

УДК 656.052.8

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 пропонований 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.

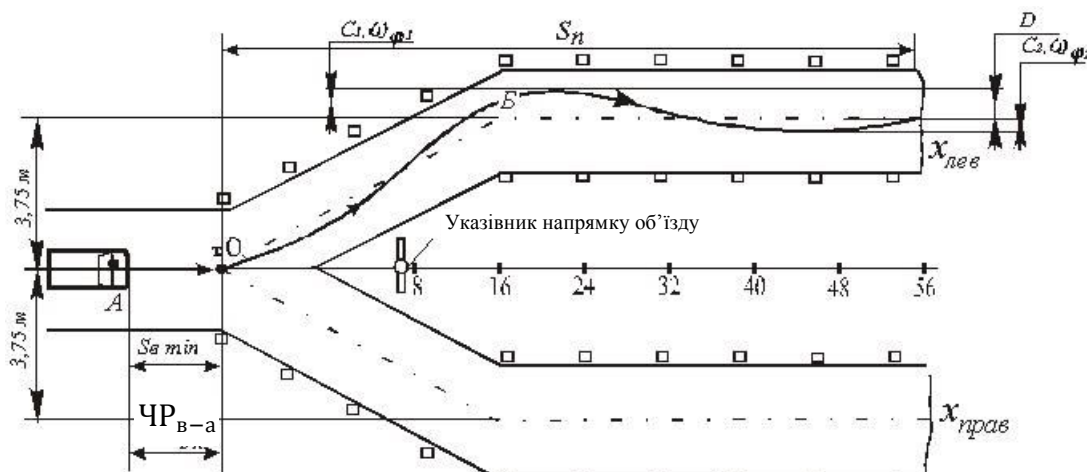


Рис. 1. Схема експериментальної траси «Об'їзд несподіваної перешкоди»

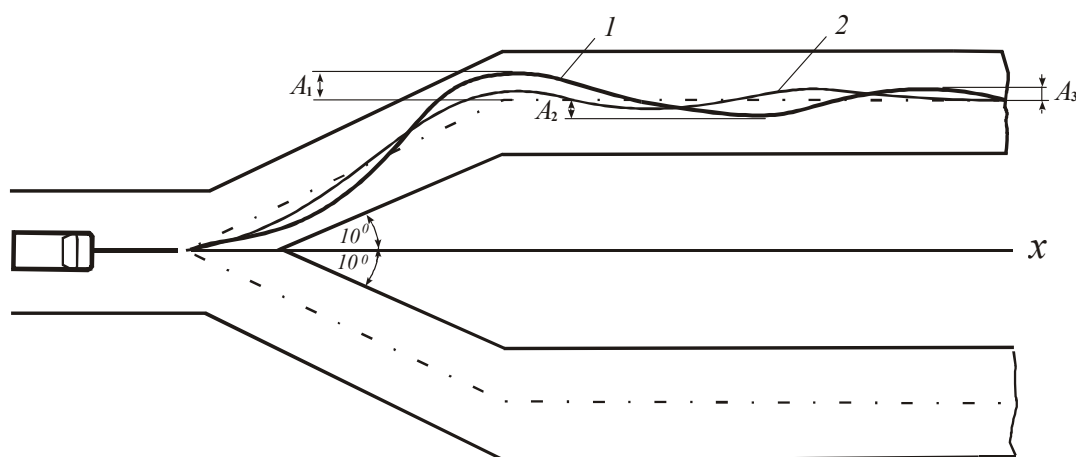


Рис. 2. Траєкторії руху автомобілів УАЗ-3151 (2) и Урал-4320 (1)

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.

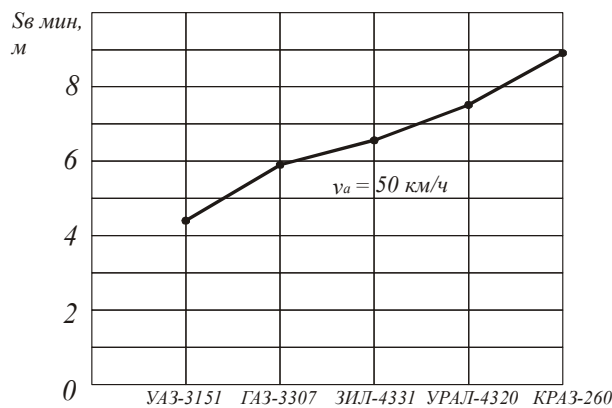


Рис. 3. Уплив типу автомобілів на величину мінімально безпечної відстані $S_{б\ min}$

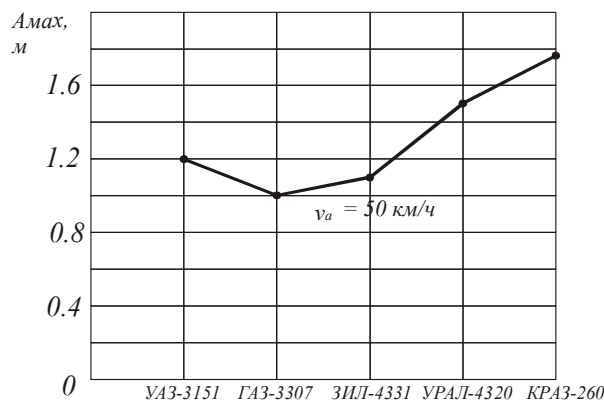


Рис. 4. Уплив типу автомобілів на величину амплітуди коливань траєкторії автомобіля, A_{max}

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

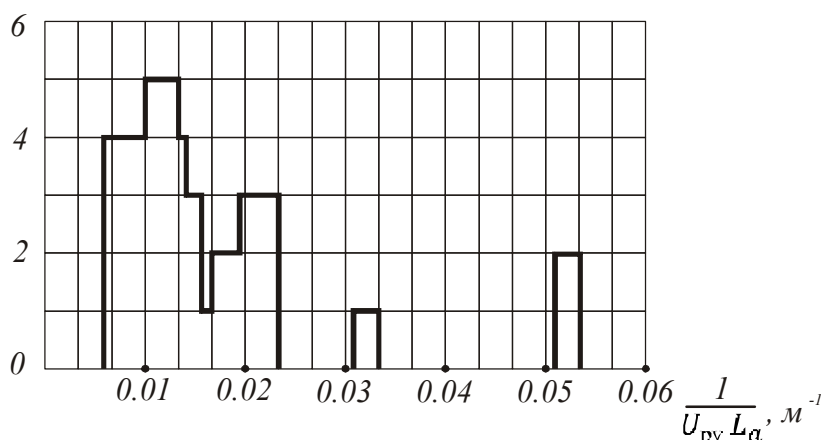


Рис. 6. Розподіл показника статичної поворотності $U_{py}L_a$ для 25 автомобілів

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].

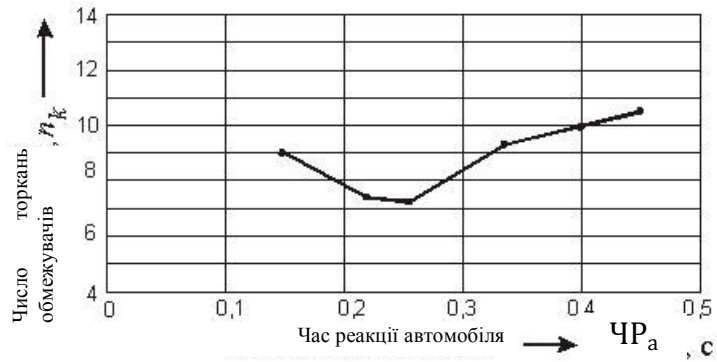


Рис. 7. Уплив часу реакції на точність водіння

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 $\omega_{рк}$ запізнення реакції автомобіля по фазі збільшується: при $v = 50$ км/год на автомобілях із надлишковою поворотністю (-0,17) при $\omega_{рк} = 180$ 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.

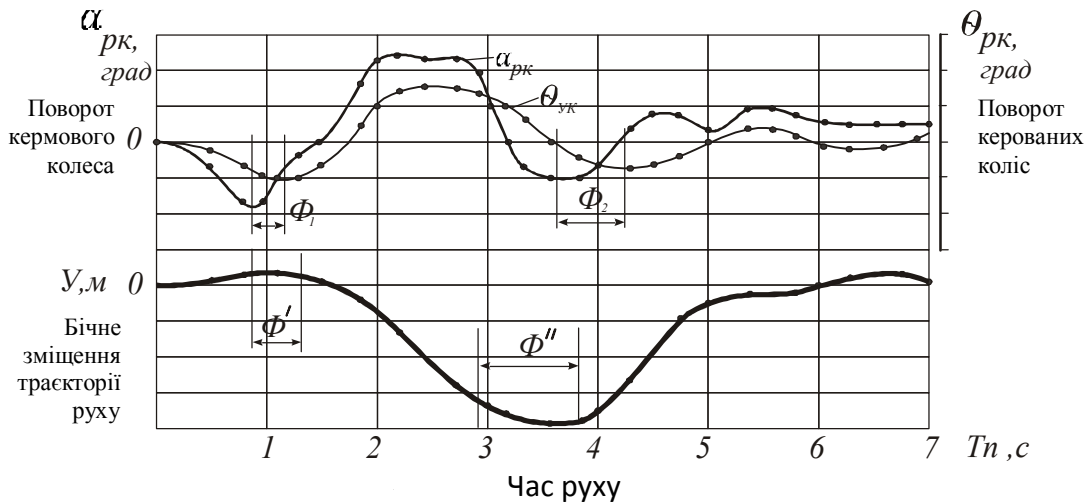


Рис. 8. Фазові затримки в системі управління автомобілем

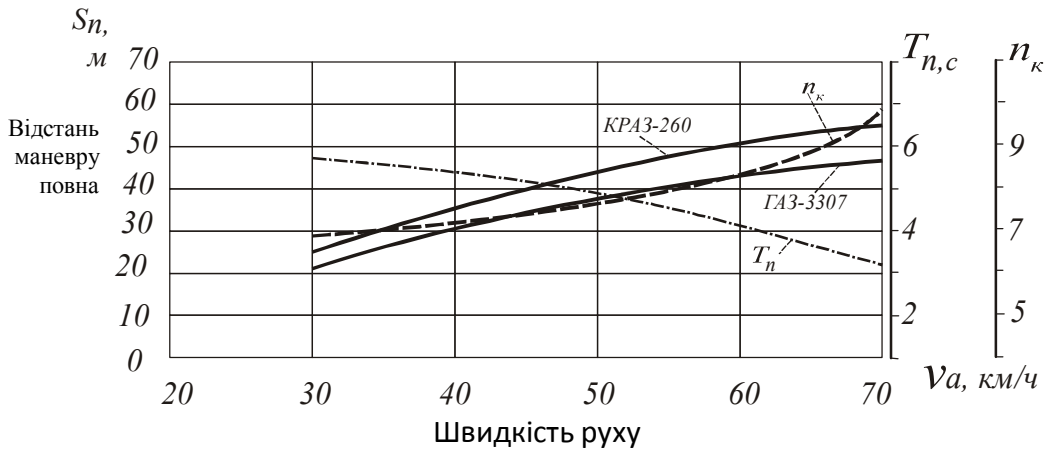


Рис. 9. Залежність між параметрами руху, типами автомобілів та точністю водіння (n_k)

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.

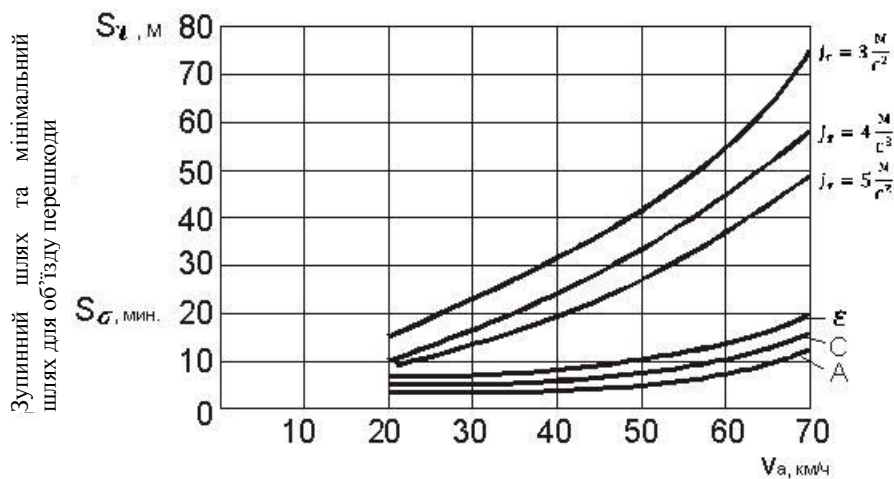


Рис. 10. Залежність між швидкістю руху автомобіля v_a , зупинним шляхом S_τ та мінімальною дистанцією безпеки $S_{b\ min}$

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. Остащевский С. А. Обоснование разработки экзоскелетальной модели управления автомобилем / С. А. Остащевский // Автошляховик України. – 2013. – № 2. – С. 10 – 13.
3. Поліщук В. П. Колебательная устойчивость автомобиля / В. П. Поліщук, С. А. Остащевський // 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.

S. A. Ostashevskiy, Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof.

STUDYING THE ABILITY OF “AUTOMOBILE – DRIVER – ROAD” SYSTEM TO BYPASS A SUDDEN OBSTACLE

The paper estimates the factors required to organize driving training on bypassing a sudden obstacle. The automobile characteristics are determined as well as control actions of the driver required to successfully bypass a sudden obstacle. Besides, a possibility of successful evaluation of the learning progress and driver's performance is determined on the basis of transient characteristics of the “automobile – driver – road” system.

Keywords: *controllability, automobile driving, training, transient characteristic.*

Introduction

The necessity to perform a lane-changing maneuver by drivers arises in the emergency situation when an obstacle appears in the lane ahead of the automobile. The possibility of performing a successful maneuver is provided by the combination of characteristics of the driver and the vehicle, driving conditions and the level of driver's training.

The existing lane-changing tests (“elk tests”) [1] make it possible to investigate the most significant controllability characteristics in the “automobile – driver – road” (A – D – R) system and, primarily, the driver's response time (RT_d), the automobile response time (RT_a), their symbiosis, the type of turnability of automotive transport means (ATM). However, the driver's subjective influence is almost not taken into account, which is just the distinguishing feature of the proposed method as compared with the existing lane changing method. We believe, that with the advantages revealed in studying this vehicle maneuver taken into account, training on bypassing a sudden obstacle in the quick lane-changing manner will make it possible not only to improve driving safety skills but also to predict the driver's successful performance in other similar road situations.

Aim of the paper

1. To estimate the factors required to organize driving training on bypassing a sudden obstacle.
2. To determine characteristics of the vehicle and the driver's control actions necessary for successful bypassing a sudden obstacle.
3. To determine the possibility to estimate the driver's training progress and performance on the basis of transient characteristic values of the automatic control system (here the A – D – R system is considered), which are adopted in the automatic control theory.

Research results

Testing schemes are presented in Fig. 1. The following automobiles were used in the tests: YA3-3151, ГАЗ-3307, ЗИЛ-4331, Урал-4320, КрАЗ-260Б, differing by their static and dynamic characteristics of turnability (Table 1). Driving accuracy was estimated by a number of touches of the limiters using a set of instruments for registering the driver's control actions and the automobile response (DCAAR) with the application of ACS package – the Autodrome. Controllability of the vehicles was estimated by the drivers on a 10-point scale.

Driving trajectories of the automobiles were recorded with hydropneumatic trajectory tracers. Minimal distance $S_{\delta\min}$, required for bypassing, was registered. It characterizes the response of both the driver and the automobile, i.e. the response of A – D system,

the deviation amplitude A_i (Fig. 2) and the length of transient characteristic S_t (Fig. 1). Stopping distance and its components were determined using a “firing device”. The automobile driving parameters were recorded on the tapes of oscilloscope H008M.

Table 1

Values of the statistical index of turnability
 $U_{sc} L_a$ and response time - RT_{A-D} of the automobiles taking part in the experiment

Parameters	Indices of the automobiles				
	УАЗ-3151	ГАЗ-3307	ЗИЛ-4331	Урал-4320	КрАЗ-260Б
Base- L_a , м	2.38	3.3	3.975	4.2	5.3
Steering ratio - U_{sc}	20.3	20.5	20.0	21.5	23.6
$U_{sc} L_a$, м	48.3	67.6	79.5	90.3	125.08
RT_{A-D} , с	0.5	0.5	0.52	0.7	0.83

When processing the oscillograms and the parameters of automobile motion trajectories during the tests, the following indicators were calculated: response time RT_a of the automobile and of A – D system as a whole, RT_{D-A} , the transient process time T_t , coefficients of trajectory oscillation damping after bypass during the lane-changing maneuver, D , and of the automobile motion damping, C (Fig. 1).

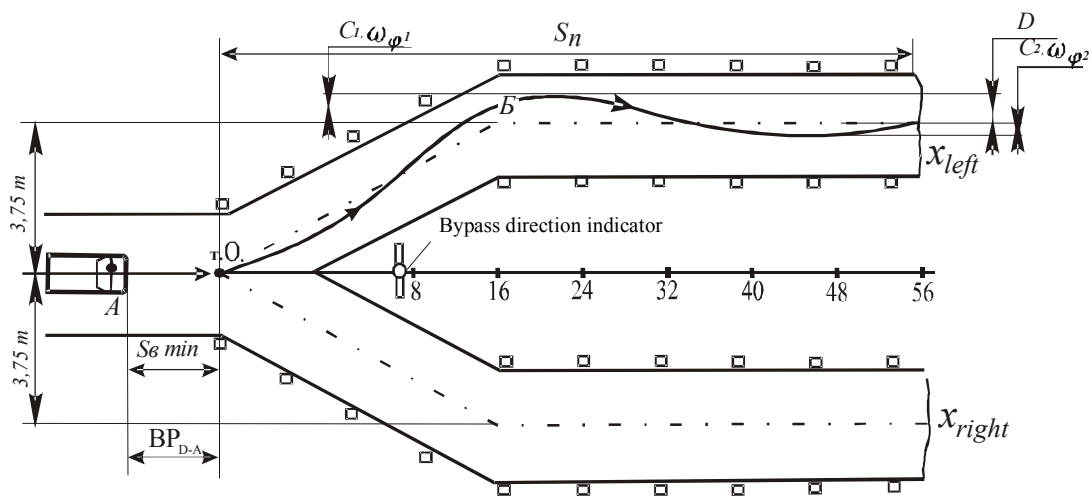


Fig. 1. Experimental route scheme "Bypassing a sudden obstacle"

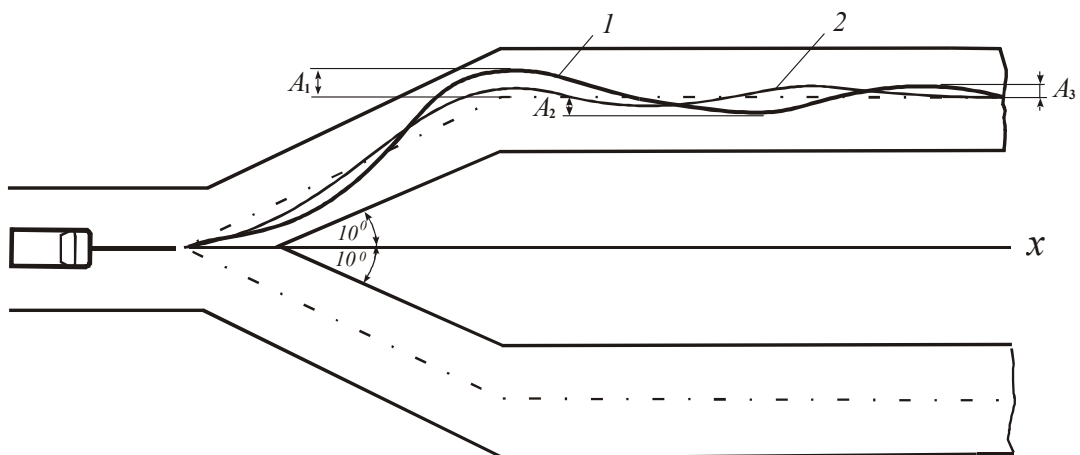


Fig. 2. Motion trajectories of the automobiles УАЗ-3151 (2) and Урал-4320 (1)

24 drivers took part in the experiment: five drivers assigned to the automobiles to be tested, four practical driving instructors with more than 5 year experience and 15 driving course students. All the 15 runs were taken into account. This made it possible to trace the process of automobile driving skill formation.

External manifestations of the compatibility of A – D system elements and the driver's level of training on bypassing a sudden obstacle are as follows: distance $S_{\delta min}$, covered by the automobile

during the A – D system response time, total distance S_t , time of the transient process T_t , driving accuracy, damping coefficient D and oscillation fading coefficient C .

Fig. 2 shows the averaged motion trajectories of the automobiles for all observations; Fig. 3, 4 present the values of $S_{\delta min}$ and amplitude A of the automobile route fluctuations relative to the axial line of the traffic lane. As it was expected, automobiles with high values of $u_{sc}L_a$ and inertia moment $m\rho^2$ have smaller sensitivity to a turn, have higher values of $S_{\delta min}$ (from 7 – 8 m for $V = 40$ km / h to 17 – 20 m for 70 km / h). For the drivers of lighter and short-base automobiles this fact turned to be rather unexpected. As a result, motion trajectories of their automobiles are characterized by additional steering at the first turn дорегулюванням на першій арці повороту. In this case vibration amplitude in point Б increases to 1.7...1.9 m; phase delay Φ of the automobile response increases as well.

Automobiles with a lower value of statistical turnability index $u_{sc}L_a$ are more sensitive to a turn, have higher values of $S_{\delta min}$ (for automobiles УАЗ-3151 – 4.5...4.8 m, Газ-3307 and ЗИЛ-4331 – 6...6.6 m, УРАЛ-4320 and КРА3-260Б – 7.2...8.8 m for $V = 50$ km / h). The character of their motion is distinguished by smaller oscillation amplitudes, higher oscillation frequency – up to 0.7 – 1.0 Hz. In order to keep the vehicle in the traffic lane, the drivers use the steering wheel more frequently.

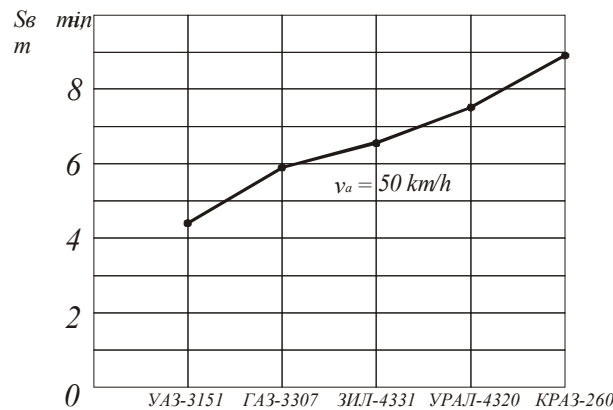


Fig. 3. Influence of the automobile type on the value of minimally safe distance $S_{\delta min}$

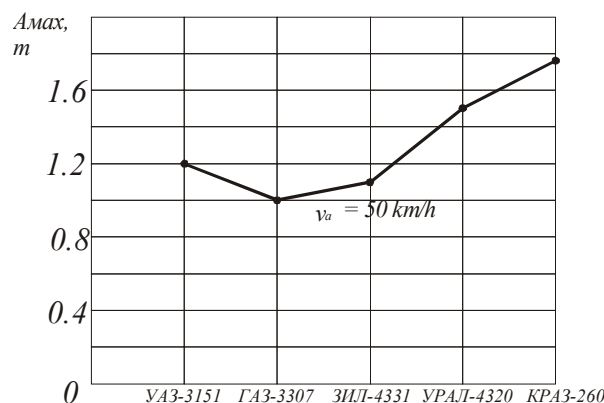


Fig. 4. Influence of the automobile type on the value of the automobile trajectory fluctuation amplitude A_{max}

Analysis of the driving accuracy indicators and subjective estimates of the automobile controllability (Fig. 5) makes it possible to assume that optimal value of $u_{sc}L_a$ is within the range of 70 – 80 m. Distribution of $u_{sc}L_a$ values for 35 domestic and Russian automobiles (Fig. 6) confirms that for most of them (УАЗ-3151, Газ-3307, КАМАЗ-4310, ЗИЛ-4331, КРА3-260Б) this value is within the above range, for others (УРАЛ-4320) - the difference is inconsiderable. On the whole, dispersion of $u_{sc}L_a$ values is high and this should be taken into account in drivers' training and

retraining as well as in the analysis of road accidents with automotive transport means.

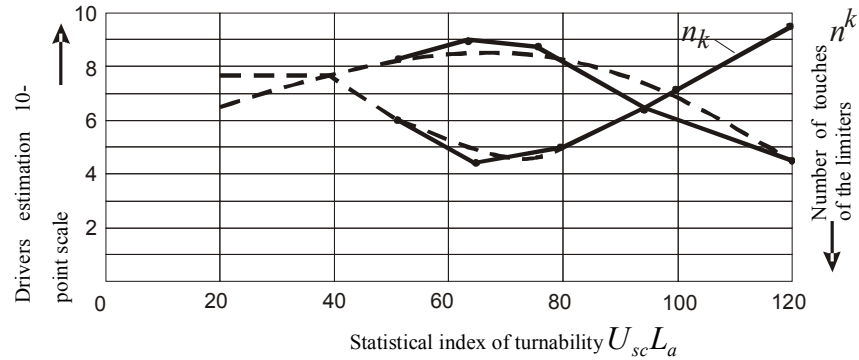


Fig. 5. Influence of $U_{sc}L_a$ parameter on the automobile controllability estimation

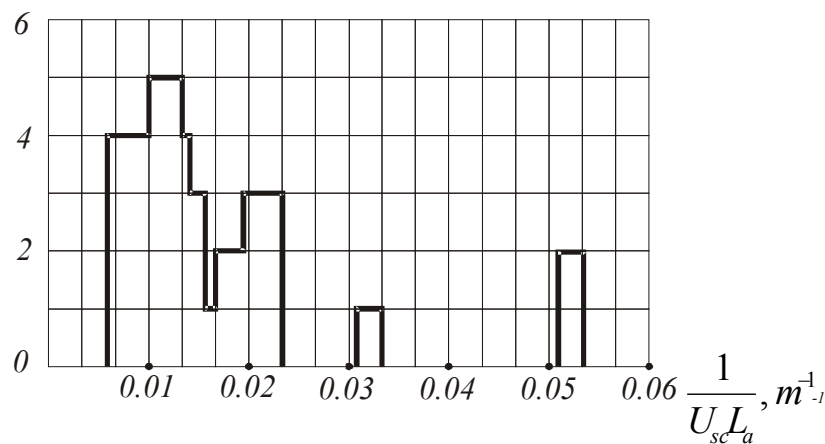


Fig. 6. Distribution of the statistical turnability index $u_{sc}L_a$ for 25 automobiles

Response time RT_a of the automobiles was in the range from 0,17s for the automobile YA3-3151 to 0,45 s for the automobile Зил-4331 and on the whole had a significant influence not only on the total delay time of A – D system, that was 0.5...0.8 s (taking into account the drivers' readiness to the maneuver), but also on the values of time intervals between the subsequent control actions of the driver and responses of the vehicles. E.g., after the first considerable delay of the vehicle response the driver turns the steering wheel more sharply, which is accompanied by further reduction of the vehicle control modulation stability.

Thus, if we suppose that the first control action is the driver's turning the steering wheel between point A and point O (Fig. 1), the second - turning the steering wheel at the moment of placing the vehicle on the new traffic lane in the neighborhood of point B, it could be assumed that the driver's knowledge and sensitivity to RT_a will help him to get ready for performing the second control action.

Proceeding from the driving accuracy indices and subjective estimates of the drivers (Fig. 5. 7), optimal RT_a is 0,22 – 0,25 s. As RT_a increases, driving accuracy becomes progressively worse. This is manifested in the unstable modulation of the automobile control system operation, in worsening of the sensomotor coordination of the driver's control actions, in the increased fluctuations of the automobile trajectory. All this happens, probably, due to the state of a certain uncertainty of A – D – R system in the interval equal to RT_a . This confirms the correctness of the developed informational model of A – D – R system [2].

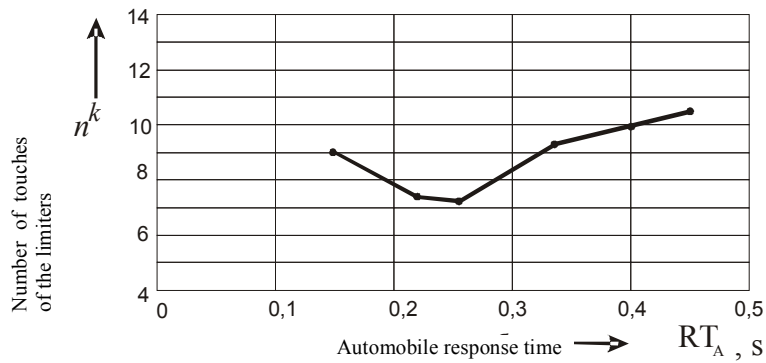


Fig. 7. Influence of the driver's response time (RT) on driving accuracy

Instability of the control is especially noticeable when the vehicle motion speed increases to 50 km / h and more. With the growth of motion speed and speed ω_{sw} of turning the steering wheel, the automobile phase response delay increases: if $V = 50$ km / h for the automobiles with excessive turnability (-0,17) phase delay Φ^0 is 50° for $\omega_{sw} = 180$ degr. $\cdot s^{-1}$, for the automobiles with insufficient turnability (0,21) - 30° . From Fig. 8 it is evident that phase delay of the vehicle lateral displacement relative to the turn of the steering wheel is $70 \dots 120^\circ$ for test conditions [3].

As vehicle speed grows, $S_{\delta min}$ and S_t are increased, the transient process time of the turn T_t (Fig. 9) is reduced, but relationship between the values of S_t and T_t is nonlinear, probably, due to the vehicle trajectory fluctuations. When the driver was given the task to bypass the obstacle as fast as possible, the trajectory amplitude A_i was increased as well the automobile angular speed ω_j and the number n of readjustments ("hunting"). In such situations damping factor D had the tendency to reduce to 35%, coefficient C increased to 70%, which resulted in the increased "discomfort" of driving. It is evident, however, that drivers prefer driving safety to the comfort.

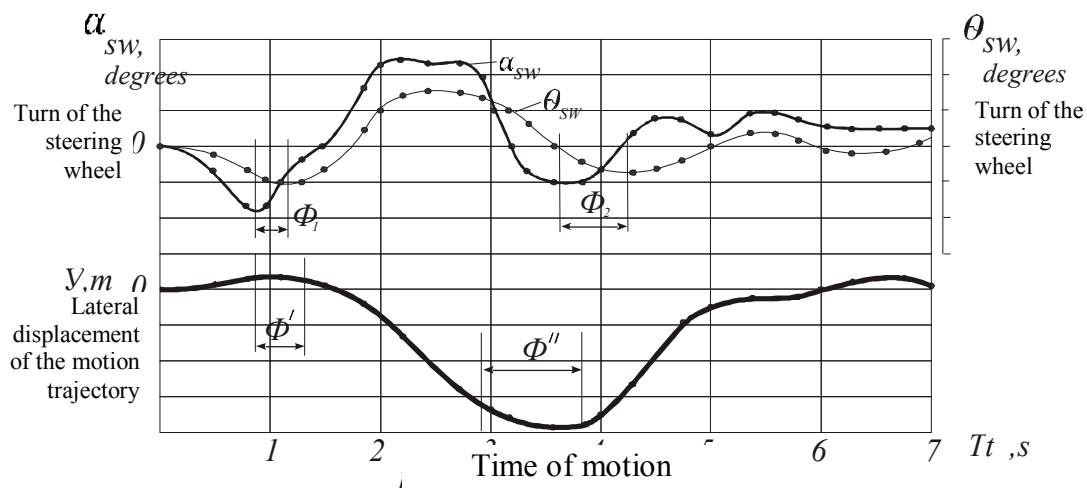


Fig. 8. Phase delays in the automobile control system

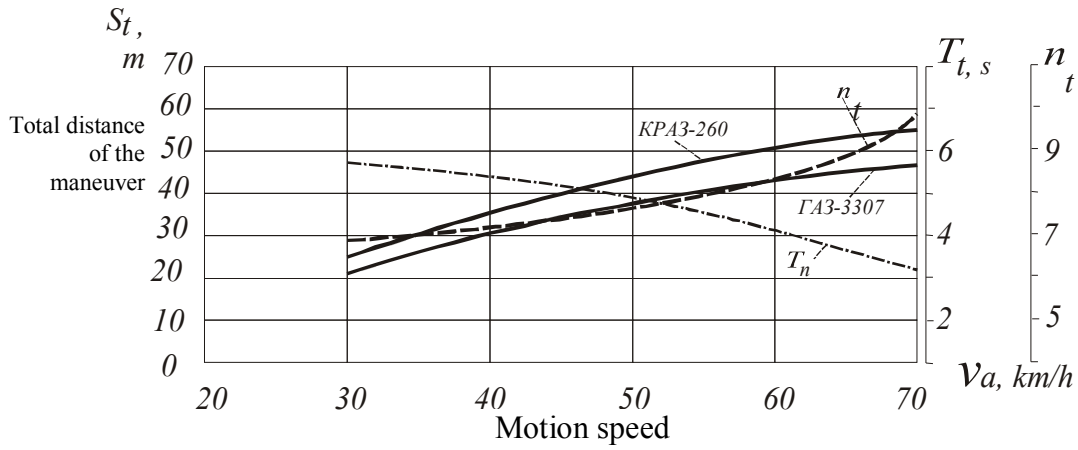


Fig. 9. Relationship between motion parameters, automobile types and driving accuracy (n_k)

The driver’s ability to predict events effects not only reduction of the first response delay, but also the character of subsequent actions and reactions of the automobile. To test this hypothesis, after determining the optimal values of $S_{\delta min}$ for each A – D system, organized in its own way, anticipatory (by 0.5 – 0.7 s) switching of the maneuver direction signal was provided (Fig. 1). Distance covered by the automobile was:

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

Indices of damping D and attenuation C of oscillations were improved. With further growth of the anticipatory period the driver’s own “noise” increased and A – D system motion parameters were not improved. .

With red traffic light the automobile was to stop and, using the “firing device”, stopping distance S_τ was determined. Fig. 10 shows changing of S_τ and $S_{\delta min}$ as a function of the vehicle motion speed.

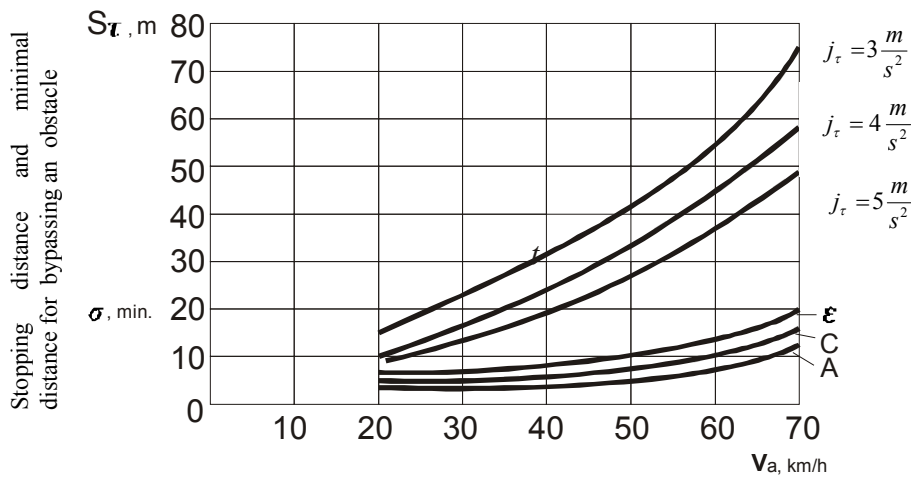


Fig. 10. Relationship between the automobile motion speed v_a , stopping distance S_τ and minimal safe distance $S_{\delta min}$

Stopping distance was calculated by the known formula [4]:

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

where t_0 – the driver's response time ($t_0 = 0,75$ s); t_1 – the time of the vehicle drive response ($t_1 = 0,5$ s); j_τ – deceleration from $0,3g, 0,4g, 0,5g \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (sharp and rather heavy for a driver). As it can be seen, for the automobile speed up to $50 \text{ km} / \text{h}$ value of $S_{\delta min}$ will be a little bit higher than $1/3$ of the stopping distance.

Conclusions

The maneuver on bypassing a sudden obstacle is more preferable than braking to a stop. However, it requires a timely, precisely coordinated turn of the steering wheel by the driver, knowledge and skills to detect and to react to the vehicle response at all phases of the maneuver. This maneuver must be further improved by achieving a combined maneuver, e. g. braking with bypassing an obstacle. This is expected to be the highest level of driving skills achieved by hard work. The proposed procedure of evaluating the driver's skills and working ability must include bypassing a sudden obstacle as a new aspect of training. Besides it could be used as preliminary training before direct training on bypassing simulated obstacles (pedestrians, vehicles). In the course of training drivers are taught to percept the vehicle characteristics, sensomotoric coordination of the control actions, acquire confidence in the capabilities of vehicles. As a result, the instructors can build a well-targeted training process.

REFERENCES

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.

Ostashevskiy Serhiy – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof., doctoral student of the Department of Engineering and Technical Support, e-mail: astash73@mail.ru.

National Academy of the State Border Service of Ukraine.