

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Обзорная статья

УДК 006.91:573–72

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-136-144>



# Анализ состояния метрологического обеспечения эталонов переменного электрического напряжения до 30 МГц

С. А. Иванов  , А. С. Катков , В. И. Шевцов

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
 [s.a.ivanov@vniim.ru](mailto:s.a.ivanov@vniim.ru)

**Аннотация:** В статье представлен анализ состояния метрологического обеспечения в области измерений переменного электрического напряжения в диапазоне частот до 30 МГц. Цель работы – определить потребности в уровне точности для создания в перспективе вторичных и рабочих эталонов, применяемых при передаче единицы.

На основе анализа реестров «Сведения о результатах поверки средств измерений» и «Утвержденные типы стандартных образцов» Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений систематизированы ключевые проблемы эталонной базы, в частности – сложности обеспечения метрологической прослеживаемости в диапазоне частот до 30 МГц. Рассмотрены вопросы совершенствования метрологического обеспечения. Сформулированы рекомендации по обеспечению требуемой точности рабочих эталонов и модернизации вторичных эталонов.

Результаты исследования, обобщенные в виде таблиц и графиков, позволяют оценить текущее состояние воспроизведения единицы переменного напряжения и степень сохранности иерархии Государственной поверочной схемы в среднесрочной перспективе на 5–10 лет.

Опубликованный материал представляет практическую ценность для центров стандартизации и метрологии, разработчиков средств измерений, специалистов в области поверки и аттестации вторичных и рабочих эталонов. Представленная информация может послужить основой для разработки и освоения приборостроительными предприятиями новых серийных средств измерений высокой точности и дает представление о возможностях метрологического оснащения этими средствами измерений различных отраслей экономики.

**Ключевые слова:** измерительный преобразователь, калибратор, поверочная установка, вольтметр, мультиметр

**Принятые сокращения:** ВЭ – вторичный эталон; ГПЭ – Государственный первичный эталон; РЭ – рабочий эталон; СИ – средство измерений; ФИФ ОЕИ – Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

**Ссылка при цитировании:** Иванов С. А., Катков А. С., Шевцов В. И. Анализ состояния метрологического обеспечения эталонов переменного электрического напряжения до 30 МГц // Эталоны. Стандартные образцы. 2025. Т. 21, № 2. С. 136–144. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-136-144>

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 17.06.2025; принята к публикации 25.06.2025.

## MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Review Article

# Analysis of the State of Metrological Support for AC Electric Voltage Standards up to 30 MHz

Sergey A. Ivanov  , Alexander S. Katkov , Vladimir I. Shevtsov

D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia

 s.a.ivanov@vniim.ru

**Abstract:** The article presents an analysis of the state of metrological support in the field of alternating electric voltage measurements in the frequency range up to 30 MHz. The purpose of the work is to determine the required accuracy level for the further creation of secondary and working standards used in transferring the unit. Analysis of data from the Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements allowed systematization of key issues of the reference base, in particular, the difficulties of ensuring metrological traceability in the frequency range up to 30 MHz.

The study examines issues of improving metrological support and formulates recommendations for ensuring the required accuracy of working standards and modernizing secondary standards.

The research results, presented in tables and diagrams, made it possible to assess the current state of AC voltage unit reproduction and ensure the level of preservation of the hierarchy of the State verification schedule in the medium term for 5–10 years.

The findings are of practical value for standardization and metrology centers, developers of measuring instruments, specialists in the field of verification and certification of secondary and working standards. The presented information may serve as a basis for the development and implementation of new serial high-precision measuring instruments by instrumentation enterprises and gives an idea of the potential for metrological equipment of various economic sectors with them.

**Keywords:** measuring transducer, calibrator, verification unit, voltmeter, multimeter

**Abbreviations used:** SS – secondary standard; SPS – State Primary Standard; WS – working standard; MI – measuring instrument; FIF EUM – Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements.

**For citation:** Ivanov S. A., Katkov A. S., Shevtsov V. I. Analysis of the state of metrological support for AC electric voltage standards up to 30 MHz. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2025;21(2):136–144. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-2-136-144>

The article was submitted 02.12.2024; approved after reviewing 17.06.2025; accepted for publication 25.06.2025.

### Введение

Переменное электрическое напряжение как фундаментальная физическая величина имеет ключевое значение для характеристики эффективности энергетических систем в различных областях науки и техники, таких отраслях, как электроэнергетика, транспортные системы, медицинская диагностика [1].

В рамках данного исследования предполагается комплексный анализ метрологических характеристик эталонов переменного электрического напряжения в диапазоне до 1 000 В при частотах до 30 МГц с доверительными границами относительных погрешностей ( $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ ). Особое внимание будет уделено выявлению наиболее востребованных

модификаций РЭ 1-го разряда, а также оценке предельных точностных характеристик прецизионных СИ в диапазоне до 30 МГц.

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования вторичного эталона в указанном частотном диапазоне, получающего единицу переменного электрического напряжения от ГЭТ 89–2008<sup>1</sup> через действующую систему передачи единицы<sup>2</sup>, поскольку существующие РЭ 1-го разряда демонстрируют превышение доверительных границ относительной погрешности. Полученные результаты позволят обосновать разработку новых РЭ и совершенствование ВЭ, обеспечивающих сохранение иерархии Государственной поверочной схемы для средств измерений переменного напряжения до 1 000 В в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $2 \cdot 10^9$  Гц на среднесрочную перспективу – до 10 лет. Прогресс техники, возрастание требований к качеству промышленной продукции и эффективности технологических процессов связаны с постоянным развитием применяемых СИ, что ставит новые задачи при совершенствовании системы метрологического обеспечения в данной области измерений и при разработке и выпуске ВЭ и РЭ.

Цель настоящей публикации:

- проанализировать состояние метрологического обеспечения в области измерений переменного электрического напряжения частотой до 30 МГц;
- представить аргументированный прогноз (а) потребностей в уровне точности, (б) номенклатуры создаваемых ВЭ и РЭ, применяемых при передаче единицы.

## Материалы и методы

Аналитическую базу составили метрологические характеристики современных прецизионных СИ, составляющих неотъемлемый элемент отечественной системы обеспечения единства измерений и выполняющих критически важную функцию передачи единицы

<sup>1</sup> ГЭТ 89–2008 Государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения (вольта) в диапазоне частот  $10 \div 3 \times 10^7$  Гц.

<sup>2</sup> Российская метрологическая энциклопедия. Том 1. СПб. : Информационно-издательская фирма «Лики России», 2015. 522–525 с.

переменного электрического напряжения в соответствии с ГПС ГЭТ 89–2008<sup>3</sup>.

Фактический материал взят в ФИФ ОЕИ из реестров «Сведения о результатах поверки средств измерений»<sup>4</sup> и «Утвержденные типы средств измерений»<sup>5</sup> по состоянию на 2024 г. В выборку попали СИ утвержденных типов отечественного и зарубежного производства по принципу востребованности на территории Российской Федерации (РФ). В настоящей статье рассмотрены их метрологические характеристики.

Подбор аналитической информации и дальнейший анализ осуществляли специалисты ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», являющиеся операторами соответствующих реестров ФИФ ОЕИ.

## Результаты и обсуждение

Анализ разделов «Утвержденные типы средств измерений» и «Сведения о результатах поверки средств измерений» в ФИФ ОЕИ привел к следующим выводам.

В РФ совокупное количество СИ, предназначенных для измерения и воспроизведения переменного электрического напряжения, превышает 1 млн единиц изделий отечественного и зарубежного производства. В качестве СИ применяют измерительные преобразователи, калибраторы, поверочные установки, вольтметры и мультиметры в режиме воспроизведения и измерения переменного напряжения.

Метрологическое обеспечение измерений в области переменного электрического напряжения частотой до 30 МГц в РФ опирается на разработанный в ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» ГПЭ ГЭТ 89–2008, а также на ГПС ГЭТ 89–2008. ГПЭ ГЭТ 89–2008

<sup>3</sup> Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений переменного электрического напряжения до 1 000 В в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $2 \cdot 10^9$  Гц : Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 18 августа 2023 года № 1706.

<sup>4</sup> ФИФ ОЕИ. Сведения о результатах поверки средств измерений. Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/> (дата обращения: 28.10.2024).

<sup>5</sup> ФИФ ОЕИ. Утвержденные типы средств измерений. Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> (дата обращения: 28.10.2024).

применяют для передачи единицы электрического напряжения ВЭ, РЭ и СИ с целью обеспечения единства измерений в РФ<sup>6</sup>.

ВЭ РЭН-2 и РЭН-2М, разработанные в 80-е гг. прошлого столетия, в настоящее время в центрах стандартизации и метрологии не функционируют, будучи замещенными следующим оборудованием:

– преобразователями переменного напряжения прецизионными 792А, которым после аттестации присваивается статус ВЭ [2];

– преобразователями напряжения термоэлектрическими ПНТЭ-36 и ПНТЭ-37 [3, 4], которые по результатам испытаний в целях утверждения типа имеют уровень метрологических характеристик, соответствующий ВЭ.

В качестве РЭ применяются измерительные преобразователи, калибраторы, поверочные

установки, вольтметры и мультиметры. Парк СИ переменного напряжения превышает 1 млн экземпляров и включает самые разнообразные – от «грубых» щитовых приборов до прецизионных [5].

Обособленной частью исследования стал анализ метрологических характеристик серийных РЭ 1-го разряда переменного электрического напряжения как методологически репрезентативной группы, поскольку они не только формируют ключевое звено в цепи передачи единицы от ГЭТ 89–2008, но и обеспечивают необходимую для научных экспериментов точность. Масштабное производство указанного оборудования позволяет проводить статистически достоверный анализ типовых метрологических характеристик.

Метрологические характеристики РЭ 1-го разряда, применяемые для измерения и воспроизведения переменного электрического напряжения, обобщены в табл. 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики РЭ 1-го разряда

Table 1. Metrological characteristics of the WS of the 1st category of electrical quantities

| Тип, рег. № в ФИФ ОЕИ         | Диапазон                                    | Относительная погрешность, ± % |          |
|-------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|----------|
|                               |                                             | от (min)                       | до (max) |
| Измерительные преобразователи |                                             |                                |          |
| В9-14, 39226-08               | от 0,5 до 1 000 В;<br>от 10 Гц до 30 МГц    | 0,01                           | 0,15     |
| В9-25, 30819-05               | от 0,01 до 10 В;<br>от 10 Гц до 100 кГц     | 0,05                           | 0,15     |
| ПНТЭ-6А, 5412-76              | от 0,1 до 30 В;<br>от 20 Гц до 30 МГц       | 0,01                           | 0,5      |
| ПНТЭ-12, 10268-85             | от 30 до 1 000 В;<br>от 20 Гц до 100 кГц    | 0,01                           | 0,05     |
| ПНТЭ-35, 44718-10             | от 0,003 до 1 100 В;<br>от 10 Гц до 200 МГц | 0,01                           | 5        |
| ПНТЭ-36, 59608-15             | от 0,003 до 1 000 В<br>от 10 Гц до 1 МГц    | 0,01                           | 1,5      |
| ПНТЭ-37, 68938-17             | от 0,5 до 30 В<br>от 20 Гц до 30 МГц        | 0,01                           | 0,15     |
| ТПН-1, 9255-83                | от 0,3 до 1 000 В;<br>от 20 Гц до 100 кГц   | 0,005                          | 0,02     |

Окончание табл. 1

End of Table 1

| Тип, рег. № в ФИФ ОЕИ                     | Диапазон                                          | Относительная погрешность, ± % |          |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
|                                           |                                                   | от (min)                       | до (max) |
| Fluke 792A, 38206-14                      | от 0,002 до 1 000 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц         | 0,003                          | 0,5      |
| <i>Калибраторы и поверочные установки</i> |                                                   |                                |          |
| H4-12, 37463-08                           | от 0,2 до 1 000 В;<br>от 0,1 Гц до 1 000 кГц      | 0,003                          | 0,2      |
| H4-17, 46628-11                           | от 0,000 05 до 1 000 В;<br>от 0,1 Гц до 1 000 кГц | 0,01                           | 0,3      |
| H5-3, 20769-14                            | от 0,000 003 до 3,5 В;<br>от 10 Гц до 50 МГц      | 0,2                            | 4        |
| H5-4, 37095-08                            | от 5 до 30 В;<br>от 0,1 до 50 МГц                 | 0,1                            | 0,2      |
| H5-7/1, 78556-20                          | от 0,03 до 10 В;<br>от 0,1 до 30 МГц              | 0,03                           | 0,8      |
| H5-10, 92578-24                           | от 0,001 до 10 В;<br>от 0,1 до 30 МГц             | 0,03                           | 0,7      |
| H4-24, 89855-23                           | от 0,000 9 до 1 050 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц       | 0,01                           | 0,2      |
| Fluke 5520A, 51160-12                     | от 0,001 до 1 020 В;<br>от 10 Гц до 500 кГц       | 0,01                           | 0,6      |
| Fluke 5730A, 60407-15                     | от 0,002 2 до 1 100 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц       | 0,01                           | 0,04     |
| <i>Вольтметры, мультиметры</i>            |                                                   |                                |          |
| H4-12, 37463-08                           | от 0,2 до 1 000 В;<br>от 20 Гц до 1 000 кГц       | 0,01                           | 0,3      |
| Agilent 3458A, 25900-03                   | от 0,01 до 1 000 В;<br>от 1 Гц до 10 МГц          | 0,01                           | 0,1      |
| Fluke 5790A, 46613-11                     | от 0,0022 до 1 000 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц        | 0,004                          | 0,2      |
| Fluke 5790B, 67649-17                     | от 0,001 до 1 050 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц         | 0,002                          | 0,1      |
| Fluke 8508A, 25984-14                     | от 0,2 до 1 000 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц           | 0,004                          | 0,1      |
| Keysight 34465A, 3371-16                  | от 0,1 до 750 В;<br>от 3 Гц до 300 кГц            | 0,01                           | 0,2      |
| Tektronix DM4050, 43826-10                | от 0,1 до 1 000 В;<br>от 3 Гц до 20 кГц           | 0,01                           | 0,4      |
| Transmille 8081R, 68139-17                | от 0,1 до 1 000 В;<br>от 10 Гц до 1 МГц           | 0,13                           | 0,4      |

Анализ данных (табл. 1) показывает, что РЭ на основе измерительных преобразователей ПНТЭ-37 и ТПН-1, калибратора Fluke 5730A и мультиметра Fluke 8508A обладают высокими точностными характеристиками в диапазоне (0,005–0,05)%.

Более подробные характеристики наиболее распространенных СИ переменного напряжения, применяемых в качестве РЭ 1-го разряда для передачи единицы измерительным преобразователям, калибраторам и вольтметрам, представлены на рис. 1–6.

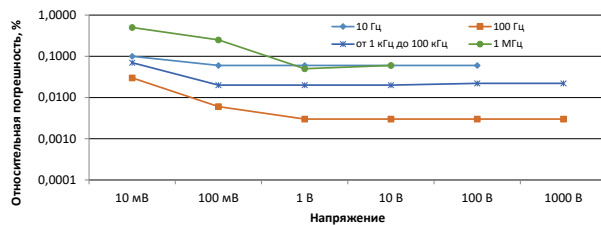


Рис. 1. Пределы относительной погрешности измерения переменного напряжения Fluke 792A

Fig. 1. Limits of relative error of measurement of AC Voltage Fluke 792A

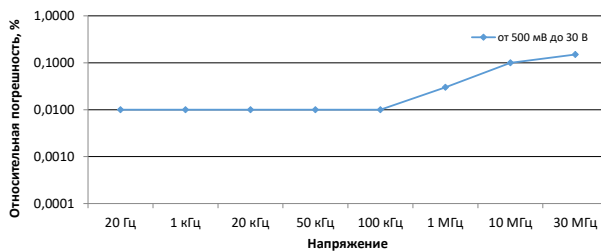


Рис. 2. Пределы относительной погрешности измерения переменного напряжения ПНТЭ-37

Fig. 2. Limits of relative error of measurement of AC Voltage PNTЭ-37

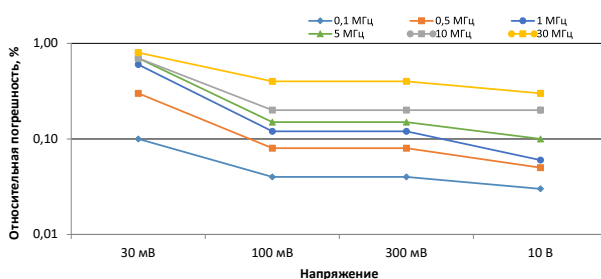


Рис. 3. Пределы относительной погрешности воспроизведения переменного напряжения N5-7/1

Fig. 3. Limits of relative error of reproduction of AC Voltage N5-7/1

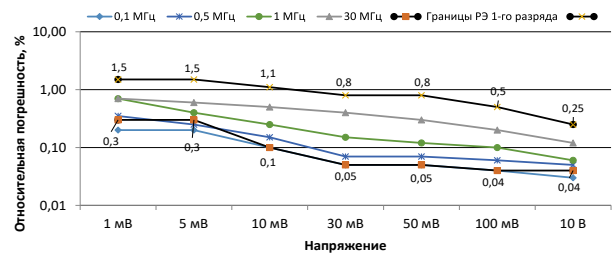


Рис. 4. Пределы относительной погрешности воспроизведения переменного напряжения N5-10

Fig. 4. Limits of relative error of reproduction of AC Voltage N5-10

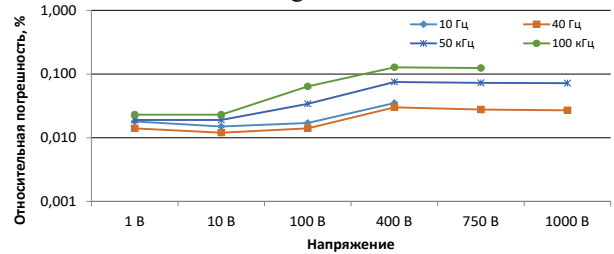


Рис. 5. Пределы относительной погрешности воспроизведения переменного напряжения N4-24

Fig. 5. Limits of relative error of reproduction of AC Voltage N4-24

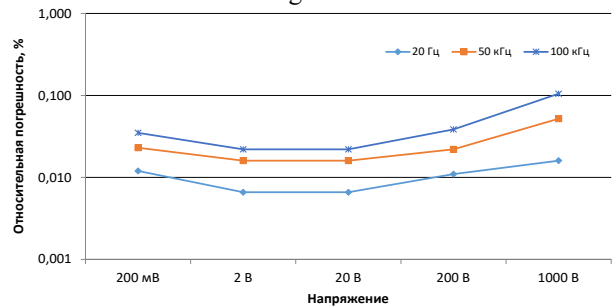


Рис. 6. Пределы относительной погрешности измерения переменного напряжения N4-12

Fig. 6. Limits of relative error of measurement of AC Voltage N4-12

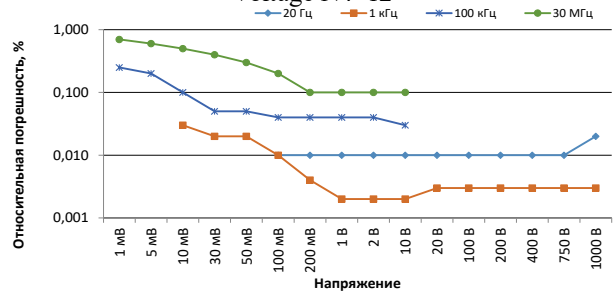


Рис. 7. Анализ наименьших значений относительной погрешности для измерительных преобразователей, калибраторов и мультиметров переменного напряжения

Fig. 7. Analysis of the lowest relative error values for measuring transducers, calibrators and multimeters of alternating voltage

График (рис. 7) иллюстрирует лучшие возможности по точности измерения и воспроизведения напряжения прецизионными СИ в диапазоне напряжений от 1 мВ до 1 000 В в области частот от 20 Гц до 30 МГц. Передача единицы переменного напряжения на частотах 100 кГц и 30 МГц осуществляется в диапазоне до 10 В, а наиболее точная передача единицы переменного напряжения (до 0,002 %) осуществляется на более низких частотах в диапазоне напряжения до 1 000 В.

Российским производителям следует обратить внимание на разработку и производство СИ [4, 9] с метрологическими характеристиками, соответствующими уровню РЭ 1-го и 2-го разрядов. Данный вывод обусловлен интенсивным развитием отечественной науки и промышленности и сопутствующим ему всплеском потребности в новых высокоточных СИ для испытательных, поверочных и калибровочных лабораторий.

Например, в 2024 г. успешно испытан с целью утверждения типа калибратор Н5–10 [6], анализ метрологических характеристик которого показал: Н5–10 имеет значения напряжений, в которых в зависимости от частоты доверительные границы превосходят относительную погрешность РЭ 1-го разряда, при этом прибор не имеет метрологических характеристик ВЭ. Но все же, несмотря на то что преобладание доверительных границ относительной погрешности РЭ 1-го разряда калибратора Н5–10 носит индивидуальный характер, можно дополнительно сделать вывод, что существует возможность в разработке и совершенствовании ВЭ с целью достижения более высокой точности [7, 8].

## Заключение

В результате проведенного анализа ФИФ ОЕИ в части СИ переменного напряжения частотой до 30 МГц исследованы метрологические характеристики современных прецизионных измерительных преобразователей, вольтметров и калибраторов переменного электрического напряжения. Полученные результаты отображают потребность в уровне точности измерения и воспроизведения напряжения прецизионными СИ частотой до 30 МГц, соответствующем РЭ 1-го и 2-го разрядов. Также

по результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что СИ зарубежного производства, зарегистрированные в ФИФ ОЕИ, достаточно широко применяются при проведении поверок.

СИ зарубежного производства сохраняют востребованность, однако их влияние на развитие федерального фонда СИ нивелируется по мере успешных испытаний новых отечественных СИ уровня РЭ 1-го разряда и ниже. В современных реалиях, когда ввоз в РФ преобразователей 792А фирмы Fluke (США) затруднен, а преобразователи ПНТЭ-36 и ПНТЭ-37 сняты с производства, на первый план выходит необходимость совершенствования и разработки ВЭ с целью обеспечения единства измерений и снижения нагрузки на ГЭТ 89–2008.

**Вклад авторов:** Иванов С. А. – верификация данных, проведение исследований, создание рукописи и ее редактирование, визуализация; Катков А. С. – концептуализация, руководство исследованием; Шевцов В. И. – методология, администрирование проекта.

**Acknowledgments:** Ivanov S. A. – data verification, research, creating and editing an original draft, visualization; Katkov A. S. – conceptualization, supervision; Shevtsov V. I. – methodology, project administration.

**Конфликт интересов:** Катков А. С. является членом редакционной коллегии журнала «Эталоны. Стандартные образцы», но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Работа выполнена в рамках диссертационного исследования «Метрологическое обеспечение вторичных эталонов в области измерений электрического напряжения в диапазоне частот ( $10-3 \cdot 10^7$ ) Гц». Научный консультант: Катков А. С., д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли. Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

**Conflict of interest:** Katkov A. S. is a member of the Editorial Board of the journal „Measurement Standards. Reference Materials“, but has nothing to do with the decision to publish the article. The work was carried out as part of the dissertation research

„Metrological Support of Secondary Standards in the Field of Electric Voltage Measurements in the Frequency Range (10–3 · 10<sup>7</sup>) Hz“. Scientific advisor: Katkov A. S., Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief Researcher, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology. The authors did not declare any other conflicts of interest. The other authors declare no conflicts of interest that require disclosure in this article.

**Финансирование:** Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

**Funding:** This research did not receive financial support in the form of a grant from any governmental, forprofit, or non-profit organizations.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Измерительный преобразователь напряжения произвольной формы для широкополосного вольтметра переменного тока / О. В. Дворников [и др.] // Приборы и методы измерений. 2024. Т. 15, № 3. С. 174–185. <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2024-15-3-174-185>
2. Шевцов В. И., Юрченко Е. А. Аттестация преобразователей переменного напряжения Fluke 792A в качестве вторичных эталонов // Сб. докладов 77-й Научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященной Дню радио, Санкт-Петербург, 22–25 апреля 2022 г. / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 286–289.
3. Новые прецизионные комплекты преобразователей напряжения термоэлектрических ПНТЭ-37 и результаты их испытаний / М. Л. Гуревич [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. 2018. № 1. С. 11–15.
4. Гуревич М. Л., Шевцов В. И. Российские электротепловые и диодно-детекторные технологии для прецизионных измерителей переменных напряжений // Законодательная и прикладная метрология. 2018. № 3. С. 30–37.
5. Телитченко Г. П., Шевцов В. И. Эталонная база России в области измерений переменного электрического напряжения // Измерительная техника. 2007. № 11. С. 44–47.
6. Болмусов Ю. Д., Мартынов В. А. Эталонный калибратор электрического напряжения в диапазоне частот 0,1–30,0 МГц // Измерительная техника. 2024. № 4. С. 62–68. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-4-62-68>
7. Квантовая мера для воспроизведения сигналов переменного напряжения / А. С. Катков [и др.] // Измерительная техника. 2020. № 4. С. 39–43. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-4-39-43>
8. Исследование квантовой меры напряжения ВНИИМ в режиме измерения переменного напряжения / А. С. Катков [и др.] // Измерительная техника. 2025. Т. 74, № 1. С. 113–118. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2025-1-113-118>
9. Волович Г. И. Влияние квантования по уровню на погрешность цифрового вольтметра переменного напряжения // Измерительная техника. 2021. № 5. С. 31–36. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2021-5-31-36>

## REFERENCES

1. Dvornikov O. V., Bakhur U. N., Bakhir A. G., Lazouski U. M., Tchekhovski V. A. Arbitrary waveform voltage measuring converter for wideband ac voltmeter. *Devices and Methods of Measurements*. 2024;15(3):174–185. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2024-15-3-174-185>
2. Shevtsov V. I., Yurchenko E. A. Certification of Fluke 792A AC voltage converters as secondary standards. In: *77th Scientific and Technical Conference of the St. Petersburg NTO RES named after A. S. Popov, dedicated to the Day of Radio : Collection of reports*. St. Petersburg: SPbGETU „LETI“, 2022. P. 286–289. (In Russ.).
3. Gurevich M. L., Cheremokhin A. V., Shevtsov V. I., Telitchenko G. P. New precision sets of voltage thermal converters ПНТЭ-37 and their test results. *Legal and Applied Metrology*. 2018;1:11–15. (In Russ.).
4. Gurevich M. L., Shevtsov V. I. Domestic electro-thermal and diode-detector technologies for precise alternating voltage meters. *Legal and Applied Metrology*. 2018;3:30–37. (In Russ.).
5. Telitchenko G. P., Shevtsov V. I. The standard base of Russia for measurements of alternating electric voltage. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2007;(11):44–47. (In Russ.).
6. Bolmusov Yu. D., Martinov V. A. Reference calibrator of electrical voltage in the frequency range 0.1–30.0 MHz. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2024;(4):62–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-4-62-68>
7. Katkov A. S., Lovtsyus V. E., Bykov A. I., Shevtsov V. I., Petrovskaya A. N., Behr R. et al. Quantum standard for synthesis AC voltage. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2020;(4):39–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-4-39-43>

8. Katkov A. S., Gubler G. B., Shevtsov V. I., Sladovskiy I. A. Study of VNIIM quantum voltage standard in the mode of measuring alternating voltage. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2025;74(1):113–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368–1025it.2025-1-113-118>
9. Volovich G. I. The influence of quantization on level on an error of the digital voltmeter of alternating voltage. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2021;(5):31–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368–1025it.2021-5-31-36>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Иванов Сергей Александрович** – аспирант, заместитель руководителя научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений режимов электрических цепей ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19  
e-mail: [s.a.ivanov@vniim.ru](mailto:s.a.ivanov@vniim.ru)  
<https://orcid.org/0009-0009-4044-3598>

**Катков Александр Сергеевич** – д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19  
e-mail: [a.s.katkov@vniim.ru](mailto:a.s.katkov@vniim.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-5597-9437>

**Шевцов Владимир Иванович** – канд. техн. наук, доцент, руководитель научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений режимов электрических цепей ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19  
e-mail: [v.i.schevtsov@vniim.ru](mailto:v.i.schevtsov@vniim.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sergey A. Ivanov** – Deputy Head of the Research Laboratory of State Standards in the Field of Measuring Modes of Electric Circuits, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia  
e-mail: [s.a.ivanov@vniim.ru](mailto:s.a.ivanov@vniim.ru)  
<https://orcid.org/0009-0009-4044-3598>

**Alexander S. Katkov** – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief Researcher, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia  
e-mail: [a.s.katkov@vniim.ru](mailto:a.s.katkov@vniim.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-5597-9437>

**Vladimir I. Shevtsov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Research Laboratory of State Standards in the Field of Measuring Modes of Electric Circuits, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia  
e-mail: [v.i.schevtsov@vniim.ru](mailto:v.i.schevtsov@vniim.ru)