

© Ю.В. Бабін, завідувач лабораторії,
ORCID: 0000-0003-0417-1977,
e-mail: ybabin@insat.org.ua;
© З.А. Зарецький, ст. наук. співробітник,
ORCID: 0000-0002-3634-4273,
e-mail: zzaretsky@insat.org.ua;
© С.В. Дурицький, завідувач сектору,
ORCID: 0000-0003-3474-1627,
e-mail: sduritskiy@insat.org.ua;
© В.С. Момот, завідувач сектору,
e-mail: vmomot@insat.org.ua
ДП «ДержавтотрансНДІпроект»

© Iurii Babin, Head of Laboratory,
ORCID: 0000-0003-0417-1977,
e-mail: ybabin@insat.org.ua;
© Zakhar Zaretskyi, Senior Research Officer,
ORCID: 0000-0002-3634-4273,
e-mail: zzaretsky@insat.org.ua;
© Serhii Durytskyi, Head of Sector,
ORCID: 0000-0003-3474-1627,
e-mail: sduritskiy@insat.org.ua;
© Vasyl Momot, Head of Sector,
e-mail: vmomot@insat.org.ua,
SE "State Road Transport Research Institute"

СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОРОЖНІХ ВИПРОБУВАНЬ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

CREATION OF A UNIVERSAL MEASUREMENT COMPLEX FOR ROAD TESTS OF WHEELED VEHICLES

Анотація. Наведені результати досліджень, пов'язаних із розробкою універсального вимірювального комплексу для дорожніх випробувань колісних транспортних засобів (далі – комплекс). Проведено обґрунтування переліку параметрів, що вимірюють комплексом, та їхніх метрологічних характеристик, а також сформульовані загальні вимоги до комплексу; наведені основні принципи будови спеціального програмного забезпечення, що входить до складу комплексу. Детально розглянуті питання калібрування вимірювальних систем комплексу та описані застосовані для цього методи, зокрема особливості методу калібрування системи вимірювання швидкості (прискорення).

Ключові слова: випробування колісних транспортних засобів, Правила ООН, система вимірювання, калібрування, датчик, програмне забезпечення, вимірювальний комплекс, похибка, параметр, дорожні випробування, швидкість, шлях, сповільнення.

Abstract. The results of studies related to the development of a universal measuring complex for road testing of wheeled vehicles (hereinafter referred to as the complex) are presented. The substantiation of the list of parameters measured by the complex and their metrological characteristics has been carried out, and the general requirements for the complex have been formulated; the basic principles of building special software included in the complex are given. The issues of calibration of the measuring systems of the complex are considered in detail and the methods used for this, including features of the calibration method of the deceleration/acceleration measurement system, are described. The description and technical characteristics of the developed complex are presented, as well as the results of its calibration and trial operation. On the basis of experimental studies, the expediency of using a two-stage method of calibrating path, speed and deceleration/acceleration measurement systems has been confirmed. As an example, the results of testing a vehicle for compliance with the requirements of UN Regulation No. 13, obtained using the complex, are shown, and the main software windows during these tests are described in detail.

Keywords: wheeled vehicle testing, UN Regulations, measurement system, calibration, sensor, software, measuring complex, error, parameter, road test, speed, path, deceleration.

Вступ

Підтвердження відповідності конструкції нових моделей колісних транспортних засобів (КТЗ) чинним вимогам під час їхньої постановки на виробництво потребує проведення значної кількості різних видів лабораторних та дорожніх випробувань. Для цих випробувань

здебільшого використовують сучасні вимірювальні комплекси з високими метрологічними характеристиками, розроблені на основі новітніх технологій.

Більшість таких комплексів побудована за принципом так званого «п'ятого колеса». Для розширення функціональних можливостей такий прилад

доповнюють, наприклад, датчиками для вимірювання тиску, зусилля тощо, а також системою збору та оброблення інформації. Провідними, знаними у світі, виробниками таких комплексів і приладів є, для прикладу, компанії Racelogic (Англія) та Kistler (Німеччина).

Основна частина

У ДП «ДержавтотрансНДІпроект» розроблений, виготовлений та успішно використовується універсальний вимірювальний комплекс для дорожніх випробувань КТЗ (далі – комплекс), призначений для проведення дорожніх випробувань КТЗ категорій М, N, O, L.

На етапі розроблення комплексу були проведені дослідження з метою визначення:

- переліку параметрів КТЗ, що вимірюються, та структури комплексу;
- метрологічних характеристик комплексу;
- загальної конструкції комплексу;
- методів та засобів калібрування комплексу.

Визначення переліку параметрів КТЗ, що вимірюються, та структури комплексу

Більшу частину випробувань КТЗ з метою затвердження їхньої конструкції проводять на відповідність вимогам Правил ООН [1, 2].

У табл. 1 наведені результати аналізу вимог Правил ООН щодо основних параметрів, які вимірюються під час дорожніх випробувань КТЗ, а на рис. 1 показана повторюваність цих параметрів у Правилах ООН.

Три параметри серед наведених у табл. 1, а саме рівень звуку, частоту обертання колінчастого вала двигуна та витрату палива, вимірюють за допомогою окремих спеціальних приладів, які недоцільно та складно інтегрувати в конструкцію комплексу. Тому передбачена можливість їхнього під'єднання до комплексу з метою додавання інформації щодо отриманих результатів вимірювань до загального протоколу.

Таблиця 1

Основні параметри, вимірювані під час дорожніх випробувань КТЗ

Правила ООН [1]	Параметри, що вимірюються										
	Швидкість	Частота обертання	Рівень звуку	Електронний бар'єр	Зусилля	Шлях	Тиск робочого тіла	Блокування колеса	Слов'яння / При-нення / При-складання	Час	Витрата палива
R9	■	■	■	■							
R13	■				■	■	■	■	■	■	
R13H	■				■	■	■	■	■	■	
R39	■										
R41	■	■	■	■							
R51	■	■	■	■							
R59	■	■	■	■							
R63	■	■	■	■							
R68	■					■					
R78	■				■	■		■	■		
R79	■				■						
R84	■	■		■		■					■
R89	■								■		
R90	■				■	■	■	■	■	■	
R92	■	■	■	■							
R130	■										
R157	■					■				■	

Проведений аналіз нормативних документів, конструкції, характеристик та функціональних можливостей приладів і вимірювальних комплексів для дорожніх випробувань КТЗ провідних світових виробників, а також тенденцій їхнього розвитку дозволяє зробити такі висновки:

- перелік параметрів, указаний у табл. 1, забезпечує проведення більшості дорожніх випробувань КТЗ за вимогами Правил ООН та перевищує можливості вимірювальних комплексів, що випускаються серійно;

- основним датчиком комплексу є датчик пройденого шляху, побудований зазвичай на одному з таких принципів: механічне колесо, оптичний, GPS-приймач, хвильовий (ефект Доплера). Ці датчики мають імпульсний вихідний сигнал TTL-рівня, частота якого пропорційна вимірювальній швидкості.

З урахуванням наведеного, а також багаторічного досвіду ДП «ДержавтотрансНДІпроект» у галузі проведення випробувань КТЗ та сфери акредитації, сформовані основні вимоги до комплексу та його загальної структури, а саме:

• Комплекс повинен забезпечувати вимірювання параметрів, наведених у табл. 1. Такі параметри, як рівень звуку, частота обертання колінчастого вала двигуна та витрата палива вимірюються окремими спеціальними приладами, а комплекс тільки забезпечує можливість

отримання інформації від цих приладів та її обробку.

• Комплекс повинен включати такі функціональні та конструктивні блоки:

- датчики для вимірювання параметрів згідно з табл. 1;

- функціональні модулі, що забезпечують перетворення та нормалізацію вихідних сигналів датчиків, їхню комутацію і зв'язок із персональним комп'ютером;

- спеціальне програмне забезпечення, яке охоплює програми щодо проведення конкретних видів випробувань та програму калібрування.

• Усі вхідні та вихідні сигнали (аналогові й імпульсні) функціональних блоків та модулів комплексу повинні бути уніфікованими.

• Застосування прогресивних бездротових технологій, що дозволить суттєво покращити його метрологічні та споживчі характеристики.

Метрологічні характеристики комплексу

Практично в усіх Правилах ООН, вказаних у табл. 1, встановлені вимоги до засобів вимірювальної техніки щодо їхніх основних метрологічних характеристик. Це значно спрощує процедуру встановлення вимог до метрологічних характеристик комплексу і не потребує проведення додаткових досліджень (табл. 2).

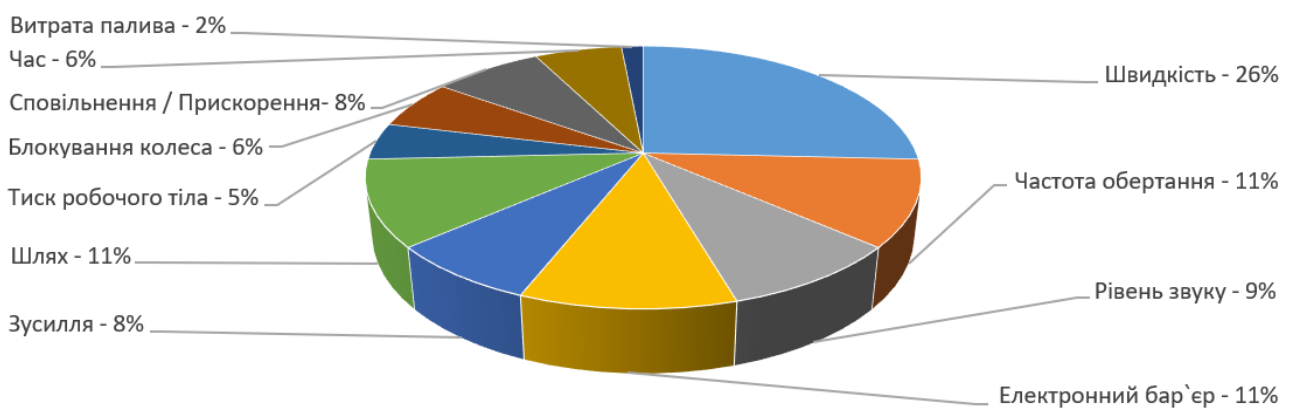


Рис. 1. Повторюваність у Правилах ООН визначених основних параметрів, вимірюваних під час дорожніх випробувань КТЗ

Метрологічні характеристики комплексу

№ з/п	Найменування вимірюваного параметра, одиниця вимірювання	Діапазон вимірювання	Границя основної допустимої похибки, %	
			Технічне завдання	Результат калібрування
1	Пройдений шлях, м	0 - 9999,9	± 0,5	± 0,2
2	Лінійна швидкість, км/год	0 - 200	± 0,5	± 0,24
3	Сповільнення (прискорення), м/с ²	0 - 10	± 2,0	± 1,0
4	Час, с	0 - 9,99	± 0,5	± 0,01
5	Зусилля на органах керування, кН	0 - 1	± 2,5	± 0,1
6	Зусилля у зчпному пристрої, кН	0 - 5; 0 - 50	± 3,0	± 0,26
7	Тиск, МПа	0 - 1,6	± 3,0	± 0,5
8	Крутний момент, Нм	0 - 200	± 2,0	± 1,0
9*	Частота обертання колінчатого вала двигуна, хв ⁻¹	0 - 8000	**)	**)
10*)	Сила звуку, дБА	0 - 150	**)	**)
11*)	Витрата палива, л	0 - 120	**)	**)

Примітка.
 *) – За умови використання відповідних спеціалізованих вимірювальних приладів.
 **) – Відповідає основній допустимій похибці приладу, що використовується.

Загальна конструкція комплексу

Комплекс має такі конструктивні блоки та компоненти:

- електронний блок;
- датчики вимірюваних параметрів;
- додатковий (дублювальний) монітор для водія КТЗ;
- ноутбук зі спеціальним програмним забезпеченням;
- з'єднувальні кабелі та бездротові модулі;
- нестандартні (спеціальні) пристрої, необхідні для калібрування комплексу.

Конструкція комплексу (рис. 2-а), а також форма та розміри його блоків і компонентів вибрані у такий спосіб, що не заважають водію виконувати його прямі функції та забезпечують можливість використання під час проведення випробувань КТЗ усіх категорій М, N, O, L.

У неробочому стані всі складові комплексу поміщені у спеціальні кейси, призначені для їхнього безпечного зберігання та транспортування (рис. 2-б).



а)



б)

Рис. 2. Зовнішній вигляд комплексу

Особливості конструкції комплексу:

- з метою забезпечення можливості використання датчиків та комплектуючих різних виробників усі вхідні і вихідні сигнали (аналогові та імпульсні) функціональних блоків та модулів комплексу мають уніфіковані сигнали, а саме: аналогові – (0,5 - 4,5) В, імпульсні – TTL-рівень;

- наявність захисту комплексу від помилкового під'єднання до зовнішнього джерела живлення (зміна полярності);

- наявність світлодіодних індикаторів для інформування про справність запобіжників і живлення складових комплексу;

- виконання електронного блоку в корпусі з алюмінієвого профілю, що забезпечує його малу вагу, високу механічну міцність, надійність та відведення тепла під час роботи;

- встановлення всіх роз'ємів, органів керування та індикаторів тільки на одній панелі корпусу електронного блоку, що забезпечує максимальну зручність його монтажу на КТЗ різних категорій;

- конструкція та конфігурація роз'ємів для з'єднувальних кабелів унеможливорює допущення помилок у процесі їхнього підключення.

Спеціальне програмне забезпечення (ПЗ)

ПЗ охоплює програму калібрування комплексу та програми щодо проведення випробувань за вимогами конкретних Правил ООН з елементами методики їхнього проведення, що значно спрощує роботу випробувача, суттєво зменшує ймовірність допущення помилок, скорочує час проведення випробувань.

За рахунок застосування у ПЗ діалогових вікон та автоматизації процесу формування результатів випробувань спрощена процедура калібрування комплексу.

ПЗ також дозволяє здійснювати документування отриманих результатів випробувань та калібрування у вигляді таблиць і графіків, оформлених як

додатки до первинного протоколу випробувань.

Методи та засоби калібрування комплексу

Засоби виміральної техніки (ЗВТ), до яких відносять комплекс і які використовують акредитовані у встановленому законодавством порядку випробувальні лабораторії, підлягають калібруванню [3, 4].

Зважаючи на метрологічні характеристики комплексу, які перевищують вимоги, встановлені у нормативних документах, насамперед у вимірюванні швидкості та шляху (табл. 2), на етапі його розроблення значна увага була приділена питанню забезпечення калібрування систем вимірювання параметрів КТЗ.

Згідно з прийнятою практикою похибка вимірювання зразкових ЗВТ, призначених для калібрування, повинна бути принаймні у три рази менша за похибку ЗВТ, що використовують у випробуваннях [5]. Наприклад, для системи вимірювання швидкості КТЗ вона має складати (0,1-0,3) %, що потребує застосування спеціальних стендів, які забезпечують імітування руху КТЗ (датчик нерухомих, а дорожнє покриття рухається), або спеціальних симуляторів для GPS-приймача.

Системи вимірювання параметрів у складі комплексу побудовані за класичною схемою, яка передбачає наявність первинного перетворювача (датчика) та вторинного перетворювача (наприклад, підсилювач, комутатор, перетворювач сигналів тощо) з покажчиком вимірюваного параметра.

Системи вимірювання швидкості, шляху та сповільнення використовують сигнал одного загального датчика пройденого шляху. Його функції може виконувати (без додаткових налаштувань) або спеціальний GPS-приймач (датчик VBSS100), або датчик, побудований на ефекті Доплера (датчик Microstar). Вихідний сигнал цих датчиків являє собою прямокутні імпульси, частота яких пропорційна швидкості КТЗ, а кожний імпульс відповідає величині пройденого

шляху (2,5–10) мм (ціна імпульсу). Тобто, первинними параметрами, що вимірюються, є пройдений шлях та час, а такі похідні, як швидкість і сповільнення, обчислюють за допомогою відповідних перетворень.

Запропонована методика калібрування цих систем узгоджена з регіональним центром стандартизації та метрології і передбачає два етапи: перевіряння ціни імпульсу первинного перетворювача (датчика) та калібрування каналу вимірювання параметру. Детально методики калібрування систем вимірювання

швидкості та шляху описані в [6]. За результатами проведених досліджень загальна відносна похибка вимірювання швидкості становить $\pm 0,24\%$ (з використанням датчика Microstar) та $\pm 0,07\%$ (з використанням датчика VBSS100), а сумарна стандартна невизначеність складає для обох датчиків $\pm 0,03\%$.

На рис. 3 в для прикладу показані результати визначення ціни імпульсу датчиків шляху, що можуть бути використані у складі комплексу.

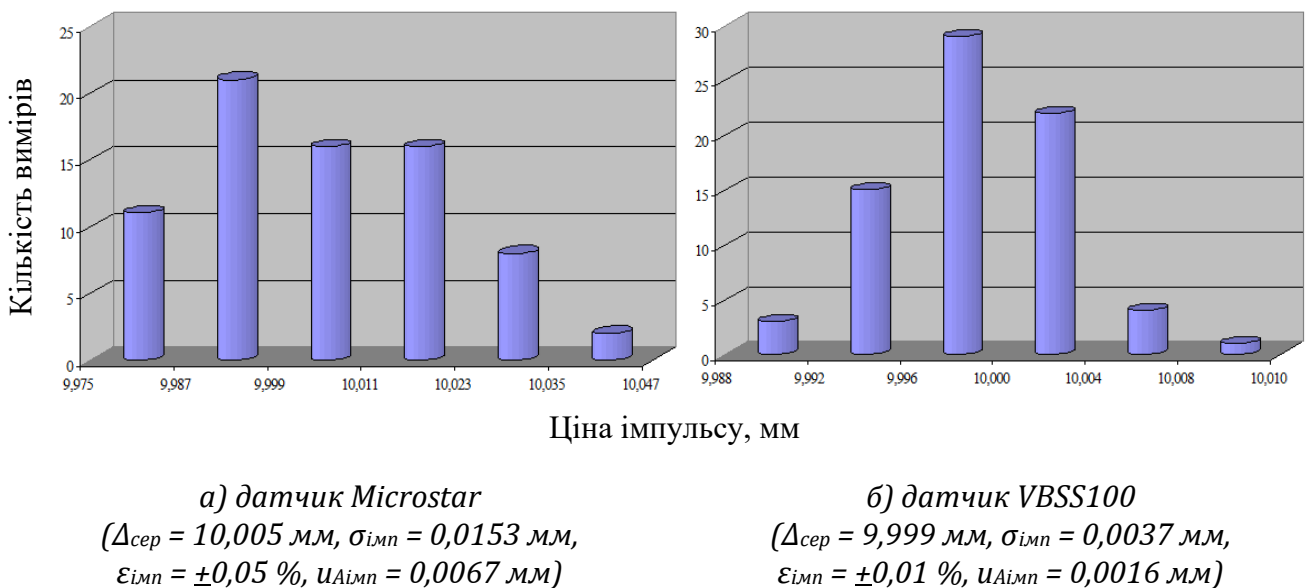


Рис. 3. Результати визначення ціни імпульсу датчика

Як зазначено вище, у процесі калібрування систем вимірювання шляху та швидкості окремо перевіряється ціна імпульсу датчика шляху і здійснюється калібрування лічильника його імпульсів з показником (канал вимірювання шляху) та вторинного перетворювача «частота – швидкість» із показником (канал вимірювання швидкості).

Калібрування каналів вимірювання пройденого шляху та швидкості доцільно проводити за допомогою стандартного генератора прямокутних імпульсів, частотоміра і зразкового секундоміра з використанням таких залежностей:

$$s = 10^{-3} \cdot f \cdot t \cdot \Delta_0; \quad f = 277,778 \cdot \frac{v}{\Delta_0},$$

де s, v – дійсні (розрахункові), відповідно, шлях (м) та швидкість (км/год);

f – частота генератора прямокутних імпульсів, Гц;

t – інтервал часу, за який на вхід каналу вимірювання шляху надходить сигнал генератора прямокутних імпульсів (за показаннями зразкового секундоміра), с.

Δ_0 – ціна імпульсу датчика пройденого шляху, мм.

Зважаючи на те, що система вимірювання сповільнення комплексу базована на використанні сигналу датчика пройденого шляху з подальшим його подвійним диференціюванням, для її калібрування необхідно після перевіряння ціни імпульсу датчика шляху провести калібрування відповідного вимірюваль-

ного каналу, що здійснює цю функцію. Процедуру пропонується проводити на основі оригінального методу, який використовує одне із відомих правил диференціювання, що похідна лінійної функції дорівнює постійному числу [7]:

$$(k \cdot x)' = k$$

Отже, якщо на вхід вторинного перетворювача з покажчиком подати від генератора імпульсів сигнал, частота якого лінійно зменшується в часі, то на виході цієї системи буде відображатися постійне значення сповільнення, що дорівнює тангенсу кута нахилу заданої лінійної функції.

Формування з високою точністю такого сигналу може забезпечити більшість стандартних багатофункціональних генераторів імпульсів. Для реалізації зазначеної функції на генераторі необхідно задати початкову і кінцеву частоти та інтервал часу, за який частота вихідного сигналу генератора лінійно зменшиться від початкової до кінцевої.

З метою спрощення та зручності визначення вказаних параметрів пропонується під час проведення калібрування комплексу використовувати таку формулу:

$$d_m = \frac{10^{-3} \cdot \Delta_0 \cdot (f_1 - f_2)}{\Delta_t}$$

де d_m – сповільнення, що задається (імітується) за допомогою генератора імпульсів, м/с²;

f_1, f_2 – частота вихідного сигналу генератора, що відповідає значенням швидкості v_1, v_2 , Гц;

Δ_t – інтервал часу, на якому швидкість КТЗ (частота вихідного сигналу генератора) змінюється від $v_1(f_1)$ до $v_2(f_2)$, с;

Встановлюючи на генераторі імпульсів різні значення f_1, f_2 та Δ_t , можна задавати значення сповільнення d_m , необхідні для калібрування системи вимірювання сповільнення.

Калібрування систем вимірювання, побудованих на застосуванні методу прямого вимірювання параметра (зусилля на органах керування та у зчипці, крутний момент на кермі, тиск робочого тіла, час), здійснюється за стандартною схемою. Первинний перетворювач системи вимірювання, що перевіряється, з'єднується з установкою, яка задає необхідну величину параметра (наприклад, гвинтовий прес, ресивер тощо). Контролювання заданої величини здійснюють за допомогою, для прикладу, зразкового динамометра, манометра або секундометра.

Перед введенням в експлуатацію комплекс успішно пройшов калібрування в ДП «Укрметртестстандарт» за всіма параметрами, що безпосередньо вимірюються за допомогою комплексу. Отримані значення метрологічних характеристик повністю відповідають вимогам технічного завдання (остання колонка в **табл. 1**).

Використання розробленої двоетапної процедури калібрування систем вимірювання, пов'язаних із датчиком пройденого шляху (швидкість, шлях, сповільнення), значно спрощує підтвердження відповідності їхніх метрологічних характеристик заданим вимогам в експлуатації.

Результати дослідної експлуатації комплексу

Проведена дослідна експлуатація комплексу (понад 70 різних видів дорожніх випробувань КТЗ усіх категорій М, N, O, L) підтвердила його метрологічні та споживчі характеристики, а також правильність рішень, прийнятих на етапі розроблення конструкції щодо необхідності введення до ПЗ основних елементів методики проведення випробувань та детального опрацювання вікон програми. Такий підхід зменшив вірогідність допущення помилок, дозволив скоротити час проведення випробувань та спростив опанування комплексу новими користувачами.



Рис. 4. Приклад встановлення комплексу на КТЗ: 1 – додатковий монітор; 2 – ноутбук; 3 – електронний блок; 4 – датчик шляху

На **рис. 4** показано встановлення комплексу на КТЗ, на **рис. 5** – приклад вікна на екрані ноутбука під час проведе-

ння випробувань за Правилами ООН №13, а на рис. 6 – отримані результати цих випробувань у графічному вигляді.

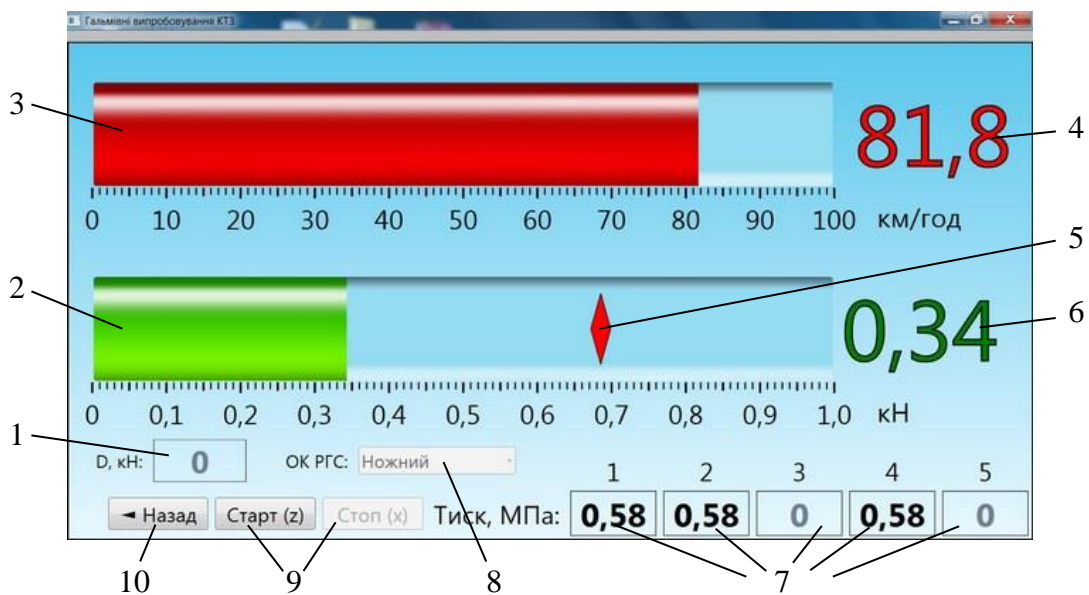


Рис. 5. Основне вікно під час проведення випробувань робочої гальмівної системи КТЗ за вимогами Правил ООН №13:

1 – зусилля у зчипці (поле активне для КТЗ категорії O_1, O_2); 2 – шкала зусилля на гальмівній педалі; 3 – шкала швидкості; 4 – цифровий показник швидкості; 5 – максимальне нормативне значення зусилля на гальмівній педалі (встановлюється автоматично залежно від категорії КТЗ); 6 – цифровий показник зусилля на гальмівній педалі; 7 – тиск у гальмівному приводі (п'ять каналів); 8 – тип органу керування робочою гальмівною системою (поле активне для КТЗ категорії L); 9 – кнопки керування виміром; 10 – кнопка переходу програми на крок назад.



Рис. 6. Результати випробувань робочої гальмівної системи КТЗ:
 1 – кнопки з результатами проведених вимірів (після натискання на екрані ПК з'являються відповідні графіки, а кнопка змінює свій колір на жовтий); 2 – зусилля на гальмівній педалі; 3 – швидкість; 4 – сповільнення; 5 – мітки, що вказують інтервал, на якому здійснюється обчислення параметрів гальмування; 6 – кнопка повернення до головного меню програми; 7 – номер поточного виміру; 8 – кнопка переходу до меню випробувань; 9 – кнопки керування випробуванням.

Висновки

1. На основі проведених досліджень, що передбачали визначення переліку параметрів КТЗ, які вимірюються, структури і метрологічних характеристик комплексу, а також з урахуванням світових тенденцій розвитку сучасного обладнання, призначеного для дорожніх випробувань КТЗ, сформульовані загальні вимоги до конструкції комплексу, розроблені методи та засоби його калібрування, а також відповідне технічне завдання.

2. Згідно з вимогами технічного завдання розроблений та виготовлений дослідний зразок комплексу.

3. У ДП «Укрметрестандарт» проведено калібрування комплексу, результати якого підтвердили відповідність метрологічних характеристик вимогам технічного завдання.

4. Дослідна експлуатація комплексу, під час якої було проведено понад 70 дорожніх випробувань КТЗ, підтвердила його метрологічні та споживчі характеристики, а також правильність рішень, прийнятих на етапі розроблення конструкції.

5. Подальші роботи будуть спрямовані на модернізацію комплексу в напрямку використання можливостей комунікації з випробувальними зразками КТЗ за умови безпосереднього використання CAN-шини з метою отримання даних від штатних датчиків та елементів керування системами КТЗ.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2000). The Law of Ukraine «On the accession of Ukraine to the Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions, 1958 as amended 1995» (10 February 2000 No. 1448-III).
2. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2012). Procedure for the approval of design of vehicles, their parts and components (Approved order of Ministry of Infrastructure of Ukraine 17 August 2012 No 521 with changes, registered in the Ministry of Justice of Ukraine 14 September 2012 at No. 1586/21898).
3. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). The Law of Ukraine «On metrology and metrological activity» (06 May 2014 No. 1314-VII with changes).
4. TC 89. (2017). EN ISO/IEC 17025:2017; IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
5. Turin, N. I. (1973). Introduction to metrology. Standards Publishing House, 279.
6. Ageev, V. B., Babin, I. V., Zaretskyi, Z. A., Momot, V. S., Kryvenchuk, O. A. (2014). Improvement of methods for calibration (verification) of systems for measuring speed and distance used in testing wheeled vehicles. Scientific and production magazine «Autoshlyahovyk Ukrainy», №6.
7. Gerner, V. S., Zaretskyi, Z. A., Levinson, B. V. (2006). Patent of USSR No. 787221. Stand for testing wheeled vehicles.