

УДК 629.018

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.266-273](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.266-273)**М. А. Подригало**, проф., д-р техн. наук, **А. В. Ужва**, доц., канд. техн. наук,**В. С. Шеїн**, доц., канд. техн. наук*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна**e-mail: sheinvskhadi@gmail.com*

Використання масштабного моделювання для оцінки точності вимірювання параметрів автомобілів і двигунів у нестандартних умовах

Виробництво мобільної техніки, зокрема автомобілів або двигунів неможливе без проведення випробувань дослідних зразків. З огляду на значні витрати ресурсів, зокрема – часу, на виробництво одного натурного дослідного зразка та проведення його випробувань, актуальним було та лишається випробування масштабних натурних моделей. У роботі представлені дослідження необхідної точності вимірювання фізичних величин для випадків випробувань двигунів внутрішнього згоряння на часткових швидкісних характеристиках, при форсованих випробуваннях автомобілів на надійність та при випробуваннях швидкісних автомобілів на динамічність.

випробування автомобільної техніки, форсовані випробування, часткові швидкісні характеристики, масштабне моделювання, масштабний коефіцієнт, оцінка точності вимірювань, похибка вимірювань

Постановка проблеми. Натурне (масштабне) моделювання широко використовується в різних галузях науки й техніки. Це дозволяє скоротити час проєктування та доводки машин. Науковою основою натурального масштабного моделювання є теорія подоби, методи якої дозволяють побудувати систему масштабних коефіцієнтів (масштабів), що дозволяють переводити результати з натурних масштабних випробувань до реальної машини.

Проведені раніше дослідження виявили, що для отримання адекватності натурних і масштабних результатів потрібно скорегувати вимоги до точності вимірювання параметрів різних величин під час масштабних випробувань.

Слід відзначити, що проведення випробувань автомобілів і двигунів в умовах, що різняться від стандартних, потребує корегування вимог до точності вимірювання параметрів, які досліджуються.

У статті, що розглядається, проведено дослідження необхідної точності вимірювання фізичних величин для випадків випробувань двигунів внутрішнього згоряння на часткових швидкісних характеристиках, при форсованих випробуваннях автомобілів на надійність та при випробуваннях швидкісних автомобілів на динамічність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для уникнення помилок на ранній стадії проєктування, які можуть суттєво вплинути на виробництво нових зразків техніки, застосовують методи масштабного моделювання.

Масштабне натурне моделювання знайшло широке застосування в таких галузях науки і техніки, як кораблебудування, авіабудування, галузеве та енергетичне машинобудування, автомобілебудування. В роботі [1] показано, що при конструюванні нових зразків лопатних машин проводять лабораторні дослідження на масштабних моделях лопатей: перевіряються і остаточно встановлюється форма лопатей робочого колеса та спрямовуючого апарату, визначається ККД насоса та його зміна в залежності від кількості обертів, продуктивності, напору, а також досліджується явище кавітації.

Теорiя подоби чи теорiя узагальнених змiнних є теоретичною базою для проведення випробувань з використанням натурних моделей [2].

Практичне застосування натурального моделювання щодо руху автомобiля уперше було виконане в iнститутi автомобiльних iнженерiв в Англiї [3]. Дослiдження полягали в оцiнцi впливу гальмування переднiх i заднiх колiс на стiйкiсть при гальмуванні моделi автомобiля.

Використання масштабного натурального моделювання в автомобiлебудуванні отримало подальший розвиток й у подальшому використовувалося О.С. Курочкiним при дослiдженнi механiки повороту тягача з причепом [4]. Крім того, В.М. Поляков застосовував метод масштабного моделювання при дослiдженнi маневреностi триланкових автопоїздiв [5].

Натурне моделювання використовувалося також представниками наукової школи професора В.П. Сахно [6], зокрема, П.Б. Прогнiй розглядав при дослiдженнi стiйкостi автомобiля у процесi гальмування [7].

Масштабне моделювання виконується з урахуванням масштабних коефiцiєнтiв таких параметрiв (механiчних величин), як лiнiйнi розмiри моделi, маса, швидкiсть, моменти iнерцiї, час, коефiцiєнти демпфування, жорсткостi тощо. В свою чергу, побудова системи масштабних коефiцiєнтiв передбачає створення математичної моделi, а саме системи диференцiйних рiвнянь, що описує динамiку натурального об'єкту.

Прикладом може слугувати вплив пружних та демпфувальних сил на колеса автомобiля, що викликають вiдведення автомобiля вiд траєкторiї в горизонтальнiй площинi вiдносно центральної вертикальної осi. Такий вплив на динамiку автомобiлiв розглядав в своїй роботi Д.Р. Еллiс [8].

Для розв'язання iнварiантних задач зв'язку, що встановлюють залежностi мiж фiзичними характеристиками процесу використовується критерiальна залежнiсть [9].

Масштабне моделювання при проведеннi експериментальних дослiджень автомобiля розглянуто в роботi [10]. У роботi [10] також наведено формули для розрахунку основних фiзичних величин, що використовуються при випробуванні автомобiлiв, двигунiв й iнших мобiльних машин (таблиця 1). У зазначенiй роботi [10], також визначено вимоги до точностi вимiрювання фiзичних величин при проведеннi натурних масштабних випробувань.

Таблиця 1 – Масштаби подоби механiчних величин

№ з/п	Найменування механiчної величини	Розмiрнiсть	Масштаб подоби	Формула для розрахунку масштабу подоби
1	2	3	4	5
1	Лiнiйний розмiр (характерний)	$[L]$, м	m_L	L_H / L_M
2	Час	$[t]$, с	m_t	$\sqrt{m_L}$
3	Маса	$[m]$, кг	m_M	m_L^3
4	Швидкiсть	$[L \cdot t^{-1}]$, м/с	m_V	$\sqrt{m_L}$
5	Сила	$[m \cdot L \cdot t^{-2}]$, Н	m_F	m_L^3
6	Потужнiсть	$[F \cdot V]$, Вт	m_N	$m_L^{7/2}$
7	Робота (енергiя)	$[N \cdot t]$, Дж	m_W	m_L^4
8	Момент iнерцiї	$[m \cdot L^2]$, кг·м ²	m_Y	m_L^5
9	Коефiцiєнт жорсткостi	$[F / L]$, Н/м	m_c	m_L^2

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
10	Коефіцієнт загасання	$[F \cdot t \cdot L^{-1}]$, Н·с/м	m_β	$m_L^{5/2}$
11	Коефіцієнт відводу шин	$[F]$, Н/рад	$m_Y = m_\delta$	m_L^3
12	Коефіцієнт демпфування шини	$[F \cdot t]$, Нс	m_λ	$m_L^{5/2}$

Джерело: на підставі [10]

Разом із цим, у роботі не розглянуто випробування автомобілів і двигунів у нестандартних умовах та не розроблено для цих випадків вимог до точності вимірювання параметрів фізичних величин.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення вимог до точності вимірювання фізичних величин при нестандартних випробуваннях автомобілів і двигунів шляхом використання теорії подоби за рахунок побудови масштабних коефіцієнтів.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити такі завдання:

- визначити вимоги до точності вимірювання параметрів двигунів при випробуваннях на часткових швидкісних характеристиках;
- визначити вимоги до точності вимірювання параметрів при форсованих випробуваннях автомобілів та їх елементів на надійність;
- визначити вимоги до точності вимірювання при випробуваннях швидкісних автомобілів на динамічність.

Виклад основного матеріалу. Випробування автотракторних двигунів на стендах є відповідальним етапом процесу постановки на виробництво. Вірогідність отриманих характеристик двигунів залежить від точності вимірювання параметрів фізичних величин. Точність вимірювань фізичних величин безпосередньо впливає на адекватність результатів натурних та модельних випробувань. В роботі Х. Харта [11] зазначено, що вимоги до похибок вимірювань залежать від того чи може допускатися визначена похибка, чи похибка повинна бути за можливості зменшена. І це рішення буває довільним. У вимірювальній техніці існує правило [11]: «Вимірювати не так точно як можливо, а так точно, як необхідно».

Точність вимірювання описує якість вимірювань у цілому, поєднуючи поняття вірності вимірювань і прецизійності вимірювань. Поняття точності також використовується як якісна характеристика засобу вимірювання, що відображає близькість його похибки до нуля. Точність вимірювання кількісно оцінюють зворотною величиною модуля відносної похибки.

При проведенні випробувань двигунів внутрішнього згоряння на стенді визначають: максимальну ефективну потужність двигунів N_{emax} ; максимальний ефективний крутний момент M_{emax} ; ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД) η_e ; частоту обертів (кутову швидкість ω_e) n_e колінчастого валу; витрати палива; тощо. Найчастіше метою випробувань на стенді є визначення характеристик ДВЗ при реалізації максимальної ефективної потужності N_{emax} .

У роботі [1] розглядалося питання визначення вимог до вимірювань фізичних величин при натурному масштабному моделюванні. Визначено, що зі зростанням лінійного масштабного коефіцієнту при фізичному моделюванні зростають вимоги до точності вимірювань. У відповідності до лінійного масштабного коефіцієнту необхідно обирати й масштабний коефіцієнти інших фізичних величин.

При випробуванні ДВЗ на часткових швидкісних характеристиках ефективна потужність, яка реалізується, менше ніж максимальна ефективна потужність N_{emax} .

Тому випробування, що проводяться на режимах, які вказано, можна розглядати як масштабне моделювання потужності.

Масштабний коефіцієнт потужності в цьому випадку можна визначити як [1]

$$m_N = \frac{N_{e\max}}{N'_{e\max}}, \quad (1)$$

де $N'_{e\max}$ – максимальна ефективна потужність двигуна на частковій швидкісній характеристиці.

Співвідношення максимально припустимих похибок при визначенні параметрів $N_{e\max}$ та $N'_{e\max}$ [1] можна визначити наступним чином:

$$\frac{\Delta N_{e\max}}{[\Delta N'_{e\max}]_{\min}} = m_N, \quad (2)$$

де $\Delta N_{e\max}$ – регламентована похибка вимірювання потужності ДВЗ на зовнішній швидкісній характеристиці;

$[\Delta N'_{e\max}]_{\min}$ – припустима похибка при вимірюванні потужності на частковій швидкісній характеристиці.

З виразу (2) визначимо

$$[N'_{e\max}]_{\min} = \frac{\Delta N_{e\max}}{m_N} = \frac{\Delta N_{e\max}}{N_{e\max}} = N'_{e\max}. \quad (3)$$

З виразу (3) робимо висновок про те, що припустимі відносні похибки вимірювань потужності на зовнішніх часткових характеристиках ДВЗ повинні дорівнювати одна одній.

У відомій роботі [1] вихідним параметром для розрахунку масштабних коефіцієнтів фізичних величин є лінійний масштабний коефіцієнт m_L . У випадку, що розглядається, лінійний масштабний коефіцієнт m_L є умовною величиною, пов'язаною з масштабними коефіцієнтами інших фізичних величин залежностями

$$m_N = m_L^{7/2}. \quad (4)$$

Визначимо масштабний коефіцієнт ефективного крутного моменту

$$m_{Me} = \frac{M_{e\max}}{M'_{e\max}} = \frac{N_{e\max}}{\omega_{e\max}} \cdot \frac{\omega'_{e\max}}{N'_{e\max}} = \frac{m_N}{m_{\omega}}, \quad (5)$$

де m_{ω} – масштабний коефіцієнт кутової швидкості колінчастого валу;

$M_{e\max}$; $N_{e\max}$; $\omega_{e\max}$ – параметри ДВЗ при випробуваннях на зовнішній швидкісній характеристиці;

$M'_{e\max}$; $N'_{e\max}$; $\omega'_{e\max}$ – параметри ДВЗ при випробуваннях на частковій швидкісній характеристиці.

Масштабний коефіцієнт кутової швидкості

$$m_{\omega} = \frac{\omega_{e\max}}{\omega'_{e\max}} = \frac{V_{\max}/r}{V'_{\max}/r'} = \frac{V_{\max}}{V'_{\max}} \cdot \frac{r'}{r} = \frac{m_V}{m_L}, \quad (6)$$

де $V_{\max}$; $V'_{\max}$ – умовна лінійна швидкість;

r ; r' – умовні радіуси обертання (коефіцієнти зв'язку між лінійними та кутовими швидкостями колінчастого валу).

Вважаючи, що $m_V = \sqrt{m_L}$, перетворимо вираз (6) до вигляду

$$m_{\omega e} = \frac{\sqrt{m_L}}{m_L} = m_L^{-1/2}. \quad (7)$$

Вираз (5) з урахуванням (4) та (7) набуде вигляд

$$m_{Me} = \frac{m_N}{m_{\omega e}} = \frac{m_L^{7/2}}{m_L^{-1/2}} = m_L^4. \quad (8)$$

Вирішення рівнянь (4) та (8) дозволяє визначити взаємозв'язок між показниками m_{Me} і m_N

$$m_{Me} = m_N^{8/7} = \left(\frac{N_{e\max}}{N'_{e\max}} \right)^{\frac{8}{7}}. \quad (9)$$

За аналогією, з визначенням похибки вимірювання потужності, визначимо похибку вимірювання ефективного крутного моменту ДВЗ на часткових швидкісних характеристиках

$$\left[\Delta M'_{e\max} \right]_{\min} = \frac{\Delta M_{e\max}}{m_{Me}} = \frac{\Delta M_{e\max}}{\left(N_{e\max} / N'_{e\max} \right)^{\frac{8}{7}}}. \quad (10)$$

При визначенні вимог до точності вимірювання кутової швидкості обертання колінчастого валу масштабний коефіцієнт кутової швидкості [1]

$$m_{\omega e} = \frac{m_L}{m_V} = \frac{m_L}{\sqrt{m_L}} = m_L^{-1/2}, \quad (11)$$

де m_V – масштабний коефіцієнт лінійної швидкості.

З рівняння (11) отримаємо

$$m_L = m_{\omega e}^{-2}, \quad (12)$$

а з рівняння (4)

$$m_L = m_N^{2/7}. \quad (13)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (12) і (13) отримаємо

$$m_{\omega e} = m_N^{-1/7}. \quad (14)$$

Припустима похибка вимірювання кутової швидкості колінчастого валу

$$\left[\Delta \omega'_e \right]_{\min} = \frac{\Delta \omega_e}{m_{\omega e}} = \frac{\Delta \omega_e}{\left(m_N \right)^{-\frac{1}{7}}} = \Delta \omega_e \cdot m_N^{-1/7}. \quad (15)$$

Таким чином, аналізуючи залежності (3) і (10), можна зробити висновок про те, що перехід із зовнішньої та часткової швидкісної характеристик ДВЗ потрібно підвищувати точність вимірювання ефективних потужностей і крутного моменту. А похибка вимірювання кутової швидкості колінчастого валу може бути збільшена.

Коефіцієнт прискорення при форсованих випробуваннях (формування по навантаженню) [2] можна визначити за наступною залежністю

$$K_{np} = \left(\frac{\tau_{\phi}}{\tau} \right)^m, \quad (16)$$

де τ , τ_{ϕ} – напруга в деталі в номінальному та форсованому режимах, відповідно;

m – показник ступеню (емпіричний); складає в середньому від 6 до 12 (визначається за допомогою кривої Велера [2]).

Якщо приймати, що напруга в матеріалі пропорційна діючим моментам чи силам, то вираз (16) можна перетворити на

$$K_{np} = \left(\frac{M_{\phi}}{M} \right)^m, \quad (17)$$

де M ; M_{ϕ} – моменти, що діють в номінальному та форсованому режимах.

Враховуючи, що

$$\frac{M_{\phi}}{M} = m_M - \text{масштабний коефіцієнт моменту}, \quad (18)$$

перетворимо (17)

$$K_{np} = (m_M)^m. \quad (19)$$

Звідси отримаємо

$$m_M = K_{np}^{1/m}. \quad (20)$$

Тоді припустима похибка вимірювання при форсуванні режимів буде дорівнювати

$$[\Delta M_{\phi}]_{\min} = \frac{\Delta M}{m_M} = \frac{\Delta M}{M} \cdot M_{\phi} = \frac{\Delta M}{K_{np}^{1/m}}, \quad (21)$$

де ΔM – припустима похибка вимірювання моменту при номінальному режимі.

Аналіз виразу (21) показує, що при зростанні величини коефіцієнта прискорення при форсованих випробуваннях припустима похибка вимірювання навантаження повинна зменшуватись не залежно від фізичної величини.

Вихідним параметром для розрахунку системи масштабних коефіцієнтів і вимог до точності вимірювання фізичних величин при динамічних випробуваннях швидкісних автомобілів є масштабний коефіцієнт швидкості

$$m_V = \frac{V_{cm}}{V_{ув}} < 1, \quad (22)$$

де $V_{ув}$ – максимальна швидкість автомобіля, що випробовується;

V_{cm} – максимальна швидкість стандартного автомобіля.

Цей масштабний коефіцієнт пов'язаний з лінійним масштабним коефіцієнтом (табл. 1) залежністю

$$m_V = m_L^{1/2}. \quad (23)$$

Інші масштабні коефіцієнти (табл. 1) також пов'язані з лінійним масштабним коефіцієнтом. Прирівнюючи праві частини відповідних рівнянь одну до одної, отримаємо

$$m_t = m_V - \text{для часу}; \quad (24)$$

$$m_M = m_V^3 - \text{для маси}; \quad (25)$$

$$m_F = m_V^3 - \text{для сили}; \quad (26)$$

$$m_N = m_V^7 - \text{для потужності}; \quad (27)$$

$$m_W = m_V^8 - \text{для роботи (енергії)}. \quad (28)$$

Тоді припустимі похибки вимірювань будуть дорівнювати

$$[\Delta V_{ув}]_{\min} = \frac{\Delta V_{cm}}{m_V} = \frac{\Delta V_{cm}}{V_{cm}} \cdot V_{ув}; \quad (29)$$

$$[\Delta m_{ув}]_{\min} = \frac{\Delta m_{cm}}{m_M} = \frac{\Delta m_{cm}}{V_{cm}^3} \cdot V_{ув}^3; \quad (30)$$

$$[\Delta F_{ув}]_{\min} = \frac{\Delta F_{cm}}{m_F} = \frac{\Delta F_{cm}}{V_{cm}^3} \cdot V_{ув}^3; \quad (31)$$

$$[\Delta N_{ув}]_{\min} = \frac{\Delta N_{cm}}{m_N} = \frac{\Delta N_{cm}}{V_{cm}^7} \cdot V_{ув}^7; \quad (32)$$

$$[\Delta W_{ув}]_{\min} = \frac{\Delta W_{cm}}{m_W} = \frac{\Delta W_{cm}}{V_{cm}^8} \cdot V_{ув}^8. \quad (33)$$

Аналіз залежностей (29) – (33) показує, що зі зростанням максимальної швидкості автомобілів по відношенню до її стандартної величини при динамічних випробуваннях мінімальна припустима похибка вимірювання фізичних величин буде збільшуватись.

Висновки. 1. Перехід від зовнішньої на часткову швидкісну характеристику при проведенні випробувань ДВЗ повинен супроводжуватись підвищенням точності вимірювання ефективної потужності і крутного моменту. При цьому похибка вимірювання кутової швидкості колінчастого вала може бути збільшена.

2. При форсованих випробуваннях автомобілів, двигунів та їх елементів зі зростанням коефіцієнта прискорень найбільша припустима похибка вимірювань параметра, що вимірюється повинна зменшуватись.

3. При випробуваннях швидкісних автомобілів, зі зростанням максимальної швидкості останніх (по відношенню до стандартної величини при динамічних випробувань автомобілів) мінімальна припустима похибка вимірювань фізичних величин може бути збільшена.

Список літератури

1. Угинчус А. А. Гидравлика и гидравлические машины. Харків: ХГУ, 1970. 295 с.
2. Gukhman A. A. Introduction to the Theory of Similarity. London: Academic Press, 1965. 256 p.
3. Olley M. Road Manners of the Modern Car. *Proceedings of the Institution of Automobile Engineers*. London, 1946. 41(1). С. 523–551. DOI:10.1243/PIAE_PROC_1946_041_034_02.
4. Курочкін О. С. Дослідження маневреності та стійкості автомобільного поїзда з довгобазним багатовісним напівприцепом: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 1978. 161 с.
5. Поляков В. М., Сахно В. П. Триланкові автопоїзди. Маневреність: монографія. Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2014. 206 с.
6. Автомобілі. Стійкість: монографія / В. Г. Вербицький, В. П. Сахно та ін. Луганськ: Ноулідж, 2013. 176 с.
7. Прогній П. Б. До аналізу стійкості автопоїзда у гальмівному режимі. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. Вип. 27. С. 299–305.
8. Ellis J. R. Vehicle Dynamics. London: Business Books Limited, 1969. 243 p.
9. Sedov L. I. Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. London: Academic Press, 1959. 363 p. DOI:10.1016/C2013-0-08173-X.

10. Подригало М. А., Шеїн В. С. Масштабне моделювання при проведенні експериментальних досліджень автомобіля. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Науковий журнал. 2023. №1(20). С. 187–197.
11. Hans Hart. Einführung in die Messtechnik. 5. Durchgesehene Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik, 1989. 379 s. Краснокутський В. М., Нічке В. В., Пімонов Г. Г. Якість машин: навч.-метод. посіб. Харків: ХНАДУ, 2009. 224 с.

Reference

1. Uhinchus, A. A. (1970). Hydraulics and hydraulic machines. *Kharkiv: HGU* [in Russian].
2. Gukhman, A. A. (1965). Introduction to the theory of similarity. London: Academic Press.
3. Olley, M. (1946). Road manners of the modern car. *Proceedings of the Institution of Automobile Engineers*, 41(1), 523–551. https://doi.org/10.1243/PIAE_PROC_1946_041_034_02
4. Kurochkin, O. S. (1978). Research of maneuverability and stability of a road train with a long-wheelbase multi-axle semi-trailer: Candidate's thesis. Kyiv [in Ukrainian].
5. Polyakov, V. M., & Sakhno, V. P. (2014). Three-link road trains. Maneuverability: Monograph. *Luhansk: Vyd-vo "Noulidzh"* [in Ukrainian].
6. Verbytskyi, V. H., Sakhno, V. P., et al. (2013). Automobiles. Stability: Monograph. *Luhansk: Vyd-vo "Noulidzh"* [in Ukrainian].
7. Prohni, P. B. (2013). On the analysis of road train stability in braking mode. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 27, 299–305 [in Ukrainian].
8. Ellis, J. R. (1969). Vehicle dynamics. London: Business Books Limited.
9. Sedov, L. I. (1959). Similarity and dimensional methods in mechanics. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-08173-X>
10. Podryhalo, M. A., Shein, V. S. (2023). Scale modelling in conducting experimental automobile research. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovyi zhurnal*, 1(20), 187–197 [in Ukrainian].
11. Hans, H. (1989). Introduction to measurement technology (5th revised edition). Berlin: VEB Verlag Technik.
12. Krasnokutskyi, V. M., Nichke, V. V., & Pimonov, H. H. (2009). Machine quality: Training and methodological manual. *Kharkiv: KhNADU* [in Ukrainian].

Mykhailo Podryhalo, Prof., DSc., **Anatolii Uzhva**, Assoc. Prof., PhD, **Vitalii Shein**, Assoc. Prof., PhD
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine,

Using Scale Modeling to Assess the Accuracy of Measuring Parameters of Vehicles and Engines under Non-Standard Conditions

The production of mobile technology, particularly automobiles or engines, is impossible without conducting tests on experimental samples. However, significant resource costs, notably time, for producing one natural experimental sample and conducting its tests affect both the cost price of the future series and the speed of putting the series into production. In view of this, testing of large-scale physical models was and remains relevant. The aim of the research is to determine the requirements for the accuracy of measuring physical quantities in non-standard tests of automobiles and engines by using similarity theory through the construction of scale coefficients.

The approaches adopted in the work to achieve this goal are based on methods of similarity theory, measurement methods and principles, and the theory of measurement errors. The study found that transitioning from external to partial speed characteristics when conducting engine tests should be accompanied by increased accuracy in measuring effective power and torque. In this regard, the measurement error of the crankshaft angular velocity may be increased. It was also determined that during forced tests of automobiles, engines, and their components, as the acceleration coefficient increases, the maximum permissible measurement error of the measured parameter should decrease. It was established that during tests of high-speed automobiles, as the maximum speed increases, the minimum permissible measurement error of physical quantities may be increased.

The research has been conducted on the required accuracy of measuring physical quantities for cases of testing internal combustion engines on partial speed characteristics, for accelerated reliability tests of automobiles, and for dynamic testing of high-speed automobiles. The obtained results can be recommended for testing engines on partial speed characteristics, for accelerated reliability tests of automobiles and their components, and for testing high-speed automobiles.

automotive testing, accelerated testing, partial speed characteristics, scale modeling, scale coefficient, measurement accuracy assessment, measurement error

Одержано (Received) 19.08.2025

Прорецензовано (Reviewed) 29.08.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.09.2025