

Застосування методу паралельних спостережень при випробуваннях автомобілів / Подригало М., Полянський О., Клец Д. [та ін.] // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.57-62. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 629.3.018.7:621.3.088.3

**М. Подригало, докт. техн. наук; О. Полянський, докт. техн. наук;
Д. Клец, канд. техн. наук; А. Коробко; А. Мостова**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПАРАЛЕЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ АВТОМОБІЛІВ

Резюме. Обґрунтовано доцільність використання методу паралельних спостережень з метою підвищення точності визначення параметрів автомобіля при випробуваннях. Показано практичну реалізацію методу паралельних спостережень на прикладі вимірювання сил опору руху автомобіля.

Ключові слова: вимірювання, паралельні спостереження, похибка, сила опору.

M. Podrigalo, O. Polyanski, D. Klets, A. Korobko, A. Mostova

APPLICATION OF PARALLEL OBSERVATION METHOD FOR AUTOMOBILE TESTING

The summary. The expediency of application the method of parallel observation with the aim of increasing the determination point of automobile parameters in testing is grounded. It is shown practical realization of parallel observation method for example of measuring resistance powers at automobile motion.

Key words: measuring, parallel observation, error, resistance powers.

Постановка проблеми. Зменшення похибки вимірювань забезпечує підвищення точності отриманих результатів при експериментальних дослідженнях і сертифікаційних випробуваннях автомобілів.

В даній статті запропоновано новий метод проведення вимірювань при дорожніх випробуваннях автомобілів, який автори назвали «метод паралельних спостережень». Цей метод дозволяє підвищити точність результатів вимірювань за рахунок зменшення випадкової похибки. Крім того, забезпечується скорочення часу проведення вимірювань при експериментальних дослідженнях.

Результати теоретичних досліджень у статті ілюструються результатами визначення коефіцієнта аеродинамічного опору легкового автомобіля з допомогою бортового обчислювального комплексу на основі трикоординатних датчиків прискорень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Похибка результатів вимірювань являє собою різницю між вимірним $X_{вим}$ значенням величини X і її істинним значенням $X_{іст}$ [1]

$$\delta X = X_{вим} - X_{іст}. \quad (1)$$

Під істинним значенням йдеться про значення фізичної величини, яке б ідеальним чином відобразало її в кількісному і якісному відношеннях.

Вимірне значення $X_{вим}$ фізичної величини X завжди відрізняється від її істинного значення на величину δX , яку експериментатор не знає, але обмежує допустимою похибкою вимірювання. Верхня межа абсолютного значення відносної помилки

$$|\delta X| \leq \Delta X, \quad (2)$$

де ΔX – похибка вимірювання або похибка вимірюваного $X_{вим}$ значення величини X .

Окремі одиничні вимірювання прийнято називати спостереженнями, а їх сукупність – вимірюванням. Вимірювання повинно складатися не менше ніж із 4-5 спостережень. У значних наукових дослідженнях їх, як правило, проводять значно більше [2].

В наукових і технічних вимірюваннях навіть за незмінних умов дослідів результати спостережень різні – присутній розподіл даних. Ще більший розподіл при проведенні експерименту в перемінних умовах. Багатократні спостереження допомагають уточнювати результати вимірювань і оцінювати їх точність [2].

Помилка будь-якого спостереження складається із систематичних і випадкових помилок. Основний шлях для виявлення систематичних помилок – ретельний аналіз умов експерименту, застосування відповідної теорії, методики експерименту тощо [2]. Якщо знайдена причина систематичної помилки, то її можна усунути, замінюючи методику експерименту або введенням поправки на цю помилку.

Випадкові помилки виникають при дії неконтрольованих, перемінних від досліду до досліду причин. Вони з'являються при сумісній дії досить великої кількості незалежних причин. Кожна із них може змінюватися закономірно, але якщо ці закони для різних величин різні, то сумарна помилка буде змінюватися хаотично [2].

Випадкові помилки за своєю природою не можуть бути усунені введенням поправок. Значення, якого набуває випадкова помилка, в кожному конкретному вимірюванні непередбачуване.

При проведенні експериментальних досліджень автомобілів вимірювання здійснюються шляхом проведення послідовної серії заїздів, у процесі кожного з яких проводять спостереження за параметрами, що цікавлять нас (фізичними величинами). Безумовно, такі вимірювання супроводжуються систематичними і випадковими помилками. Випадкова помилка визначається відмінностями умов проведення одного досліду (заїзду) від іншого. До таких перемінних умов можна віднести силу і напрямок вітру, нерівномірність коефіцієнтів зчеплення коліс з дорогою, коефіцієнтів опору коченню, поздовжній і поперечний ухили дороги тощо.

Точність вимірювання параметрів автомобіля при експериментальних і сертифікаційних випробуваннях можна підвищити, виключивши вплив перемінних зовнішніх умов проведення дослідів. Для цього необхідно проводити не послідовні [2], а паралельні спостереження, вимірюючи одні й ті ж параметри автомобіля одночасно кількома датчиками.

Мета роботи – підвищення точності вимірювання параметрів автомобіля при випробуваннях.

Постановка завдань. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести обґрунтування методу паралельних спостережень;
- провести ілюстрацію ефективності застосування методу паралельних спостережень на прикладі визначення параметрів опору руху автомобіля.

Обґрунтування методу паралельних спостережень. Збільшення числа спостережень дозволяє зменшити помилку вимірювання. Для підтвердження цього факту запишемо вираз (1) для i -го спостереження

$$X_{вим\ i} = X_{icm} + \delta X_i. \quad (3)$$

Середнє значення вимірюваної величини за серію n спостережень

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{вим\ i} = X_{icm} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_i. \quad (4)$$

При значній кількості спостережень ($n \rightarrow \infty$) можна вважати, що кількість

помилки зі знаком «-» буде дорівнювати кількості помилок зі знаком «+», а їх сума буде дорівнювати нулю.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = X_{\text{сум}} + \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \delta X_i^+ + \sum_{i=1}^n \delta X_i^-}{n} \right) = X_{\text{іст}}. \quad (5)$$

Таким чином, при значному числі спостережень, близькому до безкінечності, $X_{\text{вим}} = X_{\text{іст}}$.

Якщо розділити сумарну помилку вимірювання на систематичну і випадкову, то вираз (3) набуде вигляду

$$X_{\text{вим } i} = X_{\text{іст}} + \delta X_{\text{сум } i} + \delta X_{\text{вип } i}, \quad (6)$$

де $\delta X_{\text{сум } i}$, $\delta X_{\text{вип } i}$ – i -та систематична і випадкова похибка.

Після підстановки (6) в (4) отримаємо

$$\bar{x}_{\text{вим}} = X_{\text{іст}} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_{\text{сум } i} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_{\text{вип } i}. \quad (7)$$

При введенні поправки на систематичну помилку вимірювання вираз (7) набуде вигляду

$$\bar{x}_{\text{вим}} = X_{\text{іст}} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta X_{\text{сум } i} - \varepsilon_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_{\text{вип } i}. \quad (8)$$

При послідовній серії спостережень, приймаючи, що $\delta X_{\text{сум } i} = \varepsilon_i$, середнє значення виміряної величини буде відрізнятися від істинного значення на величину середнього значення випадкової помилки

$$\delta \bar{x}_{\text{вим}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_{\text{вип } i}. \quad (9)$$

При обмеженій кількості спостережень ($n = 4-5$) істинне значення виміряної величини буде знаходитись у межах

$$\bar{x}_{\text{вим}} - \delta \bar{x}_{\text{вим}} \leq X_{\text{іст}} \leq \bar{x}_{\text{вим}} + \delta \bar{x}_{\text{вим}}. \quad (10)$$

При паралельних вимірюваннях умови проведення дослідів однакові для всіх спостережень. У цьому випадку $\delta X_{\text{вип}} = 0$ і $\delta \bar{x}_{\text{вим}} = 0$ і вираз (8) набуде вигляду

$$\bar{x}_{\text{вим}} = X_{\text{іст}} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta X_{\text{сум } i} - \varepsilon_i) \quad (11)$$

або

$$\bar{x}_{\text{вим}} = X_{\text{іст}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta X_{\text{сум } i} - \varepsilon_i). \quad (12)$$

Відмінність істинного значення величини X від виміряного буде залежати від точності визначення поправки ε_i в кожному спостереженні. При значній кількості спостережень $n \rightarrow \infty$ і $(\delta X_{\text{сум } i} - \varepsilon_i) \rightarrow \infty$ величина $\bar{x}_{\text{вим}} \rightarrow X_{\text{іст}}$.

Таким чином, застосування методу паралельних спостережень дозволяє підвищити точність вимірювання параметрів, які нас цікавлять.

Визначення параметрів опору руху автомобіля. Раніше [3] з використанням методу парціальних прискорень [4] ми запропонували метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля з допомогою бортового вимірювального комплексу, що складається з двох трикоординатних датчиків прискорень і обчислювального блоку [5, 6]. Для прямолінійного руху автомобіля [3] була визначена сумарна сила опору обертанню коліс, сила опору повітря та їх компоненти – сумарний коефіцієнт

дорожнього опору ψ з приведеним до ведучих коліс моментом опору в трансмісії та фактор обтічності kF [3]

$$\psi = \frac{1}{g} \left\{ \frac{\dot{v}_a(t_2)}{[v_a(t_2)/v_a(t_1)]} - v_a(t_1) \left[\frac{1}{[v_a(t_2)/v_a(t_1)]} \right] \right\}, \quad (13)$$

$$kF = m_a \frac{\dot{v}_a(t_1) - \dot{v}_a(t_2)}{[v_a(t_2)]^2 - [v_a(t_1)]^2}, \quad (14)$$

де m_a – маса автомобіля, кг;

$v_a(t_1), v_a(t_2)$ – лінійна швидкість автомобіля в моменти часу t_1 і t_2 відповідно;

$\dot{v}_a(t_1), \dot{v}_a(t_2)$ – лінійне прискорення автомобіля в моменти часу t_1 і t_2 відповідно.

У процесі руху автомобіля накатом, послідовно з кроком $\Delta t = t_2 - t_1$, було отримано масив значень ψ і kF . Об'єм масиву даних, що визначається вибором кроку Δt і тривалістю періоду руху накатом $T_{\text{виб}}$, дозволяє провести статистичне опрацювання результатів, отримати математичне очікування і середнє квадратичне відхилення указаних параметрів. При попарному послідовному опрацюванні даних об'єм вибірки складає

$$N = \frac{T_{\text{виб}}}{\Delta t} + 1. \quad (15)$$

При опрацюванні не тільки за двома послідовними точками, а з допомогою сполучень будь-якої пари точок із масиву N об'єм вибірки збільшується на порядок [3]

$$N' = C_N^2 = N \frac{N-1}{2} \approx 0,5N^2. \quad (16)$$

Указаний метод послідовних спостережень дозволяє отримати добрий статистичний результат завдяки значному збільшенню об'єму вибірки, тобто кількості вимірювань.

Але оскільки параметр ψ залежить від швидкості обертання коліс (швидкості автомобіля), то проявляється систематична помилка вимірювання, зумовлена неточністю теоретичної моделі, покладеної в основу експерименту. Крім того, існує думка, що коефіцієнт аеродинамічного опору автомобіля також залежить від швидкості.

Для точнішого вирішення завдання доцільно застосувати запропонований метод паралельних спостережень. Для отримання достовірного результату вимірювань необхідно провести 4–5 вимірювань [2]. При установці кількості датчиків $k \geq 2$ кількість паралельних спостережень N буде дорівнювати кількості сполучень із k по два датчики (табл. 1)

$$N = C_k^2 = k \frac{k-1}{2}. \quad (17)$$

Таблиця 1. Взаємозв'язок кількості датчиків і кількості паралельних спостережень

Кількість датчиків, k	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість спостережень, N	1	3	6	10	15	21	28	36	45

Із таблиці 1 бачимо, що для отримання надійного результату вимірювання достатньо встановлення 4 датчиків прискорень. За необхідності підвищення точності вимірювань можливе збільшення кількості датчиків до 6. У цьому випадку отримаємо

15 спостережень. Середні значення вимірних параметрів визначають за відомими формулами

$$\bar{\psi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i, \quad (18)$$

$$\frac{\overline{kF}}{m_a} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{kF}{m_a} \right)_i. \quad (19)$$

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{\psi} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\psi_i - \bar{\psi})^2}, \quad (20)$$

$$\sigma_{\frac{kF}{m_a}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{kF}{m_a} \right)_i - \frac{\overline{kF}}{m_a} \right]^2}. \quad (21)$$

Висновки. Проводячи спостереження \dot{v}_a і v_a з деяким кроком часу Δt , виміривши значення $\bar{\psi}$ і $\frac{\overline{kF}}{m_a}$ у визначені моменти часу в інтервалі $T_{виб}$, маємо можливість визначення залежності $\bar{\psi}(v_a)$ і $\frac{\overline{kF}}{m_a} = f(v_a)$.

Пропонований метод паралельних спостережень можна покласти в основу під час проектування приладів для вимірювання параметрів руху автомобіля при динамічних випробуваннях.

Література

1. Харт Х. Введение в измерительную технику / Х. Харт. – М.: Мир, 1999. – 391 с.
2. Романов В.Н. Методы обработки результатов измерений. Издание 2-е дополненное / В.Н. Романов. – СПб: СЗТУ, 2006. – 127 с.
3. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, О.О. Назарько, А.М. Мостова // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2010. – Вип. 28 (травень, 2010). – С. 432–434.
4. Метод парциальных ускорений и его применение при исследовании динамики мобильных машин (в порядке обсуждения) / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, О.П. Алексеев, В.П. Волков, М.А. Подригало, А.С. Полянский // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2010. – Вип. 28 (травень, 2010). – С. 32–36.
5. 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 / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, В.Л. Файст; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u 2010 01136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. №12.
6. Подригало М. Підвищення точності вимірювання параметрів руху автомобіля у процесі динамічних випробувань / М. Подригало, А. Коробко, Д. Клец, О. Назарько, В. Гацько // Метрологія та прилади. – 2010. – № 3. – С. 49–52.

Отримано 07.12.2010