

Подригало М.А.<sup>1</sup>,  
Абрамов Д.В.<sup>1</sup>,  
Тарасов Ю.В.<sup>1</sup>,  
Радченко И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харьковский национальный  
автомобильно-дорожный  
университет,

г. Харьков, Украина

<sup>2</sup> Национальная академия  
национальной гвардии Украины,  
г. Харьков, Украина

## УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИХ ИСПЫТАНИЙ

УДК 629.113

*Причиной появления отказов автомобилей в эксплуатации является несовершенство методов и методик проведения испытаний на различных этапах создания машин. В настоящей статье предлагается ввести новый вид испытаний автомобилей – испытания на стабильность функционирования. Предлагаются показатели и критерии функциональной и параметрической стабильности автомобилей. Предложен новый вид контрольных испытаний на стабильность функционирования, который позволит улучшить оценку технического уровня и безопасность использования автомобилей. На примере оценки стабильности показателей динамических свойств автомобилей, разработан метод проведения контрольных испытаний, который может быть обобщен и на другие виды испытаний.*

**Ключевые слова:** стабильность функционирования, контрольные испытания, обеспечение надежности, динамические свойства.

**Введение.** Бурное развитие конструкций автомобилей, рост производства обострили конкурентную борьбу между фирмами – изготовителями. Каждая фирма, стремясь ускорить появление на автомобильном рынке своей новой модели удивить покупателя своими последними достижениями, забывает о необходимости обеспечения ее надежности и безопасности использования. К сожалению, многие недоработки проявляются в эксплуатации и приводят даже к человеческим жертвам.

Причиной появления массовых отказов автомобилей в эксплуатации является несовершенство методов и методик проведения испытаний на различных этапах создания машин.

Отсутствуют научно-обоснованные показатели и критерии, характеризующие изменение параметров технического состояния автомобилей в эксплуатации. В настоящей статье предлагается ввести новый вид испытаний автомобилей – испытания на стабильность функционирования. Предлагаются показатели и критерии функциональной и параметрической стабильности автомобилей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Производство автомобилей является одним из наиболее массовых, но, в то же время, сложных видов машиностроения. Требования, предъявляемые к автомобилям, включают в себя функциональные требования (обеспечивающие транспортный процесс), требования технологичности при изготовлении, эксплуатации и ремонте, надежности и экономичности при эксплуатации в различных условиях [1].

Кроме того, к автомобилям предъявляются экологические, эргономические требования, соответствующие тенденциям современного дизайна [1].

Процесс движения автомобиля сопровождается сложными процессами его взаимодействия с дорогой, воздушной средой, а также процессами, происходящими в его системах, агрегатах и механизмах. Характер изменения параметров и автомобиля в целом

зависит от условий эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта, а также – от квалификации водителей и обслуживающего персонала.

Несмотря на развитие автомобильной науки, совершенствование уровня подготовки конструкторских кадров и применение САПР, в настоящее время испытание автомобилей является неотъемлемой частью процесса постановки машины на производство, обеспечения их высокого качества и конкурентоспособности на мировом рынке.

Обострившаяся конкурентная борьба между фирмами – производителями, стремление поскорее выбросить на рынок новые модели автомобилей с усовершенствованными или принципиально новыми элементами, приводит к появлению значительного числа отказов, аварий с человеческими жертвами и необходимостью отзыва машины из эксплуатации для исправления дефектов. В таблице 1 приведен перечень причин отзыва за последние годы автомобилей различных фирм.

Причинами такой ситуации являются недоработки конструкторских, технологических испытательных служб автомобильных фирм. Каждая из этих фирм, стремясь ускорить появление на автомобильном рынке своей новой модели и удивить покупателя своими последними достижениями, забывает о надежности машины и безопасности ее использования.

Если при постановке на производство автомобиль проходит разного вида испытания, подтверждающие его соответствие техническим условиям, то в эксплуатации проводится только диагностика узлов и агрегатов без оценки показателей эксплуатационных свойств автомобилей в целом. Необходимы контрольные испытания автомобилей на различных этапах их эксплуатации (при различной наработке).

В настоящее время проводятся только контрольные испытания на надежность серийных машин, снятых с конвейера фирмы – изготовителя. Эти испытания необходимы для оценки стабильности технологии производства фирмы – изготовителя. Для оценки стабильности работы (функционирования) автомобилей необходимо введение нового вида испытаний – испытаний на стабильность функционирования.

«Под стабильностью понимается устойчивость, прочность, насыщенность, длительное сохранение определенного состояния или уровня [2]». «Стабилизация – это процесс приведения объекта в устойчивое состояние, поддержание постоянства каких-либо величин, равномерности, ритмичности каких – либо процессов, устойчивости свойств, состояния устойчивости, постоянства [3]».

Стабильность понимается широко, как состояние равновесия, соответствующее критериям функционирования [4]. В этой же работе [4] отмечается: «Стабильность материального комплекса достигается тогда, когда уменьшения комплекса (которые в критических условиях привели бы к невозможности эффективного функционирования) позволяют осуществлять желаемое действие». Таким образом, необходимо контролировать параметры объекта в процессе эксплуатации задолго до наступления отказа систем у автомобиля.

**Цель и постановка задачи** Целью исследования является обеспечение надежности и безопасности использования автомобилей путем совершенствования методов проведения испытаний. Для достижения поставленной цели необходимо разработать метод испытаний автомобилей на стабильность функционирования.

Отзыв фирмами – изготовителями дефектных автомобилей за последние годы

Год	Фирма-изготовитель	Отзываемые модели	Количество автомобилей	Причина отзыва
2016	Toyota		331000	Неисправность подушек безопасности. Десяток смертельных случаев
2009	Toyota	Toyota Camris Avacon Prius Tacoma Tundra Lexus	4000000	Дефектный педальный узел
2005	Ford	F-150S Expedition, Bronco, Lincoln	4000000	Неполадки в автоматической системе отключения круиз-контроля, 288 случаев возгорания автомобилей
2005	Volkswagen	Navigator Fox, Cross Fox,	300000	Дефект механизма трансформации заднего кресла. 10 человек лишились фаланг пальцев.
2006	Toyota	Space Fox Toyota Land Cruser Land Cruser Prado	200000	Проблемы в подвеске, из-за которых могли отвалиться колеса
2002	Авто ВАЗ	ВАЗ-2121 «Нива»	8500	Проблемы с тормозами
2006	Toyota		555000	Неисправность в рулевой колонке
2013	Volkswagen	Golf Yetta Beetle	1900	Разрушение шкива газораспределительного механизма
2015	Volkswagen	Caddy	Все автомобили, проданные в России в 2014-2015 гг.	Плохо закреплен провод массы бортового компьютера.
2015	GM		70200	Разрушение шланга гидросилителя при t= -40 °C
	Takata		14000000	Нетсправность в подушках безопасности японской компании Takata
2015	Honda, Nissan, BMW		3500000	Та же причина
2016	Ford, Subaru		1000000	Та же причина
2010	Шевроле			Дефект модуля управления ABS

**Совершенствование методов испытаний автомобилей.** Проблема изменения характеристик системы из-за изменения ее параметров называется проблемой чувствительности [5]. В работе [5] также дано математическое определение чувствительности. Предложено отношение процентного изменения передаточной функции системы к процентному изменению конкретного параметра « $b$ » этой функции [5]

$$S = \frac{\frac{\Delta T(S)}{T(S)}}{\frac{\Delta b}{b}} = \frac{\Delta T(S)}{\Delta b} \cdot \frac{b}{T(S)} \quad (1)$$

где  $T(S)$  – передаточная функция системы;  $b$  – параметр системы;  $\Delta T(S)$ ;  $\Delta b$  - изменения передаточной функции и параметра системы.

В выражении (1)  $\Delta T(S)$  - это изменение передаточной функции из-за изменения параметра  $b$  на величину  $\Delta b$ . Величина  $S$  является мерой чувствительности передаточной функции к параметру  $b$ . По определению, функция чувствительности вычисляется как предел функции (1) при  $\Delta b \rightarrow 0$ , т.е. [5]

$$S_b^T = \lim_{\Delta b \rightarrow 0} \frac{\Delta T(S)}{\Delta b} \cdot \frac{b}{T(S)} = \frac{\partial T(S)}{\partial b} \cdot \frac{b}{T(S)}. \quad (2)$$

В общем случае функция чувствительности некоторой характеристики  $W$  по отношению к параметру  $b$  имеет вид [5]:

$$S_b^W = \frac{\partial W}{\partial b} \cdot \frac{b}{W}. \quad (3)$$

Функция чувствительности зависит от переменной  $S$  преобразования Лапласа и это создает трудности при ее интерпретации.

При периодическом проведении в условиях эксплуатации контрольных испытаний на стабильность функционирования автомобилей в качестве характеристики  $W$  могут приниматься максимальные ускорения  $\dot{V}_{max}$ , максимальные скорости  $V_{max}$ , максимальная мощность двигателя  $N_{emax}$ . Определение указанных характеристик должно осуществляться в стандартных условиях по стандартной методике.

Рассмотрим оценку стабильности динамических свойств автомобилей на примере оценки стабильности мощности двигателя. Уравнение тяговой динамики автомобиля при реализации максимальной эффективной мощности двигателя  $N_{emax}$ :

$$N_{emax} \cdot \eta_{mp} = \left( m_a g \psi + \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2 \right) \cdot V_a + m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a \quad (4)$$

где  $\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии;  $m_a$  – масса автомобиля;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\psi$  – суммарный коэффициент дорожного сопротивления;  $C_x$  – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления автомобиля;  $\rho$  – плотность воздуха;  $F$  – площадь лобового сопротивления (мидель) автомобиля;  $V_{max}$  – линейная скорость автомобиля;  $\dot{V}_{max}$  – линейное ускорение автомобиля.

При контрольных испытаниях автомобиля в идентичных условиях после заданного пробега уравнение (4) примет вид

$$(N_{emax} - \Delta N_{emax}) \cdot (\eta_{TP} - \Delta \eta_{TP}) = m_a g \psi (V_a - \Delta V_a) + \frac{C_x}{2} \rho F \cdot (V_a - \Delta V_a)^3 + m_a \cdot (V_a - \Delta V_a) \cdot (\dot{V}_a - \Delta \dot{V}_a), \quad (5)$$

где  $\Delta N_{emax}$ ;  $\Delta \eta_{TP}$ ;  $\Delta V_a$ ;  $\Delta \dot{V}_a$  – изменения параметров  $N_{emax}$ ;  $\eta_{TP}$ ;  $V_a$ ;  $\dot{V}_a$  после заданного пробега автомобиля.

Если динамические испытания автомобиля будут проводиться при заданной скорости при максимальной подаче топлива, что дает возможность реализовать  $N_{emax}$ , то уравнение (5) примет вид

$$(N_{emax} - \Delta N_{emax}) \cdot (\eta_{TP} - \Delta \eta_{TP}) = m_a g \psi V_a + \frac{C_x}{2} \rho F V_a^3 + m_a V_a \cdot (\dot{V}_a - \Delta \dot{V}_a), \quad (6)$$

В уравнениях (4) и (6)

$$N_{emax} \cdot \eta_{TP} = N_{Kmax}; \quad (7)$$

$$(N_{emax} - \Delta N_{emax}) \cdot (\eta_{TP} - \Delta \eta_{TP}) = N_{Kmax} - \Delta N_{Kmax}, \quad (8)$$

где  $N_{Kmax}$  – максимальная мощность на колесах автомобиля до контрольного пробега;  $\Delta N_{Kmax}$  – изменение максимальной мощности на колесах после контрольного пробега.

Решая совместно уравнения (6) и (7), определим

$$\Delta N_{kmax} = N_{emax} \Delta \eta_{TP} - \Delta N_{emax} (\eta_{TP} - \Delta \eta_{TP}). \quad (9)$$

Уравнения (4) и (6) с учетом (7), (8), (9) примут вид

$$\Delta N_{kmax} = m_a g \psi V_a + \frac{C_x}{2} \rho F V_a^3 + m_a V_a \dot{V}_a; \quad (10)$$

$$N_{kmax} - \Delta N_{kmax} = m_a g \psi V_a + \frac{C_x}{2} \rho F V_a^3 + m_a V_a (\dot{V}_a - \Delta \dot{V}_a). \quad (11)$$

Решая совместно уравнения (10) и (11), получим

$$\Delta N_{kmax} = m_a V_a \Delta \dot{V}_a. \quad (12)$$

Для измерения линейных ускорений и скорости возможно использовать бортовой измерительно–регистрирующий комплекс [6]. Измеряя линейные ускорения  $\dot{V}_a$  при заданной скорости  $V_a$  и массе автомобиля до и после контрольного пробега. Определив  $\Delta \dot{V}_a$ , можно определить  $\Delta N_{kmax}$ .

Степень чувствительности ускорения автомобиля (параметр динамичности автомобиля) к изменению мощности двигателя

$$S = \frac{\Delta \dot{V}_a}{\Delta N_{kmax}} \cdot \frac{N_{kmax}}{\dot{V}_a}, \quad (13)$$

где  $\Delta \dot{V}_a$ ;  $\Delta N_{kmax}$  – изменение параметров  $\dot{V}_a$  и  $N_{kmax}$  в процессе контрольного пробега.

Величина  $S$  может нормироваться и тогда она будет контрольным показателем (критерием технического состояния автомобиля).

Аналогичным образом можно осуществить оценку чувствительности и стабильности показателей других динамических свойств автомобилей.

#### Выводы:

1. Обеспечение высокого технического уровня и безопасности использования автомобилей возможно при введении нового вида контрольных испытаний в условиях эксплуатации – контрольных испытаний на стабильность функционирования.

2. На примере оценки стабильности показателей динамических свойств автомобилей разработан метод проведения контрольных испытаний, который может быть обобщен и на другие виды испытаний.

### Литература:

1. Лаптев С.А. Комплексная система испытаний автомобилей /С.А.Лаптев. – М.:Изд-во стандартов, 1991. – 172 с.
2. Энциклопедический словарь / [под ред. Б.А.Веденского]. Часть 3. – М.:БСЭ, 1955. -744с.
3. Словарь иностранных слов. Издание 13-е стереотипное / [под ред. А.Г.Спирина, И.А.Акчурина, Р.С.Картинской].- М.:Рус.яз., 1986. – 608 с.
4. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. Я. Дитрих. – М. Мири, 1984. -454 с.
5. Филипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р.Харбер. Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616с.
6. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин /Артемьев Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А., Полянский А.С, Клец Д.М, Коробко А.И., Задорожная В.В. – Харьков: изд-во «Міськдрук», 2012. – 220с.

### Summary

**M. Podrigalo, D. Abramov, Yu. Tarasov, I. Radchenko** Improving the quality of vehicles by improving methods of their tests

*The cause of the appearance of car failures in operation is the imperfection of the methods and methods of testing at various stages of machine creation. In this article, it is proposed to introduce a new type of vehicle tests - tests for the stability of functioning. Indicators and criteria for the functional and parametric stability of cars are proposed. A new type of control tests for the stability of functioning is proposed, which will improve the assessment of the technical level and the safety of the use of automobiles. On the example of the stability assessment of the dynamic properties of cars, a method for conducting control tests has been developed, which can be generalized to other types of tests.*

**Keywords:** *stability of functioning, control tests, reliability assurance, dynamic properties.*

### References

1. Laptev S.A. Kompleksnaya sistema ispytaniy avtomobilej /S.A. Laptev. – М.: Izd-vo standartov, 1991. – 172 s.
2. Enciklopedicheskij slovar / [pod red. B.A. Vedenskogo]. Chast 3. – М.: BSE, 1955. -744s.
3. Slovar inostrannyh slov. Izdanie 13-e stereotipnoe / [pod red. A.G.Spirina, I.A.Akchurina, R.S.Kartinskoy]. – М.: Rus.yaz., 1986. – 608 s.
4. Ditrih Ya. Proektirovanie i konstruirovanie. Sistemnyj podhod. Ya. Ditrih. – М. Miri, 1984. -454 s.
5. Filips Ch. Sistemy upravleniya s obratnoj svyazu / Ch. Filips, R. Harber. Per. s angl. B.I. Kopylova. – М.: Laboratoriya bazovyh znaniy, 2001. – 616s.
6. Metod parcialnyh uskorenij i ego prilozheniya v dinamike mobilnyh mashin /Artemev N.P., Lebedev A.T., Podrigalo M.A., Polyanskij A.S, Klec D.M, Korobko A.I., Zadorozhnaya V.V. – Harkov: izd-vo «Miskdruk», 2012. – 220s.