

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ

Подригало М.А., докт. техн. наук, Клец Д.М. канд. техн. наук, Мостовая А.Н.

Запропоновано нові показники: індекс динамічності автомобіля та індекс динамічності автомобіля-лідера, що дозволяють проводити порівняння характеристик різних моделей автомобілів і їх кваліметрію.

New performances: index of the leader-vehicle dynamics that allowing to compare characteristics of different vehicle models and qualimetry of them are proposed.

Введение. Движение автомобилей в городском транспортном потоке сопровождается большим количеством остановок перед светофорами, пешеходными переходами и стоящими впереди автомобилями. Способность к быстрому разгону (приемистость) характеризует динамические свойства и является показателем технического уровня автомобиля. Высокие значения показателей динамических свойств автомобилей, движущихся в едином транспортном потоке, снижают вероятность образования пробок и заторов на дорогах.

В настоящей статье предложено оценивать технический уровень и степень приспособленности автомобилей к движению в напряженном транспортном потоке по относительному показателю – отношению максимального начального ускорения рассматриваемого автомобиля к аналогичному показателю автомобиля, принятому за базовый образец. В качестве базового образца при проведении исследований взят образец (“автомобиль-лидер”), обладающий наибольшим значением начального максимального линейного ускорения среди остальных автомобилей, выпускаемых в мире в рассматриваемом году. Определено среднее значение предложенного показателя для всех моделей, выпущенных в рассматриваемом году автомобилей. Для оценки технического уровня отрасли предложен показатель – индекс динамичности автомобиля-лидера, представляющий собой отношение начального максимального ускорения этого автомобиля к предельно возможному ускорению по условиям сцепления колес с дорогой.

Анализ последних достижений и публикаций. Линейное ускорение автомобиля при разгоне было принято в качестве показателя динамических свойств автомобиля (приемистости) в первых трудах по теории автомобиля, выпущенных в СССР [1 - 3]. Величина линейного ускорения зависит от тягово - скоростных свойств автомобиля (удельной мощности автомобиля, передаточных чисел трансмиссии, сопротивления качению колес и аэродинамического сопротивления движению автомобиля), сцепления ведущих колес с дорогой и коэффициента использования сцепного веса автомобиля при разгоне, определяемого наличием ведущих и неведущих (ведомых) осей.

Ускорение автомобиля при разгоне может быть определено из следующего выражения [4]:

$$\dot{V}_a = \frac{1}{\delta_{вп}} \left[\frac{P_k}{m_a} - (f \pm i)g - \frac{c_x}{2} \rho \frac{F}{m_a} V_a^2 \right], \quad (1)$$

где $\delta_{вп}$ - коэффициент, учитывающий потери мощности двигателя на разгон вращающихся масс двигателя и трансмиссии;

P_k - суммарная тяговая сила на ведущих колесах автомобиля;

m_a - общая масса автомобиля, $g = 9,81 \text{ М/с}^2$;

$f; i$ - величины коэффициента сопротивления качению и продольного уклона дороги;

g - ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ М/с}^2$;

c_x - коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ - плотность воздуха;

F - лобовая площадь (мидель) автомобиля;

V_a - линейная скорость автомобиля.

Как известно [1-4] максимальная тяговая сила ограничивается сцеплением ведущих колес с дорогой и может быть определена как [4]:

$$P_{k_{max}} = K_{сц} \varphi \cdot m_a g, \quad (2)$$

где $K_{сц}$ - коэффициент использования сцепного веса автомобиля, определяемый наличием ведущих и неведущих осей, для полноприводного автомобиля $K_{сц} = 1$;

φ - коэффициент сцепления колес с дорогой.

Предельное по условию сцепления колес с дорогой ускорение можем определить, принимая в уравнении (1) $P_k = P_{k_{max}}$. После подстановки (2) в (1) получим

$$\dot{V}_{a_{max}} = \frac{1}{\delta_{вр}} \left[K_{сц} \varphi g - (f \pm i)g - \frac{c_x}{2} \rho \frac{F}{m_a} V_a^2 \right] \quad (3)$$

В работе [5] предложено в качестве эталона для оценки динамических свойств использовать предельное ускорение автомобиля

$$\dot{V}_{a_{пред}} = \varphi \cdot g \quad (4)$$

В работе [4] предложено в качестве критерия начального при разгоне предельное по сцеплению колес с дорогой ускорение автомобиля

$$\dot{V}_{\varphi_0} = K_{сц} \varphi \cdot g, \quad (5)$$

определяемое из уравнения (3) при $V_a = 0$ и $\delta_{вр} = 1$. В указанной работе [4] предложено также соотношение

$$K_{сц} = \frac{\dot{V}_{\varphi_0}}{\dot{V}_{a_{пред}}}, \quad (6)$$

которое по мнению авторов характеризует степень реакции предельного ускорения.

Однако указанный критерий (6) характеризует только степень реализации сцепных возможностей автомобиля при наличии двигателя, способного реализовать эти возможности. Поэтому указанный критерий не может быть использован при оценке качества автомобилей имеющих мощность двигателя, недостаточную для реализации предельных сцепных возможностей машины.

На этапе метрологического измерения любых свойств автомобиля (в данном случае – линейного ускорения) получают объективные сведения о них. Однако уже следующий квалиметрический этап в исследовании качества объекта носит во многом субъективный характер. Субъективность заключается в самом выборе эталона качества или “базового образца”, с данными о котором сопоставляются сведения о свойствах исследуемого объекта [6]. Поэтому необходимо осуществить рациональный выбор базового образца.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является улучшение условий движения автомобилей в городском транспортном потоке за счет совершенствования требований к их динамическим свойствам.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать критерии для квалиметрии динамических свойств автомобилей;
- на примере выпускаемых в мире автомобилей произвести оценку их технического уровня по предложенным критериям.

Разработка критериев для оценки динамических свойств автомобилей. Для оценки качества автомобилей (квалиметрии) по показателям динамических свойств воспользуемся шкалой отношений [6].

Шкала отношений – это измерительная шкала, на которой отсчитывается (определяется) численное значение величины q_i как математического отношения измеряемого размера Q_i к другому

известному размеру, принимаемому за единицу измерений $[Q]$. В метрологии и квалиметрии [6] считается, что любое измерение по шкале отношений предполагает сравнение неизвестного размера с известным и выражение первого через второй в кратном или дольном отношении [6].

Математическая запись измерений по шкале отношений имеет вид [6]

$$q_i = \frac{Q_i}{[Q]}, \quad (7)$$

где $i = 1, 2, 3$ - это номер измеряемого размера.

В нашем случае за единицу измерений $[Q]$ следует принять величину $(\dot{V}_0)_{max}$ максимального начального ускорения для наиболее динамичного автомобиля (автомобиля – лидера). За измеряемый параметр Q_i следует принимать величину начального ускорения рассматриваемого автомобиля \dot{V}_0 , т.е.

$$q_i = \frac{\dot{V}_{0i}}{(\dot{V}_0)_{max}}. \quad (8)$$

Параметр q_i назовем индекс динамичности i -го автомобиля. В случае $\dot{V}_{0i} > \dot{V}_{\phi 0}$ индекс динамичности автомобиля следует определить по формуле

$$q_i = \frac{\dot{V}_{\phi 0}}{(\dot{V}_0)_{max}} = \frac{K_{сц} \varphi \cdot g}{(\dot{V}_0)_{max}}. \quad (9)$$

Коэффициент использования сцепного веса для полноприводного автомобиля $K_{сц} = 1$, заднеприводного - $K_{сц} \cong a/L$; переднеприводного - $K_{сц} \cong b/L$ (L - продольная колесная база автомобиля; a, b - расстояние от передней и задней осей до проекции центра масс автомобиля на горизонтальную плоскость).

Математическое ожидание параметра q , полученное в результате обработки генеральной совокупности, или оценки математического ожидания (в результате обработки выборки) могут служить характеристикой требований к техническому уровню автомобилей по показаниям динамических свойств. Индекс динамичности является характеристикой достигнутого технического уровня i -го автомобиля по показателям динамических свойств.

Для оценки технического уровня отрасли (автомобилестроения) предлагается индекс динамичности автомобиля-лидера

$$q_{лид} = \frac{(\dot{V}_0)_{max}}{\varphi \cdot g}. \quad (10)$$

Степень достижения рассматриваемым автомобилем предельных динамических возможностей может быть оценена показателем – степенью достижения предельного линейного ускорения

$$q_{уд} = q_i \cdot q_{лид}. \quad (11)$$

Оценка технического уровня легкового автомобиля по индексу динамичности. При трогании автомобиля с места начальное ускорение может быть определено из уравнения (1) при $V_a = 0$

$$\dot{V}_0 = \frac{1}{\delta_{зр}} \left[\frac{P_k}{m_a} - (f \pm i)g \right]. \quad (12)$$

Тяговая сила на ведущих колесах может быть определена как

$$P_k = M_N \cdot U_0 U_k \cdot \eta_{\text{тр}} / r_{\partial}, \quad (13)$$

где M_N - крутящий момент двигателя при максимальной мощности N_{emax} ,

$$M_N = \frac{N_{\text{emax}}}{\omega_N}; \quad (14)$$

ω_N - угловая скорость вала двигателя, соответствующая N_{emax} ;

U_0, U_k - передаточные числа главной передачи и коробки передач автомобиля;

$\eta_{\text{тр}}$ - КПД трансмиссии;

r_{∂} - динамический радиус ведущих колес.

Подставляя (14) в (13), а последнее выражение – в (12), получим

$$\dot{V}_0 = \frac{g}{\delta_{\text{вр}}} \left[\frac{N_{\text{emax}}}{m_a \cdot \omega_N \cdot g \cdot r_{\partial}} U_0 U_k \eta_{\text{тр}} - (f \pm i) \right] \quad (15)$$

Для оценочных расчетов, с допустимой степенью точности можно принять следующее: $\eta_{\text{тр}} = 1$; $f \pm i = 0$ и $r_{\partial} = r_0$ (r_0 - свободный радиус колеса). С учетом принятых допущений уравнение (15) примет вид

$$\dot{V}_0 = \frac{N_{\text{emax}} \cdot U_0 U_k}{m_a \cdot \omega_N \cdot r_0 \cdot \delta_{\text{вр}}} \quad (16)$$

Коэффициент учета вращающихся масс может быть определен по эмпирической зависимости [7]

$$\delta_{\text{вр}} = 1,04 + 0,05 U_k^2 \quad (17)$$

После подстановки (17) в (16) получим

$$\dot{V}_0 = \frac{N_{\text{emax}} \cdot U_0 U_k}{m_a \cdot \omega_N \cdot r_0 \cdot (1,04 + 0,05 U_k^2)} \quad (18)$$

В выражении (18) выделим функцию от U_k

$$F(U_k) = \frac{U_k}{(1,04 + 0,05 U_k^2)} \quad (19)$$

Проведя исследование функции (19) на экстремум, определим условие получения $[F(U_k)]_{\text{max}}$

$$U_k = U_k^* = 4,56. \quad (20)$$

Таким образом, при $U_k = U_k^* = 4,56$ будет обеспечено максимальное значение \dot{V}_0 при заданных $\frac{N_{\text{emax}}}{m_a}$; U_0 , ω_N и r_0 . При $U_k \geq U_k^*$, $F(U_k) < [F(U_k)]_{\text{max}}$.

В таблице 1 приведены результаты определения средних значений индекса динамичности легковых автомобилей по годам от 1990 до 2012. В каждом календарном году было рассмотрено 100 моделей автомобилей и определен для каждого года автомобиль – лидер.

Таблица 1

Определение среднего индекса динамичности легковых автомобилей по годам

№	Год	\bar{q}_j	λ	A_j	\bar{q}^* , при $\bar{A}=1,952$	\bar{q}_{min}	\bar{q}_{max}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1990	0,36	0,9	2,016	0,353	0,346	0,36
2	1991	0,366	0,91	1,996	0,356	0,349	0,363
3	1992	0,365	0,92	2,028	0,359	0,352	0,366
4	1993	0,375	0,93	1,978	0,362	0,355	0,369
5	1994	0,374	0,94	2,01	0,365	0,358	0,372
6	1995	0,383	0,95	1,965	0,368	0,361	0,375
7	1996	0,367	0,96	2,1	0,371	0,364	0,378
8	1997	0,373	0,97	2,077	0,374	0,367	0,381
9	1998	0,374	0,98	2,089	0,377	0,37	0,384
10	1999	0,383	0,99	2,048	0,38	0,373	0,387
11	2000	0,374	1	2,136	0,383	0,376	0,39
12	2001	0,387	1,01	2,065	0,386	0,379	0,393
13	2002	0,386	1,02	2,091	0,389	0,382	0,396
14	2003	0,383	1,03	2,134	0,392	0,385	0,399
15	2004	0,39	1,04	2,101	0,395	0,388	0,402
16	2005	0,402	1,05	2,044	0,398	0,391	0,405
17	2006	0,394	1,06	2,115	0,401	0,394	0,408
18	2007	0,399	1,07	2,101	0,404	0,397	0,411
19	2008	0,402	1,08	2,098	0,407	0,399	0,414
20	2009	0,404	1,09	2,103	0,41	0,402	0,417
21	2010	0,409	1,1	2,091	0,412	0,405	0,42
22	2011	0,41	1,11	2,105	0,415	0,408	0,423
23	2012	0,414	1,12	2,096	0,418	0,411	0,426

В таблице 2 приведены параметры автомобилей – лидеров для каждого года.

Таблица 2

Технические характеристики автомобилей - лидеров

Год	Марка автомобиля	Модель автомобиля	Максимальная мощность двигателя, N_{max} , кВт	Угловая скорость коленчатого вала двигателя при N_{max} ω_N , c^{-1}	Общая масса автомобиля m_a , кг	Динамический радиус колеса, r_a , м	Передаточные числа		Ускорение автомобиля на I передаче ν_0 , m/c^2
							8	9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1990	Porsche	928 GT	242,65	648,933	1600	0,31345	2,727	3,765	4,377
1991	Porsche	928 GT	242,65	648,933	1600	0,31345	2,727	3,765	4,377
1992	Bugatti	EB 110	455,88	837,333	1558	0,3261	3,64	2,25	6,787
1993	Bugatti	EB 110	455,88	837,333	1558	0,3261	3,64	2,25	6,787
1994	Bugatti	EB 110	455,88	837,333	1558	0,3261	3,64	2,25	6,787
1995	Bugatti	EB 110	455,88	837,333	1558	0,3261	3,64	2,25	6,787

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1996	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
1997	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
1998	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
1999	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
2000	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
2001	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
2002	Ferrari	456GT	325	654,167	1690	0,31715	3,64	4,017	7,339
2003	Ford	GT 40	372,79	549,5	1650	0,33885	3,36	2,61	7,708
2004	Ford	GT 40	372,79	549,5	1650	0,33885	3,36	2,61	7,708
2005	Ford	GT 40	372,79	549,5	1650	0,33885	3,36	2,61	7,708
2006	Bugatti	Veyron	736,03	628	2200	0,34525	3,64	2,25	9,773
2007	Bugatti	Veyron	736,03	628	2200	0,34525	3,64	2,25	9,773
2008	Bugatti	Veyron	736,03	628	2200	0,34525	3,64	2,25	9,773
2009	Bugatti	Veyron	736,03	628	2200	0,34525	3,64	2,25	9,773
2010	Bugatti	Veyron Super Sport	882,35	669,867	2150	0,34525	2,58	3,18	9,419
2011	Bugatti	Veyron Super Sport	882,35	669,867	2150	0,34525	2,58	3,18	9,419
2012	Bugatti	Veyron Super Sport	882,35	669,867	2150	0,34525	2,58	3,18	9,419

Среднее значение индекса динамичности определялось по известной формуле

$$\bar{q}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i, \quad (21)$$

где N – объем выборки, $N=100$.

Для определения аппроксимирующей зависимости среднего индекса динамичности от времени воспользуемся соотношением

$$\bar{q}^* = 1 - \exp\left(-\frac{\lambda}{A}\right), \quad (22)$$

где λ – относительное время, определяемое как в [8]

$$\lambda = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_3 - \Gamma_2}, \quad (23)$$

Γ_1 – год, для которого прогнозируется параметр N_{yA}^{max} ;

Γ_2 – год, от которого условно ведется отсчет времени, $\Gamma_2=1900$;

Γ_3 – год, от которого проводился анализ, $\Gamma_3=2000$.

A – коэффициент, характеризующий динамику роста показателя \bar{q}^* (постоянная времени).

Для каждого года определяем показатель A_j из формулы (22)