

С. А. Осташевский, к. т. н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ «АВТОМОБИЛЬ – ВОДИТЕЛЬ – ДОРОГА» К ОБЪЕЗДУ НЕОЖИДАННОГО ПРЕПЯТСТВИЯ

В статье дана оценка факторам, необходимым для организации обучения вождению по объезду неожиданного препятствия, определены характеристики автомобиля и управляющие действия водителя, необходимые для успешного объезда неожиданного препятствия, а также уточнена возможность оценки успешности обучения и работы водителя на основе показателей переходных характеристик системы «автомобиль – водитель – дорога».

Ключевые слова: управляемость, вождение автомобиля, обучение, переходная характеристика.

Введение

Необходимость выполнения водителями маневра типа «переставки» возникает в аварийной ситуации, связанной с появлением в полосе движения впереди автомобиля препятствия. Возможность успешного совершения маневра обеспечивается совмещением характеристик водителя и автомобиля, условиями движения и обученности водителя.

Современные испытания автомобиля типа «переставки» [1] позволяют исследовать наиболее существенные характеристики управляемости в системе «автомобиль – водитель – дорога» (А-В-Д), в первую очередь, время реакции водителя ($ВР_в$), время реакции автомобиля ($ВР_а$), их симбиоз, тип поворачиваемости автотранспортных средств (АТС). При этом почти не учитывают субъективное влияние водителя. Этим отличается предложенный метод от существующего метода «переставка». С учетом преимуществ исследования указанного маневра автомобиля, на наш взгляд, обучение объезду неожиданного препятствия в манере быстрой «переставки» позволит не только повысить навыки безопасности движения, но и прогнозировать успешность работы водителя в других аналогичных дорожных ситуациях.

Цель статьи

1. Оценить факторы, необходимые для организации обучения вождению по объезду неожиданного препятствия.
2. Определить характеристики автомобиля и управляющие действия водителя, необходимые для успешного объезда неожиданного препятствия.
3. Определить возможность оценки успешности обучения и работы водителя на основе принятых в теории автоматического управления показателей переходных характеристик системы автоматического регулирования, в качестве которой рассматривают систему А-В-Д.

Результаты исследований

Схемы испытаний приведены на рис. 1. Для участия в испытаниях привлекали автомобили УАЗ-3151, ГАЗ-3307, ЗИЛ-4331, Урал-4320, КрАЗ-260Б, отличающиеся статистическими и динамическими характеристиками поворачиваемости (табл. 1). Точность вождения оценивали числом касаний ограничителей с использованием комплекта приборов регистрации управляющих действий водителя и ответных реакций автомобиля (УДВРА) и комплекта АСУ – автодром. Оценку управляемости автомобилей производилась водителями по 10-бальной системе.

Траекторию движения автомобилей отмечали с помощью пневмогидротраектографов, при этом регистрировали минимальное расстояние $S_{\delta min}$, необходимое для объезда,

характеризующее реакцию и водителя, и автомобиля, то есть, реакцию системы А-В $S_{\delta min}$; амплитуду отклонений A_i (рис. 2) и длину переходной характеристики S_{π} (рис. 1). Остановочный путь и его компоненты определяли с помощью «стреляющего устройства». Параметры движения автомобиля записывали на ленты осциллографа Н008М.

Таблица 1

Величины статистического показателя поворачиваемости – $U_{py} L_a$ и времени реакции – BP_{A-B} автомобилей, участвующих в эксперименте

Параметры	Индексы автомобилей				
	УАЗ-3151	ГАЗ-3307	ЗИЛ-4331	Урал-4320	КрАЗ-260Б
База - L_a , м	2,38	3,3	3,975	4,2	5,3
Передаточное число рулевого управления - 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
BP_{A-B} , с	0,5	0,5	0,52	0,7	0,83

В ходе обработки осциллограмм и параметров траектории движения автомобилей при испытании рассчитывали: время реакции автомобиля BP_a и системы А-В в целом BP_{B-a} , время переходного процесса T_{π} , коэффициенты демпфирования колебаний траектории после объезда при «переставке» D и затухания C движения автомобиля, рис. 1.



Рис. 1.

Схема экспериментальной трассы «Объезд внезапно возникшего препятствия»

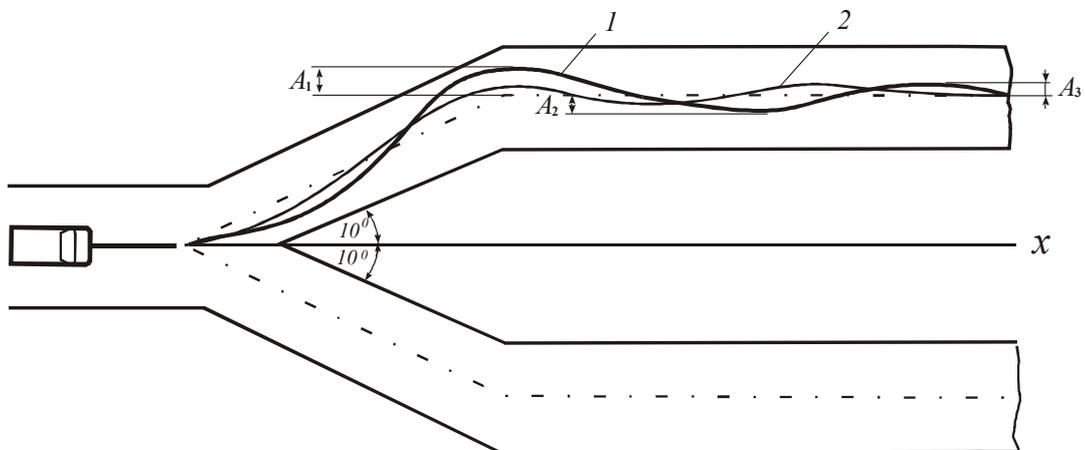


Рис. 2. Траектории движения автомобилей УАЗ-3151 (2) и Урал-4320 (1)

К участию в испытаниях привлекали 24 водителя: пять водителей, закрепленных за испытуемыми автомобилями, четыре инструктора практического вождения со стажем более

пяти лет и 15 курсантов. В зачет шли все 15 заездов: это давало возможность проследить процесс становления навыков управления автомобилем.

Внешним проявлением совместимости элементов системы А-В и обученности водителя при объезде неожиданного препятствия являются: путь $S_{\delta min}$, проходимый автомобилем за время реакции системы А-В, полный путь S_n , время переходного процесса T_n , точность вождения, коэффициент демпфирования D и затухания колебаний C .

На рис. 2 показаны усредненные для всех наблюдений траектории движения автомобилей; на рис. 3, 4 приводятся значения $S_{\delta min}$ и амплитуды A курсовых колебаний автомобиля относительно осевой линии полосы движения. Как и следовало ожидать, автомобили с большим значением $u_{py}L_a$ и моментом инерции mr^2 обладают меньшей чувствительностью к повороту, имеют большие значения $S_{\delta min}$ (от 7 – 8 м при $V = 40$ км/ч до 17 – 20 м при 70 км/ч). Для водителей более легких и короткобазных автомобилей этот факт является неожиданным, вследствие этого траектория движения автомобилей, управляемых ими, характеризуется дорегулированием на первой арке поворота. При этом амплитуда колебаний в точке Б увеличивается до 1,7...1,9 м; увеличивается и фазовая задержка Φ реакции автомобиля.

Автомобили с меньшим значением показателя статистической поворачиваемости $u_{py}L_a$ более чувствительны к повороту, имеют меньшие значения $S_{\delta min}$ (для автомобиля УАЗ-3151 – 4,5...4,8 м, Газ-3307 и ЗИЛ-4331 – 6...6,6 м, УРАЛ-4320 и КРАЗ-260Б – 7,2...8,8 м при $V = 50$ км/ч). Характер их движения отличается меньшими амплитудами колебаний, большей частотой колебаний до (0,7 – 1,0 Гц). Для удержания автомобиля в полосе движения водители чаще пользуются рулевым колесом.

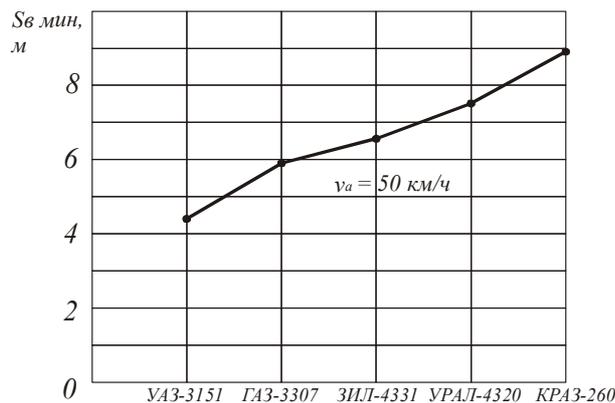


Рис. 3. Влияние типа автомобилей на величину минимально безопасного расстояния $S_{\delta min}$

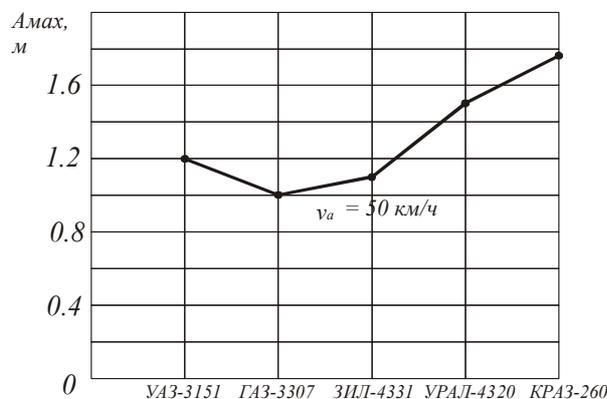


Рис. 4. Влияние типа автомобилей на величину амплитуды колебаний траектории автомобиля, A_{max}

Анализ показателей точности вождения и субъективных оценок управляемости

автомобилем (рис. 5) позволяет предположить, что оптимальное значение $u_{py}L_a$ находится в пределах 70 – 80 м. Распределение значений $u_{py}L_a$ для 35 отечественных и российских автомобилей (рис. 6) подтверждает, что у большинства из них (УАЗ-3151, ГАЗ-3307, КАМАЗ-4310, ЗИЛ-4331, КраЗ-260Б) эта величина находится в указанном пределе, у других (УРАЛ-4320) отличается незначительно. В целом дисперсия показателей $u_{py}L_a$ велика, и это необходимо учитывать во время обучения и переподготовки водителей, а также при анализе ДТП с автотранспортными средствами.

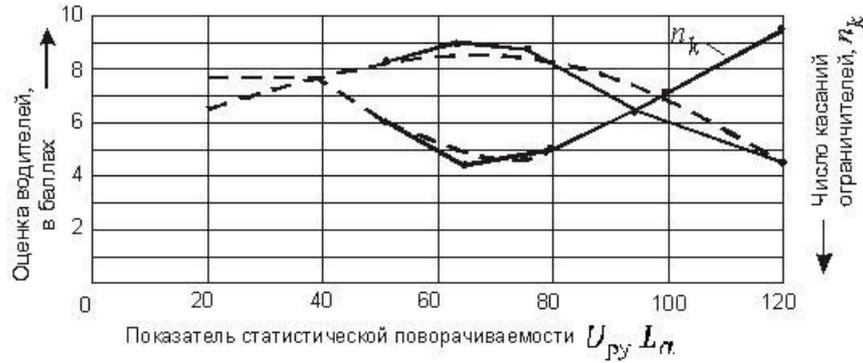


Рис. 5. Влияние параметра $u_{py}L_a$ на оценку управляемости автомобиля

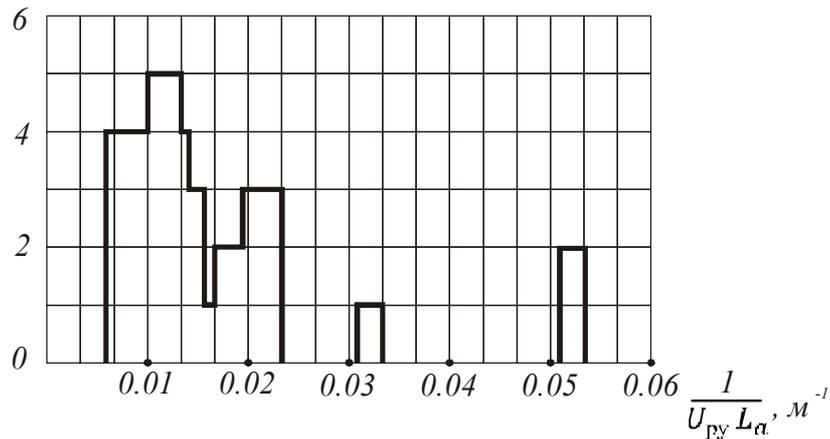


Рис. 6. Распределение показателя статистической поворачиваемости $u_{py}L_a$ для 25 автомобилей

Время реакции автомобилей $ВР_a$ показало значение от 0,17 с для автомобиля УАЗ-3151 и 0,45 с для автомобиля Зил-4331 и в целом оказывало значительное влияние не только на время суммарной задержки системы А-В, которое составляло 0,5...0,8 с с учетом готовности водителей к маневру, но и на величину временных интервалов между последующими управляющими действиями водителя и ответными реакциями автомобилей. Так, при значительной задержке первой ответной реакции автомобиля водитель затем более резко поворачивает рулевое колесо, что сопровождается последующим ухудшением стабильности модуляции управления автомобилем.

Таким образом, если принять первым управляющим действием поворот водителем рулевого колеса между точками А и О (рис. 1), вторым – поворот рулевого колеса в момент установки автомобиля на новой полосе движения в районе точки Б, то можно предположить, что знание и восприятие водителем $ВР_a$ поможет ему заблаговременно подготовиться к выполнению второго управляющего действия.

Судя по показателям точности вождения и субъективным оценкам водителей (рис. 5, 7), оптимальное $ВР_a$ составляет 0,22 – 0,25 с. С увеличением $ВР_a$ точность вождения становится прогрессивно хуже. Это проявляется в нестабильной модуляции работы системы управления автомобилем, в ухудшении сенсомоторной координации управляющих действий водителя, в

увеличении колебательности траектории автомобиля. Все это, вероятно, происходит вследствие состояния некоторой неопределенности, в которой находится система А-В-Д в промежутке, равном $ВР_a$. Это подтверждает корректность разработанной информационной модели системы А-В-Д, [2].

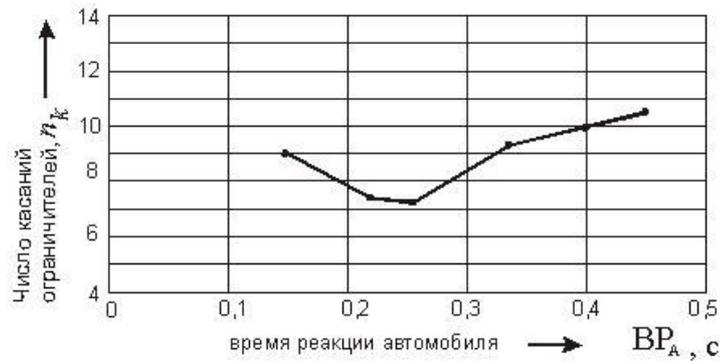


Рис. 7. Влияние ВР водителя на точность вождения

Особенно заметно обнаруживается нестабильность управления при увеличении скорости движения автомобиля от 50 км/ч и более. С увеличением скорости движения и скорости поворота рулевого колеса $\omega_{рк}$ запаздывание реакции автомобиля по фазе увеличивается: при $V = 50$ км/ч у автомобилей с избыточной поворачиваемостью $(-0,17)$ при $\omega_{рк} = 180$ град·с⁻¹ фазовая задержка Φ^0 составляет 50^0 , с недостаточной $(0,21)$ – 30^0 . Из рис. 8 видно, что фазовая задержка бокового перемещения автомобиля относительно поворота рулевого колеса составляет для условий испытаний $70...120^0$ [3].

С увеличением скорости автомобиля увеличивается $S_{\delta_{мин}}$ и $S_{п}$, уменьшается время переходного процесса поворота $T_{п}$ (рис. 9), однако зависимость между значениями $S_{п}$ и $T_{п}$ нелинейная, вероятно, вследствие колебательности траектории движения автомобиля. При постановке задачи водителю объехать препятствие «быстро, насколько можно» увеличивались амплитуда траектории A_i , угловая скорость автомобиля ω_j , число n перерегулирований («рысканий»). В этих ситуациях коэффициент демпфирования D имел тенденцию к уменьшению до 35%, коэффициент C увеличивался до 70%, таким образом, «дискомфорт» движения увеличивался. Однако, как видно, водители предпочитают безопасность движения, а не комфорт.

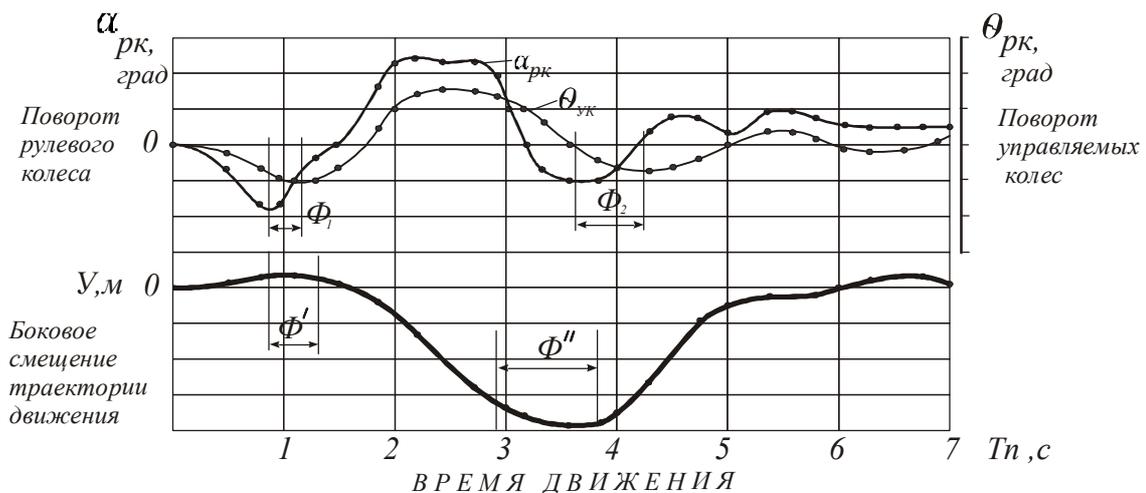


Рис. 8. Фазовые задержки в системе управления автомобилем

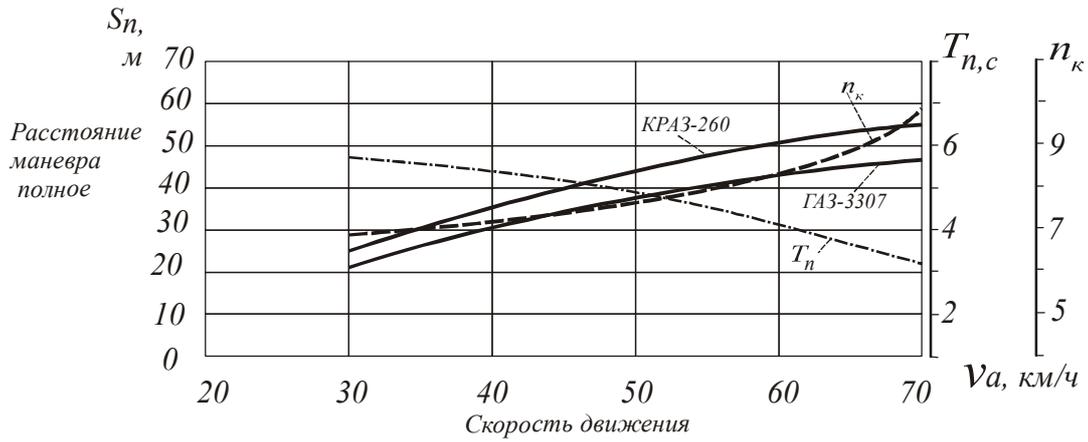


Рис. 9. Зависимость между параметрами движения, типами автомобилей и точностью вождения (n_k)

Способность водителя предвидеть события оказывает влияние не только на уменьшение запаздывания первой реакции, но и на характер последующих действий и реакций автомобиля. Для проверки этой гипотезы после определения для каждой, по-своему организованной системы А-В оптимальных значений $S_{\delta min}$ обеспечивали упреждающее на 0,5...0,7 с включение сигнала направления маневра (рис. 1); путь, проходимый автомобилем, составлял:

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

При этом улучшались показатели демпфирования D и затухания C колебаний. При дальнейшем увеличении времени упреждения собственные «шумы» водителя увеличивались, параметры движения системы А-В не улучшались.

На красный свет светофора автомобиль должен был останавливаться, при этом с помощью «стреляющего прибора» определяли остановочный путь S_τ . На рис. 10 показано изменение S_τ и $S_{\delta min}$ в функции скорости движения автомобиля.

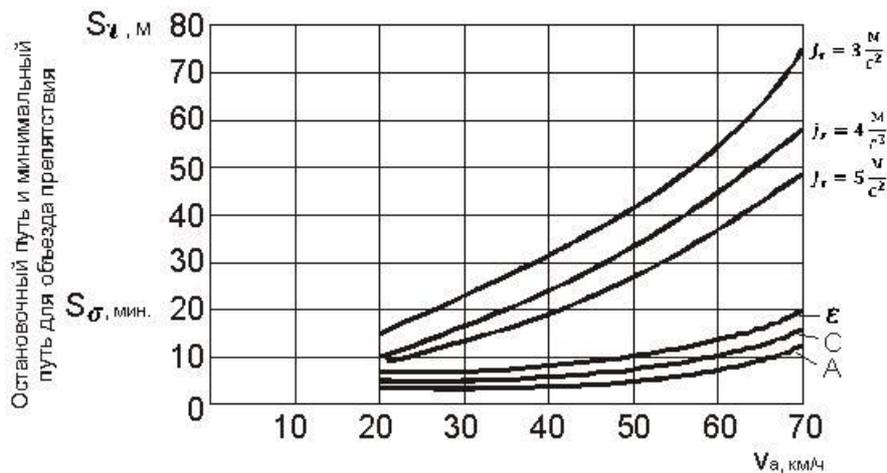


Рис. 10. Зависимость между скоростью движения автомобиля v_a , остановочным путем S_τ и минимальной дистанцией безопасности $S_{\delta min}$

Остановочный путь рассчитывали по известной формуле [4]:

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

где t_0 – время реакции водителя ($t_0 = 0,75$ с); t_1 – время срабатывания привода ($t_1 = 0,5$ с); j_t – замедление от 0,3g, 0,4g, 0,5g $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (резкое, труднопереносимое водителем).

Как видно, при скорости движения автомобиля до 50 км/ч $S_{\delta min}$ составляет несколько больше одной трети остановочного пути.

Выводы

Таким образом, маневр по объезду неожиданного препятствия является более предпочтительным, чем торможение с остановкой. Однако это требует своевременного, точно скоординированного водителем поворота рулевого колеса, знания и умения обнаружить и воспринять ответную реакцию автомобиля на всех фазах маневра. Дальнейшим совершенствованием этого маневра должен стать комбинированный маневр, например, торможение с объездом препятствия. Ожидается, что это должно составить (образно) «высший класс» мастерства вождения и работоспособности. Предложенная методика оценки мастерства и работоспособности водителя должна включать как новый метод обучения объезду неожиданного препятствия. Кроме того, она может быть использована в качестве предварительных тренировок перед обучением непосредственно объезду моделируемых препятствий (пешеходов, автомобилей). В ходе тренировок водители обучаются восприятию характеристик автомобилей, сенсомоторной координации управляющих действий, приобретают уверенность в возможностях машин. Мастера обучения могут строить процесс обучения более целенаправленно.

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.

Осташевский Сергей Анатольевич – к. т. н., доцент, докторант кафедры инженерного и технического обеспечения, e-mail: astash73@mail.ru.

Национальная академия государственной приграничной службы Украины.