

УДК 53.008:006.9:629.018

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОГО ТЕРТЯ ФРИКЦІЙНИХ ДЕМПФЕРІВ ЗА ВИПРОБУВАНЬ РЕСОРНИХ ПІДВІСІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Г. Черепашук, кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційних приладів і вимірювань,
О. Потильчак, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
Т. Бикова, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри,
 Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Представлено структуру та програмне забезпечення вимірювального комплексу ВК-100 виробництва ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту», призначеного для вимірювання коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань ресорних підвісів вантажних вагонів за їх випробувань. Наведено методику виконання вимірювань та запропоновано методику розрахунку невизначеності вимірювання середнього коефіцієнта відносного тертя.

A structure and software of measuring complex VK-100, which is produced OOO «The Engineering bureau of the Aviation institute» and intended for measuring of average coefficient of relative friction of friction shock absorber of freight carriages at their tests, are described in the article. The implementation of measuring method is resulted and the uncertainty calculation method of average coefficient of relative friction is offered. The equations for weighting coefficients are received by authors and uncertainty calculation in the point of 20 ton of force is made.

Ключові слова: коефіцієнт відносного тертя, методика виконання та невизначеність вимірювання, випробування вагонів.

Keywords: coefficient of relative friction, implementation method and uncertainty of measuring, carriage tests.

На сьогодні інтеграція залізничного транспорту України до загальноєвропейської транспортної системи є одним із пріоритетних завдань. Для створення рухомого складу, здатного інтегруватися до цієї системи, необхідно здійснювати пошук прогресивних технічних рішень відносно розроблення і впровадження нових конструкцій. Виникає необхідність оцінювання технічних показників елементів рухомого складу відповідно до міжнародних норм та угод [1, 2]. Одним із таких технічних показників є середній коефіцієнт відносного тертя фрикційних демпферів [3–6], який характеризує якість останніх і, відповідно, умов перевезення вантажу.

Коефіцієнт відносного тертя фрикційних гасників коливань — це відношення середньої за розтягнення і стиснення сили тертя, яка створюється фрикційним гасником коливань у вертикальному напрямку, до величини статичного навантаження на ресорний підвіс. За умов експериментальних досліджень дійсний коефіцієнт відносного тертя визначають шляхом побудови функціональної залежності прогину ресорного підвісу від навантаження на ресорний комплект в певному діапазоні навантаження за стиснення пружин та їх розтягнення. При цьому постає необхідність оцінки результатів експериментів. Наразі якість результатів вимірювань за випробувань вантажних вагонів ґрунтується на понятті «похибка», що є застарілим і не відповідає сучасним вимогам науки і техніки. Коли виникає потреба у визнанні й порівнянні результатів вимірювання на міжнародному рівні, постає необхідність у виборі підходів до оцінок у термінах «невизначеності». Закон України «Про зміни



Г. Черепашук



О. Потильчак



Т. Бикова

до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» дозволяє існування двох підходів до оцінки результатів вимірювань [7]. Така ситуація спричинює те, що оцінки просто перераховуються із одних в інші, що часто призводить до отримання некоректних результатів. Аналіз літератури показує, що зроблено кілька спроб оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних конструкцій [8–10], але публікацій щодо оцінки невизначеності вимірювань за випробувань вантажних вагонів майже немає. Отже, вирішення питання щодо оцінки невизначеності вимірювань параметрів випробувань конструкцій залізничного транспорту, зокрема, коефіцієнта відносного тертя фрикційних демпферів є актуальною задачею.

Для визначення коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань у ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту» спроектовано та виготовляється вимірювальний комплекс ВК-100. Це комп'ютеризована багатоканальна вимірювальна система, до програмного забезпечення якої закладено методику опрацювання результатів вимірювань з метою визначення такого параметра, як середній коефіцієнт відносного тертя фрикційних демпферів. *Мета статті* — розроблення методики оцінювання невизначеності вимірювання цього параметра.

СТРУКТУРА ВІМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВК-100 ТА ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вимірювальний комплекс ВК-100 призначений для вимірювання середнього коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань ресорних підвісів візків вантажних вагонів. Комплекс складається з одного каналу вимірювання сили та двох каналів вимірювання лінійного переміщення, які пов'язані з персональним комп'ютером за допомогою інтерфейсу RS-485. Комплекс виконує такі функції: введення вихідних даних, вимірювання поточних значень сили та переміщення, опрацювання результатів вимірювань, формування звітності стосовно випробування, інші допоміжні функції.

Структурну схему комплексу наведено на рис. 1.

До складу вимірювального каналу сили входить тензOMETричний сенсор сили стис-

кання HSC-100 з верхньою границею вимірювання 100 тс, який монтується в під'ятникове місце надресорної балки та вимірює силу, що діє на візок.

До складу вимірювальних каналів лінійного переміщення входять потенціометричні сенсори RC20 200 G1R8K з верхньою границею вимірювання 200 мм, які встановлюються між надресорною балкою і боковими рамами в околах пружин ресорних комплектів.

ТензOMETричний і потенціометричні сенсори підключені до одностипних блоків нормувальних перетворювачів БНП1, БНП2, БНП3, які здійснюють живлення сенсорів і перетворення їх вихідних сигналів, пропорційно вимірюваним величинам. До складу БНП також входять аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які перетворюють вимірюваний сигнал у послідовний цифровий код. БНП встановлюються на відстані (0,5...1) м від сенсорів і з'єднуються між собою, із блоком живлення і адаптером інтерфейсів RS-485/USB кабелями довжиною 5 м. Довжини кабелів живлення та інтерфейса можна подовжити до 100 м з можливістю підключення до них до 5 аналогічних вимірювальних каналів.

Комплекс ВК-100 підключається до персонального комп'ютера (ПК) через адаптер інтерфейсів RS-485/USB, який створює в ПК віртуальний COM-порт. Живлення вимірювальних каналів здійснює мережевий блок живлення з вихідною напругою 9 В.

На ПК встановлюється прикладне програмне забезпечення, яке здійснює введення вихідних даних, управління вимірювальними каналами, введення кодів поточних значень сили та переміщення, сигналізацію щодо перевантаження та несправності, накопичення та запам'ятовування результатів вимірювань, візуалізацію процесу вимірювання, опрацювання результатів вимірювання, обчислення необхідних параметрів, формування та видавання звіту.

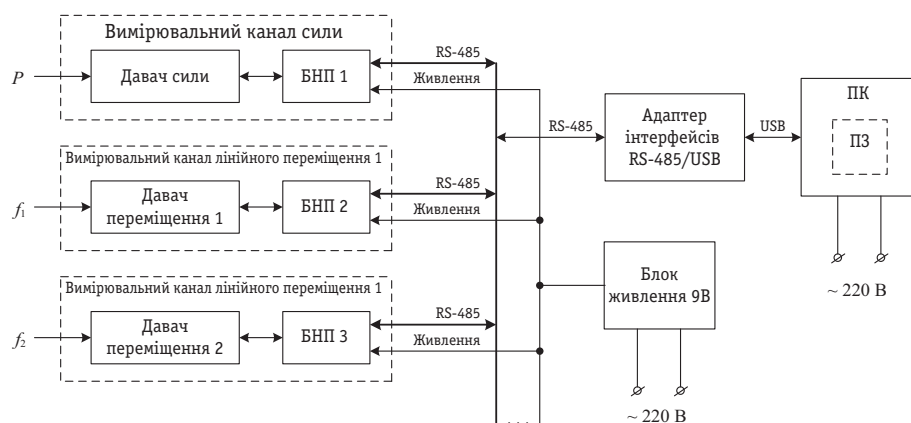


Рис. 1. Структурна схема вимірювального комплексу ВК-100

Fig. 1. Block diagram of measuring complex VK-100

Для розрахунку коефіцієнта відносного тертя виконується введення вихідних даних (рис. 2).

До таблиці вихідних даних у графі, позначені сірим кольором (1), дані вводяться вручну, в графі, позначені темно-сірим кольором (2), заносяться результати розрахунків. Розрахунок виконується після натискання кнопки «Рассчитать» в лівій нижній частині вікна.

Процес вимірювання включає поступове навантаження візка через сенсор сили до досягнення максимального значення навантаження. Швидкість навантаження — зміна значення сили від 0 до 60 тс — здійснюється за 5 хв. Після досягнення максимального навантаження виконується поступове зменшення сили також приблизно за 5 хв.

Запуск процесу реєстрації починається після натискання кнопки «ПУСК» (рис. 3).

Рис. 2. Вікно введення вихідних даних

Fig. 2. Initial data window

Таблиця. Вагові коефіцієнти

Table. Weight coefficients

№ з/п	Вираз для вагового коефіцієнта C_i	Значення вагового коефіцієнта
1.	$C_1 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{px1}} = \frac{\left[\left[(P_{3x2} - P_{3x1})(f_{px2} - f_{px1}) - (P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1}) \right] Z + \left[(P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1}) + (P_{3x2} - P_{3x1})(f_{px2} - f_{px1}) \right] S \right]}{Z^2}$	0,098
2.	$C_2 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{px2}} = \frac{2(P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	0,098
3.	$C_3 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{3x1}} = \frac{\left[\left[(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1}) - (P_{px2} - P_{px1})(f_{3x2} - f_{3x1}) \right] Z + \left[(P_{px2} - P_{px1})(f_{3x2} - f_{3x1}) + (P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1}) \right] S \right]}{Z^2}$	0,097
4.	$C_4 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{3x2}} = \frac{2(P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})^2 (P_{3x2} - P_{3x1})}{Z^2}$	0,00097
5.	$C_5 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{px1}} = \frac{-2(P_{3x2} - P_{3x1})^2 (P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,00049
6.	$C_6 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{px2}} = \frac{-2(P_{3x2} - P_{3x1})^2 (P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,00049
7.	$C_7 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{3x2}} = \frac{-2(P_{px} - P_{3x1})(P_{px2} - P_{px1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,098
8.	$C_8 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{3x2}} = \frac{2(P_{px} - P_{3x1})(P_{px2} - P_{px1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	0,098

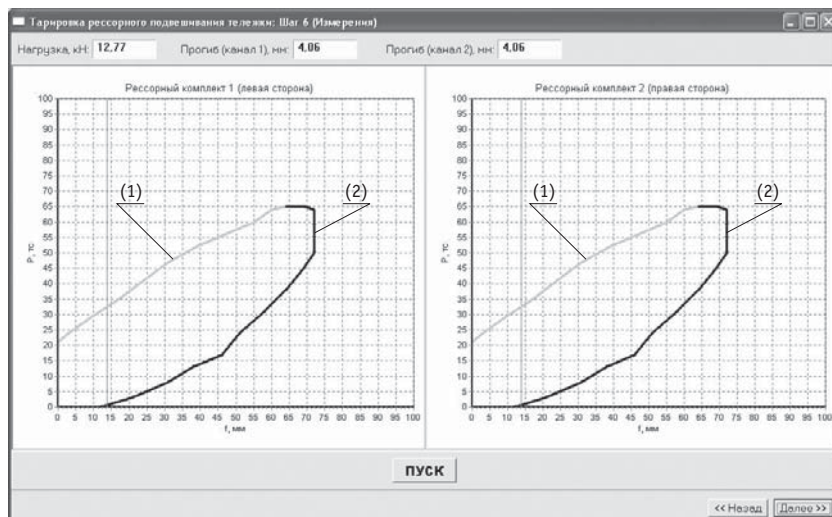


Рис. 3. Вікно реєстрації процесу вимірювання

Fig. 3. Measuring process registration window

Після досягнення навантаженням значення 1 кН (100 кгс) починається реєстрація даних у ПК та одночасна індикація поточних значень сили та переміщення у виді графіків. Закінчення реєстрації здійснюється за навантаження, меншого 1 кН (100 кгс). Частота реєстрації даних може бути в межах від 1 до 5 Гц.

На графіку (рис. 3) сірим кольором (1) зображено процес навантаження, а чорним (2) — процес розвантаження. Крім того, в ході вимірювання під кожним графіком з'являється напис «НАГРУЗКА» або

яняється під час гальмування вагона, утворюється так звана петля гістерезису (рис. 4).

Крива навантаження реєструється спеціальними засобами вимірювальної техніки, потім у потрібних точках, які відповідають деформаціям порожнього і навантаженого вагонів, розраховується середній коефіцієнт відносного тертя за формулою:

$$\phi = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх}}) / (P_{\text{пх}} + P_{\text{зх}}), \quad (1)$$

де $P_{\text{пх}}$, $P_{\text{зх}}$ — сили, що діють на ресорний комплект під час його стиснення (прямий хід) і розтягнення (зворотний хід).

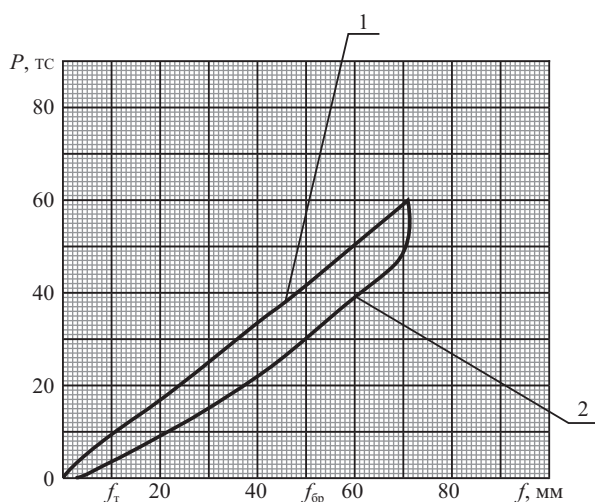


Рис. 4. Крива навантаження ресорного комплекту: прямий хід (крива 1), зворотний хід (крива 2)

Fig. 4. Load-graph of spring set: forward way (curve 1), back way (curve 2)

P — сила навантаження на ресорний комплект;
 f — величина деформації пружини;
 f_t, f_{6p} — деформації пружини, що відповідають вазі порожнього вагона (тара) і навантаженого (брутто)

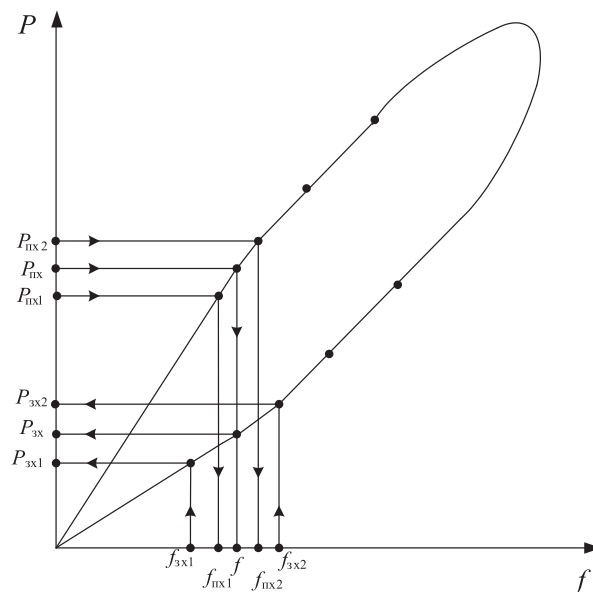


Рис. 5. Крива навантаження ресорного комплекту з використанням лінійної інтерполяції в околах $P_{\text{пх}}$

Fig. 5. Curve of spring set load with use of linear interpolation at $P_{\text{пх}}$

Найбільша проблема, яка виникає за обчислення коефіцієнта відносного тертя, — це отримання значень $P_{\text{пх}}$ та $P_{\text{зх}}$ для однієї і тієї ж величини деформації, оскільки процеси стискання та розтягнення не синхронізуються, а є послідовними у часі. Оскільки характеристики прямого і зворотного ходів мають приблизно вид лінійних функцій, дослідники часто апроксимують їх функціями цього виду і розраховують за ними значення $P(f)$. При цьому, окрім інструментальної невизначеності, результат розрахунків коефіцієнта відносного тертя містить невизначеність, зумовлену апроксимацією.

Сучасний рівень технічного обладнання дозволяє автоматизувати процес випробувань ресорних підвісів, підвищити роздільну здатність реєстрації кривої навантаження і зменшити невизначеність вимірювання шляхом переходу від апроксимації всієї характеристики до її інтерполяції в околах потрібних значень деформацій.

Фактично характеристика навантаження має такий вид (рис. 5).

Припустимо, що, наприклад, значення ваги по-рожного вагона, яке для цього випадку відповідає величині $P_{\text{пх}}$ у формулі (1), миститься між відліками $P_{\text{пх1}}$ і $P_{\text{пх2}}$, тоді деформація, що відповідає цій силі, дорівнює

$$f = f_{\text{пх1}} + \frac{f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}}{P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}}} \cdot (P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}}). \quad (2)$$

Визначаємо силу, що відповідає цій деформації на зворотному ході:

$$P_{\text{зх}} = P_{\text{зх1}} + \frac{P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}}}{f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}} \cdot (f - f_{\text{зх1}}). \quad (3)$$

Підставивши (3) у вираз (1), отримаємо залежність середнього коефіцієнта відносного тертя від вимірюваних параметрів:

$$\varphi = \frac{\left((P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) - \right.}{\left. - (P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}) \right)} \cdot \left(\frac{(P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) +}{(P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}})} \right). \quad (4)$$

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОГО ТЕРТЯ ФРИКЦІЙНИХ ДЕМПФЕРІВ

Для оцінювання комбінованої невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя скористаємося формулою для опосередкованих вимірювань:

$$u_c(\varphi) = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 u_c^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_i C_j r_{ij} u_c(x_i) u_c(x_j)}, \quad (5)$$

де C_i , C_j — вагові коефіцієнти, які є частинними похідними $C_i = \partial\varphi/\partial x_i$;

x_i — аргументи функції φ ;

r_{ij} — коефіцієнти кореляції між результатами вимірювань.

Вирази для вагових коефіцієнтів наведені в таблиці, де використовуються такі позначення:

$$Z = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) + (P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}),$$

$$S = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) - (P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}).$$

Оскільки значення сил $P_{\text{пх1}}$, $P_{\text{пх2}}$, $P_{\text{зх1}}$, $P_{\text{зх2}}$ та відповідних деформацій $f_{\text{пх1}}$, $f_{\text{пх2}}$, $f_{\text{зх1}}$, $f_{\text{зх2}}$ отримані за допомогою одного вимірювального каналу і мають однакові статистичні характеристики, вираз (5) можна привести до виду:

$$u_c(\varphi) = \sqrt{\left[\frac{(C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + 2(C_1 C_2 + C_3 C_4) r(P))}{(C_5^2 + C_6^2 + C_7^2 + C_8^2 + 2(C_5 C_6 + C_7 C_8) r(f))} \cdot u_c^2(P) + \right.}, \quad (6)$$

де $u_c(P)$, $u_c(f)$ — відповідно комбіновані невизначеності вимірювання сили, що діє на підвіс, та його деформації;

$r(P)$, $r(f)$ — відповідно коефіцієнти кореляції результатів вимірювання сили та деформації.

У виразі (6) виконані спрощення, які зумовлені таким. Відліки сили (деформації) вимірюються одними і тими ж засобами за одних і тих же умов в автоматичному режимі з достатньо високою частотою, тому сусідні результати вимірювань будуть корельовані. Визначення коефіцієнтів кореляції потребує додаткових досліджень вимірювальних каналів, на яких у цій роботі зупинятися не будемо. Зазначимо, що для одного із екземплярів вони становлять $r(P) = 0,42$, $r(f) = 0,18$.

Отже, методика оцінювання комбінованої невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань полягає в такому.

1. Оцінка невизначеностей вимірювання сили, що діє на демпфер, $u_c(P)$ та його деформації $u_c(f)$.

2. Оцінка відповідних коефіцієнтів кореляції $r(P)$, $r(f)$.

3. Визначення вагових коефіцієнтів C_i .

4. Розрахунок невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя за формулою (5).


Розрахунки невизначеності показали, що для точки $P_{\text{пх}} = 20$ тс за умови $u_c(P) = 0,06$ тс та $u_c(f) = 0,12$ мм невизначеність коефіцієнта відносного тертя становить 1,17.

ВИСНОВКИ

Отже, розроблена методика оцінювання невідомості коефіцієнта відносного тертя фрикційних демпферів знайшла застосування у складі про-

грамного забезпечення вимірювального комплексу ВК-100 і може використовуватися в подібних системах для експериментальних досліджень ресорних підвісів візків вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Донченко А.В. Стратегія розвитку транспортно-го машинобудування залізниць України [Текст] / А.В. Донченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ (Donchenko A.V. Development strategy of transport building of Ukrainian railways / A.V. Donchenko // Scientific works collection of UkrDAZT). — 2013. — № 139. — С/Р. 16—24.
- До питання оцінки надійності гальмівних систем рухомого складу [Текст] / Донченко А.В., Водяников Ю.Я., Гречко А.В., Корабельников О.Л. // Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад» ДП «УкрНДІВ» (To the question of reliability estimation of the brake systems of rolling stock [Text] / Donchenko A.V., Vodyannikov U.A., Grechko A.V., Korabelnikov O.L. // Scientific works collection «Rail moving train» of DP «UKRNDIV»). — 2013. — № 9. — С/Р. 57—59.
- Губачева, Л. О. Моделювання динамічних процесів транспортних засобів [Текст]: навчальний посібник / Л.О.Губачева. — Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля (Gubacheva, L. O. Modeling of dynamic processes of transport vehicles [Text]: train aid / L.O.Gubacheva. — Lugansk: Publ. of SNU by name of V. Daliy), 2009. — 120 с/р.
- Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия (ГОСТ 9246 — 2013). — [Введен 01.07.2014]. — Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ (Light carts biaxial trekhelementnye freight carriages of railways of track 1520 mm. General tts (GOST 9246 — 2013). — [Intr. 01.07.2014]. Minsk: Mezghos. council of standardization, metrologii and certification; M.: Standartinform), 2014. — 24 с/р.
- Конструирование и расчет вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / В.В. Лукин [и др.]; под ред. В.В. Лукина. — М.: УМК МПС России (Constructing and calculation of carriages: studies. for the institutes of transp. [Text] / V.V. Lukin [and other]; under red. V.V. Lukina. М.: УМК MPS to Russia), 2000. — 731 с/р.
- Соколов, М.М. Гасители колебаний подвижного состава: справочник [Текст] / М.М. Соколов, В.И. Варавва, Г.М. Левит. — М.: Транспорт (Sokolov M.M. Shock absorbers of rolling stock: reference book / M.M. Sokolov, V.I. Varrava, G.M. Levit. — Transport), 1985. — 215 с/р.
- Закон України № 1314-VII від 05.06.2014 «Про метрологію та метрологічну діяльність» [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. — Електрон. дан. (2 файли). — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>. (Law of Ukraine № 1314-VII from 05.06.2014 «About metrology and metrological activity»)
- Мержієвська, В.В. Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних двигунів під час стендового випробовування [Текст] / В.В. Мержієвська // Системи обробки інформації. — Харків (Merzhyevska V. Evaluation of measurement uncertainty in automobile engine bench tests / V. Merzhyevska // Processing information systems. Kharkov). — 2008. — № 4(71). С/Р. 112—116.
- Жарко, Ю.Г. Испытания автотранспорта: стандартизация, сертификация, оценивание неопределенности измерений [Текст] / Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації. — Харків (Zharko Y. Tests of motor transport: standardization, certification, uncertainty estimation of measurement / Y. Zharko Processing information systems. Kharkov). — 2008. — № 4(71). С/Р. 108—111.
- Кашканов, А.А. Оцінювання невизначеності значень коефіцієнта зчеплення та її вплив на результати автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод [Текст] / А.А. Кашканов // Вісник НТУ «ХПІ» (Uncertainties estimation of the factor of the traction and its influence upon results auto technical expert operations of the road adventures / A.A. Kashkanov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car and tractorbuilding. — Kharkiv: NTU «KhPI»), 2014. — № 8 (1051). — С/Р. 61—66.
- Guide to the Expression Uncertainty in Measurement / First Edition — ISO/Switzerland. 1993/—101 p. Руководство по выражению неопределенностей измерения. Русский перевод. Научный редактор Слаев В.А. — Санкт-Петербург. — НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999. — 134 с.
- Захаров, И.П. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособ. [Текст] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. — Харьков: Консум (Zakharov, I.P. The theory of uncertainty in measurements: studies. book / I.P. Zakharov, V.D. Kukush. — Kharkov: Konsum), 2002. — 256 с/р.
- Дорожовець, М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб. // М. Дорожовець — Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка» (Dorozhovez M. Treatment of measuring results: train aid. — Lviv: Publishing house of national university «Lvivska politechnika»), — 2007. — 624 с/р. 

Отримано / received: 12.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І.П. Захаровим (Україна).
Prof. I.P. Zakharov, D.Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.