

УДК 531.7.08

## Калибровка комплекса автоматизированного ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R

Ю. А. Беленцов<sup>1</sup>, В. Д. Ефимов<sup>2</sup>, В. С. Соловьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup>Октябрьский центр метрологии — структурное подразделение Октябрьской железной дороги — филиала ОАО «РЖД», Российская Федерация, 196240, Санкт-Петербург, участок железной дороги «Лиговский канал — Пулковское шоссе», литера А

**Для цитирования:** Беленцов Ю. А., Ефимов В. Д., Соловьев В. С. Калибровка комплекса автоматизированного ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 2. — С. 158–171. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-158-171

### Аннотация

**Цель:** Разработка метода калибровки, анализ применения отечественных средств калибровки и сравнение их с импортными средствами измерений. Оценка осуществимости: разработка методологии калибровки. **Методы:** Использованы аналитические и графические методы сравнения метрологических характеристик средств измерений, используемых при калибровке. Оценка рисков произведена с помощью диаграммы Исикавы. **Результаты:** Определена возможность калибровки комплекса автоматизированного ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R с использованием отечественных средств измерений. Сравнение метрологических характеристик калибруемых средств измерений позволило обосновать целесообразность разработки унифицированной методики калибровки для нескольких типов средств измерений. Проведен анализ: методов измерений; отечественных средств измерений и эталонов, применяемых при калибровке, и обосновано их использование. Анализ отечественных средств калибровки показывает, что они способны решать требуемые измерительные задачи при калибровке. Определен способ передачи единицы величины. Оценены риски использования методики калибровки. **Практическая значимость:** Внедрение отечественных средств измерений повысит экономику страны. Методика калибровки для нескольких типов обеспечивает комплексный подход к калибровке и упрощает процедуры калибровки. Новая методика позволяет более точно оценить метрологические характеристики средства измерения и повышает достоверность результатов измерений. Данный подход оптимизирует процесс метрологического обеспечения, сокращает временные и материальные затраты, а также обеспечивает единообразие процедур калибровки для технически сходных средств измерений. В условиях технологического суверенитета развитие отечественных средств измерений является стратегически важной задачей, требующей координации усилий производителей, метрологических служб и регулирующих органов.

**Ключевые слова:** Измерительные установки, калибровка, эталоны, методы измерений, погрешность.

### Введение

Безопасность движения при эксплуатации скоростных поездов «Ласточка» и «Сапсан» зависит от эксплуатационной надежности колесных пар, которая обеспечивается неразрушающим контролем. Комплекс автоматизированного ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R (далее — комплекс)

контролирует оси колесных пар, установленные на подвижном составе, во время технического обслуживания.

Актуальность темы заключается в том, что экономические затраты при калибровке меньше, чем при поверке, и не требуется аккредитация в Росаккредитации.

Необходимость импортозамещения рассматривается в статье [1], в которой отмечено, что необходимо увеличить количество производства отечественных средств измерений.

### Возможность калибровки SHUTTLE R

Результаты опроса, проведенного среди специалистов метрологических служб [2], свидетельствуют о том, что 87,7 % организаций пользуются услугами калибровки.

Средства неразрушающего контроля отсутствуют в перечне измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, поэтому при обслуживании подвижного состава могут быть калиброванными.

Комплекс (рис. 1) используется ООО «ВСМ-Сервис» для автоматизированного неразрушающего ультразвукового контроля при освидетельствовании и ремонте колесных пар электропоездов «Сапсан» и «Ласточка» с целью выявления внутренних и поверхностных дефектов.

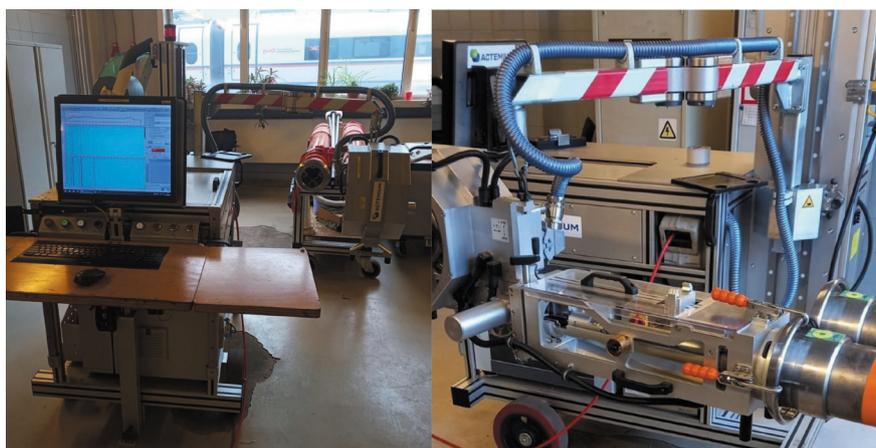


Рис. 1. Общий вид комплекса

Комплекс, согласно ГОСТ Р 8.1030 [3], относится к следующим видам измерений:

- 27 «Измерения геометрических величин»;
- 35 «Радиотехнические и радиоэлектронные»;
- 36 «Виброакустические измерения».

С помощью комплекса измеряют амплитуду эхосигналов, отраженных от дефектов, и координаты дефектов.

В Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений [4] содержатся сведения о трех утвержденных типах средства измерений «Комплекс автоматизированного ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R» и один утверченный тип «Установка ультразвукового контроля полых осей колесных пар SHUTTLE R». Для каждого типа средства измерений разработана методика поверки.

Поверку комплекса осуществляют научно-исследовательские институты и организации, аккредитованные в национальной системе аккредитации, такие как: ФГУП «ВНИИОФИ», ФГУП «ВНИИФТРИ», ФБУ «Тест-С.-Петербург», ООО «Алтек-Инвест».

Периодическая калибровка может выполняться центром метрологии, аккредитованным в Системе калибровки средств измерений ОАО «РЖД», в соответствии с областью аккредитации.

Для дефектоскопов ультразвуковых специализированных, применяемых для контроля подвижного состава, согласно рекомендации по межкалибровочным интервалам средств измерений № 335 [5], устанавливают межкалибровочный интервал 1 год.

## Результаты и обсуждение

Сравнение метрологических характеристик разных типов комплексов в соответствии их описанием типа представлено на рис. 2.

В различных методиках поверки типов комплексов определяются следующие метрологические характеристики:

- 1) значение амплитуды импульсов возбуждения и длительность зондирующего импульса;
- 2) диапазон усиления и пределы допускаемой абсолютной погрешности установки усиления;
- 3) диапазон и пределы абсолютной погрешности измерений отношений амплитуд сигналов;
- 4) диапазон и пределы абсолютной погрешности измерений временных интервалов;
- 5) диапазон и пределы абсолютной погрешности измерений расстояния до дефекта.

По рис. 2 видно, что одни метрологические характеристики комплексов отличаются, а другие совпадают.

В методиках поверки используются разные средства поверки, часть которых являются импортными. В методике калибровки будут использоваться отечественные средства калибровки, аналогичные импортным средствам измерений.

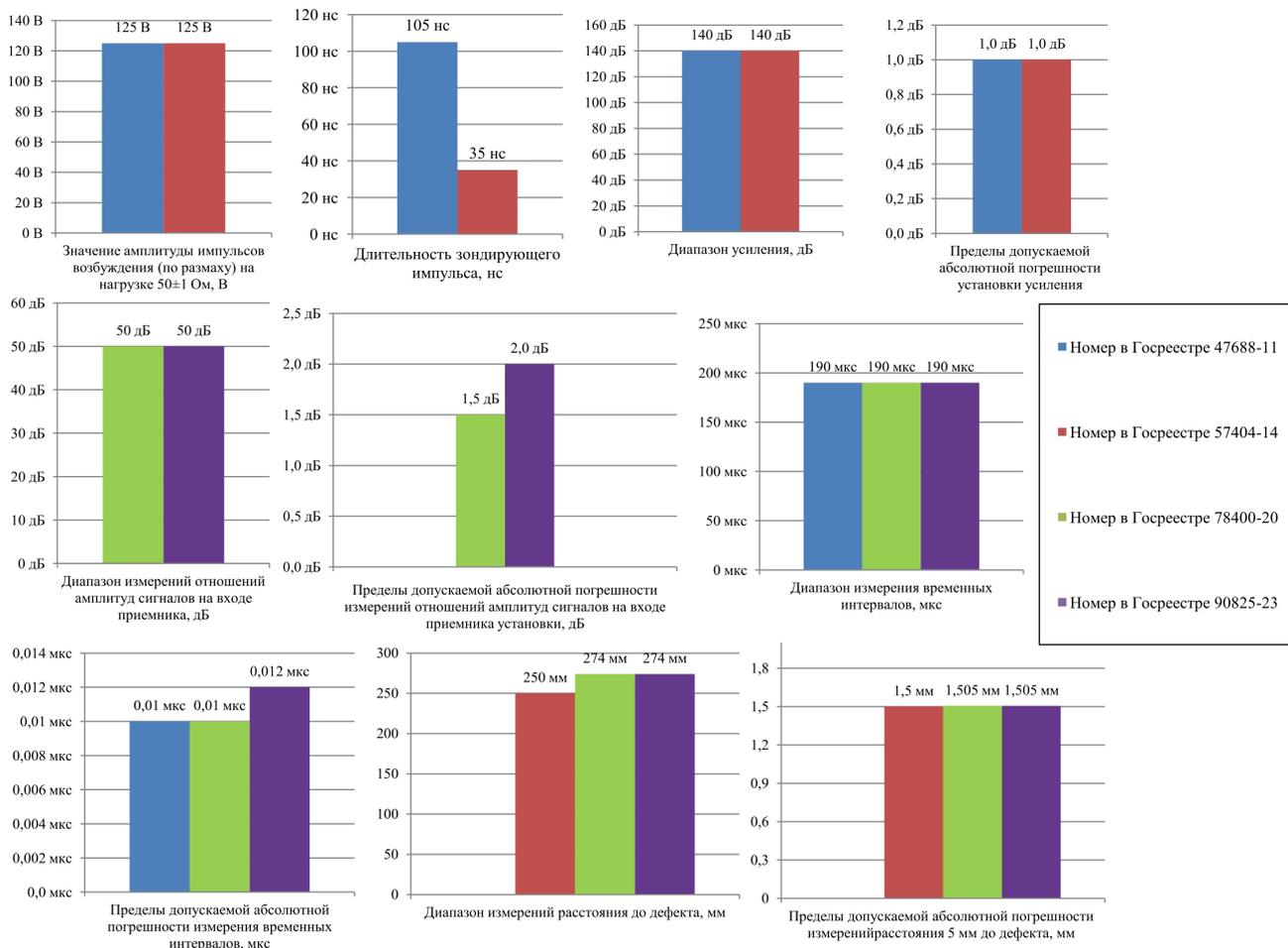


Рис. 2. Сравнение метрологических характеристик комплексов

Сравнение используемых средств поверки разных методик поверки и средств калибровки разрабатываемой методики калибровки представлено в табл. 1, в которой номер соответствует определяемой метрологической характеристике по порядку, представленному выше.

Синтезатор СС306 совмещает в себе функции осциллографа, генератора сигналов и аттенюатора. Прибор может генерировать тестовые сигналы, которые подаются на вход комплекса для определения метрологических характеристик.

Управление синтезатором сигналов производится через персональный компьютер. Имеется возможность создавать определенные сценарии в виде набора настроек для калибровки разных типов дефектоскопов. Компактная конструкция и малый вес прибора делают его оптимальным решением для мобильной калибровки комплексов на месте эксплуатации.

Значение амплитуды импульсов возбуждения и длительности зондирующего импульса измеряется синтезатором сигналов СС306, осциллограмма отображается на экране компьютера (рис. 3).

ТАБЛИЦА 1. Сравнение используемых средств поверки и средств калибровки

№	Методика поверки МП 07.86—2011	Методика поверки МП 109.Д4-13	Методика поверки МП 003.Д4-20	Методика поверки МП 651-23-033	Методика калибровки
1	Осциллограф цифровой TDS2012B	Осциллограф цифровой TDS2012B	—	—	Синтезатор сигналов СС306
2	Генератор сигналов сложной формы AFG3022, магазин затуханий М3-50-03	Генератор сигналов сложной формы AFG3022, магазин затуханий М3-50-03	—	—	Синтезатор сигналов СС306
3	—	—	Генератор сигналов сложной формы AFG3022, магазин затуханий М3-50-02	Генератор сигналов произвольной формы 33521В, аттенюатор ступенчатый ручной 8494В, аттенюатор ступенчатый ручной 8496В	Синтезатор сигналов СС306
4	Генератор сигналов сложной формы AFG3022	—	Генератор сигналов сложной формы AFG3022	Генератор сигналов произвольной формы 33521В, частотомер электронно- счетный ЧЗ-85/6	Синтезатор сигналов СС306, частотомер ПрофКиП ЧЗ-88
5	—	Комплект контрольных образцов и вспомогательных устройств КОУ-2	Комплект КОУ-2 Комплект мер ККО-3	Комплект мер для дефектоскопии АЗ-НК	Комплект мер ККО-3

Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений отношений амплитуд сигналов на входе приемника установки, диапазона усиления и пределов допускаемой абсолютной погрешности установки усиления производится с помощью синтезатора сигналов СС306, который генерирует сигналы с определенной амплитудой и задержкой. Общая схема подключения представлена на рис. 4.

При определении диапазона и абсолютной погрешности измерений отношений амплитуд сигналов, а также диапазона усиления и пределов допускаемой абсолютной погрешности установки усиления передача единицы величины ослабления (усиления) электромагнитных колебаний производится в соответствии с государственной поверочной схемой [6].

Погрешность ослабления сигнала синтезатора сигналов в разных диапазонах колеблется от 0,1 до 0,3 дБ, что соответствует диапазону погрешности (0,01–5,0) дБ рабочих эталонов 2-го разряда.

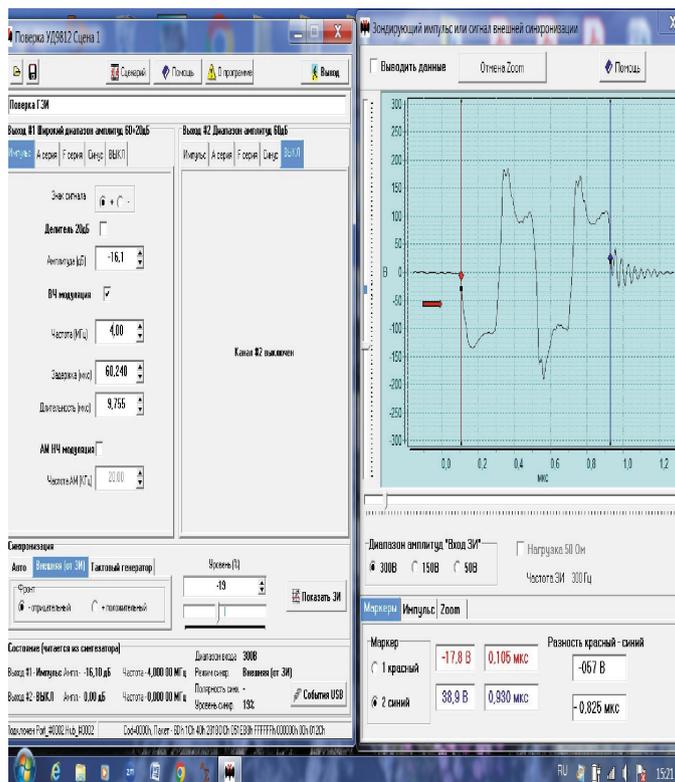


Рис. 3. Окно осциллографа

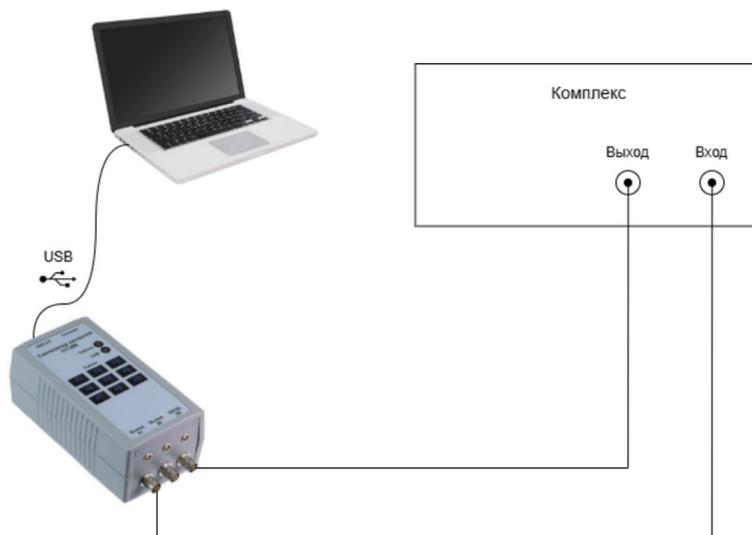


Рис. 4. Общая схема подключения

Передача единицы величины времени производится в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом № 2360 [7].

При определении диапазона и пределов абсолютной погрешности измерений временных интервалов используется частотомер универсальный ПрофКиП ЧЗ-88 в качестве эталона 4-го разряда. Схема подключения представлена на рис. 5.

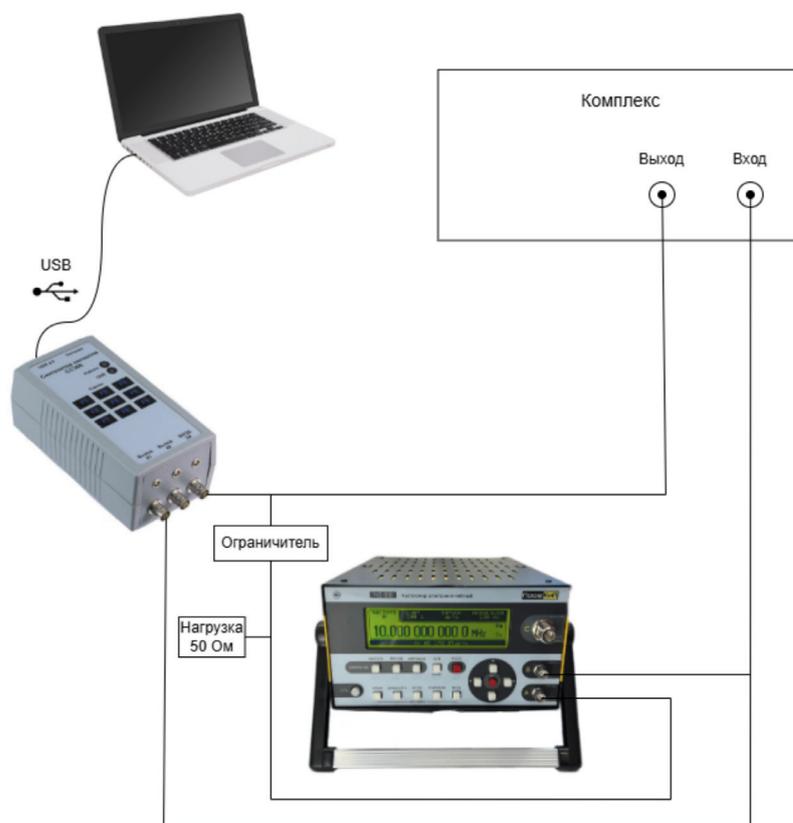


Рис. 5. Схема подключения для определения диапазона и абсолютной погрешности измерений временных интервалов

Определение диапазона и расчет абсолютной погрешности измерений расстояния до дефекта производится с помощью меры № 3 и меры № 3Р из комплекта мер ультразвуковых ККО-3.

По предложенной классификации в [8]: «Образцы первой группы предназначены для поверки (калибровки) ультразвукового оборудования и, по сути, представляют собой образцовые (эталонные) меры, воспроизводящие, наряду с геометрическими размерами, те или иные акустические характеристики, в частности скорость распространения ультразвуковых волн». Меры, предназначенные для калибровки, подтверждают метрологические характеристики средств ультразвукового контроля с требуемой точностью.

Предел допускаемых погрешностей всех рабочих эталонов должен быть как минимум в 3 раза меньше предела допускаемых погрешностей калибруемых средств измерений.

Сравнение метрологических характеристик средств калибровки со стандартом ГОСТ Р 55809—2013 [9] и требуемыми значениями при калибровке представлено на рис. 6.

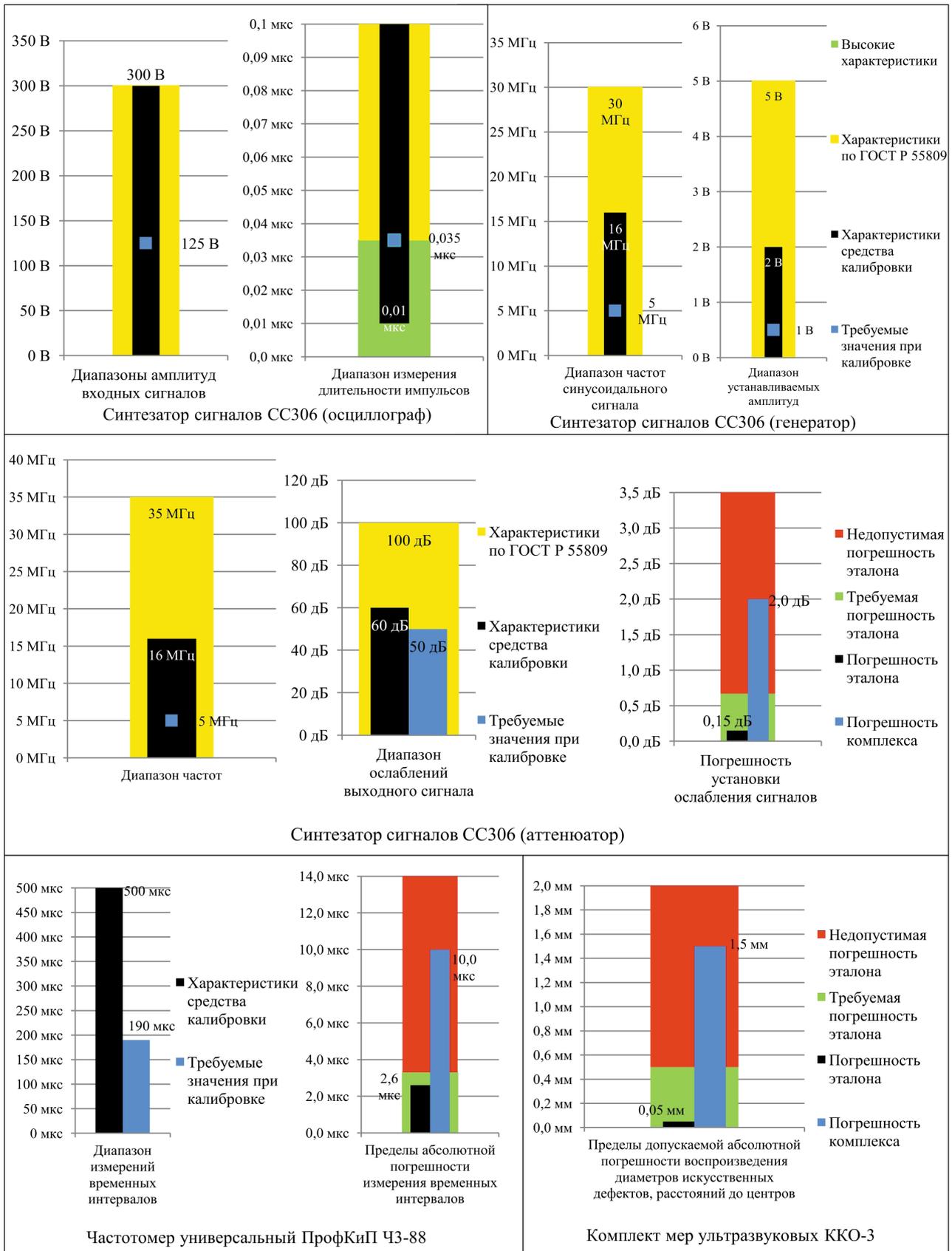


Рис. 6. Обоснование метрологических характеристик выбранных средств калибровки

На рис. 6 видно, что диапазон измерений средств калибровки обеспечивает воспроизведение и измерение требуемых значений при калибровке. Погрешность измерения временных интервалов частотомера в 3 раза меньше погрешности комплекса. Погрешность ослабления сигнала синтезатора сигналов на порядок меньше погрешности комплекса.

Сравнение характеристик импортных средств поверки со средствами калибровки представлено на рис. 7.

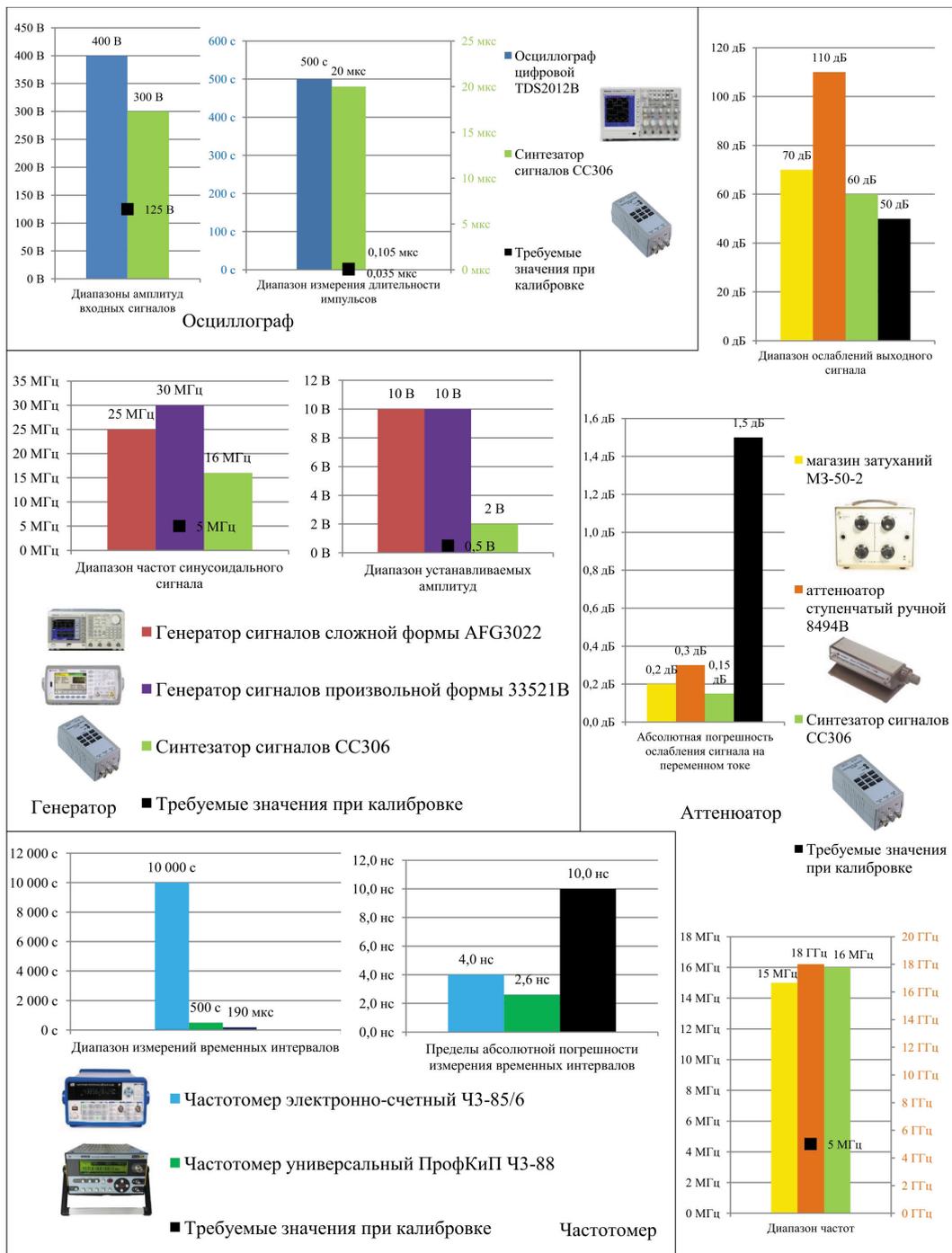


Рис. 7. Сравнение характеристик средств поверки со средствами калибровки

Погрешность ослабления сигнала синтезатора сигналов меньше, чем у импортных аналогов. Погрешность измерения временных интервалов частотомером универсальным ПрофКиП ЧЗ-88 меньше, чем у импортного частотомера электронно-счетного ЧЗ-85/6, поэтому его можно использовать для калибровки более ранних утвержденных типов комплекса.

Показатели, влияющие на качество неразрушающего контроля, рассматриваются в [10]: «Один из важнейших показателей — вероятность обнаружения дефекта».

На вероятность обнаружения влияет качество калибровки. Для оценки влияния факторов на качество калибровки используется диаграмма Исикавы, которая представлена на рис. 8.

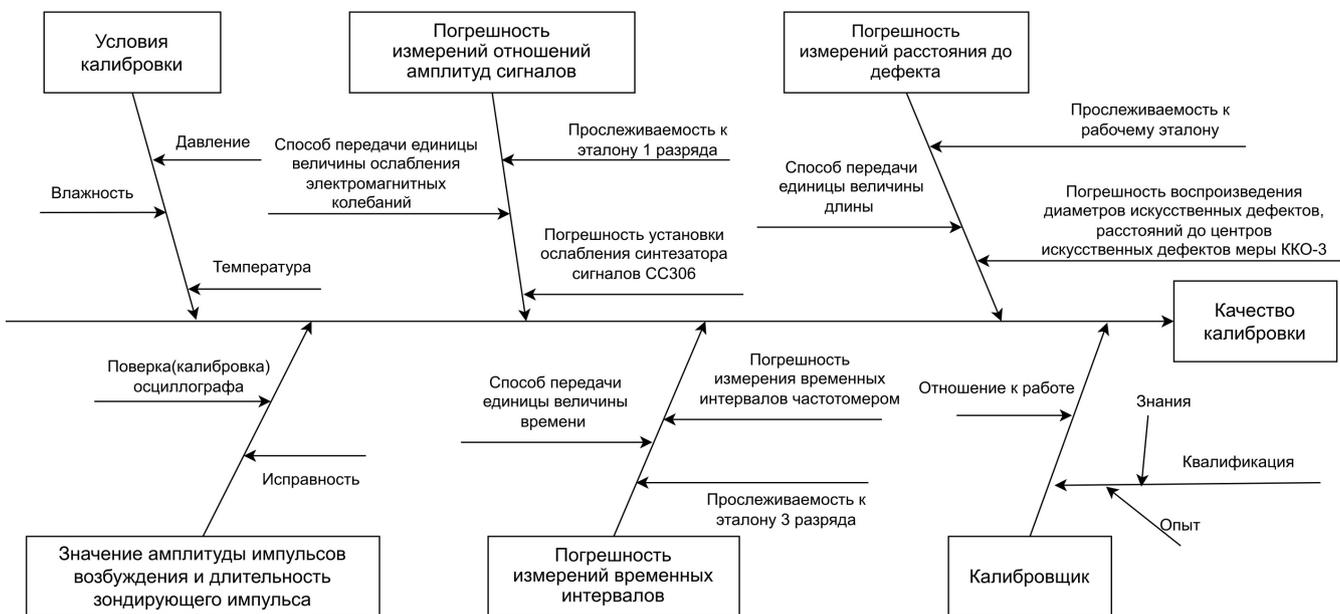


Рис. 8. Диаграмма Исикавы

В результате наиболее влияющим фактором является калибровщик, для минимизации данного фактора необходимо регулярное обучение калибровщиков. Для минимизации субъективной погрешности методика калибровки должна быть понятной и детализированной. Наиболее влияющими факторами являются погрешность измерений расстояния до дефекта, погрешность измерений временных интервалов, поэтому ультразвуковые меры и частотомер должны быть поверенными.

## Заключение

Таким образом, проведен анализ различных типов комплексов и методик поверки и выяснено, что метрологические и технические характеристики практически идентичны и в методиках поверки определяются одинаковые метрологические

характеристики, это позволяет унифицировать подходы к калибровке, разработать единую методику калибровки для нескольких типов комплексов. Использование синтезатора сигналов СС306 обеспечивает мобильность и автоматизацию калибровки, что облегчает и ускоряет выполнение калибровочных операций. Реализация методики калибровки повысит эффективность калибровки и снизит зависимость от импортных средств измерений в рамках стратегии импортозамещения.

## Список источников

1. Коршунов В. А. Актуальные вопросы современного развития радиотехнических и радиоэлектронных средств измерений / В. А. Коршунов, А. С. Корнев, А. М. Патапеня // Законодательная и прикладная метрология. — 2020. — № 4(166). — С. 30–35.
2. Макеева Н. А. Оценка востребованности услуг по калибровке эталонов и средств измерений / Н. А. Макеева // Компетентность/Competency (Russia). — 2018. — № 7. — С. 44–48.
3. ГОСТ Р 8.1030—2024. Государственная система обеспечения единства измерений. Классификация средств измерений. — М.: Российский институт стандартизации, 2024. — 102 с.
4. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений ФГИС «Аршин». — URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (дата обращения: 10.03.2025).
5. Система калибровки средств измерений в ОАО «РЖД». Межкалибровочные интервалы средств измерений (утверждены старшим вице-президентом В. А. Гапановичем от 31.10.2012 № 335; в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 26.08.2020 № 1823/р). — М.: ОАО «РЖД», 2020.
6. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 г. № 3383 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц». — М.: Росстандарт, 2019.
7. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 г. № 2360 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты». — М.: Росстандарт, 2022.
8. Зубарев А. С. Проблемы метрологического обеспечения мер (настроечных образцов) для ультразвукового метода неразрушающего контроля, выпускаемых в соответствии с ГОСТ Р 55724—2013 / А. С. Зубарев // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: труды XVI Международной научно-технической конференции, Суздаль, 09–12 октября 2023 года. — М.: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. — С. 299–304.
9. ГОСТ Р 55809—2013. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы ультразвуковые. Методы измерений основных параметров. — М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2013. — 16 с.
10. Иванов В. И. Метрологическая классификация методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики / В. И. Иванов, В. Н. Панчиков, И. Э. Власов // Мир измерений. — 2012. — № 6. — С. 3–7.

Дата поступления: 30.04.2025

Решение о публикации: 03.06.2025

### Контактная информация:

БЕЛЕНЦОВ Юрий Алексеевич — д-р техн. наук, проф.; belets@mail.ru

ЕФИМОВ Валерий Дмитриевич — инженер I категории; Dashkin.valera@gmail.com

СОЛОВЬЕВ Вячеслав Сергеевич — студент; solovv130@gmail.com

## Calibration of the Automated Ultrasonic Inspection System for SHUTTLE R Hollow Axle's Wheelsets

Yu. A. Belentsov<sup>1</sup>, V. D. Yefimov<sup>2</sup>, V. S. Solovyov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup>Oktyabrsky Center of Metrology — structural unit Oktyabrskaya Railway — a branch of JSC “Russian Railways”, letter A, section of the railway “Ligovsky Canal-Pulkovskoe highway”, Saint Petersburg, 196240, Russian Federation

**For citation:** Belentsov Yu. A., Yefimov V. D., Solovyov V. S. Calibration of the Automated Ultrasonic Inspection System for SHUTTLE R Hollow Axle's Wheelsets. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 2, pp. 158–171. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-158-171

### Summary

**Purpose:** To develop a calibration method, analyze the use of domestic calibration tools and compare them with foreign measuring tools. To undertake a feasibility assessment, with the aim of constructing a methodology for calibration. **Methods:** A comparison was made of the metrological characteristics of measuring instruments used in calibration, with analytical and graphical methods being utilized in the process. The risk assessment was conducted employing the Ishikawa diagram. **Results:** The potential for calibrating the complex of automated ultrasonic control of hollow axles of SHUTTLE R wheelsets using domestic measuring instruments has been ascertained. A comparison of the metrological characteristics of the calibrated measuring instruments made it possible to substantiate the expediency of developing a unified calibration methodology for several types of measuring instruments. The analysis of measurement methods, domestic measuring instruments, calibration standards, and their use has been justified. A thorough analysis of domestic calibration tools has revealed their capacity to fulfil the measurement tasks during the calibration process. The method of transmitting a unit of magnitude has been defined. An evaluation of the risks associated with the utilization of calibration techniques has been conducted. **Practical significance:** The introduction of domestic measuring instruments has been identified as a potential catalyst for stimulating the country's economy. The multi-type calibration methodology provides a comprehensive calibration approach and simplifies calibration procedures. The novel technique facilitates a more precise evaluation of the metrological characteristics of the measuring instrument and enhances the reliability of measurement outcomes. This approach is expected to enhance the metrological support process, reduce time and material costs, and ensure the uniformity of calibration procedures for technically similar measuring instruments. In the context of technological sovereignty, the development of domestic measuring tools is a strategically important task that requires coordination of efforts by manufacturers, metrological services and regulatory authorities.

**Keywords:** Measuring installation, calibration, etalons, measurement methods, measurement error.

## References

1. Korshunov V. A., Kornev A. S., Patapenya A. M. Aktual'nye voprosy sovremennogo razvitiya radiotekhnicheskikh i radioelektronnykh sredstv izmereniy [Topical issues of modern development of radio engineering and radio electronic measuring instruments]. *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya* [Legislative and Applied Metrology]. 2020, Iss. 4(166), pp. 30–35. (In Russian)
2. Makeeva N. A. Otsenka potrebovannosti uslug po kalibrovke etalonov i sredstv izmereniy [Assessment of the Relevance Calibration Services for Standards and Measuring Devices]. *Kompetentnost'* [Competency]. 2018, Iss. 7, pp. 44–48. (In Russian)
3. GOST R 8.1030—2024. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Klassifikatsiya sredstv izmereniy [GOST R 8.1030—2024. State system for ensuring the uniformity of measurements. Classification of measuring instruments]. 2024, 102 p. (In Russian)
4. Federal'nyy informatsionnyy fond po obespecheniyu edinstva izmereniy FGIS "Arshin" [Federal Information Fund for Ensuring Uniformity of Measurements FGIS "Arshin"]. Available at: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (accessed: March 10, 2025). (In Russian)
5. Sistema kalibrovki sredstv izmereniy v OAO "RZhD". Mezhhkalibrovochnye intervaly sredstv izmereniy (utverzhdeny starshim vitse-prezidentom V. A. Gapanovichem ot 31.10.2012 № 335; v red. rasporyazheniya OAO "RZhD" ot 26.08.2020 № 1823/r) [Calibration system for measuring instruments in JSC "Russian Railways". Calibration intervals of measuring instruments (approved by Senior Vice President V. A. Gapanovich dated 31.10.2012 № 335; as amended by the order of JSC "Russian Railways" dated 26.08.2020 № 1823/r)]. Moscow: OAO "RZhD" Publ., 2020. (In Russian)
6. Prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 30 dekabrya 2019 g. № 3383 "Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy poverochnoy skhemy dlya sredstv izmereniy oslableniya napryazheniya postoyannogo toka i elektromagnitnykh kolebaniy v diapazone chastot ot 20 Gts do 178,4 GGts" [Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 30, 2019 № 3383 "On approval of the State Verification Scheme for measuring instruments of direct current voltage attenuation and electromagnetic oscillations in the frequency range from 20 Hz to 178.4 GHz"]. Moscow: Rosstandart Publ., 2019. (In Russian)
7. Prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 26 sentyabrya 2022 g. № 2360 "Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy poverochnoy skhemy dlya sredstv izmereniy vremeni i chastoty" [Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 26, 2022 № 2360 "On approval of the State Verification Scheme for measuring instruments of time and frequency"]. Moscow: Rosstandart Publ., 2022. (In Russian)
8. Zubarev A. S. Problemy metrologicheskogo obespecheniya mer (nastroechnykh obraztsov) dlya ul'trazvukovogo metoda nerazrushayushchego kontrolya, vypuskaemykh v sootvetstvii s GOST R 55724—2013 [Problems of metrological support for measures (calibration samples) for the ultrasonic method of non-destructive testing, produced in accordance with GOST R 55724-2013]. *Akustoopticheskie i radiolokatsionnye metody izmereniy i obrabotki informatsii: trudy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Suzdal', 09–12 oktyabrya 2023 goda* [Acousto-optic and radar methods of measurements and information processing: proceedings of the XVI

International Scientific and Technical Conference, Suzdal, October 9–12, 2023]. Moscow: Nauchno-tekhnologicheskiiy tsentr unikal'nogo priborostroeniya RAN Publ., 2023, pp. 299–304. (In Russian)

9. *GOST R 55809—2013. Kontrol' nerazrushayushchiy. Defektoskopy ul'trazvukovye. Metody izmereniy osnovnykh parametrov* [GOST R 55809—2013. Non-destructive testing. Ultrasonic flaw detectors. Methods of measuring the main parameters]. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology Publ., 2013, pp. 16. (In Russian)

10. Ivanov V. I., Pinchukov V. N., Vlasov I. E. Metrologicheskaya klassifikatsiya metodov i sredstv nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoy diagnostiki [Meteorological classification of methods and means of non-destructive testing and technical diagnostics]. *Mir izmereniy* [World of Measurements]. 2012, Iss. 6, pp. 3–7. (In Russian)

Received: April 30, 2025

Accepted: June 03, 2025

**Author's information:**

Yuri A. BELENTSOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; belets@mail.ru

Valery D. YEFIMOV — Engineer of the First Category; Dashkin.valera@gmail.com

Vyacheslav S. SOLOVYOV — Student; solovv130@gmail.com