

УДК 629.3.017:621.38

Иванов Андрей Михайлович, д-р техн. наук, проф.,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, ivanov-am@madi.ru

Кристалный Сергей Робертович, канд. техн. наук, доц.,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sportauto@rambler.ru

Попов Николай Викторович, канд. техн. наук, доц.,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, niko-popov@yandex.ru

Фомичёв Владимир Александрович, аспирант,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, cricetus90@mail.ru

Ситников Фёдор Валерьевич, магистрант,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, arm_92@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ НА АВТОМОБИЛЯХ, ОСНАЩЁННЫХ ШИПОВАННЫМИ ШИНАМИ, И ЕЁ КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА

Аннотация. В данной статье предложен новый критерий оценки эффективности действия систем электронного контроля устойчивости (ЭКУ), пригодный для использования на опорных поверхностях с низким коэффициентом сцепления, а также на автомобилях, оснащённых шипованными шинами. Приведено его теоретическое обоснование.

Ключевые слова: ЭКУ, ESP, шипованные шины, лёд, эффективность.

Ivanov Andrey M., Ph. D., professor,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, ivanov-am@madi.ru

Kristalniy Sergey R., Ph. D., associate professor,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sportauto@rambler.ru

Popov Nikolay V., Ph. D., associate professor,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, niko-popov@yandex.ru

Fomitchev Vladimir A., graduate student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, cricetus90@mail.ru

Sitnikov Fedor V., undergraduate,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, arm_92@mail.ru

EFFICACY OF THE ELECTRONIC STABILITY PROGRAM ON VEHICLES EQUIPPED WITH STUDED TIRES, AND IT'S COMPREHENSIVE ASSESSMENT

Abstract. This article offers a new assessment criterion for the efficacy of ESP systems, suitable for use on low-friction bearing surfaces, as well as on vehicles equipped with studded tires. Its theoretical justification is given.

Key words: ESP, studded tires, ice, efficacy.

Введение

На управляемость автомобиля влияет множество факторов, в том числе и эффективность действия электронных систем контроля устойчивости [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Поэтому при оценке эффективности действия этих систем необходим новый критерий, который позволит в большей степени оценить работу электронной системы, нежели управляемость автомобиля [4].

В соответствии с действующим на территории РФ ТР ТС 018/2011 управляемость автомобиля должна удовлетворять требованиям Правил ЕЭК ООН №13Н – 00 (далее по тексту Правила № 13Н), которые включают в себя некоторые требования к эффективности действия систем ЭКУ [1]. Более подробно вопросы эффективности действия систем ЭКУ рассмотрены в глобальных технических правилах № 8 (далее по тексту ГТП № 8) [2]. Согласно Правилам № 13Н и ГТП № 8, эффективность действия системы ЭКУ определяется по результатам выполнения маневра «усеченная синусоида» с применением рулевого робота. После выполнения испытательного маневра оцениваются скорости рыскания и боковое смещение автомобиля через определенные интервалы времени после завершения поворота рулевого колеса [1, 0]. Недостатком такого метода является узкая область применения. Метод, предложенный в Правилах № 13Н и ГТП № 8 [1, 0], разработан для испытаний автомобиля на опорной поверхности с высоким коэффициентом сцепления. Однако очевидно, что потеря устойчивости и управляемости автомобиля более вероятна на поверхности с низким коэффициентом сцепления (укатанный снег, лед). Таким образом, необходима разработка методики и критерия оценки эффективности действия ЭКУ, позволяющих проводить испытания на опорных поверхностях с разным коэффициентом сцепления.

Ошиповка протектора шины также может влиять на эффективность действия ЭКУ, так как изменяются характеристики продольного и

поперечного проскальзывания колеса [3]. Учитывая тот факт, что большая часть легковых автомобилей в средней полосе России в зимний период эксплуатируется на зимних шипованных шинах, вопрос их влияния на эффективность действия систем ЭКУ является очень актуальным. Однако методика испытаний, изложенная в Правилах № 13Н и ГТП № 8, ответа на этот вопрос не даёт.

С учётом вышеизложенного в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России была поставлена задача по разработке соответствующего метода оценки эффективности действия ЭКУ.

Метод оценки эффективности действия системы ЭКУ

Для оценки эффективности ЭКУ были сформулированы следующие требования к разрабатываемому методу:

- возможность оценивать эффективность системы ЭКУ на различных опорных поверхностях с различным коэффициентом сцепления, в том числе с низким коэффициентом;
- возможность определения необходимых параметров для расчета критерия;
- в испытаниях должно быть использовано дорожное покрытие, позволяющее испытывать шипованные шины;
- испытания должны быть воспроизводимыми и обладать приемлемой повторяемостью результатов;
- индивидуальные особенности испытателя не должны оказывать влияния на результаты испытаний.

Разрабатываемый метод оценки эффективности действия ЭКУ решено основывать на базе методики испытаний ЭКУ по Правилам № 13Н и ГТП № 8.

В качестве испытательного покрытия с низким коэффициентом сцепления предлагается использовать ледяную поверхность. На льду

обеспечиваются, во-первых, более сложные условия работы ЭКУ, а во-вторых, имеется возможность испытывать автомобиль с шипованными шинами. Несмотря на то что лёд не является стабильным покрытием, возможно получение адекватных результатов испытаний. Для этого необходимо, учитывая опыт подобных испытаний на льду [7, 8, 9, 10, 11, 13], тщательно отслеживать состояние опорной поверхности.

Эффективность действия системы ЭКУ на поверхности с низким коэффициентом сцепления предлагается оценивать с помощью манёвра, аналогичного манёвру «усеченная синусоида», согласно Правилам № 13Н и ГТП № 8 (рис. 1). Предложенный манёвр практически идентичен манёвру «усеченная синусоида» на покрытии с высоким коэффициентом по Правилам № 13Н и ГТП № 8, однако испытательный автомобиль имеет меньшую скорость, а рулевой робот вращает рулевое колесо на меньшие углы.

В процессе проведения предварительных испытаний экспериментальным путем были получены оптимальные значения параметров движения автомобиля и настройки рулевого робота.

Скорость выполнения манёвра «усеченная синусоида» на льду была снижена с 80 ± 2 км/ч до 45 ± 2 км/ч. Угол поворота рулевого колеса рулевым роботом определяется по следующей формуле: $\alpha' = 3,3A'$, где A' – угол поворота рулевого колеса при максимально возможном боковом ускорении при движении автомобиля без скольжения на скорости $V_a' = 45$ км/ч.

Предельные границы скорости автомобиля и угла поворота рулевого колеса были определены экспериментально.

Рассматривая поведение испытательного автомобиля в процессе манёвра «усеченная синусоида» на покрытии с высоким коэффициентом сцепления было замечено, что потеря устойчивости и управляемости более вероятна в завершающей фазе манёвра. Именно на завершающей фазе измеряют показатель угловой скорости автомобиля относительно вертикальной оси (ω_z) по методике Правил № 13Н.

В процессе выполнения манёвра «усеченная синусоида» на льду потеря устойчивости и управляемости может возникнуть в любой момент времени. Исходя из этого, было решено разбить маневр на 6 характерных участков и оценивать эффективность именно для этих участков (рис. 1). На первом участке более вероятен снос автомобиля, на втором и последующих участках – снос и занос автомобиля.

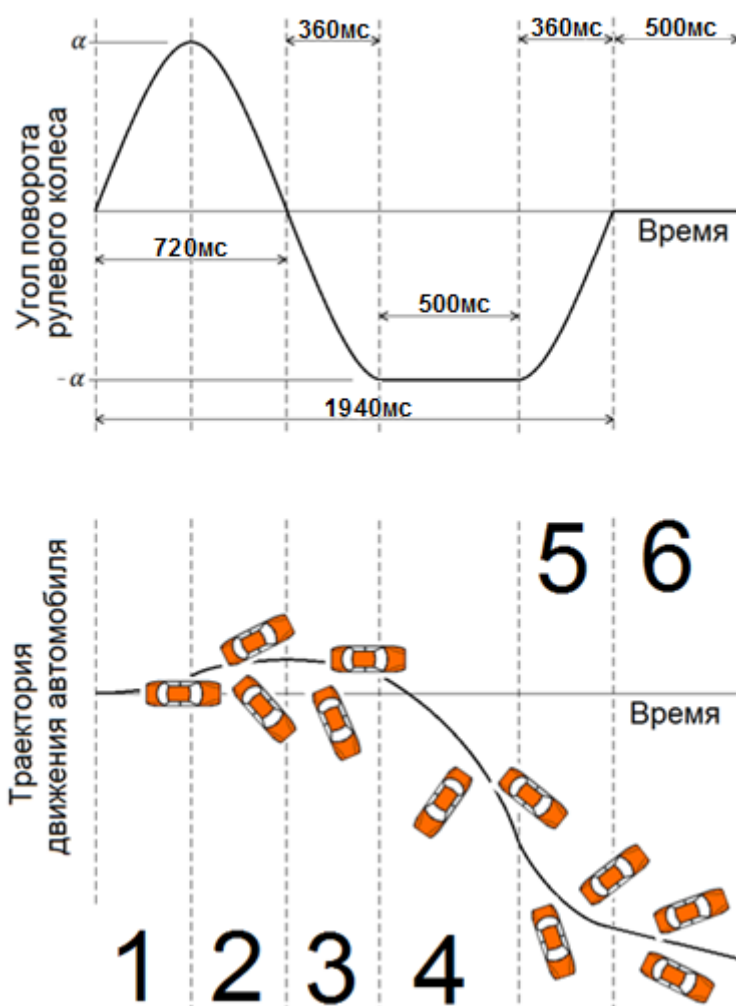


Рис. 1. Примеры возможной потери устойчивости и управляемости автомобиля на участках при выполнении манёвра «усечённая синусоида»

В качестве оценочного критерия в Правилах № 13Н и ГТП № 8 предписывается использовать угловую скорость автомобиля относительно вертикальной оси (ω_z). Однако в нашем случае это невозможно, так как на каждом последующем участке угловая скорость будет зависеть

от срабатывания системы на предыдущих участках. Исходя из этого, решено использовать значение среднего углового ускорения автомобиля относительно вертикальной оси ($\varepsilon_{z\text{cp } i}$) на участках заезда с рулевым роботом.

$$\varepsilon_{z\text{cp } i} = \frac{\int_0^{t_{\text{уч}}} \varepsilon_{zi}(t) dt}{t_{\text{уч } i}}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{zi} = \frac{d\omega_{zi}}{dt}, \quad (2)$$

где ω_z – угловая скорость автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с; ε_z – угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $\varepsilon_{z\text{cp}}$ – среднее угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $t_{\text{уч}}$ – время участка, с; i – порядковый номер участка (i от 1 до 6).

Очевидно, что чем адекватнее и быстрее автомобиль реагирует на изменение угла поворота рулевого колеса, тем быстрее и адекватнее изменяется его угловая скорость относительно вертикальной оси (ω_z). Система ЭКУ в свою очередь может воздействовать на тормозные механизмы автомобиля и создавать разворачивающий момент, тем самым влияя на угловую скорость автомобиля относительно вертикальной оси (ω_z) и угловое ускорение относительно вертикальной оси (ε_z).

Для определения эффективности действия системы ЭКУ среднее значение углового ускорения автомобиля относительно вертикальной оси ($\varepsilon_{z\text{cp}}$) на участке заезда с рулевым роботом сравнивается с идеализированным значением ($\varepsilon_{z\text{ид. cp}}$). Чем ближе значение среднего реального и среднего идеализированного углового ускорения, тем эффективнее работа системы ЭКУ на участке маневра усеченная синусоида.

Идеализированное угловое ускорение и идеализированная угловая скорость представляют собой идеализированные характеристики, которые возможны при следующих условиях:

- автомобиль имеет абсолютно жесткий кузов, подвеска заблокирована;
- автомобиль имеет идеальную рулевую трапецию, не имеет люфтов в рулевом механизме;
- автомобиль движется без явления увода эластичных колёс.

Значение идеализированного среднего углового ускорения автомобиля на i -м участке относительно вертикальной оси ($\varepsilon_{z \text{ ср ид } i}$) определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_{z \text{ ср ид } i} = \frac{\int_0^{t_{i \text{ уч}}} \varepsilon_{z \text{ ид } i}(t) dt}{t_{i \text{ уч}}}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{z \text{ ид } i} = \frac{d\omega_{z \text{ ид } i}}{dt}. \quad (4)$$

Идеализированная угловая скорость автомобиля ($\omega_{z \text{ ид}}$) находится по следующей формуле:

$$\omega_{z \text{ ид}} = \frac{V_a}{R}, \quad (5)$$

где $\omega_{z \text{ ид}}$ – идеализированная угловая скорость автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с; V_a – скорость автомобиля, м/с; R – радиус траектории движения центра задней оси автомобиля, м.

Радиус траектории движения центра задней оси автомобиля определяется исходя из угла поворота рулевого колеса α в манёвре «усеченная синусоида»:

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{U_{\text{ру}}}},$$

где L – база автомобиля, м; α – угол поворота рулевого колеса в маневре «Усеченная синусоида», град.; $U_{\text{ру}}$ – передаточное число рулевого управления.

Разность реальных и идеализированных ускорений на i -м участке манёвра ($\Delta_{\text{вкл}i}$ и $\Delta_{\text{откл}i}$):

$$\Delta_{\text{вкл}i} = \varepsilon_{z \text{ ид ср } i} - \varepsilon_{z \text{ ср } i \text{ вкл}} \quad (\text{при включенной системе ЭКУ});$$

$$\Delta_{\text{откл}i} = \varepsilon_{z \text{ ид ср } i} - \varepsilon_{z \text{ ср } i \text{ откл}} \quad (\text{при выключенной системе ЭКУ}).$$

Эффективность действия ЭКУ на i -м участке заезда (K_i) определяется следующим образом:

$$K_i = \left| \frac{\Delta_{\text{вкл}i}}{\Delta_{\text{откл}i}} \right|.$$

Условие эффективности действия ЭКУ: $K_i \leq 1$. В этом случае можно утверждать, что управляемость и устойчивость автомобиля с системой не хуже, чем без нее.

Заключение

Предложенный новый критерий оценки эффективности действия систем ЭКУ пригоден для проведения испытаний автомобилей, оснащенных любыми шинами (летними, зимними шипованными или не шипованными). В основе критерия лежит анализ среднего углового ускорения автомобиля относительно вертикальной оси на 6 участках манёвра «усеченная синусоида» и его сравнение с идеализированными значениями. Разработан метод определения предложенного критерия. Эффективность действия ЭКУ по этому критерию оценивается на опорной поверхности с низким коэффициентом сцепления.

Экспериментальные исследования по оценке эффективности действия ЭКУ на базе разработанного критерия были проведены на ледяной площадке полигона Центра испытаний НАМИ. Результаты испытаний и их анализ будут представлены в последующих публикациях.

Список литературы

1. Правила ЕЭК ООН № 13Н. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и О в отношении торможения. – М.: Госстандарт России, 2011. – 116 с.
2. Глобальные технические правила № 8. Электронные системы контроля устойчивости. – Введ. в Глобальный регистр 26 июня 2008 года. – М., 2008. – 116 с.
3. Легковой автомобиль – шинный тестер / С.Р. Кристальный, В.Н. Задворнов, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 1. – С. 34–36.
4. Критерии оценки эффективности действия систем электронного контроля устойчивости автомобилей / С.Р. Кристальный, М.А. Топорков, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015 – № 2 (4).
5. Малиновский, М.П. Эволюция систем управления АТС / М.П. Малиновский // Вестник МАДИ. – 2014. – № 4 (39). – С. 22–31.
6. Малиновский, М.П. Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортными средствами: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Транспортные средства специального назначения» / М.П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2011. – 122 с.
7. Эксплуатация электронных систем автомобилей: учебное пособие / В.Е. Ютт, А.М. Резник, В.В. Морозов, А.И. Попов. – М.: МАДИ, 2012. – 253 с.
8. Майборода, О.В. К вопросу о нормировании свойств автомобиля, влияющих на активную безопасность / О.В. Майборода, И.В. Брагина // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 5 (76). – С. 18–22.

9. Немчинов, М.В. Взаимодействие автомобильного колеса с дорожным покрытием / М.В. Немчинов, С.К. Актанов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 2 (68). – С. 12–14.

10. Шадрин, С.С. Методика расчетной оценки управляемости и устойчивости автомобиля на основе результатов полигонных испытаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Шадрин Сергей Сергеевич. – М., 2009. – 132 с.

References

1. *Pravila EJeK OON № 13N. Edinoobraznye predpisanija, kasajushhiesja oficial'nogo utverzhdenija mehanicheskikh transportnyh sredstv kategorij M, N i O v otnoshenii tormozhenija* (UNECE regulation No. 13H. Uniform provisions concerning the approval of power-driven vehicles of categories M, N and O with regard to braking), Moscow, Gosstandart Rossii, 2011, 116 p.

2. *Global'nye tehnicheckie pravila № 8. Jelektronnye sistemy kontrolja ustojchivosti* (Global technical regulation No. 8. Electronic stability control), Moscow, 2008, 116 p.

3. Kristal'nyj S.R., Zadvornov V.N., Popov N.V., Fomichjov V.A. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2014, no. 1, pp. 34–36.

4. Kristal'nyj S.R., Toporkov M.A., Popov N.V., Fomichjov V.A. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2015, no. 2 (4).

5. Malinovskij M.P. *Vestnik MADI*, 2014, no. 4 (39), pp. 22–31.

6. Malinovskij M.P. *Jeksperimental'noe issledovanie harakteristik sistem upravlenija transportnyh sredstv* (Experimental study of characteristics of control systems of vehicles), Moscow, MADI, 2011, 122 p.

7. Jutt V.V., Reznik A.M., Morozov V.V., Popov A.I. *Jekspluatacija jelektronnyh sistem avtomobilej* (Exploitation of electronic systems of cars), Moscow, MADI, 2012, 253 p.

8. Majboroda O.V., Bragina I.V. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2012, no. 5 (76), pp. 18–22.

9. Nemchinov M.V., Aktanov S.K. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*, 2014, no. 2 (68), pp. 12–14.

10. Shadrin S.S. *Metodika raschetnoj ocenki upravlyaemosti i ustojchivosti avtomobilja na osnove rezul'tatov poligonnyh ispytanij* (The method estimates controllability and stability of the vehicle on the basis of the results of field tests), Moscow, 2009, 132 p.