

С. А. Осташевський, к. т. н., доц.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬ – ВОДІЙ – ДОРОГА» ДО ОБ'ЇЗДУ НЕСПОДІВАНОЇ ПЕРЕШКОДИ

У статті дано оцінку чинникам, необхідним для організації навчання водінню з виконання об'їзду несподіваної перешкоди, визначено характеристики автомобіля та керовані дії водія, необхідні для успішного об'їзду несподіваної перешкоди, а також уточнено можливість оцінки успішності навчання та роботи водія на основі показників перехідних характеристик системи «автомобіль – водій – дорога».

Ключові слова: керованість, водіння автомобіля, навчання, перехідна характеристика.

Вступ

Необхідність виконання водіями маневру типу «переставка» виникає в аварійній ситуації, пов'язаній із появою у смузі руху попереду автомобіля перешкоди. Можливість успішного виконання маневру забезпечують поєднанням характеристик водія та автомобіля, умовами руху та навченості водія.

Сучасні випробування автомобіля типу «переставки» [1] дозволяють досліджувати найважливіші характеристики керованості в системі «автомобіль – водій – дорога» (А-В-Д), насамперед, час реакції водія ($ЧР_в$), час реакції автомобіля ($ЧР_а$), їхній симбіоз, тип поворотності автотранспортних засобів (АТЗ). При цьому майже не враховують суб'єктивний вплив водія. Цим відрізняється пропонуванний метод від наявного метода «переставка». Із урахуванням переваг дослідження вказаного маневру автомобіля, на наш погляд, навчання об'їзду несподіваної перешкоди в манері швидкої «переставки» дозволить не тільки підвищити навички безпеки руху, але й прогнозувати успішність роботи водія в інших аналогічних дорожніх ситуаціях.

Мета статті

1. Оцінити чинники, необхідні для організації навчання водінню з виконання об'їзду несподіваної перешкоди.
2. Визначити характеристики автомобіля та керівні дії водія, необхідні для успішного об'їзду несподіваної перешкоди.
3. Визначити можливість оцінки успішності навчання та роботи водія на основі прийнятих у теорії автоматичного управління показників перехідних характеристик системи автоматичного регулювання, у якості якої розглядають систему А-В-Д.

Результати досліджень

Схеми випробувань приведено на рис. 1. Для участі у випробуваннях застосовували автомобілі УАЗ-3151, ГАЗ-3307, ЗИЛ-4331, Урал-4320, КрАЗ-260Б, які відрізняються статичними і динамічними характеристиками поворотності (табл. 1). Точність водіння оцінювали числом торкань обмежувачів з використанням комплексу приладів реєстрації керівних дій водія та зворотних реакцій автомобіля (КДВРА) та комплексу АСУ – автодром. Оцінку керованості автомобілів визначали водії за 10-бальною системою.

Траєкторію руху автомобілів відмічали за допомогою пневмогідротраєктографів, при цьому реєстрували мінімальну відстань $S_{б\ min}$, необхідну для об'їзду, яка характеризує реакцію і водія, і автомобіля, тобто, реакцію системи А-В; амплітуду відхилень A_1 (рис. 2) і довжину перехідної характеристики $S_{п}$ (рис. 1). Зупинний шлях та його компоненти

визначали за допомогою «пристрою відстрілу». Параметри руху автомобіля записували на плівку осцилографа Н008М.

Таблиця 1

Величини статичного показника поворотності – $U_{py} L_a$ й часу реакції – $ЧР_{A-B}$ автомобілів, що брали участь в експерименті

Параметри	Марки автомобілів				
	УАЗ-3151	ГАЗ-3307	ЗИЛ-4331	Урал-4320	КрАЗ-260Б
База – L_a , м	2,38	3,3	3,975	4,2	5,3
Передаточне число кермового керування – U_{py}	20,3	20,5	20,0	21,5	23,6
$U_{py} L_a$, м	48,3	67,6	79,5	90,3	125,08
$ЧР_{A-B}$, с	0,5	0,5	0,52	0,7	0,83

У ході обробки осцилограм і параметрів траєкторії руху автомобілів під час випробування розраховували: час реакції автомобіля $ЧР_a$ і системи А-В загалом $ЧР_{в-а}$, час перехідного процесу T_n , коефіцієнти демпфірування коливань траєкторії після об'їзду при «переставці» D й затухання C руху автомобіля, рис. 1.

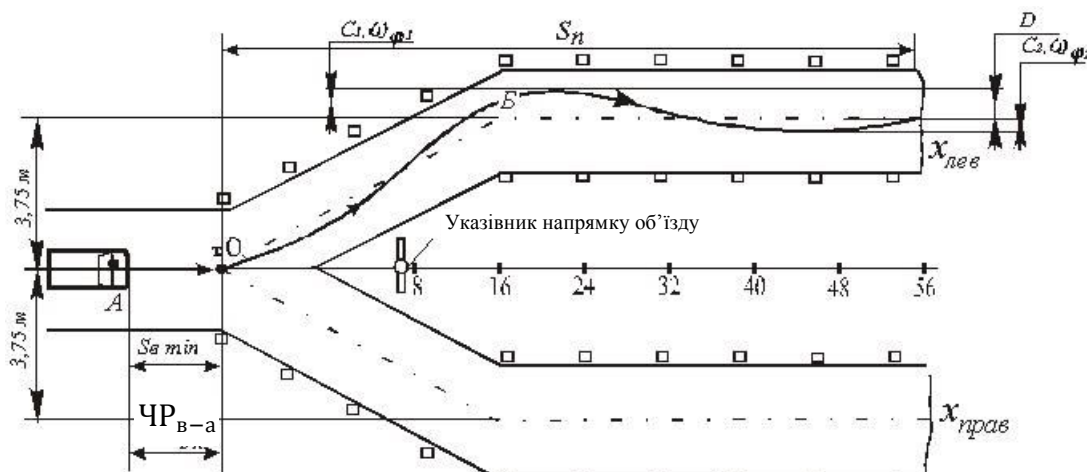


Рис. 1. Схема експериментальної траси «Об'їзд несподіваної перешкоди»

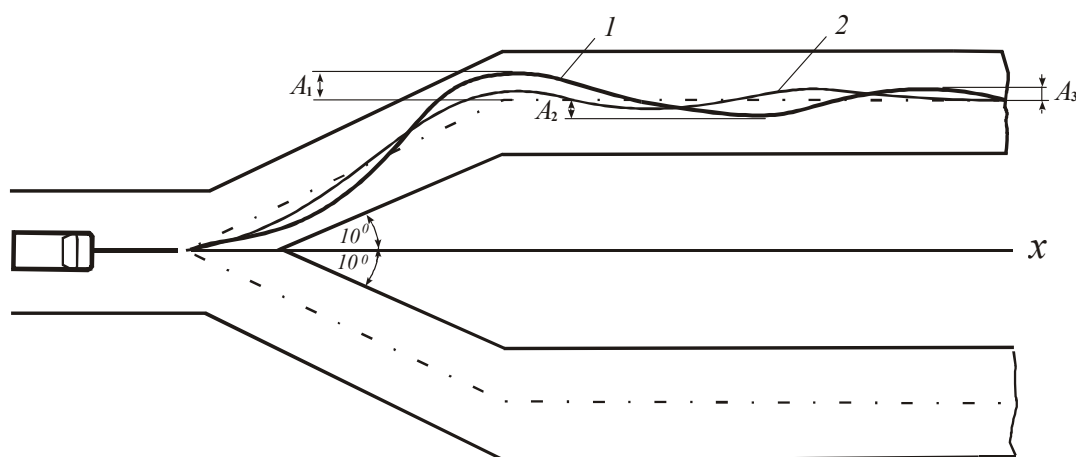


Рис. 2. Траєкторії руху автомобілів УАЗ-3151 (2) и Урал-4320 (1)

До участі у випробуваннях залучили 24 водіїв: п'ять водіїв, закріплених за досліджуваними автомобілями, чотири інструктори практичного водіння зі стажем більше 5 років та 15 курсантів. У залік ішли всі 15 заїздів: це дозволяло відстежити процес становлення навичок управління автомобілем.

Зовнішнім виявом сумісності елементів системи А-В та навченості водія під час об'їзду несподіваної перешкоди є: шлях $S_{б\ min}$, який проходить автомобіль за час реакції системи А-В, повний шлях $S_{п}$, час перехідного процесу $T_{п}$, точність водіння, коефіцієнт демпфірування D та затухання коливань C .

На рис. 2 показано середні для всіх спостережень траєкторії руху автомобілів; на рис. 3, 4 приведено значення $S_{б\ min}$ та амплітуди A курсових коливань автомобіля відносно вісьової лінії смуги руху. Як і слід було очікувати, автомобілі з великим значенням $U_{py}L_a$ та моментом інерції $m\rho^2$ мають меншу чутливість до повороту, більші значення $S_{б\ min}$ (від 7 – 8 м при $v = 40$ км/год до 17 – 20 м при $v = 70$ км/год). Для водіїв більш легких та короткобазних автомобілів цей факт є несподіваним, унаслідок цього траєкторія руху автомобілів, що були керовані ними, характеризується дорегулюванням на першій арці повороту. При цьому амплітуда коливань у точці Б збільшується до 1,7...1,9 м; збільшується також фазова затримка Φ реакції автомобіля.

Автомобілі з меншим значенням показника статичної поворотності $U_{py}L_a$ більш чутливі до повороту, мають менші значення $S_{б\ min}$ (для автомобіля УАЗ-3151 – 4,5...4,8 м, ГАЗ-3307 та ЗИЛ-4331 – 6...6,6 м, УРАЛ-4320 и КРАЗ-260Б – 7,2...8,8 м при $v = 50$ км/год). Характер їхнього руху відрізняється меншими амплітудами коливань, більшою частотою коливань (до 0,7 – 1,0 Гц). Для утримання автомобіля в смузі руху водії частіше користуються кермовим колесом.

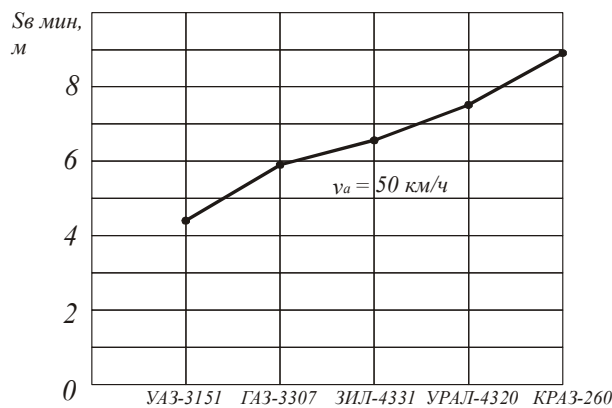


Рис. 3. Уплив типу автомобілів на величину мінімально безпечної відстані $S_{б\ min}$

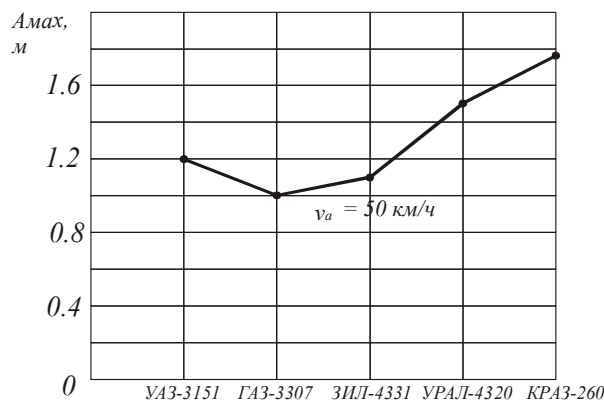


Рис. 4. Уплив типу автомобілів на величину амплітуди коливань траєкторії автомобіля, A_{max}

Аналіз показників точності водіння та суб'єктивних оцінок керованості автомобілем (рис. 5) дозволяє припустити, що оптимальне значення $U_{py}L_a$ в межах 70 – 80 м. Розподіл значень $U_{py}L_a$ для 35 вітчизняних та російських автомобілів (рис. 6) підтвержує, що в більшості з них (УАЗ-3151, ГАЗ-3307, КАМАЗ-4310, ЗИЛ-4331, КРАЗ-260Б) ця величина у

вказаних межах, в інших (УРАЛ-4320) відрізняється незначно. Загалом дисперсія показників $U_{py}L_a$ є великою, що необхідно враховувати під час навчання та перепідготовки водіїв, а також під час аналізу ДТП з автотранспортними засобами.



Рис. 5. Уплив параметра $U_{py}L_a$ на оцінку керованості автомобіля

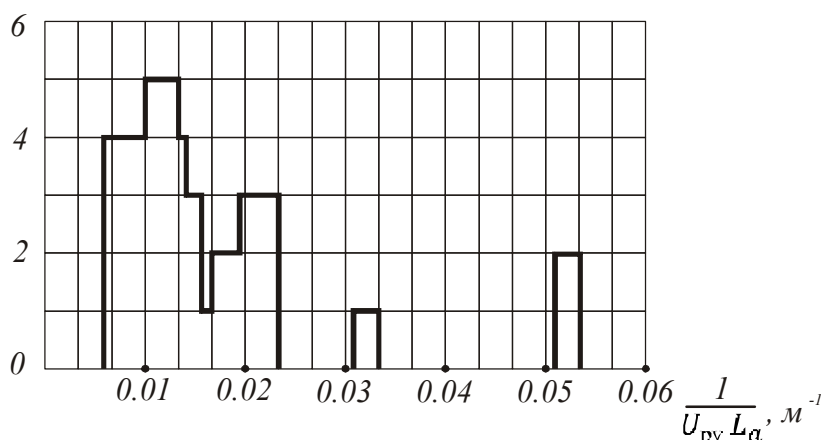


Рис. 6. Розподіл показника статичної поворотності $U_{py}L_a$ для 25 автомобілів

Час реакції автомобілів $ЧР_a$ показав значення від 0,17 с для автомобіля УАЗ-3151 та 0,45 с для автомобіля Зил-4331 і загалом здійснював значний вплив не тільки на час сумарної затримки системи А-В, який складав 0,5...0,8 с з урахуванням готовності водіїв до маневру, але й на величину часових інтервалів між наступними керувальними діями водія та зворотними реакціями автомобілів. Так, за значної затримки першої зворотної реакції автомобіля водій після цього більш різко повертає кермове колесо, що супроводжується подальшим погіршенням стабільності модуляції керування автомобілем.

Отже, якщо прийняти першою керівною дією поворот водієм кермового колеса між точками А та О (рис. 1), другою – поворот кермового колеса в момент установки автомобіля на новій смузі руху в районі точки Б, то можна припустити, що знання та сприйняття водієм $ЧР_a$ допоможе йому завчасно підготуватися до виконання другої керівної дії.

З погляду на показники точності водіння та суб'єктивні оцінки водіїв (рис. 5, 7), оптимальний $ЧР_a$ складає 0,22 – 0,25 с. Із збільшенням $ЧР_a$ точність водіння стає прогресивно гіршою. Це проявляється в нестабільній модуляції роботи системи управління автомобілем, у погіршенні сенсомоторної координації керівних дій водія, у збільшенні коливальності траєкторії автомобіля. Усе це, імовірно, відбувається внаслідок стану певної невизначеності, у якій є система А-В-Д в проміжку, що дорівнює $ЧР_a$. Це підтверджує коректність розробленої інформаційної моделі системи А-В-Д [2].

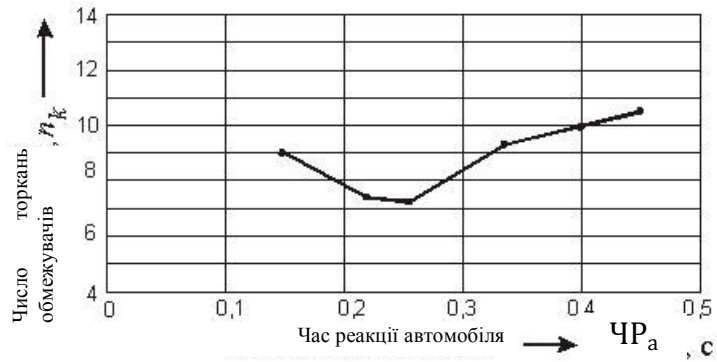


Рис. 7. Уплив часу реакції на точність водіння

Особливо помітно виявляється нестабільність управління за умови збільшення швидкості руху автомобіля від 50 км/год і більше. Із збільшенням швидкості руху та швидкості повороту кермового колеса ω_{pk} запізнення реакції автомобіля по фазі збільшується: при $v = 50$ км/год на автомобілях із надлишковою поворотністю (-0,17) при $\omega_{pk} = 180$ град·с⁻¹ фазова затримка Φ^0 складає 50° , з недостатньою (0,21) – 30° . Із рис. 8 видно, що фазова затримка бічного переміщення автомобіля відносно повороту кермового колеса складає для умов випробувань $70\dots120^\circ$ [3].

Із збільшенням швидкості автомобіля зростає $S_{\sigma min}$ та S_{Π} , зменшується час перехідного процесу повороту T_{Π} (рис. 9), але залежність між значеннями S_{Π} та T_{Π} є нелінійною, імовірно, унаслідок коливальності траєкторії руху автомобіля. Під час постановки завдання водію об'їхати перешкоду «швидко, наскільки це є можливим» збільшувалась амплітуда траєкторії A_i , кутова швидкість автомобіля ω_j , число n перерегульовань («рискань»). У цих ситуаціях коефіцієнт демпфірування D мав тенденцію до зменшення до 35%, коефіцієнт C збільшувався до 70%, отже, «дискомфорт» руху зростає. Проте, як видно, водії віддають перевагу безпеці руху, а не комфорту.

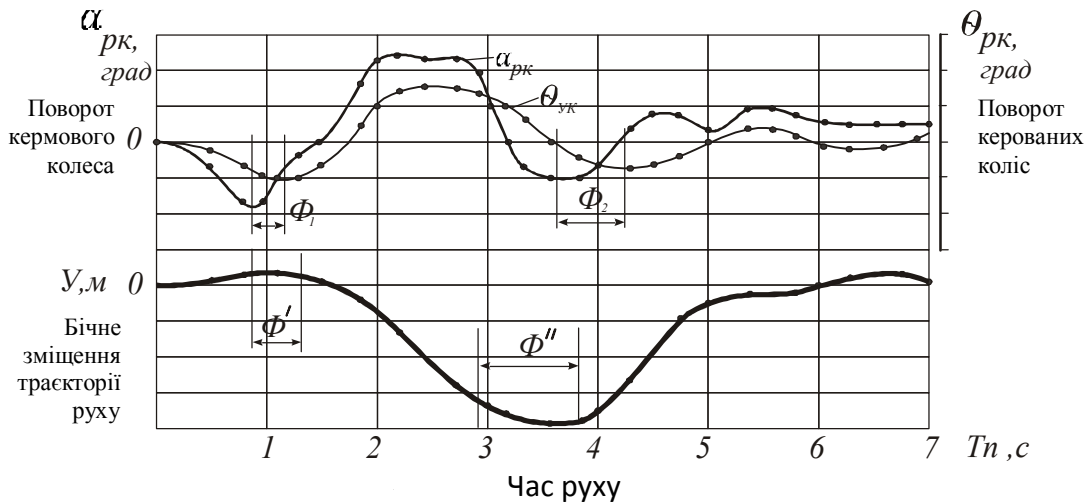


Рис. 8. Фазові затримки в системі управління автомобілем

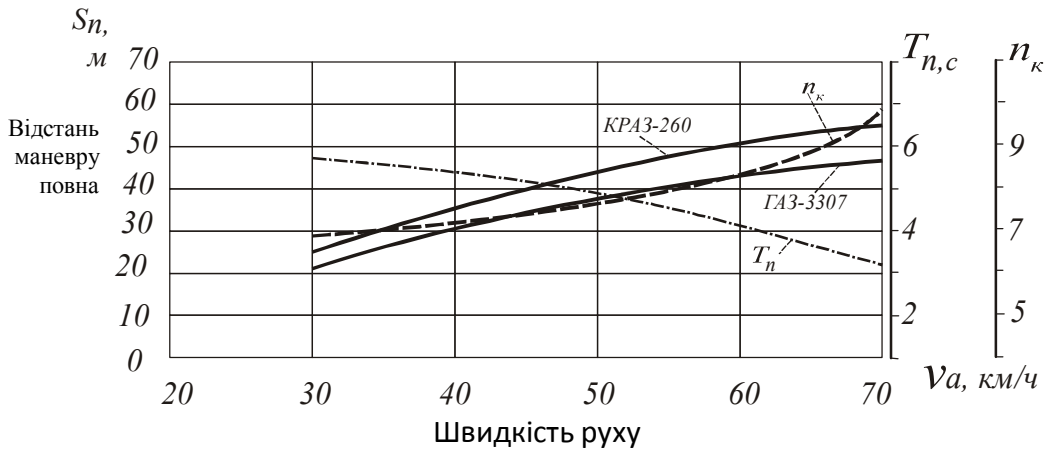


Рис. 9. Залежність між параметрами руху, типами автомобілів та точністю водіння (n_k)

Здатність водія передбачити події здійснює вплив не тільки на зменшення затримування першої реакції, але й на характер подальших дій та реакцій автомобіля. Для перевірки цієї гіпотези після визначення для кожної, по-своєму організованої системи А-В оптимальних значень $S_{b\ min}$ забезпечували випереджувальне на 0,5...0,7 с увімкнення сигналу напрямку маневру (рис. 1); шлях, що проходить автомобіль, складав:

$$[(0,5 \dots 0,7) \cdot v_a + S_{b\ min}]. \tag{1}$$

При цьому покращувалися показники демпфірування D та згасання C коливань. За подальшого збільшення часу випередження власні «шуми» водія збільшувалися, параметри руху системи А-В не покращувалися.

На червоне світло світлофора автомобіль повинен був зупинитися, при цьому за допомогою «приладу відстрілу» визначався зупинний шлях S_τ . На рис. 10 показано зміну S_τ та $S_{b\ min}$ у функції швидкості руху автомобіля.

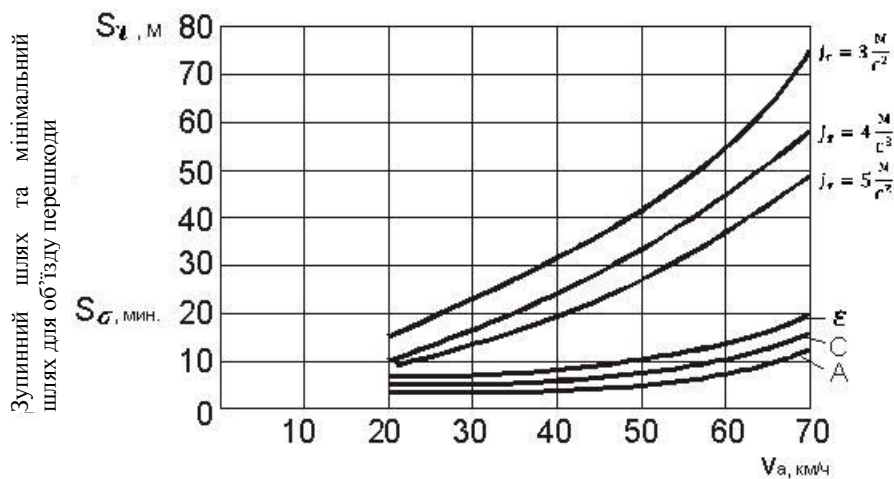


Рис. 10. Залежність між швидкістю руху автомобіля v_a , зупинним шляхом S_τ та мінімальною дистанцією безпеки $S_{b\ min}$

Зупинний шлях розраховували за відомою формулою [4]:

$$S_\tau = v_0(t_0 + t_1) - \frac{j_\tau \cdot t_0^2}{6} + \frac{1}{2j_\tau} (v_0 + \frac{j_\tau \cdot t}{2})^2, \tag{2}$$

де t_0 – час реакції водія ($t_0 = 0,75$ с); t_1 – час спрацьовування приводу ($t_1 = 0,5$ с); j_τ – уповільнення від 0,3g, 0,4g, 0,5g $m \cdot s^{-2}$ (різке, таке, що важко переноситься водієм).

Як видно, за швидкості руху автомобіля до 50 км/ч $S_{6\ min}$ складає трохи більше однієї третини зупинного шляху.

Висновки

Отже, маневру з об'їзду несподіваної перешкоди варто надавати більшу перевагу, ніж гальмуванню з зупинкою. Але це потребує своєчасного, точно скоординованого водієм повороту кермового колеса, знання та вміння виявити і сприйняти зворотну реакцію автомобіля на всіх фазах маневру. Подальшим удосконаленням цього маневру повинен стати комбінований маневр, наприклад, гальмування з об'їздом перешкоди. Очікується, що це повинно скласти (образно) «вищий клас» майстерності водіння та працездатності. Запропонована методика оцінки майстерності та працездатності водія повинна містити в якості нового методу навчання об'їзд несподіваної перешкоди. Крім того, вона може бути використана в якості попередніх тренувань перед навчанням безпосередньо об'їзду модельованих перешкод (пішоходів, автомобілів). У ході тренувань водії навчаються сприйняттю характеристик автомобілів, сенсомоторної координації керівних дій, здобувають упевненість у можливостях машин. У результаті ті, що навчають, можуть будувати процес навчання більш цілеспрямовано.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. ГОСТ 31507:2012. – [Действующий от 2013-09-01]. – М. : Стандартинформ, 2012. – 51 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Осташевский С. А. Обоснование разработки экзоскелетальной модели управления автомобилем / С. А. Осташевский // Автошляховик України. – 2013. – № 2. – С. 10 – 13.
3. Поліщук В. П. Колебательная устойчивость автомобиля / В. П. Поліщук, С. А. Осташевський // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. наук. праць за матеріалами VI між нар. наук.-прак. конф., 21 – 23 жовт. 2013 р. – М-во освіти і науки України, Вінниц. націон. техн. ун-т [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 36 – 37.
4. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / Литвинов А. С. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.

Осташевський Сергій Анатолійович – к. т. н., доцент, докторант кафедри інженерного та технічного забезпечення, e-mail: astash73@mail.ru.

Національна академія державної прикордонної служби України.