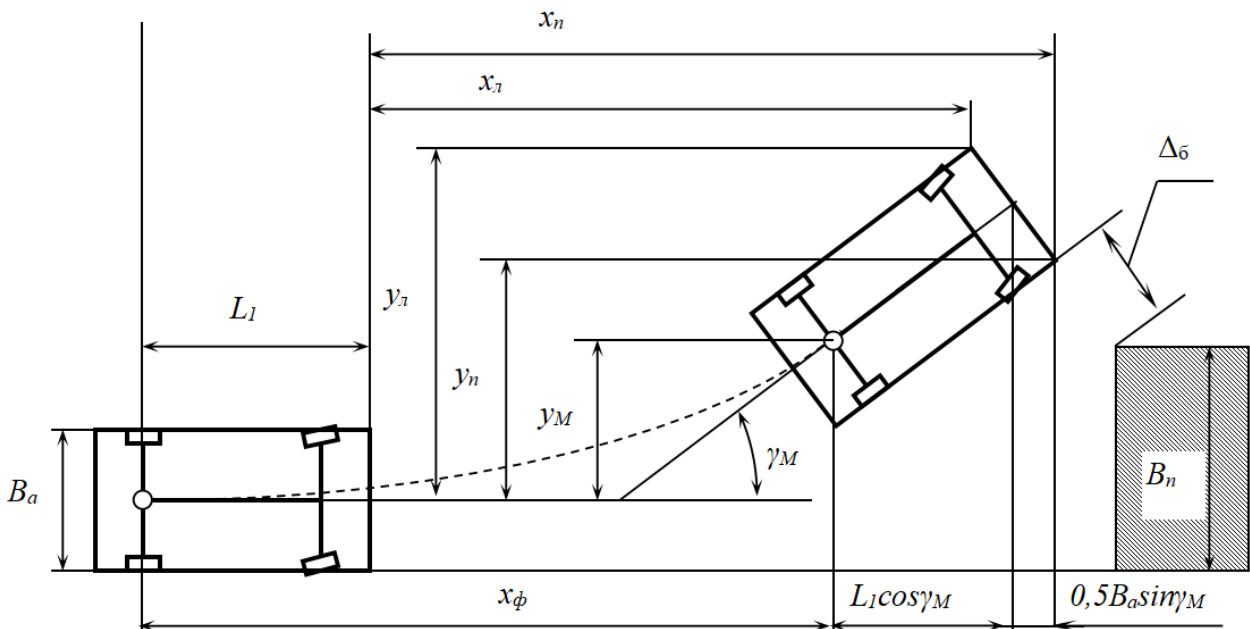


Рисунок 1 - Координати габаритних точок транспортного засобу в кінці маневру

Повздовжнє переміщення передньої правої габаритної точки ТЗ становить (Рисунок 1):

$$x_n = x_\phi - L_1(1 - \cos \gamma_M) + 0,5B_a \sin \gamma_M \quad (3)$$

Поперечне зміщення цієї ж точки складає:

$$y_n = y_M + L_1 \sin \gamma_M + 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) \quad (4)$$

Для передньої лівої габаритної точки ТЗ маємо:

$$x_{\text{л}} = x_{\phi} - L_1(1 - \cos \gamma_M) - 0,5B_a \sin \gamma_M \quad (5)$$

$$y_{\text{л}} = y_M + L_1 \sin \gamma_M - 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) \quad (6)$$

Враховуючи, що кут γ_M в кінці маневру зазвичай приймає невеликі значення, які не перевищують 15° (0,216 рад), то $\cos \gamma_M \approx 1$; $\sin \gamma_M \approx \gamma_M$ і формули (3)-(6) можна застосовувати у спрощеному вигляді:

$$x_n \approx x_{\phi} + 0,5B_a \gamma_M \quad (7)$$

$$y_n \approx y_M + L_1 \gamma_M \quad (8)$$

$$x_{\text{л}} \approx x_{\phi} - 0,5B_a \gamma_M \quad (9)$$

$$y_{\text{л}} \approx y_M + L_1 \gamma_M \quad (10)$$

Формули (3) – (10) отримані для лівостороннього об'їзду, при якому можливий контакт з перешкодою правою стороною ТЗ (Рисунок 1). Дані формули можна також застосовувати і при дослідженні правостороннього об'їзду: для цього для при визначенні положення правої габаритної точки необхідно використовувати формулу з індексом „л”, а лівої – з індексом „п”.

Можливість безпечно об'їхати перешкоду буде при умові, якщо віддалення S_a автомобіля до нерухокої перешкоди в момент виникнення небезпеки для руху буде становити не менше, ніж сума віддалі S_{t1} , яку ТЗ подолає за час t_1 реакції водія; віддалі S_{p2} , яку автомобіль подолає за час t_{p2} спрацьовування рульового управління, та віддалі $x_n + \Delta_{\delta} \sin \gamma_M$, необхідної для виконання маневру:

$$S_a \geq S_{t1} + S_{p2} + x_n + \Delta_{\delta} \sin \gamma_M \quad (11)$$

Також при умові, що поперечне зміщення y_n , яке може бути реалізоване у результаті маневру, не менше необхідного $B_n + \Delta_{\delta} \cos \gamma_M$:

$$y_n \geq B_n + \Delta_{\delta} \cos \gamma_M \quad (12)$$

На основі цих нерівностей з урахуванням формул (3), (4) умови безпечного об'їзду перешкоди шляхом застосування маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід” матимуть вигляд:

$$x_{\phi} \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} - L_1(\cos \gamma_M - 1) - (0,5B_a + \Delta_{\delta}) \sin \gamma_M \quad (13)$$

$$y_M \geq B_n - L_1 \sin \gamma_M - 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) + \Delta_{\delta} \cos \gamma_M \quad (14)$$

Для наближених розрахунків (з урахуванням формул (7), (8)) можна використовувати наступні умови:

$$x_{\phi} \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_{\delta}) \gamma_M \quad (15)$$

$$y_M \geq B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_{\delta} \quad (16)$$

Для маневру “зміна смуги руху” $\gamma_M = 0$ і умови безпечного об'їзду приймають вигляд:

$$x_{\phi} \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} \quad (17)$$

$$y_M \geq B_n + \Delta_{\delta} \quad (18)$$

Досліджуючи маневр необхідно також враховувати наявність вільного простору перед автомобілем в кінці маневру. Особливо це стосується маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід”. Слід зауважити, що в експертній практиці для незагальмованого ТЗ дослідження цих маневрів з метою встановлення можливості уникнення ДТП зустрічається вкрай рідко. Основною причиною являється відсутність вільного простору перед автомобілем в кінці маневру, який би забезпечував безпеку подальшого руху ТЗ. У зв'язку з цим необхідно відзначити, що для загальмованого ТЗ можливість застосування маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід” зростає, оскільки в кінці маневру швидкість ТЗ може бути незначною і він може бути зупинений в межах дороги.

Положення загальмованого ТЗ в кінці маневру і час виконання маневру «вхід в поворот» визначається за формулами 3/3-3/5 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (19)$$

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (20)$$

$$\gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j \tau_M) \tau_M^2 \quad (21)$$

Три формули дозволяють визначити три невідомих величини. Водночас система рівнянь (19) – (21) містить чотири параметри, що характеризують маневр ТЗ, а саме: - позаддовжнє переміщення x_M автомобіля під час маневру; поперечне зміщення y_M середини задньої осі ТЗ в кінці маневру; максимальний курсовий кут γ_M ; час маневру τ_M . В залежності від поставленого на вирішення запитання, а саме – від того, що задано, а що необхідно визначити, можливі різні алгоритми застосування даних формул.

Як свідчить експертна практика, всі задачі в кінцевому рахунку можуть бути зведені до вирішення двох запитань:

1) яке максимальне поперечне зміщення ТЗ може бути реалізоване на заданому віддаленні?

2) яке необхідно віддалення, щоб мати змогу змістити ТЗ в поперечному напрямку на задану віддаль?

Зокрема, при дослідженні технічної спроможності показів стосовно виконаного водієм маневру в якості вихідних даних одночасно наявна інформація як про віддалення ТЗ до перешкоди, так і про величину поперечного зміщення. Тому дослідження можна проводити двома шляхами:

- визначити максимальне поперечне зміщення ТЗ, яке могло бути реалізоване в заданій дорожній ситуації, і порівняти його з тим, яке впливає з показів;
- визначити мінімальну відстань, на якій можна досягнути поперечне зміщення ТЗ, що впливає з показів, і порівняти його з вказаним віддаленням.

Розглянемо кожен з можливих алгоритмів дослідження маневру окремо.

Алгоритм 1. Дослідження маневру «вхід в поворот» загальмованого ТЗ при заданому віддаленні S_a до перешкоди можна проводити в наступній послідовності.

1.1. На основі даних про параметри автомобіля та швидкість його руху згідно формули (2) визначається величина безпечного зазору: $\Delta_\sigma = (0,005L_a + 0,018)V_a$.

1.2. Коефіцієнт маневру K_M підраховується в залежності від стану дорожнього покриття по формулам [6]:

- сухий асфальтобетон ($\varphi = 0,7 \dots 0,8$): $K_M = 1,12 + 0,005V_a$;

- мокрий асфальтобетон ($\varphi = 0,35 \dots 0,45$): $K_M = 1,05 + 0,005V_a$;

- ожеледиця ($\varphi = 0,1 \dots 0,2$): $K_M = 1,0 + 0,0035V_a$.

1.3. Відстань, яка може бути використана у заданій дорожній ситуації для здійснення маневру, становить (див. формулу (15)): $X_\Phi = S_a - S_{r1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\sigma) \gamma_M$.

Розрахункове значення віддалі для здійснення маневру складає:

$$x_M = \frac{x_\phi}{K_M} = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M}{K_M}.$$

Оскільки курсовий кут γ_M в кінці маневру невідомий, то визначити x_M за допомогою лише даного рівняння не надається можливим. Для вирішення задачі дане рівняння необхідно доповнити ще рівняннями (19), (20). У результаті отримаємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими (x_M, γ_M, τ_M):

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M}{K_M}; \\ \gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M)\tau_M^2; \\ x_M = V_0\tau_M - \frac{1}{2} j\tau_M^2. \end{cases} \quad (22)$$

Розв'язуючи дану систему рівнянь отримаємо три параметри: час маневру τ_M , повздовжнє переміщення x_M автомобіля під час маневру та курсовий кут γ_M в кінці маневру.

1.4. Підставляючи встановлене значення часу маневру τ_M у формулу (20) визначаємо максимальне поперечне зміщення y_M середини задньої осі ТЗ, яке може бути реалізоване в заданій дорожній ситуації:

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0j\tau_M + 8j^2\tau_M^2)\tau_M^3.$$

1.5. Перевіримо умову забезпечення безпечного об'їзду перешкоди (16): $y_M \geq B_n - L_1\gamma_M + \Delta_\delta$.

Слід зауважити, що необхідність в розв'язуванні системи трьох рівнянь ускладнює розрахунок. У зв'язку з цим для автоматизації обчислень можна скористатись відповідними прикладними програмами для ПК, зокрема – програмним комплексом для інженерних розрахунків «MathCAD».

Крім того, розрахунок можна спростити, якщо врахувати, що формули для визначення положення ТЗ в кінці маневру отримані при умові, згідно якої курсовий кут в кінці маневру не перевищує 15° ($0,216$ рад.). За таких обставин величина $(0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M$ зазвичай значно менша від $S_a - S_{t1} - S_{p2}$, і нею можна знехтувати. Тоді $x_\phi \approx S_a - S_{t1} - S_{p2}$.

Це дає можливість у пункті 3 відразу ж визначити розрахункове значення віддалі для маневру:

$$x_M \approx \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2}}{K_M}$$

Маючи значення x_M , згідно залежності (2/3 - таблиці 1) можна визначити час маневру:

$$\tau_M = \frac{1}{j} (V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$$

Підставляючи який у формули (20), (21) визначаємо максимальне поперечне зміщення y_M середини задньої осі ТЗ та курсовий кут γ_M в кінці маневру:

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0j\tau_M + 8j^2\tau_M^2)\tau_M^3$$

$$\gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M) \tau_M^2$$

Алгоритм 2. Дослідження маневру «вхід в поворот» загальмованого ТЗ при наявній інформації про поперечне зміщення ТЗ, яке необхідно забезпечити для безпечного об'їзду перешкоди, може бути проведене в наступній послідовності.

2.1. На основі даних про параметри автомобіля та швидкість його руху згідно формули (2) визначається величина безпечного зазору:

$$\Delta_\delta = (0,005L_a + 0,018)V_a$$

2.2. Коефіцієнт маневру K_M розраховується в залежності від стану дорожнього покриття по формулам зазначеним в пункті 1.2.

2.3. Поперечне зміщення ТЗ, яке необхідне для виконання безпечного об'їзду перешкоди, визначається залежністю (20):

$$y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta.$$

Для встановлення значення y_M необхідно знати курсовий кут γ_M в кінці маневру, який у свою чергу визначається часом маневру τ_M . Тому для визначення y_M необхідно розв'язати систему трьох рівнянь:

$$\begin{cases} y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta; \\ \gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M) \tau_M^2; \\ y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (23)$$

У результаті рішення даної системи будуть отримані значення трьох величин: y_M , γ_M та τ_M .

2.4. Переміщення ТЗ, яке теоретично необхідне для забезпечення поперечного зміщення y_M , визначається згідно залежності (19):

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2.$$

2.5. Мінімальне поздовжнє переміщення ТЗ, яке фактично необхідне для здійснення безпечного маневру у заданій дорожній ситуації, становить:

$$x_\phi = K_M x_M$$

2.6. Мінімальне віддалення до перешкоди, на якому водій буде мати технічну можливість уникнути наїзду шляхом своєчасного застосування гальмування та маневру «вхід в поворот», складає:

$$S_{a_{\min}} = x_\phi + S_{r1} + S_{r2} + (0,5B_a + \Delta_\delta) \gamma_M.$$

З метою автоматизації обчислень, зокрема – для розв'язування системи рівнянь (23), доцільно скористатись програмним комплексом для інженерних розрахунків «MathCAD».

При малих значеннях курсового кута γ_M необхідне поперечне зміщення ТЗ може бути визначене приблизно:

$$y_M \approx B_n + \Delta_\delta$$

Тоді потреба в розв'язуванні системи рівнянь відпадає, що спрощує розрахунки.

Положення загальмованого ТЗ в кінці маневру «вхід-вихід» визначається згідно з формулами 3/4-5/4 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (24)$$

$$y_M = \frac{27}{512} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (25)$$

$$\gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2 \quad (26)$$

Дослідження маневру «вхід-вихід» можна проводити згідно тих же алгоритмів, що і для маневру «вхід в поворот» (див. алгоритми 1, 2), з тією різницею, що замість систем рівнянь (22), (23) слід використовувати системи, побудовані на основі рівнянь (24) – (26).

Так, при дослідженні максимального поперечного зміщення ТЗ, яке може бути реалізоване на заданому віддаленні, замість системи (22) вирішенню підлягає наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta) \gamma_M}{K_M}; \\ \gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2; \\ x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2. \end{cases} \quad (27)$$

При дослідженні мінімального віддалення ТЗ до перешкоди, на якому її можна безпечно об'їхати, систему рівнянь (23) необхідно замінити системою (28):

$$\begin{cases} y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta; \\ \gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2; \\ y_M = \frac{27}{512} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (28)$$

Послідовність дослідження маневру «зміна смуги руху» аналогічна до послідовності дослідження маневру «вхід в поворот» (див. алгоритми 1, 2). У результаті кінцеве положення ТЗ визначається формулами 3/5-5/5 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (29)$$

$$y_M = \frac{27}{8192} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (30)$$

$$\gamma_M = 0 \quad (31)$$

При цьому розрахунки параметрів маневру «зміна смуги руху» спрощуються, оскільки в кінці маневру курсовий кут ТЗ $\gamma_M = 0$.

Так, при дослідженні максимального поперечного зміщення ТЗ, яке може бути реалізоване на заданому віддаленні, замість системи (22) вирішенню підлягає наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2}}{K_M}; \\ x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2. \end{cases} \quad (32)$$

При дослідженні мінімального віддалення ТЗ до перешкоди, на якому її можна безпечно об'їхати, систему рівнянь (23) необхідно замінити системою (33):

$$\begin{cases} y_M = B_n + \Delta_\delta; \\ y_M = \frac{27}{8192} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (33)$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

На основі розробленої математичної моделі дослідження параметрів руху транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування [10], отримано алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на нерухому перешкоду, в залежності від поставленої експертної задачі для дослідження таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху». Необхідно відмітити, що в зазначених алгоритмах аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортних засобів на нерухому перешкоду в розрахунках використовуються окремі складові, такі як безпечний боковий інтервал (Δ_δ) та коефіцієнт маневру (K_M), які отримані на основі емпіричних залежностей і застосовуються у випадку руху автомобіля з постійною, впродовж всього маневру, швидкістю [6]. Таким чином, з метою підвищення валідності таких досліджень є необхідність провести експериментальні (ходові) випробування для встановлення вищевказаних емпіричних величин для сучасних автотранспортних засобів з врахуванням можливості виконання маневру з одночасним застосуванням гальмування.

Оскільки дорожньо-транспортні пригоди з наїздом транспортного засобу на нерухому перешкоду є одиничним випадком зіткнення транспортного засобу з перешкодою в межах його смуги руху, тому, з метою подальшого розширення предмету експертного автотехнічного дослідження маневру об'їзду перешкоди з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, доцільно розробити алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на перешкоду, яка знаходиться в межах його смуги руху, в тому числі рухається в попутному чи зустрічному напрямку.

ВИСНОВКИ

В даній статті запропоновані алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з дослідженням маневру загальмованого транспортного засобу при наїзді на нерухому перешкоду при проведенні судових інженерно-транспортних (автотехнічних) експертиз, в залежності від поставленої експертної задачі для дослідження таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху». Зазначені алгоритми дослідження маневру загальмованого транспортного засобу дозволяють експерту вирішити питання щодо встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути дорожньо-транспортної пригоди шляхом одночасного застосування гальмування та маневру об'їзду нерухомої перешкоди, а також перевірити технічну спроможність (обґрунтованість) показів учасників ДТП в зазначеній дорожній обстановці.

З метою подальшого розширення предмету експертного автотехнічного дослідження маневру об'їзду перешкоди з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, обґрунтована доцільність розробки алгоритмів аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на перешкоду, яка рухається в попутному чи зустрічному напрямку в межах його смуги руху.

Також, з метою підвищення валідності таких досліджень, аргументована необхідність провести експериментальні (ходові) випробування для встановлення (уточнення) емпіричних залежностей, які застосовуються в запропонованих алгоритмах дослідження, з врахуванням можливості виконання маневру з одночасним застосуванням гальмування сучасних автотранспортних засобів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ринок вантажних перевезень у 2022 році. TradeMasterGroup. URL: <https://trademaster.ua/articles/313620> (дата звернення: 10.03.2024).
2. Скільки людей загинули та травмувалися у ДТП на українських дорогах за десять років. Слово та діло. Аналітичний портал. URL:

<https://www.slovoidilo.ua/2024/01/29/infografika/suspilstvo/skilky-lyudej-zahynuly-ta-travmuvalysya-dtp-ukrayinskyx-dorohax-desyat-rokiv> (дата звернення: 10.03.2024).

3. Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : Норм. акт від 08.10.98 р. № 53/5 : станом на 10 бер. 2024 р.
4. Тлумачний словник основних термінів судової автотехнічної і транспортно-трасологічної експертизи / уклад.: В. Б. Кисельов, В. Д. Гардерман, П. В. Галаса. Київ : НДІСЕ, 2000. 19 с.
5. Правила дорожнього руху України : Норм. акт від 10.10.2001 р. № 1306 : станом на 15 серп. 2023 р.
6. Галаса П.В. Експертний аналіз дорожньо-транспортних пригод [Текст]: Посібник для спеціалістів та водіїв-аматорів / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін.; під заг. ред. П.В. Галаси; Український центр післяаварійного захисту «ЕКСПЕРТ-СЕРВІС». — К., 1995. — 190 с.: іл.
7. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Wydanie 2. IES Kraków, 2006.
8. Jan Unarski, Jakub Zębala. Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. IES Kraków, 2001.
9. Крук А. С. Теоретичні засади розрахунку руху транспортного засобу, обладнаного антиблокувальною системою, при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування. Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. 2011. № 11. С. 443–449. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Tpsek_2011_11_63 (дата звернення: 11.03.2023).
10. Мурований І.С., Крук А.С. Дослідження параметрів маневру з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортних пригод. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2023.– №2(21). с. 122-134. ISSN 2313-5425

REFERENCES

1. Rynok vantazhnykh perevezen u 2022 rotsi. TradeMasterGroup. URL: <https://trademaster.ua/articles/313620> (date of access: 10.03.2024).
2. Skilky lyudej zahynuly ta travmuvalysya u DTP na ukrayins'kykh dorohakh za desyat' rokiv. Slovo ta dilo. Analitychnyy portal. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2024/01/29/infografika/suspilstvo/skilky-lyudej-zahynuly-ta-travmuvalysya-dtp-ukrayinskyx-dorohax-desyat-rokiv> (date of access: 10.03.2024).
3. Naukovo-metodychni rekomendatsiyi z pytan pidhotovky ta pryznachennya sudovykh ekspertyz ta ekspertnykh doslidzhen : Regulatory act from 08.10.98 No. 53/5: as of 10 Mar. 2024.
4. Kyselov, V. B., Harderman, V. D., & Halasa, P. V. (2000). Tlumachnyi slovnyk osnovnykh terminiv sudovoi avtotekhnichnoi i transportno-trasolohichnoi ekspertyzy. NDISE.
5. (2001). Pravyla dorozhnoho rukhu Ukrainy. Kabinet Ministriv Ukrainy.
6. Halasa P.V., Kysel'ov V.B., Kuybida A.S. & in (1995) Ekspertnyy analiz dorozhn'o-transportnykh pryhod: Posibnyk dlya spetsialistiv ta vodiiv-amatoriv. Ukrayins'kyy media-tsentr "EKSPERT-SERVIS".
7. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. (2006). Wydanie 2. IES Kraków.
8. Jan Unarski, Jakub Zębala. (2001). Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. IES Kraków.
9. Kruk, A. S. (2011). Teoretychni zasady rozrakhunku rukhu transportnoho zasobu, obladnanoho antyblokuvalnoiu systemoiu, pry vykonanni manevru z odnochasnym zastosuvanniam halmuvannia. Teoriia ta Praktyka Sudovoi Ekspertyzy i Kryminalistyky, 11, 443-449. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Tpsek_2011_11_63
10. Murovaniy I.S., Kruk A.S. Doslidzhennya parametriv manevru z odnochasnym zastosuvanniam halmuvanniam transportnykh zasobiv pry doslidzhenni dorozhno-transportnykh prygod. Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni ta transporti. Scientific Journal. – Luts'k: LNTU, 2023.– No.2(21).– S.122-134. ISSN 2313-5425

I. Murovaniy, A. Kruk. The study of the maneuver of a braked vehicle in analyzing the bypassing of a stationary obstacle.

This article discusses the maneuvering of a braked vehicle equipped with an Anti-lock Braking System (ABS) in analyzing the bypass of a stationary obstacle, as a study of the technical aspect of the mechanism of traffic accidents. Using the developed mathematical model, criteria for safe bypassing of obstacles were established, taking into account the dimensions of the vehicle, its speed at the start of the maneuver, the condition of the road surface, as well as the parameters of the obstacle (width and distance to it). An important part of the study is considering the reduction of the car's speed due to braking, which significantly affects the dynamics of the maneuver.

The article provides a detailed description of the algorithms for analyzing the mechanism of traffic accidents, depending on the tasks set before the expert. Based on the obtained data, conditions for the safe bypass of obstacles for different types of maneuvers: "entering a turn," "entry-exit," and "lane change" are formulated. Algorithms for solving typical tasks that may arise during the conduct of forensic automotive technical expertise are also proposed, with particular attention paid to establishing the driver's technical ability to avoid collision with a stationary obstacle, as well as checking the technical capacity of the participants' statements in such type of traffic accidents.

In the concluding part of the article, prospects for further research are discussed, including the need for experimental testing to establish empirical dependencies used in the developed mathematical model. The advisability of expanding the subject of expert research on the obstacle bypass maneuver is also expressed.

This work is significant for improving the methodologies of forensic automotive technical expertise and developing effective algorithms for analyzing the mechanism of road traffic accidents related to collisions with stationary obstacles, which also contributes to the development of measures to prevent accidents on roads, ensuring greater road safety.

Keywords: braking, maneuver, obstacle bypass, anti-lock braking system, ABS, vehicle movement, speed, course angle, maneuver time, automotive technical expertise.

МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: igor_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

КРУК Андрій Сергійович, судовий експерт, старший науковий співробітник Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: kruk_expert@ukr.net

Igor MUROVANYI, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

Andriy KRUK, forensic expert, senior researcher, Lviv Scientific Research Institute of Forensic Expertise, graduate student of the department of automobiles and transport technologies of the Lutsk National Technical University, e-mail: kruk_expert@ukr.net

DOI 10.36910/automash.v1i22.1368