

Мисюра Микола Іллч, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
Орчіков Роман Сергійович, магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [orchikov97roman@gmail.com](mailto:orchikov97roman@gmail.com)  
Фідря Антон Павлович, магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [toha180397@gmail.com](mailto:toha180397@gmail.com)

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЯ НА ДОРОЗІ З УХИЛОМ

Метою даного дослідження є удосконалення методики перевірки швидкісних властивостей автомобіля за часом розгону і вибігання, у експерименті, який проводився на автомобілі Renault Kangoo з дизельним двигуном об'ємом 1500 см<sup>3</sup> та шинами Continental Vancococontact 2 195/65R15 95T було виконано перевірку тягово-швидкісних характеристик автомобіля за часом вибігу по дорозі з ухилом.

Обробку результатів експерименту починали з розшифрування відеозаписів на комп'ютері. Були зареєстровані моменти зміни індикації швидкості у вигляді таблиці з двома стовпчиками: значення часу від початку зйомки даного кліпу (окремого ролика) і нова швидкість. Таблиця потім доповнювалася новими стовпчиками, наприклад, апроксимовані значення швидкості, прискорення, шлях тощо. Якщо треба було отримати більш надійний результат, записували кілька процесів, скажімо, розгону в однакових умовах. Потім обчислювали відрізки часу  $\Delta t$  між сусідніми значеннями швидкості, а далі ці відрізки були усереднені у своїх інтервалах, а середні значення часу підсумовані, щоб отримати сумарний час режиму. Окремо підраховувалися розгони, окремо – вибіги.

Індикація одного значення швидкості утримувалася на дисплеї приблизно 1 секунду (а під час вибігу з малим уповільненням, а також залежно від налаштування і довше – 2 і навіть 3 секунди). Реєстрували час зміни, тобто появи нової індикації і саму нову індикацію.

Спочатку обробляли записи вибігів, щоб визначити сили опорів руху в залежності від швидкості. За цими даними визначали коефіцієнти аеродинамічного опору та опору коченню. Далі, обробивши розгони, можна було визначити силу розгону також в залежності від швидкості. Тягова сила на провідних колесах визначалася як сума сил опорів і сили розгону. Маючи залежність тягової сили від швидкості, переходили до залежності крутного моменту від обертів колінчатого вала, тобто будували основну криву ЗШХ двигуна.

Цей метод описаний у довіднику Bosch без посилання на авторів і удосконалений в подальшому. Згідно з цим методом під час вільного вибігу автомобіля фактичною масою  $m_a$  вимірюють уповільнення  $j_1$  і  $j_2$  у зонах більшої  $v_1$  та меншої  $v_2$  швидкостей і обчислюють коефіцієнти опору повітря  $C_x$  та сумарного дорожнього опору  $\psi$  за наступними формулами:

$$C_x = \frac{2 \cdot \delta \cdot m \cdot (j_1 - j_2 \cdot K_V)}{F \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V)}; \psi = \frac{\delta \cdot (j_2 \cdot v_1^2 - j_1 \cdot v_2^2)}{(v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V) \cdot g} \quad (1)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт урахування обертових мас при вибігу;

$K_V$  – коефіцієнт урахування впливу швидкості на опір коченню; співвідношення очікуваних коефіцієнтів опору коченню при швидкостях  $v_1$  і  $v_2$  в м/с.

Але ці формули створені для випадку випробування автомобіля на горизонтальній дорозі у безвітряну погоду. А мій експеримент проходив на дорозі з ухилом (не постійним, а з досить складним подовжнім профілем – і при відчутному вітрі – швидкістю 2...3 м/с. До того ж напрямок вітру був майже точно вздовж дороги і з півдня на північ з відхиленнями приблизно  $\pm 30^\circ$ .

Тому виміряні уповільнення треба відкоригувати, віднявши від них парціальні уповільнення від ухилу ( $J_{pc\ i}$ ), вітру ( $J_{pc\ w}$ ) та холостого ходу трансмісії ( $J_{pc\ xx}$ ):

$$J_{pc\ i} = P_i / \delta m = mg \cdot i / \delta m = g \cdot i / \delta;$$

$$J_{pc\ xx} = P_{xx} / \delta m = (-2,4912E-07 \cdot v^4 + 8,2796E-05 \cdot v^3 - 0,010716 \cdot v^2 + 0,89971 \cdot v + 13,049) / \delta m;$$

$$J_{pc\ w} = kF \left[ (v_a / 3.6 \pm v_w)^{E_w} - (v_a / 3.6)^{E_a} \right] / \delta m,$$

де  $E_a$  та  $E_w$  – показники ступеня при швидкості автомобіля та швидкості автомобіля з доданою швидкістю вітру.

Ця надійна і точна методика реалізована у табличному редакторі Excel у програмі, інтерфейс якої показаний у таблиці в стані розрахунку коефіцієнтів для Renault Kangoo:

$$C_x = \frac{2 \cdot \delta \cdot m \cdot (j_1 - j_2 \cdot K_V)}{F \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V)}; f = \frac{\delta \cdot (j_2 \cdot v_1^2 - j_1 \cdot v_2^2)}{g \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V)} \quad (2)$$

Таблиця – Розрахунок коефіцієнтів опорів для Renault Kangoo

Модель автомобіля	<b>Kangoo</b>	<b>Kangoo</b>	<b>Kangoo</b>
V вітру, м/с	<b>3,12</b>	<b>2,71</b>	<b>1,79</b>
Ухил 1	<b>0,01919</b>	<b>0,01919</b>	<b>0,01919</b>
Ухил 2	<b>0,018853</b>	<b>0,018853</b>	<b>0,018853</b>
Маса автомобіля	<b>1910</b>	<b>1910</b>	<b>1910</b>
Пр. маса коліс+транс	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>47</b>
Дельта	<b>1,02461</b>	<b>1,02461</b>	<b>1,02461</b>
Площа лобова, кв.м	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>
Густина повітря $\rho_0$	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>
<b>v1 сер, км/год</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
<b>j1 m/s^2</b>	<b>0,566268</b>	<b>0,566268</b>	<b>0,566268</b>
<b><math>\alpha 1</math></b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>j alf=9,81*i/1,024607</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,1837</b>
<b>j<sub>w</sub></b>	<b>0,014959742</b>	<b>0,014959742</b>	<b>0,014959742</b>
<b>j<sub>xx</sub></b>	<b>0,034190657</b>	<b>0,034190657</b>	<b>0,034190657</b>

$j_1-j_j$	<b>0,3334</b>	<b>0,3334</b>	<b>0,3334</b>
$v_2$ сер, км/ГОД	<b>27,36</b>	<b>27,36</b>	<b>27,36</b>
$j_2$ m/s <sup>2</sup>	<b>0,328146</b>	<b>0,328146</b>	<b>0,328146</b>
$\alpha_2$	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
$j_{air}=9,81*i/1,0245$	<b>0,1805</b>	<b>0,1805</b>	<b>0,1805</b>
V вітру, м/с	<b>3,12</b>	<b>2,71</b>	<b>1,79</b>
$j_w$	<b>0,0188</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,0100</b>
$j_{xx}$	<b>0,0077</b>	<b>0,0077</b>	<b>0,0077</b>
$j_2-j_j$	<b>0,1211</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,1299</b>
$K_v$ нижн=	<b>1,07069</b>	<b>1,04937</b>	<b>1,07069</b>
0,2	<b>1,06537</b>	<b>1,04744</b>	<b>1,06537</b>
0,4	<b>1,06090</b>	<b>1,04580</b>	<b>1,06090</b>
$K_v$ середн=	<b>1,05892</b>	<b>1,04507</b>	<b>1,05892</b>
0,6	<b>1,05709</b>	<b>1,04439</b>	<b>1,05709</b>
0,8	<b>1,05380</b>	<b>1,04318</b>	<b>1,05380</b>
$K_v$ верх=	<b>1,05094</b>	<b>1,04211</b>	<b>1,05094</b>
$C_x$ нижн	<b>0,37280</b>	<b>0,37136</b>	<b>0,35552</b>
0,2	<b>0,37380</b>	<b>0,37173</b>	<b>0,35662</b>
0,4	<b>0,37464</b>	<b>0,37205</b>	<b>0,35754</b>
$C_x$ 1 середн	<b>0,37501</b>	<b>0,37219</b>	<b>0,35795</b>
0,6	<b>0,37536</b>	<b>0,37232</b>	<b>0,35832</b>
0,8	<b>0,37598</b>	<b>0,37256</b>	<b>0,35900</b>
$C_x$ верх	<b>0,37651</b>	<b>0,37276</b>	<b>0,35959</b>
$P_{си}$ нижн	<b>0,010758</b>	<b>0,011062</b>	<b>0,011766</b>
0,2	<b>0,010753</b>	<b>0,011060</b>	<b>0,011761</b>
0,4	<b>0,010748</b>	<b>0,011058</b>	<b>0,011756</b>
$P_{си}$ середн	<b>0,010746</b>	<b>0,011058</b>	<b>0,011754</b>
0,6	<b>0,010745</b>	<b>0,011057</b>	<b>0,011752</b>
0,8	<b>0,010741</b>	<b>0,011056</b>	<b>0,011748</b>
$P_{си}$ верх	<b>0,010739</b>	<b>0,011055</b>	<b>0,011745</b>

Тут показано лише фрагмент повної таблиці. З непоказаних стовпчиків видно, що у цій програмі кращі результати дає формула опору повітря з постійним показником ступеня «2». Далі, збільшення другої швидкості до 30,94 і 35,8 км/год призводить до незначного збільшення середнього  $C_x$  (до 0,3786 і 0,3888) і відповідного зменшення середнього опору коченню (до 0,01076 и 0,01081)

Недоліком цього надійного і перевіреного методу є необхідність усувати вплив ухилу, вітру та втрат у трансмісії. Останні два фактори досить слабкі, але ухил – дуже впливовий, такого ж порядку як опір коченню. Помилка у його визначенні може спотворити решту розрахунків.