УДК 629.113:656.13

Шевчук В.В., Здобицький А.Я., Бачинська І.В., Головенко А.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ АВТОМОБІЛІВ ОРС ЦЗ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ РУХУ

Проведено дослідження параметрів поперечної стійкості та гальмівного шляху пожежно-рятувальних автомобілів за різних режимів руху. Розглянуто вплив конструктивних характеристик транспортних засобів, зокрема положення центра мас і геометричних параметрів, а також експлуатаційних факторів на показники їх стійкості та ефективність гальмування.

Визначено критичні швидкості втрати поперечної стійкості (заносу та перекидання) і встановлено залежність гальмівного шляху від початкової швидкості руху та коефіцієнта зчеплення шин із дорожнім покриттям.

Ключові слова: *пожежно-рятувальні автомобілі, поперечна стійкість, гальмівний шлях, режими руху, критична швидкість, центр мас, коефіцієнт зчеплення.*

A study of the parameters of lateral stability and braking distance of fire-rescue vehicles under different driving modes is presented. The influence of vehicle design characteristics, in particular the position of the center of mass and geometric parameters, as well as operational factors on stability and braking efficiency, is analyzed.

Critical speeds of loss of lateral stability (skidding and rollover) are determined, and the dependence of braking distance on initial vehicle speed and the tire–road adhesion coefficient is established.

Keywords: *fire-rescue vehicles, lateral stability, braking distance, driving modes, critical speed, center of mass, adhesion coefficient.*

Безпека експлуатації автомобілів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ) значною мірою визначається їх динамічними властивостями, зокрема поперечною стійкістю та ефективністю гальмування за різних режимів руху. В умовах виконання службових завдань такі транспортні засоби працюють у змінних швидкісних режимах, що підвищує вимоги до їх стійкості та керованості.

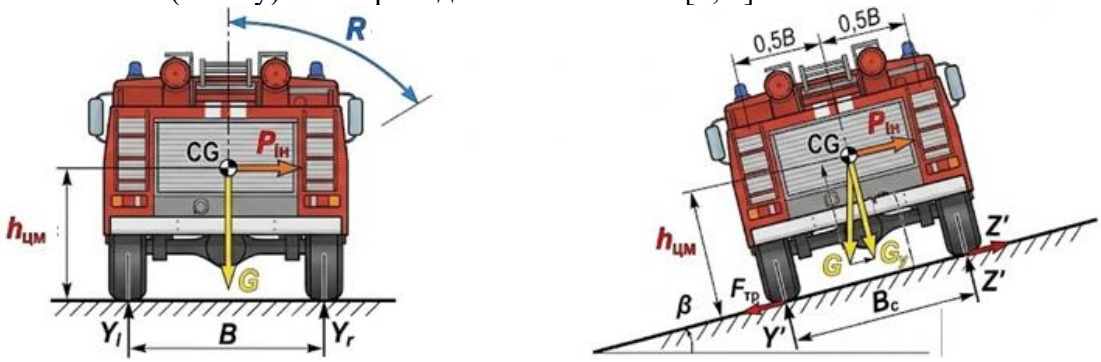
Втрата поперечної стійкості, яка проявляється у вигляді заносу або перекидання, а також збільшення гальмівного шляху при підвищених швидкостях руху є одними з основних факторів виникнення аварійних ситуацій. Це обумовлено впливом інерційних сил, конструктивних параметрів транспортного засобу та умов взаємодії шин із дорожнім покриттям.

Поперечна стійкість автомобілів ОРС ЦЗ визначається їх здатністю протидіяти дії бічних сил і залежить від положення центра мас, ширини колії та режиму руху. Критичні значення швидкості відповідають умовам виникнення заносу або втрати рівноваги транспортного засобу.

Гальмівний шлях є кількісною характеристикою ефективності процесу гальмування і визначається початковою швидкістю руху, коефіцієнтом зчеплення шин із дорожнім покриттям та технічним станом гальмівної системи. Зі збільшенням швидкості руху гальмівний шлях зростає за квадратичним законом, що суттєво впливає на безпеку руху [1-4].

Таким чином, визначення параметрів поперечної стійкості та гальмівного шляху автомобілів ОРС ЦЗ за різних режимів руху є актуальним науково-прикладним завданням, спрямованим на підвищення ефективності та безпеки їх експлуатації.

Під час руху транспортного засобу по криволінійній траєкторії з центром повороту *CG* та радіусом *R* (рис. 1, а) на нього діє відцентрова сила інерції, яка сприяє виникненню бокового ковзання (заносу) або перекидання автомобіля [2, 5].



а) на горизонтальній площині; *б*) на дорозі з поперечним ухилом

$P_ц$ – відцентрова сила інерції, Н; $h_{цт}$ – висота центра тяжіння автомобіля, м; G – вага автомобіля, Н; B – ширина колії, м.

Рисунок 1 – Схема сил, що діють на автомобіль на граничному поперечному схилі

Враховуючи, що поперечний ухил проїзної частини, що зустрічається на дорогах, які погано обслуговуються, суттєво впливає на величину граничної швидкості, а в свою чергу є причинною ДТП.

Для визначення параметрів поперечної стійкості вантажних автомобілів під час руху криволінійними ділянками дороги враховували конструктивні параметри автомобілів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Результати визначення гальмівного шляху в залежності від критичної швидкості заносу $V_з$ автомобілів ОРС ЦЗ

Радіус заокруглення ділянки дороги, R, м	Критична швидкість заносу автомобіля, $V_з$, (км/год)			Гальмівний шлях, $S_г$, (м)		
	сухий асфальт $\varphi = 0{,}8$	*мокрий асфальт* $\varphi = 0{,}5$	*ожеледиця* $\varphi = 0{,}2$	*сухий асфальт* $\varphi = 0{,}8$	*мокрий асфальт* $\varphi = 0{,}5$	*ожеледиця* $\varphi = 0{,}2$
20	45,1	35,3	22,5	35,9	35,2	35,7
40	63,8	49,9	31,9	71,8	70,3	71,8
60	78,1	61,1	39	107,6	105,4	107,4
80	90,2	70,3	45,1	143,6	139,6	143,6
100	100,8	78,9	50,4	179,3	175,8	179,3
120	110,4	86,4	55,2	215,1	210,8	215,1

Таблиця 2 – Результати визначення гальмівного шляху в залежності від критичної швидкості перекидання $V_{пер}$ автомобілів ОРС ЦЗ

Радіус заокруглення ділянки дороги, R, м	Критична швидкість заносу автомобіля, $V_{пер}$, (км/год)		Гальмівний шлях, $S_г$, (м)	
	сухий асфальт $\varphi = 0{,}8$	*мокрий асфальт* $\varphi = 0{,}5$	*сухий асфальт* $\varphi = 0{,}8$	*мокрий асфальт* $\varphi = 0{,}5$
20	55,3	62,1	53,97	108,89
40	78,3	87,7	108,20	217,18
60	95,8	107,5	161,97	326,31
80	110,7	124,1	216,26	434,86
100	123,7	138,8	270,04	543,99
120	135,5	152,03	324,02	652,63

За результатами досліджень, будуємо графік залежності критичної швидкості заносу $V_з$ та перекидання $V_{пер}$ залежно від радіуса повороту R автомобілів ОРС ЦЗ за різних режимів руху (тип дорожнього покриття – асфальтобетонне; коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою сухе покриття $\varphi = 0{,}7$, мокре покриття – $\varphi = 0{,}5$ та ожеледиця – $\varphi = 0{,}2$; поперечний ухил на криволінійній ділянці дороги, i_{non} = 0,03 %, висота центра тяжіння автомобіля $h_{цт}$ = 0,56 м, ширина колії транспортного засобу B =1,82 м) (рис. 2).

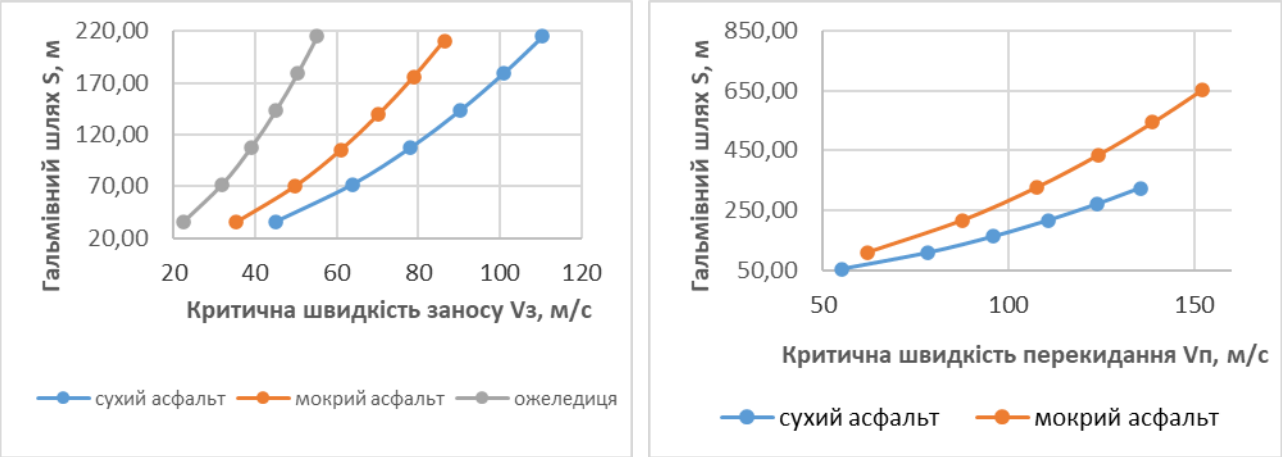


Рисунок 2 – Залежності критичної швидкості заносу $V_з$ (*а*) та перекидання $V_{пер}$ (*б*) від радіуса повороту R в особливих умовах руху

Аналіз графічних залежностей (рис. 2) показує, що зі збільшенням радіуса повороту від 50 до 110–120 м критична швидкість заносу для сухого асфальту зростає орієнтовно з 50–60 до 100–110 м/с. Для мокрого покриття в аналогічному діапазоні радіусів вона змінюється приблизно від 40–45 до 85–90 м/с, тоді як в умовах ожеледиці її значення становлять лише 25–30 м/с при малих радіусах, що більш ніж у 2 рази менше порівняно з сухим покриттям.

Отримані результати свідчать про високу чутливість критичної швидкості заносу до стану дорожнього покриття. Зокрема, перехід від сухого до мокрого покриття призводить до зниження допустимої швидкості приблизно на 15–25 %, а за умов ожеледиці — більш ніж на 50 %.

Критична швидкість перекидання в досліджуваному діапазоні радіусів є значно вищою і для сухого асфальту становить близько 200–300 м/с при радіусах 80–120 м, зростаючи до 300–350 м/с при R≈ 150R≈150 м. Для мокрого покриття ці значення знижуються до 150–200 м/с при менших радіусах та до 300–350 м/с при більших.

Порівняльний аналіз показує, що в усьому діапазоні радіусів критична швидкість заносу є у 2–3 рази меншою за швидкість перекидання. Це означає, що в реальних умовах експлуатації втрата поперечної стійкості транспортного засобу настає насамперед за рахунок заносу, а не перекидання.

Таким чином, при визначенні безпечних режимів руху автомобілів ОРС ЦЗ на криволінійних ділянках доріг визначальним чинником є стан дорожнього покриття та відповідне значення коефіцієнта зчеплення шин із дорогою. Погіршення умов зчеплення призводить до суттєвого зниження допустимих швидкостей руху, що необхідно враховувати під час експлуатації транспортних засобів за різних режимів руху.

Список використаних джерел

1. Ірина Бачинська, Віктор Шевчук. Дослідження безпечності ділянок дорожньої мережі за коефіцієнтом безпеки. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 180–181.

2. Шевчук В.В., Піндер В.Ф., Бачинська І.В. Визначення параметрів поперечної стійкості вантажних автомобілів під час руху криволінійними ділянками дороги. Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної інтернет конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 15-17 квітня 2025 року : збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 412-415. ISBN 978-617-8163-47-1.

3. Ірина Бачинська, Віктор Шевчук. Поперечна стійкість автомобілів, як складова безпеки дорожнього руху. Міжнародна науково-практична конференція «Транспортні системи та технології»: тези доповідей, 15–16 травня 2025 року. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. С. 46–48 – Режим доступу: https://drive.google.com/drive/folders/1cuunzthh_ure2TQm154yi4bBPoaPraAq?usp =sharing, вільний. ISBN 978-966-994-056-8.

4. А.Я. Здобицький, А.В. Головенко. Інтелектуальні методи діагностики стану протектора шин на основі машинного навчання. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 536 с. ISBN 978-617-8163-71-6

5. Р.М. Рогатинський, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, Р.В. Хорошун, В.В. Шевчук. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів. 2023. Вип. №28. С. 115–122.

Шевчук Віктор Володимирович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Здобицький Андрій Ярославович **–** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Бачинська Ірина Володимирівна **–** здобувач освіти факультету пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Головенко Андріана Володимирівна **–** здобувач освіти факультету пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Viktor Shevchuk *– PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Vehicle Operation and Fire-Rescue Equipment, Lviv State University of Life Safety, e-mail: shevtyk@meta.ua*

Andriy Zdobytskyi *– PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Vehicle Operation and Fire-Rescue Equipment, Lviv State University of Life Safety, e-mail: andrii.zdobytskyi@ldubgd.edu.ua*

Iryna Bachynska *– student of the Faculty of Fire and Technogenic Safety at Lviv State University of Life Safety*

Andriana Holovenko *– student of the Faculty of Fire and Technogenic Safety at Lviv State University of Life Safety*