

СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ

Научная статья

УДК 006.91:537.311(312)

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-78-90>



Разработка стандартных образцов удельной электрической проводимости жидкости

М. В. Беднова , А. В. Стрельников , Е. В. Шкулёва

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,
г. Санкт-Петербург, Россия
 m.v.bednova@vniim.ru

Аннотация: Удельная электрическая проводимость – один из важнейших показателей качества воды в технологических процессах производства микроэлектроники, в фармацевтике, тепловой и атомной энергетике, показатель, исследуемый при мониторинге окружающей среды. Опираясь на точные данные об удельной электрической проводимости жидкости, можно достоверно оценить состояние производственных систем и технологических процессов. В статье описано исследование, проведенное с целью разработки и производства двух типов стандартных образцов удельной электрической проводимости жидкости – УЭП-10 (ГСО 12746-2024) и УЭП-20 (ГСО 12374-2023).

В статье представлены материалы и оборудование, использованные при изготовлении стандартных образцов. Дана оценка относительной неопределенности аттестованных значений от долговременной и кратковременной стабильности, приведены расчеты относительной расширенной неопределенности аттестованных значений стандартных образцов в соответствии с ГОСТ ISO Guide 35–2015. В ходе работы установлена метрологическая прослеживаемость аттестованных значений стандартных образцов к единице величины «удельная электрическая проводимость», воспроизводимой ГЭТ 132–2018 Государственным первичным эталоном единицы удельной электрической проводимости жидкостей в диапазоне от 0,001 до 50 См/м.

Разработанные стандартные образцы дополнили перечень имеющихся отечественных стандартных образцов благодаря увеличенному интервалу значений удельной электрической проводимости, составляющему от 1 до 20 См/м. Доступность на рынке позволит новым стандартным образцам заместить импортные аналоги, тем самым сократив сроки и стоимость метрологической работы.

Статья адресована государственным метрологическим центрам, осуществляющим поверку, калибровку и испытания в целях утверждения типа кондуктометрических анализаторов. Опубликованные материалы могут быть полезны проводящим научные исследования организациям и метрологическим службам предприятий различных отраслей.

Ключевые слова: единство измерений, метрологическое обеспечение, удельная электрическая проводимость, рабочий эталон, стандартный образец, анализатор кондуктометрический, химические свойства, стабильность, контроль измерений, опытно-конструкторская работа

Принятые сокращения: ГПС – Государственная поверочная схема; СИ – средство измерений; СО – стандартный образец; УЭП – удельная электрическая проводимость.

Для цитирования: Беднова М. В., Стрельников А. В., Шкулёва Е. В. Разработка стандартных образцов удельной электрической проводимости жидкости // Эталоны. Стандартные образцы. 2025. Т. 21, № 3. С. 78–90. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-78-90>

Статья поступила в редакцию 17.03.2025; одобрена после рецензирования 21.04.2025; принята к публикации 25.09.2025.

REFERENCE MATERIALS

Research Article

Development of Reference Materials of Specific Electrical Conductivity of Liquids

Mariya V. Bednova  , Alexandr V. Strelnikov , Ekaterina V. Shkuleva 

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

 m.v.bednova@vniim.ru

Abstract: Specific electrical conductivity is one of the most important indicators of water quality in technological processes of microelectronics production, pharmaceuticals, thermal and nuclear power engineering; the indicator studied during environmental monitoring. Based on accurate data on specific electrical conductivity of liquid, it is possible to reliably assess the state of production systems and technological processes. The article describes a study conducted to develop and produce two types of reference materials of specific electrical conductivity of liquid – SEC-10 (GSO 12746-2024) and SEC-20 (GSO 12374-2023).

The article presents the materials and instruments used in the production of reference materials. An assessment of the relative uncertainty of certified values of long-term and short-term stability is given, calculations of the relative expanded uncertainty of certified values of reference materials are presented in accordance with GOST ISO Guide 35–2015. In the course of the work, the metrological traceability of the certified values of reference materials to the measurements unit of “specific electrical conductivity” reproduced by State Primary Standard of the unit of specific electrical conductivity of liquids in the range from 0,001 to 50 S/m GET 132-2018 was established.

The developed reference materials were added to the list of available domestic reference materials due to the increased range of specific electrical conductivity values, which is from 1 to 20 S/m. Market availability will allow new reference materials to replace imported analogues, thereby reducing the time and cost of metrological work. The article is addressed to state metrology centers performing verification, calibration and testing for approval of the type of conductometric analyzers. The publication may be useful for organizations conducting scientific research and metrology services of enterprises of various industries.

Keywords: uniformity of measurements, metrological support, specific electrical conductivity, working measurement standard, reference material, conductometric analyzer, chemical properties, stability, measurement control, research and development work

Abbreviators used: SVS – State verification schedule; MI – measuring instrument; RM – reference material; SEC – specific electrical conductivity.

For citation: Bednova M. V., Strelnikov A. V., Shkuleva E. V. Development of reference materials of specific electrical conductivity of liquids. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2025;21(3):78–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-78-90>

The article was submitted 17.03.2025.; approved after reviewing 21.04.2025.; accepted for publication 25.09.2025.

Введение

Определение УЭП жидкостей – один из пространственных видов метрологической работы в производстве микроэлектроники, фармацевтической промышленности, тепловой

и атомной энергетике [1–4], обеспечении мониторинга окружающей среды [5–6], эффективный способ оценки состояния производственных систем и технологических процессов [7–10]. Наиболее широко с этой целью

применяется кондуктометрический метод измерений, что обусловлено его преимуществами – низкой стоимостью, надежностью и высокой точностью.

Для контроля УЭП жидкостей при выполнении широкого ряда измерительных задач применяются кондуктометры лабораторные и промышленные, анализаторы жидкости кондуктометрические, солемеры, гидрологические зонды и др. В соответствии с ГПС для СИ УЭП жидкостей¹, одним из методов передачи единицы величины УЭП средствам измерений от рабочих эталонов 1-го и 2-го разрядов является метод прямых измерений СО УЭП жидкостей.

В условиях непрерывного производства велика потребность поверки СИ УЭП по месту эксплуатации, где происходит непрерывный измерительный процесс. Использование в этих целях СО утвержденного типа позволяет минимизировать количество дорогостоящего измерительного оборудования для поверки, а также калибровки и испытаний в целях утверждения типа СИ, то есть в конечном счете сократить затраты на метрологическое обеспечение измерительного оборудования.

В разделе «Утвержденные типы стандартных образцов» ФГИС «Аршин»² по состоянию на декабрь 2022 г. содержались сведения

¹ Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 27.03.2025 № 609.

² «Аршин» – подсистема Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (ФГИС «Аршин»).

о восьми действующих типах ГСО УЭП жидкостей (в скобках указан производитель):

– ГСО 9382-2009 (ООО «ИНТЕГРСО», г. Уфа, Россия; АНО НПО «ИНТЕГРСО», г. Уфа, Россия);

– ГСО 11068-2018 (ООО «Петроаналитика», г. Санкт-Петербург, Россия);

– ГСО 11795-2021 (АО «Транснефть – Автоматизация и Метрология», г. Москва, Россия; ООО «НИИ Транснефть», г. Уфа, Россия);

– ГСО 7374-97, ГСО 7375-97, ГСО 7376-97, ГСО 7377-97, ГСО 7378-97 (ООО «ЦСОВВ», г. Петергоф, Россия).

Среди упомянутых выше ГСО требованиям ГПС для СИ УЭП жидкостей к рабочим эталонам 2-го разряда соответствуют метрологические характеристики ГСО 7374-97, ГСО 7375-97, ГСО 7376-97, ГСО 7377-97, ГСО 7378-97. Требованиям ГПС для СИ УЭП жидкостей к рабочим эталонам 1-го разряда среди вышеперечисленных ГСО соответствий нет (табл. 1).

В процессе анализа информации о действующих утвержденного типа СО УЭП жидкостей отмечено, что вышеуказанные СО имеют достаточно узкие интервалы аттестованных значений УЭП жидкостей, которые не позволяют обеспечить передачу единицы величины СИ в широком диапазоне измерений.

Проведено сравнение метрологических характеристик утвержденного типа СО УЭП жидкостей, действующих на декабрь 2022 г., с метрологическими характеристиками разработанных СО УЭП жидкостей (табл. 2).

Диапазоны измерений УЭП варьируются в зависимости от отрасли применения, что обусловило актуальность исследовательской задачи:

Таблица 1. Метрологические характеристики СО УЭП жидкостей в соответствии с ГПС для СИ УЭП жидкостей

Table 1. Metrological characteristics of the RM of SEC of liquids in accordance with the SVS of the Russian Federation for MI of SEC of liquids

Разряд рабочего эталона – СО УЭП жидкостей	Интервал аттестованных значений СО УЭП жидкостей, См/м	Предел допускаемых относительных погрешностей при доверительной вероятности 0,95, %
1-й	от $1 \cdot 10^{-3}$ до 50	от 0,1 до 0,2
2-й	от $1 \cdot 10^{-4}$ до 85	от 0,2 до 1,0

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 2. Метрологические характеристики утвержденного типа СО УЭП жидкостей
Table 2. Metrological characteristics of the CRM of SEC of liquids

Номер в Госреестре СО	Индекс СО	Интервал допускаемых аттестованных значений УЭП, См/м	Границы допускаемых значений относительной погрешности аттестованного значения (при $P = 0,95$), $\pm \delta, \%$
ГСО 7374-97	УЭП-1	от 10,6 до 11,8	0,25
ГСО 7375-97	УЭП-2	от 1,23 до 1,35	0,25
ГСО 7376-97	УЭП-3	от 0,134 до 0,148	0,25
ГСО 7377-97	УЭП-4	от 0,028 до 0,030	0,25
ГСО 7378-97	УЭП-5	от 0,0045 до 0,0049	0,25
ГСО 12746-2024	УЭП-10	от 1 до 10	0,1
ГСО 12374-2023	УЭП-20	от 10 до 20	от 0,2 до 0,5

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

– в научно-исследовательских лабораториях и на фармацевтическом производстве используют дистиллированную воду, УЭП которой не превышает $5 \cdot 10^{-4}$ См/м;

– в гидрологических исследованиях диапазон измерений УЭП морской воды обычно составляет от 0,01 до 8 См/м;

– в химической промышленности диапазон измерений УЭП жидкостей варьируется от 0,0001 до 200 См/м в зависимости от особенностей применяемых технологических процессов.

Цель представленной в статье работы – разработка СО УЭП жидкостей в интервале значений УЭП от 1 до 20 См/м, с метрологическими характеристиками, соответствующими требованиям ГПС для СИ УЭП жидкостей.

Материалы и методы

Исходные вещества

Калий хлористый химически чистый по ГОСТ 4234–77³ (массовая доля калия хлористого не менее 99,8 %), производитель – ООО «Михайловский завод химических реактивов», Россия.

Вода дистиллированная, значение УЭП не более $5 \cdot 10^{-4}$ См/м, полученная с помощью деионизатора воды

³ ГОСТ 4234–77 Реактивы. Калий хлористый. Технические условия.

«ДВ-5М-ОСМОС» с ультрафиолетовой лампой, производитель – ООО «ЦветХром», Россия.

Оборудование

ГЭТ 132–2018⁴ (эталонный комплекс в части диапазона от 0,1 до 50 См/м).

Кондуктометр лабораторный КЛ-С-1, рег. № 46635-11, производитель – ООО «Сибпром-прибор-Аналит», Россия.

Посуда мерная стеклянная 2-го класса точности по ГОСТ 1770–74⁵ (колба номинального объема 500 см³, стакан мерный номинального объема 500 см³).

Пипетка градуированная номинального объема 10 см³ по ГОСТ 29227–91⁶.

Методы и процедура исследований

Подготовительный этап приготовления СО:
– подготовка реактивов и исходных веществ;
– проверка соответствия значений параметров окружающей среды требованиям методики

⁴ ГЭТ 132-2018 Государственный первичный эталон единицы удельной электрической проводимости жидкостей в диапазоне от 0,001 до 50 См/м.

⁵ ГОСТ 1770–74 (ИСО 1042–83, ИСО 4788–80) Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.

⁶ ГОСТ 29227–91 (ИСО 835–1–81) Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные. Часть 1. Общие требования.

приготовления и условиям эксплуатации применяемых СИ и вспомогательного оборудования;

- проверка целостности и чистоты флаконов для фасовки СО.

Очистка воды осуществлялась дистиллятором обратного осмоса с ультрафиолетовой лампой, что позволило получить воду со значением УЭП менее $5 \cdot 10^{-4}$ См/м и минимальным содержанием органических веществ, которые могли повлиять на срок хранения СО и их стабильность. Для контроля значений УЭП дистиллированной воды использовался кондуктометр лабораторный КЛ-С-1.

В качестве материала-кандидата для приготовления СО был использован калий хлористый химически чистый по ГОСТ 4234–77; массовая доля калия хлористого – не менее 99,8 %. Основные критерии выбора материала-кандидата:

- высокая растворимость;
- стабильность;
- известные химические свойства;
- отечественное производство;
- доступность.

Процесс приготовления СО проведен в соответствии с методикой «Стандартные образцы удельной электрической проводимости жидкости (УЭП-1, УЭП-10, УЭП-20). Методика приготовления», разработанной и утвержденной ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». За основу указанной методики взяты принципы, изложенные в документах Р 50.2.021-2002⁷ и ГОСТ 8.292–2013⁸, кратко описанные ниже.

⁷ Р 50.2.021–2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталонные растворы удельной электрической проводимости жидкостей. Методика приготовления и первичной поверки.

⁸ ГОСТ 8.292–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Кондуктометры жидкости лабораторные. Методика поверки.

Необходимая для приготовления СО УЭП жидкостей масса калия хлористого рассчитывалась по формуле

$$m = C_N \cdot M \cdot V, \quad (1)$$

где m – масса калия хлористого, г; C_N – молярная концентрация калия хлористого в приготавливаемом СО, моль/дм³; M – молярная масса калия хлористого, г/моль; V – объем приготавливаемого раствора СО, дм³.

Молярную концентрацию калия хлористого в приготавливаемом СО УЭП жидкостей определяли с помощью линейной интерполяции из ряда данных (табл. 3).

На лабораторных весах в мерном стакане взвешивали рассчитанную по формуле (1) навеску калия хлористого.

Мерный стакан с калием хлористым заполняли водой на четверть, тщательно перемешивали содержимое до получения насыщенного раствора. Полученный насыщенный раствор (без кристаллов нерастворенного калия хлористого) аккуратно переносили в мерную колбу. Процедуру повторяли до полного растворения калия хлористого в мерном стакане. Далее дистиллированной водой доводили объем раствора до 75 % от номинального объема колбы. Тщательно перемешивали и доводили объем раствора до метки колбы. Получившийся раствор переливали во флакон (бутыль).

В соответствии с ГОСТ 8.315-2019⁹ исследование однородности СО не проводилось, так как осуществлена аттестация каждого экземпляра СО.

Исследование кратковременной и долговременной стабильности проводили

⁹ ГОСТ 8.315-2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.

Таблица 3. Зависимость УЭП водных растворов хлористого калия от молярной концентрации при температуре +25 °С

Table 3. Dependence of SEC of aqueous solutions of potassium chloride on molar concentration at a temperature of +25 °С

Концентрация, моль/дм ³	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
УЭП, См/м	0,0074	0,0147	0,072	0,1413	0,277	0,67	1,288	2,43	5,86	11,18	20,5

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

в соответствии с положениями ГОСТ ISO Guide 35–2015.

Относительную расширенную неопределенность аттестованного значения СО оценивали по формуле

$$U_0(\hat{A}) = 2 \cdot \sqrt{u_{0char}^2 + u_{0stab.к.}^2 + u_{0stab.д.}^2} \quad (2)$$

где u_{0char} – относительная стандартная неопределенность от характеристики СО, %; $u_{0stab.к.}$ – относительная стандартная неопределенность, обусловленная кратковременной нестабильностью СО, %; $u_{0stab.д.}$ – относительная стандартная неопределенность, обусловленная долгосрочной нестабильностью СО, %.

Для проведения исследований были изготовлены:

- одна партия СО УЭП жидкостей УЭП-20, содержащая 5 экземпляров;
- одна партия СО УЭП жидкостей УЭП-10, содержащая 5 экземпляров.

Проверку влияния используемой тары на метрологические характеристики СО в каждой партии СО проводили с использованием полимерных (три экземпляра) и стеклянных (два экземпляра) бутылей. Для проведения измерений отбиралась проба СО УЭП жидкостей с помощью предварительно промытой и высушенной пипетки.

Определение аттестованных значений УЭП СО (характеризацию) проводили методом прямых измерений на ГЭТ 132 одного экземпляра

СО из каждой партии. За аттестованное значение принимали среднее арифметическое из серии пяти независимых измерений при номинальной температуре СО +25 °С (аналогично аттестован каждый экземпляр каждой партии).

Определение кратковременной стабильности СО проводили путем измерения УЭП после воздействия на СО пониженной и повышенной температурами окружающего воздуха в соответствии с условиями транспортировки: +5 (±2) °С для одного экземпляра из партии и +40 (±2) °С для второго экземпляра из партии. Первое измерение проводили через 24 часа после приготовления СО, второе – через 7 суток, третье – через 14 суток, четвертое – через 60 суток.

Определение долгосрочной стабильности СО проводили, измеряя в течение четырех месяцев УЭП одного экземпляра из каждой партии исходя из предполагаемого срока годности СО УЭП жидкости – 1 год. Первое измерение проводили через 24 часа после приготовления СО, второе – через месяц, третье – через два месяца, четвертое – через три месяца.

Результаты и обсуждение

Аттестация (характеризация) СО УЭП проведена через 24 часа после приготовления. Относительная стандартная неопределенность от характеристики составила 0,008 % (табл. 4 и 5).

По результатам исследования кратковременной стабильности СО установлено, что максимальная относительная стандартная

Таблица 4. Результаты характеристики СО УЭП-20

Table 4. Results of characterization of the SEC-20 RM

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м	Относительная стандартная неопределенность от характеристики, %
	Дата аттестации 19.05.2023	
19	19,397	0,008
	19,397	
	19,401	
	19,347	
	19,387	
Среднее значение	19,386	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 5. Результаты характеризации СО УЭП-10

Table 5. Results of characterization of the SEC-10 RM

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м	Относительная стандартная неопределенность от характеризации, %
	Дата аттестации 26.01.2024	
9,8	9,800 5	0,008 2
	9,795 8	
	9,798 6	
	9,799 6	
	9,801 5	
Среднее значение	9,799 2	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

неопределенность, характеризующая кратковременную стабильность СО, составила 0,01 % (табл. 6–9).

По результатам исследования долговременной стабильности СО установлено, что максимальная относительная стандартная неопределенность, характеризующая долговременную стабильность СО, составила 0,02 % (табл. 10, 11).

Проверка значений неопределенностей, характеризующих кратковременную и долговременную стабильность СО, для оценки

их срока годности была проведена с помощью «Калькулятора стабильности СО», разработанного УНИИМ [11]. Графическая интерпретация результатов исследования кратковременной и долговременной стабильности СО, а также оценки их сроков годности, полученных с использованием «Калькулятора стабильности СО»: для СО УЭП-20 – рис. 1 и 2; для УЭП-10 – рис. 3 и 4.

Значения относительной расширенной неопределенности аттестованного значения СО

Таблица 6. Результаты измерений при определении кратковременной стабильности СО УЭП-20, температура воздействия +5 °С

Table 6. Measurements results in determining the short-term stability of the SEC-20 RM, exposure temperature +5 °C

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандарт- ная неопределенность от кратковременной ста- бильности, %
	Дата измерений				
	19.05.2023	25.05.2023	01.06.2023	17.07.2023	
19	18,771	18,786	18,795	18,797	0,01
	18,778	18,792	18,799	18,798	
	18,775	18,789	18,791	18,804	
	18,773	18,797	18,803	18,802	
	18,778	18,795	18,798	18,801	
Среднее значение, См/м	18,775	18,792	18,797	18,800	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 7. Результаты измерений при определении кратковременной стабильности СО УЭП-20, температура воздействия +40 °С

Table 7. Measurements results in determining the short-term stability of the SEC-20 RM, exposure temperature +40 °C

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандартная неопределенность от кратковременной стабильности, %
	Дата измерений				
	19.05.2023	25.05.2023	01.06.2023	17.07.2023	
19	18,775	18,788	18,787	18,791	0,002
	18,789	18,795	18,794	18,795	
	18,781	18,786	18,789	18,797	
	18,792	18,794	18,795	18,791	
	18,788	18,798	18,791	18,799	
Среднее значение, См/м	18,785	18,792	18,791	18,795	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 8. Результаты измерений при определении кратковременной стабильности СО УЭП-10, температура воздействия +5 °С

Table 8. Measurements results in determining the short-term stability of the SEC-10 RM, exposure temperature +5 °C

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандартная неопределенность от кратковременной стабильности, %
	Дата измерений				
	26.01.2024	01.02.2024	08.02.2024	25.03.2024	
9,8	9,799 5	9,801 2	9,800 3	9,800 7	0,003
	9,798 9	9,800 8	9,801 6	9,800 9	
	9,800 2	9,799 3	9,799 4	9,801 7	
	9,800 1	9,799 8	9,800 8	9,800 2	
	9,801 0	9,801 3	9,799 9	9,800 3	
Среднее значение	9,799 9	9,800 5	9,800 4	9,800 8	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

составили: для СО УЭП-20 – от 0,2 до 0,5 %; для СО УЭП-10 – 0,1 %.

По результатам исследований выявлено, что тара не оказывает влияния на метрологические характеристики разработанных СО.

Таким образом, в результате проведенной работы разработаны, исследованы и утверждены два типа стандартных образцов удельной электрической проводимости

жидкости – УЭП-10 (ГСО 12746–2024) и УЭП-20 (ГСО 12374–2023) (табл. 12).

Заключение

Итогом описанной в статье работы является разработка и утверждение двух типов СО УЭП жидкости, имеющих аттестованные значения УЭП с установленной прослеживаемостью к ГЭТ 132. Полученные в ходе

Таблица 9. Результаты измерений при определении кратковременной стабильности СО УЭП-10, температура воздействия +40 °С

Table 9. Measurements results in determining the short-term stability of the SEC-10 RM, exposure temperature +40 °С

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандартная неопределенность от кратковременной стабильности, %
	Дата измерений				
	26.01.2024	01.02.2024	08.02.2024	25.03.2024	
9,8	9,799 3	9,801 2	9,801 5	9,800 4	0,01
	9,800 0	9,800 8	9,800 2	9,800 9	
	9,801 4	9,799 3	9,799 5	9,801 4	
	9,799 9	9,799 8	9,800 9	9,800 5	
	9,799 7	9,801 3	9,800 2	9,802 1	
Среднее значение	9,800 1	9,800 5	9,800 5	9,801 1	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 10. Результаты измерений при определении долговременной стабильности СО УЭП-20

Table 10. Measurement results in determining the long-term stability of the SEC-20 RM

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандартная неопределенность от долговременной стабильности, %
	Дата измерений				
	19.05.2023	19.06.2023	20.07.2023	21.08.2023	
19	19,397	19,398	19,399	19,406	0,005
	19,397	19,402	19,400	19,420	
	19,401	19,401	19,412	19,414	
	19,347	19,403	19,410	19,411	
	19,387	19,402	19,408	19,410	
Среднее значение, См/м	19,386	19,401	19,406	19,412	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

работы метрологические характеристики СО УЭП жидкости демонстрируют возможность их применения при передаче единицы величины СИ УЭП жидкостей в диапазоне от 1 до 20 См/м.

Наличие в России СО УЭП жидкостей отечественного производства с таким широким диапазоном передачи единицы величины позволяет заместить зарубежные аналоги, тем

самым сократить временные и финансовые затраты на их доставку.

Разработанные СО УЭП жидкостей обеспечивают хранение и передачу единицы УЭП жидкостей при поверке и калибровке СИ, испытаниях СИ, в том числе в целях утверждения типа, аттестации методик измерений и контроля точности результатов измерений УЭП жидкостей. СО могут использоваться для других

Таблица 11. Результаты измерений при определении долговременной стабильности СО УЭП-10

Table 11. Measurement results in determining the long-term stability of the SEC-10 RM

Номинальное значение УЭП СО, См/м	Аттестованное значение УЭП, См/м				Относительная стандартная неопределенность от долговременной стабильности, %
	Дата измерений				
	26.01.2024	12.02.2024	27.03.2024	02.05.2024	
9,8	9,800 5	9,797 7	9,798 6	9,799 6	0,024
	9,795 8	9,799 6	9,799 6	9,800 5	
	9,798 6	9,798 6	9,800 5	9,801 5	
	9,799 6	9,798 6	9,799 6	9,799 6	
	9,801 5	9,799 6	9,800 5	9,800 5	
Среднее значение	9,799 2	9,798 8	9,799 8	9,800 3	

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

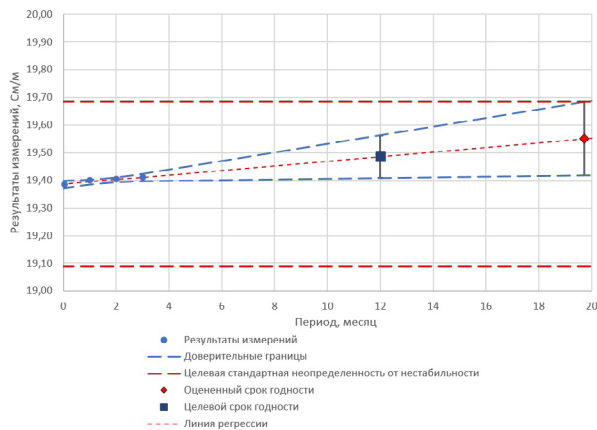


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным / The figure is prepared by the authors using their own data

Рис. 1. Оценка срока годности и неопределенности от долговременной стабильности СО УЭП-20
Fig. 1. Estimation of shelf life and uncertainty of short-term stability of the SEC-20 RM

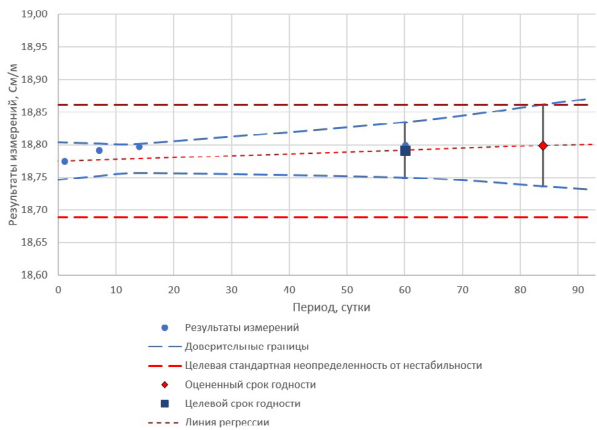


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным / The figure is prepared by the authors using their own data

Рис. 2. Оценка срока годности и неопределенности от кратковременной стабильности СО УЭП-20
Fig. 2. Estimation of shelf life and uncertainty of short-term stability of the SEC-20 RM

видов метрологического контроля при соответствии метрологических характеристик требованиям процедур.

В настоящее время авторами проводятся испытания в целях утверждения типа СО УЭП жидкости УЭП-1 с интервалом аттестуемых значений УЭП от 0,1 до 1 См/м. В будущем планируется разработка СО УЭП жидкости с аттестуемыми значениями УЭП свыше 20 См/м, что позволит расширить

возможности метрологического обеспечения в области кондуктометрических измерений.

Вклад авторов: Все авторы внесли вклад в концепцию и дизайн исследования. Беднова М. В. – концептуализация, методология, создание и редактирование рукописи, руководство исследованием; Стрельников А. В. – проведение исследования, формальный анализ, создание черновика рукописи, редактирование

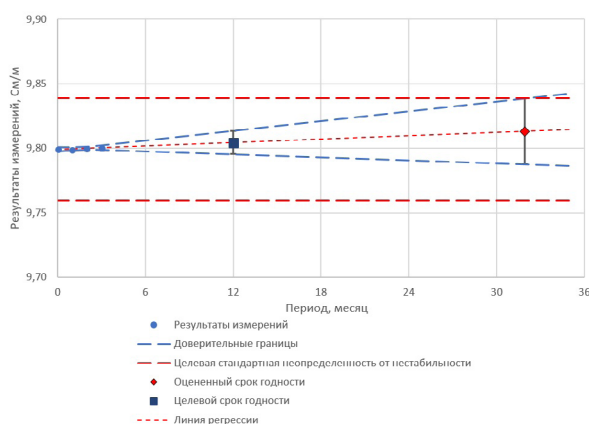


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным /
The figure is prepared by the authors using their own data

Рис. 3. Оценка срока годности и неопределенности от долговременной стабильности СО УЭП-10

Fig. 3. Estimation of shelf life and uncertainty of short-term stability of the SEC-10 RM

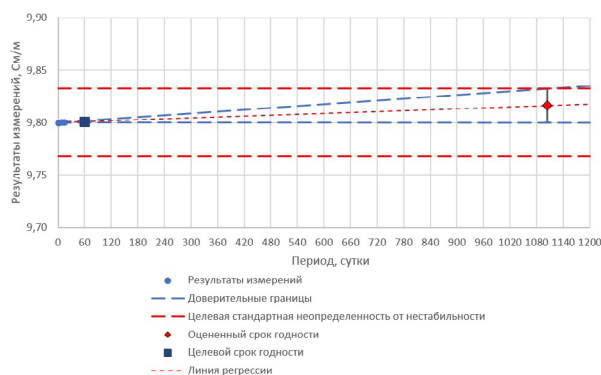


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным /
The figure is prepared by the authors using their own data

Рис. 4. Оценка срока годности и неопределенности от кратковременной стабильности СО УЭП-10

Fig. 4. Estimation of shelf life and uncertainty of short-term stability of the SEC-10 RM

Таблица 12. Метрологические характеристики разработанных СО УЭП жидкости
Table 12. Metrological characteristics of the developed RMs of SEC of liquids

Наименование СО	Регистрационный номер СО	Допускаемые значения аттестованной характеристики, См/м	Допускаемые значения относительной расширенной неопределенности, ($k = 2, P = 0,95$), %
Стандартный образец удельной электрической проводимости жидкости (УЭП-10)	ГСО 12746–2024	от 1 до 10	0,1
Стандартный образец удельной электрической проводимости жидкости (УЭП-20)	ГСО 12374–2023	от 10 до 20	от 0,2 до 0,5

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

рукописи; Шкулёва Е. В. – валидация, визуализация, создание и редактирование рукописи.

Contribution of the authors: All authors contributed to the idea and design of the article. Bednova M. V. – conceptualization, methodology, creation and editing of the text, research supervision; Strelnikov A. V. – research implementation, formal analysis, creation of a draft article, editing of the text; Shkuleva E. V. – validation, visualization, creation and editing of the text.

Конфликт интересов: Авторы являются сотрудниками учредителя журнала. Однако при написании рукописи статьи авторы

руководствовались соображениями научной ценности полученного материала и заявляют о беспристрастности оценки полученных данных.

Conflict of interest: The authors are employees the journal's founder. However, when writing the manuscript of the article, the authors were guided by considerations of scientific value of the material obtained and declare the impartiality of the evaluation of the obtained data.

Финансирование: Работа выполнена в рамках ГК № 120–38/2023 от 17.05.2023 на выполнение опытно-конструкторской работы

по теме «Разработка и выпуск новых комплексов стандартных образцов и мер для обеспечения единства измерений по приоритетным направлениям в целях технологического суверенитета Российской Федерации» (шифр ОКР «Суверенитет»).

Funding: The work was carried out within the Government Contract № 120–38/2023 dataed

17.05.2023 for the implementation of experimental design work on the topic “Development and production of new complexes of reference standards and measures to ensure the uniformity of measurements in the priority areas for the purposes of securing technological sovereignty of the Russian Federation” (code of the Development Work “SUVERENITET”).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ларин А. Б., Ларин Б. М., Савинов М. П. Расчетное определение качества пара энергетических котлов по измерению удельной электрической проводимости и pH // Теплоэнергетика. 2021. № 5. С. 63–71. <https://doi.org/10.1134/S00403636210400322>
2. Гарелина С. А., Давлатшоев С. К. Математическое моделирование трансформаторного кондуктометра для мониторинга основания Рогунской ГЭС // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 3–9.
3. Гарелина С. А., Давлатшоев С. К., Сафаров М. М. Метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра и реализация технических средств мониторинга основания Рогунской ГЭС // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 10–14.
4. Кузьмичев О. Б. К вопросу об оценке коэффициента нефтегазонасыщенности в «низкоомных» терригенных коллекторах с учетом явления «капиллярной сверхпроводимости» // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8. С. 54–59. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-8-54-59>
5. Качановский Ф. В. Влияние метеофакторов на электропроводность осадков, выпавших в Твери в 2016–2022 гг. // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 4 (20). С. 50–58.
6. Яковлева А. А., Нгуен Ч. Т. Адсорбция ПАВ на песках и их роль в экологических барьерах // Химическая безопасность. 2021. Т. 5, № 1. С. 237–246. <https://doi.org/10.25514/CHS.2021.1.19015>
7. Новокишанова А. Л., Топникова Е. В., Никитюк Д. Б. Минеральная составляющая молока в составе спортивных напитков // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 44. С. 50–55. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-50-55>
8. Обоснование параметров технического средства контроля за карстово-суффозионными процессами в основании гидротехнического сооружения / К. П. Латышенко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 1 (44). С. 39–48.
9. Сравнительная характеристика физико-химических свойств полисахаридов, выделенных из видов рода черноголовка / А. А. Шамилов [и др.] // Химия растительного сырья. 2023. № 4. С. 89–98. <https://doi.org/10.14258/jcprn.20230412174>
10. Оценка эффективности ферментов, используемых в крахмалопаточном производстве / Д. К. Коваль [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 4. С. 167–174. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-167-174>
11. Об оценке стабильности стандартных образцов / П. В. Мигаль [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 3. С. 65–75. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-65-75>

REFERENCES

1. Larin A. B., Larin B. M., Savinov M. P. Estimating the steam quality in power-generating boilers from electrical conductivity and pH measurements. *Thermal Engineering*. 2021;5:63–71. (In Russ.).
2. Garelina S. A., Davlatshoev S. K. Scientific basis for solving the problems in the deployment of civilian dual-use objects in densely populated residential areas with increased infrastructure. *Nauchny'e i obrazovatel'ny'e problemy' grazhdanskoj zashhity'*. 2019;2(41):3–9. (In Russ.).
3. Garelina S. A., Davlatshoev S. K., Safarov M. M. Metrological characteristics of transformer conductometer and implementation of technical means of monitoring reference Rogunskaya HPP. *Nauchny'e i obrazovatel'ny'e problemy' grazhdanskoj zashhity'*. 2019;2(41):10–14. (In Russ.).
4. Kuzmichev O. B. On the issue of estimating the coefficient of oil and gas saturation in low-resistance terrigenous reservoirs, taking into account the phenomenon of „capillary superconductivity“. *Exposition Oil Gas*. 2024;8:54–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-8-54-59>

5. Kachanovsky F. V. Influence of meteorological conditions upon the electrical conductivity of the precipitation in Tver during 2016–2022 years. *Vestnik of Tver State Technical University. Series „Construction. Electrical and Chemical Engineering“*. 2023;4(20):50–58. (In Russ.).
6. Yakovleva A. A., Nguyen Ch. T. Adsorption of surfactants on sand and their role in environmental barriers. *Chemical Safety Science*. 2021;5(1):237–246. (In Russ.). <https://doi.org/10.25514/CHS.2021.1.19015>
7. Novokshanova A. L., Topnikova E. V., Nikitjuk D. B. Mineral composition of milk in sports drinks. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2018;44:50–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-50-55>
8. Latyshenko K. P., Druzhinin V. P., Nurmagomedov T. N., Smirnov B. P. Justification of parameters of technical means of control over karst-suffusion processes at the base of a hydraulic structure. *Nauchny'e i obrazovatel'ny'e problemy grazhdanskoj zashchity*. 2020;1(44):39–48. (In Russ.).
9. Shamilov A. A., Bubenchikova V. N., Stepanova N. N., Garsiya E. R. Comparative characteristics of physical and chemical properties of polysaccharides isolated from species of the genus *chernogolovka*. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2023;4:89–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412174>
10. Koval' D. K., Maslennikova A. E., Saharova E. S., Vlasova E. A. Assessment of the enzymes effectiveness used in starch syrup production. *Bulliten Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2024;4:167–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-167-174>
11. Migal P. V., Sobina E. P., Aronov P. M., Kremleva O. N., Studenok V. V., Firsanov V. A. et al. On the stability testing of reference materials. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(3):65–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-65-75>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беднова Мария Валериевна – и. о. руководителя научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области физико-химических свойств жидкостей ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19
e-mail: m.v.bednova@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0004-7852-1487>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mariya V. Bednova – Acting Head of the Research Laboratory of Liquids Physico-Chemical Properties State Standards of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia
e-mail: m.v.bednova@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0004-7852-1487>

Стрельников Александр Владимирович – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области физико-химических свойств жидкостей ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19
e-mail: a.v.strelnikov@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0002-6500-9797>

Alexandr V. Strelnikov – Junior Researcher of the Research Laboratory of Liquids Physico-Chemical Properties State Standards of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia
e-mail: a.v.strelnikov@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0002-6500-9797>

Шкулёва Екатерина Валерьевна – инженер 2-й категории научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области физико-химических свойств жидкостей ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19
e-mail: e.v.shkuleva@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0005-0529-2545>

Ekaterina V. Shkuleva – Engineer of the 2nd Category of the Research Laboratory of Liquids Physico-Chemical Properties State Standards of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia
e-mail: e.v.shkuleva@vniim.ru
<https://orcid.org/0009-0005-0529-2545>