

К 629.3

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ ВОДИТЕЛЯМИ ПРИ РАЗГОНЕ

К.т.н. Д. В. Абрамов, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Предложен экспериментальный метод определения индивидуального индекса динамичности автомобиля, управляемого конкретным водителем, с использованием компьютеризированной измерительной системы на основе линейных акселерометров. Проведено сравнение динамических свойств автомобиля Hyundai i30 под управлением нескольких водителей с различным опытом вождения.*

*Запропонований експериментальний метод визначення індивідуального індексу динамічності автомобіля, під керуванням конкретного водія, з використанням комп'ютеризованої виміральної системи на основі лінійних акселерометрів. Проведено порівняння динамічних властивостей автомобіля Hyundai i30 під керуванням кількох водіїв з різним досвідом водіння.*

*The experimental method is proposed for determination of the individual index of dynamics of the car, controlled by specific driver, using a computerized measuring system on the basis of linear accelerometers. A comparison of the dynamic properties of the car Hyundai i30 under control several drivers with different driving experience.*

**Ключевые слова:** автомобиль, ускорение, акселерометр, водитель, индивидуальный индекс динамичности.

## Введение

Динамические свойства автомобилей, а также уровень навыков водителя в управлении им оказывают существенное влияние на безопасность эксплуатации, например при выполнении такого маневра, как обгон. В ситуации, когда одним автомобилем во время эксплуатации управляют попеременно несколько водителей с различным опытом и манерой вождения (один автомобиль, управляемый несколькими членами семьи, один служебный автомобиль, управляемый несколькими сотрудниками организации и т.п.) потенциальные динамические возможности автомобиля могут реализовываться в различной степени. Показатели динамических свойств автомобиля в эксплуатации в таком случае могут варьироваться в достаточно широком диапазоне. Адекватная оценка текущего уровня использования потенциальных динамических возможностей автомобиля под управлением конкретного водителя позволяет повысить точность работы бортовых систем автомобиля, оказывающих помощь человеку в управлении, например системы предотвращения столкновений при обгоне [1].

В статье предложен экспериментальный метод определения индивидуального индекса динамичности автомобиля, характеризующего его динамические свойства в эксплуатации под управлением конкретного водителя. Проведено сравнение индивидуальных индексов динамичности автомобиля Hyundai i30 под управлением трех водителей с различным опытом вождения.

## Анализ последних достижений и публикаций

Оценка технического уровня автомобилей по показателям динамических свойств предложена в работе [1]. В ней предложен показатель – «индекс динамичности» (относительный показатель, равный отношению максимального начального ускорения оцениваемого автомобиля к аналогичному показателю автомобиля, принятого за базовый образец). В качестве базового образца в исследовании был принят автомобиль-лидер, имеющий наибольшее значение начального максимального линейного ускорения среди других автомобилей, выпускаемых в мире в рассматриваемый год.

Одним из параметров, характеризующих динамические свойства автомобилей, является время разгона автомобиля от 0 до 100 км/ч. Недостатком этого параметра является невозможность оценки динамических свойств автомобилей в других диапазонах изменения скоростей движения, что важно, например, при выполнении маневра обгона.

Поэтому разработка экспериментального метода определения индивидуального индекса динамичности автомобиля под управлением конкретного водителя с определенными навыками вождения, позволяющего оценивать его динамические свойства в процессе эксплуатации в любом диапазоне скоростей движения, является актуальной.

## Цель и постановка задач исследования

Целью данного исследования является экспериментальное определение индивидуального индекса динамичности автомобиля под управлением конкретного водителя с определенной манерой вождения.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать метод экспериментального определения указанного показателя в процессе эксплуатации автомобиля с применением компьютеризированного измерительно-регистрационного комплекса ВДВММ 4-001 [2], разработанного на кафедре технологии машиностроения и ремонта машин ХНАДУ.

## Метод экспериментального определения индивидуального индекса динамичности автомобиля под управлением конкретного водителя.

Экспериментальные исследования проводились в г. Харьков на горизонтальном участке дороги, с сухим, твердым, чистым и ровным асфальтобетонным покрытием.

Исследования базировались на измерении параметров движения автомобиля Hyundai i30 при разгоне с полной подачей топлива на участке дороги двумя трехосевыми линейными акселерометрами [2]. Двигатель, агрегаты трансмиссии и ходовой части автомобиля перед началом исследований были прогреты, шины чистые,

сухие, износ рисунка протектора не более 5 %. На момент проведения экспериментальных исследований пробег автомобиля Hyundai i30 составлял 13780 км.

Погрешность прямых измерений ускорений составляла до 4% (1 % – погрешность акселерометров по паспорту и до 3 % – погрешность установки (проводилось предварительное определение отклонения осей акселерометров от горизонтальности в продольной и поперечной плоскостях)).

Линейная скорость движения автомобиля измерялась по методике описанной в [3].

Для фильтрации различных случайных шумов использовался программный фильтр Баттерворта. Использование такого фильтра регламентировано Глобальными техническими правилами Организации Объединенных наций относительно конструкций и элементов, которые устанавливаются на автомобиль [4].

В результате обработки данных, полученных в ходе экспериментального исследования, построены графики изменения продольного линейного ускорения от скорости движения автомобиля Hyundai i30 при интенсивном разгоне (рис. 1). Кроме кривых, полученных экспериментальным методом, на рис. 1 также представлены графики зависимости максимального ускорения автомобиля Hyundai i30 от скорости его движения по результатам тягового расчета, и зависимости максимального возможного ускорения автомобиля Hyundai i30 от скорости его движения по условию сцепления ведущих колес с дорогой.

Максимально возможное ускорение автомобиля, обусловленное мощностью его двигателя, определяется по графику ускорений, полученному в результате стандартного тягово-скоростного расчета автомобиля.

Максимально возможное ускорение автомобиля, обусловленное сцеплением с дорогой ведущих колес переднеприводного автомобиля определяется по формуле [5]

$$\dot{V}_{\text{перед}} = g \cdot \varphi_{x \max} \times \frac{\frac{b}{L} - \frac{a}{L} \cdot \frac{f}{\varphi_{x \max}} + f \cdot \frac{r_{\partial 1} - r_{\partial 2}}{L} - \frac{k \cdot F \cdot V_a^2}{m_a \cdot g \cdot \varphi_{x \max}}}{1 + f \cdot \frac{h - r_{\partial 2}}{L} + \varphi_{x \max} \cdot \frac{h - r_{\partial 1}}{L}} \cdot \left[ 1 + f \cdot \frac{h_w - r_{\partial 2}}{L} + \varphi_{x \max} \cdot \frac{h_w - r_{\partial 1}}{L} \right] \quad (1)$$

- где  $V_a$  – линейная скорость автомобиля;  
 $\varphi_{x \max}$  – максимальный касательный коэффициент сцепления колес с дорогой;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $a$  – расстояние от передней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость;  
 $b$  – расстояние от задней оси до проекции центра масс автомобиля на горизонтальную плоскость;  
 $L$  – продольная колесная база автомобиля;  
 $f$  – коэффициент сопротивления качению колес;  
 $F$  – площадь лобового сечения (мидель) автомобиля;  
 $m_a$  – общая масса автомобиля;  
 $k$  – коэффициент сопротивления воздуха;  
 $h$  – высота центра масс автомобиля;  
 $h_w$  – высота центра парусности автомобиля относительно опорной поверхности;  
 $r_{\partial 1}$  – динамический радиус передних (ведущих) колес;  
 $r_{\partial 2}$  – динамический радиус задних (ведомых) колес.



Рис.1. Графики изменения ускорения от скорости движения автомобиля Hyundai i30 при интенсивном разгоне

Для оценки степени реализации сцепных свойств автомобилей при разгоне предлагается использовать такой параметр, как собственный индекс динамичности автомобиля и собственный индивидуальный индекс динамичности автомобиля, равные отношению предельного ускорения автомобиля, обусловленного мощностью его двигателя, к предельному ускорению, обусловленному сцеплением ведущих колес автомобиля с дорогой

$$q_c = \frac{\dot{V}_{aN \max}}{\dot{V}_{a \text{пред}}} ; \quad (2)$$

$$q_{cu} = \frac{\dot{V}_{au \max}}{\dot{V}_{a \text{пред}}} , \quad (3)$$

где  $\dot{V}_{aN \max}$ ,  $\dot{V}_{au \max}$  – соответственно максимальное ускорение автомобиля, обусловленное мощностью его двигателя (согласно тяговому расчету) и максимальное ускорение автомобиля, обусловленное индивидуальной манерой вождения водителя (получаемое в ходе экспериментального исследования);

$\dot{V}_{a \text{пред}}$  – предельное по условию сцепления с дорогой ведущих колес ускорение автомобиля.

С использованием зависимостей (2), (3) и данных, представленных на рис. 1 построены графики изменения собственного и собственного индивидуального индексов динамичности от скорости движения автомобиля Hyundai i30 под управлением водителей с различным опытом вождения, представленные на рис. 2.

Для более однозначной оценки реализации потенциальных динамических свойств автомобиля предлагается применять интегральный относительный показатель динамических свойств автомобиля (собственный интегральный и собственный индивидуальный относительный индексы динамичности), которые определяются как отношение площади под графиком зависимости соответственно собственного и собственного индивидуального индексов динамичности

автомобиля от скорости движения на интервале между минимальной и максимальной скоростями движения автомобиля

$$Q_c = \frac{\int_{V_{a \min}}^{V_{a \max}} q_c \cdot dV}{V_{a \max} - V_{a \min}} ; \quad (4)$$

$$Q_{cu} = \frac{\int_{V_{a \min}}^{V_{a \max}} q_{cu} \cdot dV}{V_{a \max} - V_{a \min}} , \quad (5)$$

где  $V_{a \min}$ ,  $V_{a \max}$  – соответственно минимальная и максимальная скорости движения автомобиля.

С использованием зависимостей (4), (5) и данных, представленных на рис. 2 получены значения собственного и собственного индивидуального интегральных относительных индексов динамичности на различных интервалах скоростей движения автомобиля, сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Значения собственного и индивидуальных интегральных относительных индексов динамичности на соответствующем интервале скорости движения автомобиля Hyundai i30

Интервал скорости движения $V_a$	Собственный интегральный относительный индекс динамичности $Q_c$	Индивидуальный интегральный относительный индекс динамичности		
		Водитель 1 $Q_{cu1}$	Водитель 2 $Q_{cu2}$	Водитель 3 $Q_{cu3}$
1-15 м/с	0,80	0,58	0,59	0,65
15-25 м/с	0,47	0,26	0,27	0,37
1-25 м/с	0,66	0,44	0,46	0,53

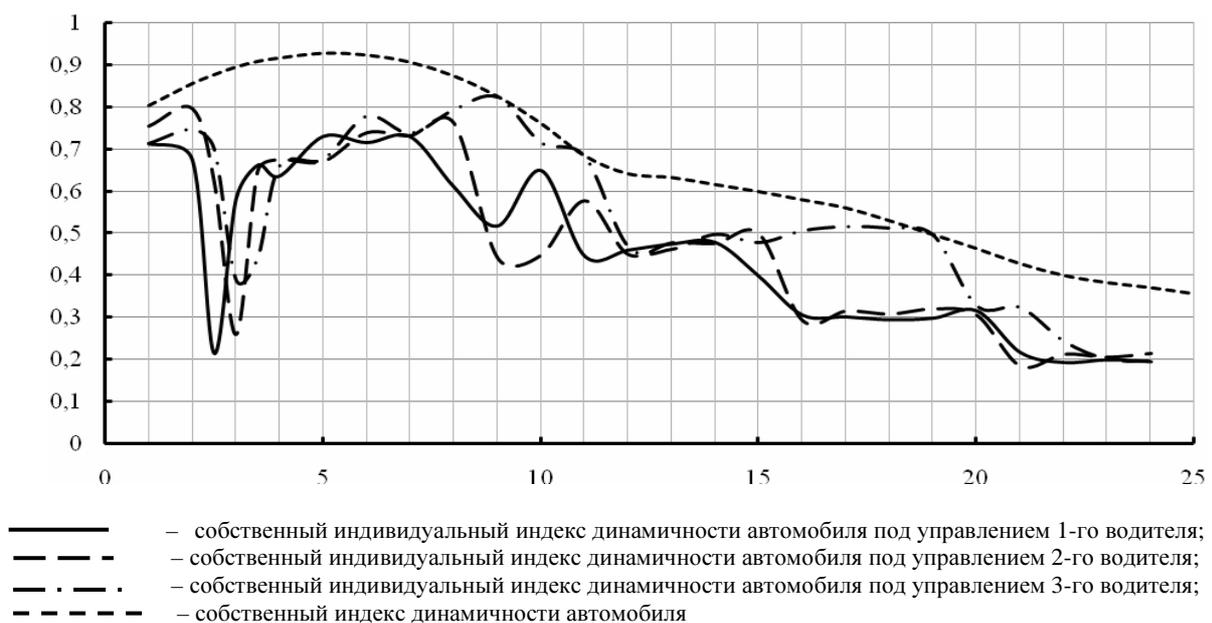


Рис.2. Зависимости собственного индекса динамичности и собственного индивидуального индекса динамичности от скорости движения автомобиля Hyundai i30 под управлением водителей с различной манерой вождения

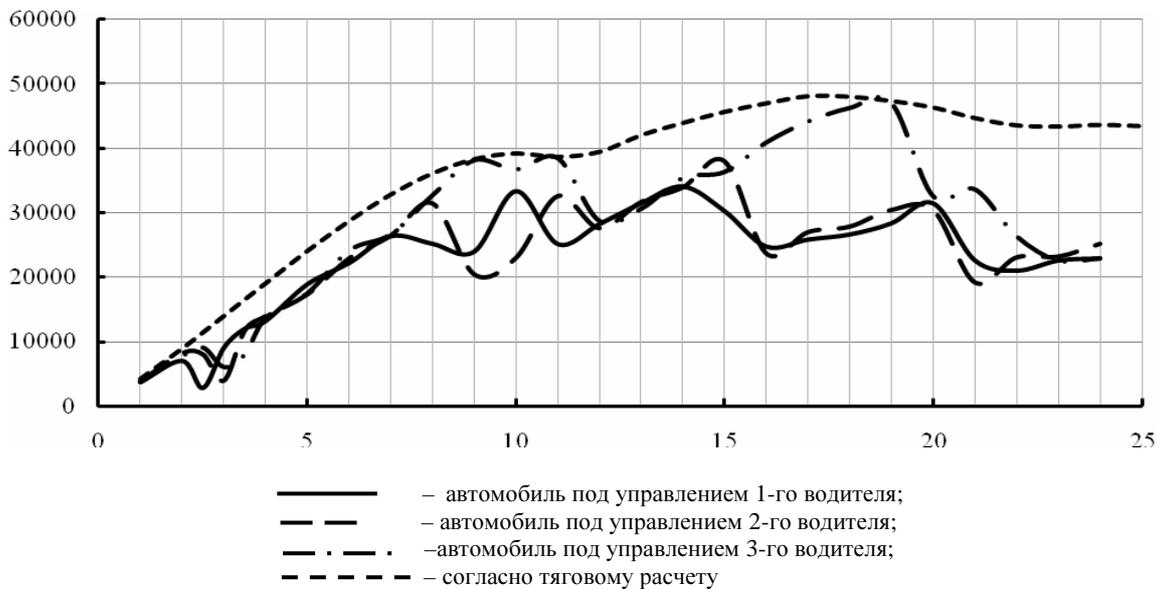


Рис. 3. Зависимости мощности, затрачиваемой на разгон, от скорости движения автомобиля Hyundai i30 под управлением водителей с различной манерой вождения

Зная величины линейной скорости и ускорения автомобиля, можно определить величину мощности на колесах автомобиля, затрачиваемую на разгон. Для этого рассмотрим формулу для определения мощности на колесах автомобиля при движении горизонтальным участком дороги

$$N_e \cdot \eta_{mp} = m_a \cdot g \cdot f \cdot V_a + \rho \cdot \frac{c_x}{2} \cdot F \cdot V_a^3 + m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a, \quad (6)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность двигателя автомобиля;  
 $\eta_{тр}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии автомобиля;  
 $\rho$  – плотность воздуха;  
 $c_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления (коэффициент обтекаемости);  
 $\dot{V}_a$  – линейное ускорение автомобиля.

Проанализировав выражение (6), можно отметить, что мощность на колесах автомобиля, затрачиваемая на преодоление дорожного и аэродинамического сопротивления для движения с постоянной скоростью определяться как

$$N_e \cdot \eta_{mp} = m_a \cdot g \cdot f \cdot V_a + \rho \cdot \frac{c_x}{2} \cdot F \cdot V_a^3, \quad (7)$$

а мощность на колесах автомобиля, затрачиваемая на разгон будет определяться как

$$N = N_e \cdot \eta_{mp} = m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a. \quad (8)$$

С использованием зависимости (8) построены графики изменения мощности, затрачиваемой на разгон, от скорости движения автомобиля Hyundai i30 под управлением водителей с различной манерой вождения (рис. 3).

### Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность использования предложенного метода оценки динамических свойств автомобилей под управлением конкретного водителя с определенными навыками вождения в эксплуатации на любом интервале скоростей движения.

Для автомобиля Hyundai i30 с пробегом 13780 км собственный индивидуальный индекс динамичности  $q_{си}$  при движении со скоростью 10 м/с снижается относительно значения, полученного согласно тягового расчета с 0,76 до 0,72 (на 5 %), 0,65 (на 14 %) и 0,45 (на 41 %) при управлении соответственно 3-м, 1-м и 2-м водителями.

На интервале скоростей движения 1-25 м/с собственный индивидуальный интегральный относительный индекс динамичности  $Q_{си}$  снизился относительно значения, полученного согласно тягового расчета с 0,66 до 0,53 (на 20 %); 0,46 (на 30 %); 0,44 (на 33 %) при управлении соответственно 3-м, 2-м и 1-м водителями.

Мощность на ведущих колесах автомобиля Hyundai i30, затрачиваемая на разгон, при управлении водителями с различным опытом вождения при движении со скоростью 18 м/с изменяется в диапазоне от 26,7 кВт до 46,3 кВт.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Подригало М.А. Розробка способу та бортових засобів запобігання зіткненню автомобілів при виконанні маневру обгону / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Сборник научных трудов. Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – Выпуск 33. – С. 29-35.
2. Подригало М.А. Оценка технического уровня по показателям динамических свойств автомобилей / М.А. Подригало, Д.М. Клец, А.Н. Мостовая // Вісник Національного транспортного університету: науково-технічний збірник, 2012. – №25. – С. 226-233.
3. Пат. 51031 Україна, МПК G 01 P 3/00. G 01 P 15/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М.А., Коробко А.І., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № и 2010 01136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
4. Коробко А. Підвищення точності вимірювання параметрів руху автомобіля у процесі динамічних випробувань / М. Подригало, А. Коробко, Д. Клец, О. Назарько, В. Гацько // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – 2010. – № 3. – С. 49-52.