

УДК 621.317.73

БАГАТОКАНАЛЬНА ПРЕЦИЗІЙНА ІНФОРМАЦІЙНА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА СА320

© Ламеко А.¹, Сурду М.³, Походун А.²,
Могилевський В.М.¹, Семеничева Л., Монастирський З.³, 2003

¹НВТ “Спецавтоматика” НВК “КІА”, Київ, Україна

²ВНДІМ, Санкт-Петербург, Росія

³Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна

Запропоновано багатоканальну вимірювальну систему з терморезистивними та термоелектричними перетворювачами, термісторами та діодними термочутливими елементами, що має широку галузь застосування.

Предложена многоканальная измерительная система для работы с терморезистивными и термоэлектрическими преобразователями, термисторами и диодными термочувствительными элементами, имеющая широкую область применения.

The multichannel measuring system with thermoresistive and thermoelectric transducers, thermistors and diode thermosensitive elements with the wide application is proposed.

Бурхливий розвиток науки і техніки останнім часом різко розширив асортимент сенсорів, які використовують для вимірювання різноманітних величин. Наприклад, тільки для вимірювання температури сьогодні застосовують металеві та напівпровідникові сенсори опору в діапазоні від 10^{-3} до 10^5 Ом, сенсори напруги у вигляді термопар або р-п-переходів, сенсори тиску тощо. Все ширше температурні вимірювання використовують разом з вимірюванням сукупності інших величин. Наприклад, кондуктометричні вимірювання з похибкою вимірювання 10^{-4} потребують паралельного вимірювання температури з похибкою 10^{-3} °С, для вимірювань опору з похибкою 10^{-7} необхідне паралельне вимірювання температури з похибкою 10^{-2} °С і т.д. Паралельні точні вимірювання температури дають змогу усунути її вплив на вимірювання інших величин і різко підвищити точність вимірювання останніх, оскільки температура є переважно основним дестабілізуючим чинником вимірювання.

Нами розроблена вимірювальна система СА-320, яка ґрунтується на використанні останніх досягнень в галузі аналого-цифрового перетворення і процесорної техніки, в якій схемотехнічними і алгоритмічними способами вдалося розв'язати такі задачі.

1. Істотне зменшення кількості зразкових мір опору і напруги.

2. Зменшення вимог до масогабаритних характеристик зразкових мір і до значення їх температурного коефіцієнта.

3. Автоматичне коригування основних складових похибки вимірювання.

4. Істотне розширення функціональних можливостей вимірювальної системи.

Нижче наводять технічні характеристики і короткий описання принципу роботи розробленої інформаційно-вимірювальної системи СА-320.

Багатоканальна прецизійна інформаційна вимірювальна система СА320 призначена для: вимірювання температури за допомогою будь-яких сенсорів температури (будь-яких термометрів опору, термісторів, шести типів термопар або діодних чутливих елементів, за допомогою сенсорів тиску); зусилля, тиску, деформації, малих переміщень за допомогою тензорезистивних сенсорів;

– магнітної індукції і струму за допомогою сенсорів Холла;

– постійної напруги і, за допомогою шунтів, постійного струму;

– вологості, температури, кутових і лінійних мікропереміщень тощо за допомогою ємнісних сенсорів з частотним виходом.

Галузь застосування СА320: дистанційне високоточне вимірювання температури і (або) інших наведених вище параметрів під час наукових досліджень і контролю параметрів технологічних процесів, під час розроблення прецизійної термостабілізованої апаратури як основного ядра складної інформаційно-вимірювальної системи, а також під час метрологічної

перевірки, калібровки, випробувань і метрологічної атестації засобів вимірювання температури, витратометрії тощо.

Система може бути використана як в комплекті з персональним комп'ютером типу IBM (далее – ПК), так і в автономному режимі.

В автономному режимі система може виконувати вимірювання по двох каналах при довільному виборі типу сенсора по кожному каналу, наприклад, два ідентичні (або різні) сенсори температури або один сенсор температури і один сенсор сили, кондуктометрична комірка і сенсор температури, сенсор Холла і сенсор температури тощо.

У режимі роботи з ПК система забезпечує вимірювання параметрів сенсорів температури, тензосенсорів, сенсорів Холла тощо по двох восьмиканальних напрямках за допомогою двох восьмиканальних комутаторів. Тип сенсора, який під'єднують до цього каналу, довільний. Залежно від застосування засіб може мати різні модифікації комутатора.

СА320 забезпечує в автономному режимі:

- виведення на індикатор значення опору (термометрів опору, термісторів), напруги термопар або діодних сенсорів, температури об'єкта, зусилля, деформації, тиску, магнітної індукції тощо;
- разовий і неперервний режими вимірювань;
- усереднення результатів вимірювань;
- можливість калібрування за зовнішньою зразковою мірою опору;
- введення параметрів апроксимувальних функцій;
- живлення від вбудованого акумулятора.

Під час роботи з ПК додатково реалізують такі функції:

- можливість калібрування за зовнішньою зразковою мірою опору або напруги;
- виведення на монітор значення температури і (або) сили, деформації, тиску, індукції;
- безперервний графічний моніторинг результатів вимірювання по восьми каналах упродовж 24 год;
- накопичення результатів вимірювання опору або інших параметрів у текстовому файлі;
- введення параметрів апроксимувальних функцій для розрахунку вимірюваних параметрів;
- разовий і неперервний режими вимірювань;
- від 2 до 1000 вимірювань в режимі усереднення;
- живлення від виносного блока мережевого живлення.

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання опору
від $5 \cdot 10^{-6}$ Ом до 10^{11} Ом.

Діапазон вимірювання коефіцієнта передачі
від 10^{-8} до 1,0.

Діапазон вимірювання напруги
від $5 \cdot 10^{-9}$ В до 2,5 В.

Вхідний опір при вимірюванні параметрів сенсора напруги

не менше ніж 50 МОм.

Під'єднання вимірюваного опору – п'яти-затискачеве чотирипарне у всьому діапазоні вимірювання.

Під'єднання термопар – двозатискачеве, при вхідному опорі не менше ніж 50 МОм.

Вимірюючи температуру за допомогою термопар, забезпечують вимірювання і врахування температури холодних спайів.

Вимірюючи температуру за допомогою діодних сенсорів, забезпечують задавання робочого струму від 25 мкА до 300 мкА.

Під час будь-яких видів вимірюють внутрішню температуру системи і усувають її вплив на результат вимірювання будь-якого вимірюваного параметра.

Принцип роботи СА-320

Режим вимірювання резистивних сенсорів температури.

Структурна схема СА-320 в режимі вимірювання опору (термометрів опору або термісторів) наведена на рис. 1.

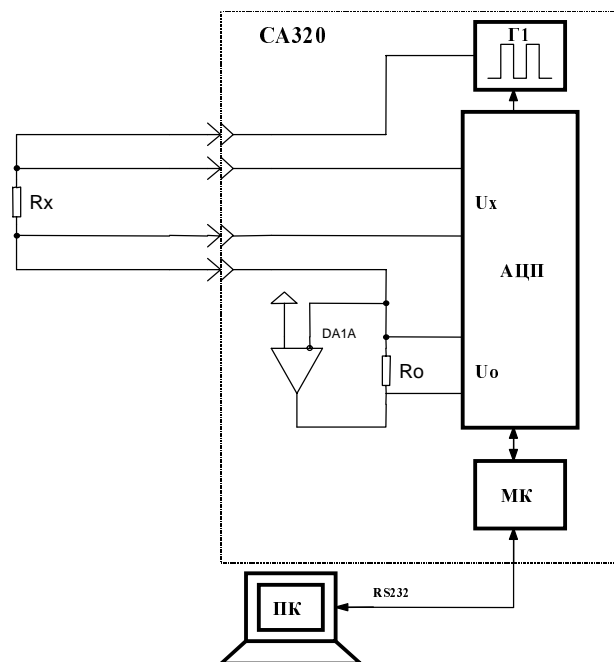


Рис. 1. Структурна схема СА-320 в режимі вимірювання опору

Основою, на якій ґрунтується вимірювання опору в СА-320, є вимірювання відношення двох напруг, що діють на виводах послідовно з'єднаних внутрішнього еталонного резистора і сенсора температури під час пропускання через них струму, що виробляє генератор.

Г1 формує прямокутні імпульси напруги з частотою 2 Гц і шпарністю $Q=2$. При додатній полярності напруги Г1 на R_x і R_0 утворюються спади напруг U_{x+} і U_{0+} відповідно. Ці напруги вимірюють аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) і їх код записують в пам'ять мікропроцесорного контролера (МК). Потім полярність напруги генератора Г1 змінюють на від'ємну і вимірюють напруги U_{x-} і U_{0-} . АЦП перетворюють напругу в 23-розрядний двійковий код.

Через високі вхідні опори обох трактів АЦП (вимірювального і опорного) і за наявності захисного підсилювача DA1 струми, що протікають через опори R_0 і R_x , приймають однаковими.

Після закінчення циклу вимірювання МК розраховує значення параметра об'єкта вимірювання за формулою:

$$R_x = \frac{N}{K} \cdot R_0, \quad (1)$$

де $N = \frac{U_{x+} - U_{x-}}{U_{0+} - U_{0-}}$; K – коефіцієнт пропорційності, що враховує коефіцієнти перетворення сигналів у вимірювальному та опорному каналах АЦП.

Розраховане значення опору R_x передають в ПК по інтерфейсу RS-232.

Еталонний резистор R_0 являє собою високо-стабільний металофольговий резистор з відносною річною нестабільністю опору не вище за $2 \times 10^{-3} \%$ і температурним коефіцієнтом опору не більше ніж $5 \times 10^{-4} \%$ /°C.

Високі температурна і часова стабільність характеристик АЦП і еталонного резистора зумовлять відповідно до виразу (1) високу точність вимірювання опору сенсора температури і зразкових резисторів.

Амплітуда струму, потужність на об'єкті, похибка вимірювання опору і мінімальне значення порогу чутливості за опором не перевищують значень, наведених в таблиці.

Амплітуда струму, потужність на об'єкті, похибка вимірювання опору і мінімальне значення порогу чутливості

R_x , кОм	I_x , мкА	P_x max, мкВт	Похибка вимірювання	Поріг чутливості, хв
0...0,01	3000	9,0	$\delta = \delta_0 (1 + C \cdot 10/R_x)$	$2 \cdot 10^{-7}$
0,01...0,1	300...3000	9,0	$\delta = \delta_0 (1 + C \cdot R_x/10)$	$2 \cdot 10^{-7}$
0,1...1,0	30,0	0,9	$\delta = \delta_0 (1 + C \cdot 1000/R_x)$	$2 \cdot 10^{-7}$
1,0...10,0	3...30	0,9	$\delta = \delta_0 (1 + C \cdot R_x/1000)$	$2 \cdot 10^{-7}$
10,0...40,0	2...8	0,64	$\delta = \delta_0 (1 + 10^{-5} R_x)$	$4 \cdot 10^{-6}$
40,0...160,0	1...4	0,64	$\delta = \delta_0 (1 + 5 \cdot 10^{-6} R_x)$	$8 \cdot 10^{-6}$
160...640	0,5...2	0,64	$\delta = \delta_0 (1 + 2,5 \cdot 10^{-6} R_x)$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
640...2500	0,25...1	0,64	$\delta = \delta_0 (1 + 1,25 \cdot 10^{-6} R_x)$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
2500...	0...0,5	0,64	$\delta = \delta_0 (1 + 1,25 \cdot 10^{-6} R_x)$	$6,4 \cdot 10^{-5}$

Примітка: $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – зведена відносна похибка вимірювання опору;

$C = 0,1$ – коефіцієнт пропорційності;

R_x – значення вимірюваного опору, Ом.

Зведена відносна похибка вимірювання коефіцієнта передачі – не більше ніж 1,5

Зведена відносна похибка вимірювання напруги – не більше ніж 2

Допустима основна похибка вимірювання температури (без урахування метрологічних характеристик сенсорів температури) – не більше ніж 0,5 m°K.

Чутливість по температурі (якщо крутість функції перетворення термістора $4 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$) – не гірше ніж 0,1 m°K.

Границю допустимих значень відносної основної похибки при вимірюванні опору термометра при калібруванні за зовнішньою мірою визначають виразом, наведеним в таблиці, в якому коефіцієнт $\delta_0 = 5 \delta_m$, де δ_m – відносна похибка атестації зовнішньої міри.

Режим вимірювання термоелектричних сенсорів (термопар).

Структурну схему вимірювального кола (ВК) в режимі вимірювання параметрів термоелектричних сенсорів зображено на рис. 2.

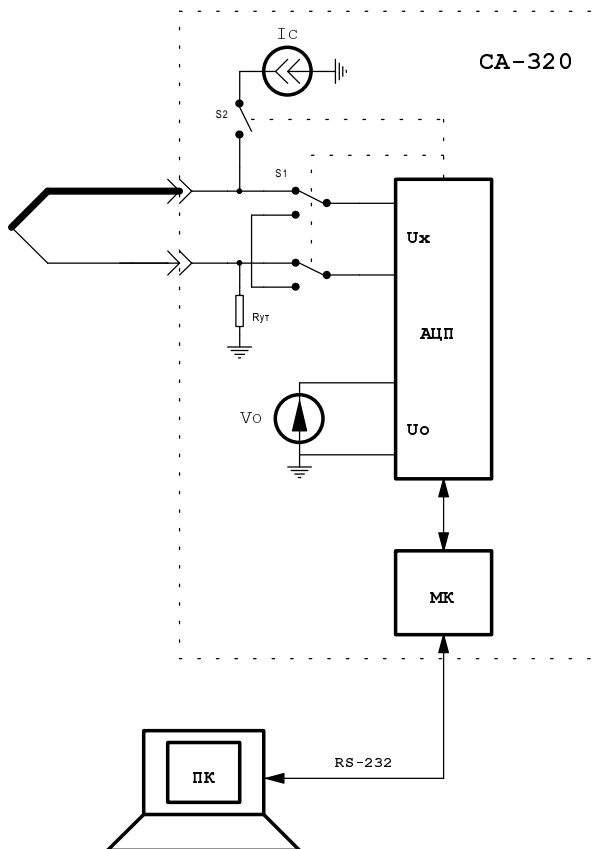


Рис. 2. Структурна схема вимірювального кола в режимі вимірювання параметрів термоелектричних сенсорів

У цій конфігурації ВК цикл вимірювання складається з трьох тактів.

В першому такті замикається ключ S2 (комутатори S1 залишаються у вихідному стані, як показано на схемі) і по колу об'єкта вимірювання проходить струм джерела струму I_c (не більше ніж 300 nA). Створений спад напруги надходить на вимірювальний вхід АЦП. Якщо вимірювана напруга U_{xc} розміщена за межами динамічного діапазону АЦП, приймають рішення, що коло об'єкта вимірювання розірване і цикл вимірювання закінчується. Якщо в колі об'єкта вимірювання відсутній обрив і вимірювана напруга U_{xc} у межах динамічного діапазону АЦП, то на цьому контроль цілісності об'єкта закінчується.

У другому такті ключ S2 розмикають, а комутатори S1 від'єднують об'єкт вимірювання і замикають вхід АЦП. При такій конфігурації АЦП вимірює напругу зміщення U_{x0} . Цей такт називають калібруванням нуля.

На третьому такті ключ S2 залишається розімкненим, а комутатори S1 під'єднують об'єкт вимірювання до входу АЦП і виконують вимірювання напруги U_{x1} на полюсах об'єкта.

Після закінчення циклу вимірювання МК розраховує параметр об'єкта за формулою:

$$U_x = \frac{N_{x1} - N_{x0}}{K} \cdot U_0, \quad (2)$$

де N_{x1} і N_{x0} – коди АЦП, отримані під час вимірювання U_{x1} і U_{x0} ; U_0 – опорна напруга АЦП; K – коефіцієнт пропорційності, що враховує коефіцієнт перетворення сигналу у вимірювальному тракті АЦП.

Розраховане значення напруги U_x передають в ПК по інтерфейсу RS-232.

Опорна напруга U_0 являє собою високостабільне термокомпенсоване джерело напруги з відносною річною нестабільністю напруги не вище ніж $1 \times 10^{-3} \%$ і температурним коефіцієнтом опору не більше за $1 \times 10^{-4} \%$ /°C.

Високі температурна і часова стабільність характеристик АЦП і опорної напруги визначають відповідно до виразу (2) високу точність вимірювання напруги термоелектричних сенсорів температури.

Абсолютна чутливість за напругою не гірша за 5 nV (час вимірювання не менше ніж 6 с).

Режим вимірювання температури за допомогою діодних сенсорів.

Структурна схема вимірювального кола в режимі вимірювання температури за допомогою діодних сенсорів зображена на рис. 3.

Принцип, на якому ґрунтується вимірювання температури за допомогою діодних сенсорів в СА-320, це вимірювання відношення двох напруг, що діють на виводах послідовно з'єднаних внутрішнього еталонного резистора і діодного сенсора температури при пропусканні через них струму генератора струму I_C .

Генератор струму I_C формує струм, який протікає через діодний сенсор температури і еталонний резистор R_0 , створюючи спади напруг U_X і U_0 відповідно. Полярність струму визначають автоматично, а його значення вводить оператор (за замовчуванням $I_C=100\mu A$). АЦП здійснює перетворення цих напруг в 23-розрядний двійковий код і їх код записують в пам'ять МК.

Через високі входні опори обох трактів АЦП (вимірювального і опорного) і наявності захисного підсилювача DA1 струми, що протікають через еталонний резистор R_0 і діодний сенсор температури, приймають однаковими.

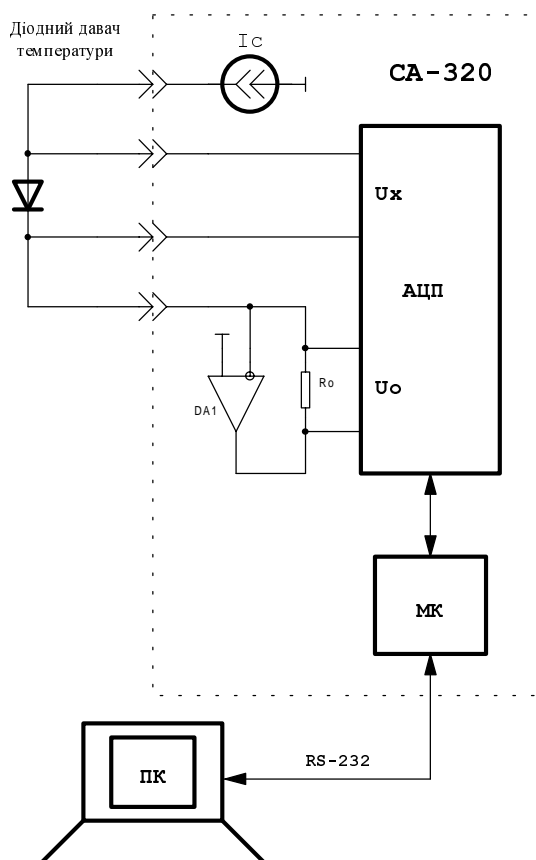


Рис. 3. Структурна схема вимірювального кола в режимі вимірювання температури за допомогою діодних сенсорів

Після закінчення циклу вимірювання МК розраховує вимірюване значення параметра об'єкта контролю за формулою:

$$T = A \cdot U_X, \quad (5)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, що враховує конкретний тип діодного сенсора температури і вводиться оператором.

Розраховане значення температури T робочого струму $I_C=U_0/R_0$, при якому здійснювалось вимірювання, передаються в ПК по інтерфейсу RS-232.

МК здійснює перетворення команд, що надходять з ПК, в сигнали керування модулями і блоками СА-320, а також передає в ПК цифрові коди, які формує АЦП. Взаємодія з ПК здійснюється по інтерфейсу RS-232.

ПК призначено для керування вимірюванням, опрацюванням, візуалізацією та зберіганням даних, а також для забезпечення діалогу оператора з вимірювальним приладом СА-320.

Сенсори температури (тиску, деформації, магнітної індукції тощо) через 8-канальний комутатор під'єднують до СА-320. Кожному роз'єму на комутаторі відповідає номер сенсора (номер каналу вимірювання) в діалоговому вікні ПК.

СА-320 по чергово автоматично за допомогою 8-канального комутатора вмикає сенсори (структурна схема СА-320 разом з 8-канальним комутатором наведена на рис.4) у вимірювальне коло, вимірює їх параметри (опір, напругу, магнітну індукцію, тиск та інші) і забезпечує вивід результатів з прив'язуванням до часу на екран дисплея ПК і у файл даних.

Результати вимірювання видають у вигляді значень опорів (напруг, коефіцієнтів передачі) під'єднаних сенсорів або у вигляді значень вимірюваної температури (тиску, магнітної індукції тощо), розрахованих відповідно до попередньо введених оператором формул і параметрів для конкретних сенсорів.

Інші характеристики:

споживана від мережі потужність – не більше ніж 2 ВА;

маса приладу – не більше за 0,5 кг;

габарити, мм – 80×180×60;

середнє напрацювання на відмову не менше ніж 10000 год;

повний строк служби приладу не менше за 6 років.

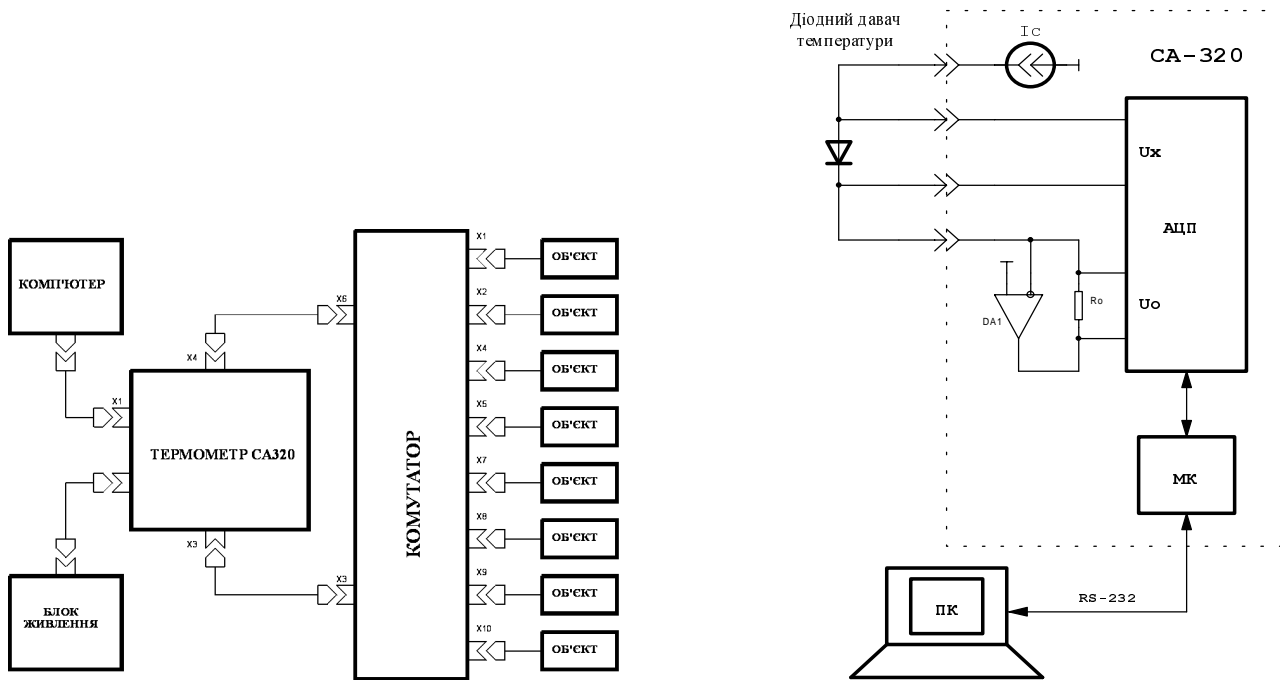


Рис. 4. Структурна схема СА-320 разом з 8-канальним комутатором

Нормальні умови застосування термометра:

- температура довкілля, °С 20 ± 2 ;
- відносна вологість, % до 80;
- частота мережі живлення, Гц 50 ± 1 ;
- напруга мережі живлення змінного струму, В 220 ± 22 .

Робочі умови застосування термометра:

- температура довкілля, °С 20 ± 15 ;

- відносна вологість, % до 95;
- частота мережі живлення, Гц 50 ± 1 ;
- напруга мережі живлення змінного струму, В 220 ± 22 .

Нині декілька прецизійних вимірювальних систем СА-320 експлуатують у провідних метрологічних центрах Росії і Туреччини. Дослідження цих зразків у реальних лабораторних умовах підтверджують їх високі метрологічні та експлуатаційні характеристики.