

Совершенствование метрологической базы физико-химических и электрохимических измерений

В. И. Добровольский, к. т. н.^{1,2}, Н. Г. Оганян, к. х. н.¹

УДК 006.91

Метрология является основой качества производимых товаров и процессов, так как результаты измерений служат источником многих принимаемых решений. Ей принадлежит ключевая роль в развитии научного и технического прогресса, при проектировании и эффективном производстве продукции, а также в процессе обнаружения и предотвращения несоответствий. Метрология фундаментальным образом поддерживает здравоохранение, является условием обеспечения безопасности и охраны окружающей среды, производства пищевых продуктов и справедливого судопроизводства. Важная роль в общей метрологической инфраструктуре страны принадлежит метрологическим институтам. Их цели и задачи направлены на деятельность в интересах общества. ФГУП «ВНИИФТРИ» – Государственный научный метрологический институт Российской Федерации – занимает достойное место в ряду предприятий отрасли. Одно из направлений работы – физико-химические виды измерений, закрепленные за соответствующим Научно-исследовательским отделением – НИО-6.

В статье приведены результаты работы НИО-6 за последние два года: с середины 2021 года по первое полугодие 2023 года включительно, направленные на обеспечение в стране единства в сфере физико-химических измерений, в том числе измерений параметров частиц и измерений в электрохимии.

Ключевые слова: государственный первичный эталон, ГЭТ, стандартный образец, ГСО, метрологическая прослеживаемость, электрохимическое измерение, параметр частиц, удельная электропроводность, спектрометрия

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ») [1] – один из крупнейших метрологических институтов России, который проводит работу по воспроизведению национальной шкалы времени и эталонных частот, определению параметров вращения Земли, разработке, совершенствованию, содержанию, сличению и применению государственных первичных эталонов единиц величин.

Институт ведет фундаментальные и прикладные научные исследования, экспериментальные разработки, в том числе в области физико-химических измерений. В институте действуют десять научно-исследовательских отделений (НИО) по различным направлениям, которые занимаются фундаментальными и прикладными метрологическими исследованиями. Среди них Научно-исследовательское отделение физико-химических и электрических измерений (НИО-6), которое активно работает в области метрологического обеспечения физико-химических измерений по нескольким направлениям: измерение активности ионов (рН и рХ), массовой концентрации и массовой доли неорганических компонентов

¹ ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская область, Россия.

² mera@vniiftri.ru.

в жидкостях, параметров частиц в газах и жидкостях, концентрации растворенных в жидкости газов, таких как кислород, водород, углекислый газ, параметров аэроионов и др. [2–6]. Научные исследования ведутся не только для усовершенствования государственной базы первичных эталонов, но и по разработке стандартных образцов (СО) и мер. Благодаря этому результаты измерений в Российской Федерации (РФ) по указанным направлениям смогут проследиваться к Государственным первичным эталонам России (ГЭТ), калибровочным и измерительным возможностям (СМС) метрологических институтов и базе данных ключевых сличений (КСДВ) Международного бюро мер и весов (BIPM) [7].

Ученые НИО-6 состоят в технических комитетах и рабочих группах региональных и международных организаций, связанных с метрологией. Они принимают активное участие в международных и российских конференциях и семинарах, круглых столах и дискуссиях.

За последние два года (конец 2021 года – начало 2023 года) завершены работы по совершенствованию Государственного первичного эталона ГЭТ 212 и разработан комплекс эталонной аппаратуры измерения эффективности фильтрации аэрозольных частиц фильтрами и фильтрующими материалами; разработан новый СО утвержденного типа состава водного раствора ионов бария; на стадии утверждения типа находятся СО состава водного раствора ионов цинка и многокомпонентного СО состава водного раствора ионов металлов ИСП-СО Multi 1.

Остановимся подробнее на каждом из них.

Как известно, точные измерения содержания кислорода и других газов в жидких средах имеют решающее значение во многих отраслях промышленности (энергетике, нефтехимии, фармацевтической и пищевой промышленности и др.). Они важны в рыбном хозяйстве и в водоподготовке, так как человек потребляет кислород не только из воздуха, но и из воды. Мало кто знает, что кислород всасывается в кровь через стенки желудка почти в 10 раз быстрее, чем при поступлении в легкие с воздухом. Именно поэтому, повышенное содержание кислорода в питьевой воде определяет ее ценность, а действующие на территории нашей страны нормативные документы регламентируют содержание кислорода в питьевой бутилированной воде от 5 до 15 мг/л [8–12]. Несмотря на то, что содержание растворенного кислорода в воде сравнительно мало (при нормальных условиях в среднем 8 мг/л), в микроэлектронике, энергетике и пищевой промышленности выставляются достаточно жесткие требования по снижению его концентрации в технологических водах до уровня нескольких мкг/л. Не

менее важной характеристикой воды является содержание в ней водорода. International Hydrogen Standard Association – Международная ассоциация по стандартизации водорода, полагает, что вода с концентрацией водорода более 0,5 мг/л (0,5 ppm или 500 ppb) считается водородной водой [13], которая обладает выраженными антиоксидантными, противовоспалительными и антиаллергическими свойствами, стимулирует энергетический метаболизм, оказывает общий оздоровительный эффект на организм человека. Однако чрезмерное увлечение подобными антиоксидантами приводит к нарушению обменных процессов и ускорению гибели клеток. Также содержание водорода в воде имеет важное значение в области охраны окружающей среды, пищевых продуктов, санитарных услуг, геологоразведочных работ, металлургии, поверхностных вод, промышленных сточных вод, питьевой воды, кислотных дождей и в других сферах. Особый интерес вызывает содержание углекислого газа в воде. Так, несмотря на то, что содержание кислорода и двуокиси углерода даже в значительных количествах не ухудшает качества питьевой воды, оно способствует коррозии металла, причем процесс коррозии усиливается с повышением температуры воды, а также при ее движении. Мало того, при значительном содержании в воде агрессивной двуокиси углерода коррозии подвергаются стенки бетонных труб и резервуаров. Не допускается присутствие кислорода в питательной воде паровых котлов среднего и высокого давления [14]. Таким образом, разные условия и отрасли применения диктуют различные требования к содержанию растворенных газов в воде, а, следовательно, их контроль имеет важное значение.

В целях обеспечения единства измерений в России в данной области измерений разработан и успешно эксплуатируется ГЭТ 212, по результатам усовершенствования которого в начале 2023 года утвержден Государственный первичный эталон единицы массовой концентрации кислорода, водорода и углекислого газа в жидких средах – ГЭТ 212-2023. В процессе усовершенствования расширены функциональные возможности ГЭТ 212 по части воспроизведения единиц массовой концентрации углекислого газа. Метрологические характеристики нового ГЭТ приведены в табл. 1.

Другим важным шагом НИО-6 на пути развития метрологии в ответ на пандемию стала разработка комплекса эталонной аппаратуры измерения эффективности фильтрации аэрозольных частиц фильтрами и фильтрующими материалами (рис. 1) на базе Государственного первичного эталона дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов ГЭТ 163. Для оценки эффективности фильтра определяется соотношение концентрации частиц

Таблица 1. Метрологические характеристики ГЭТ 212-2023

Измеряемый компонент	Диапазон массовой концентрации	Расширенная неопределенность, при $k=2$
Кислород	(1–100 000) мкг / дм ³	(0,8–620) мкг / дм ³
Водород	(1–20 000) мкг / дм ³	(2,0–210) мкг / дм ³
Углекислый газ	(0–15) г / дм ³	3,28%

в воздухе до и после него. Разработанный комплекс позволяет выполнять работы по исследованию и подтверждению характеристик эффективности фильтрации и определению наиболее проникающего диаметра различных фильтров, фильтрующих элементов и материалов по:

- масляному туману,
- DEHS (диэтилгексилсебацинат),
- NaCl (хлорид натрия),
- монодисперсному аэрозолю.

Разработанный комплекс позволяет исследовать широкий диапазон фильтров и фильтрующих материалов, предназначенных для изготовления общих систем фильтрации и индивидуальных средств защиты органов дыхания, используемых на производстве, в быту, здравоохранении, космических исследованиях, авиации, обороне страны и др. Испытания фильтров и фильтрующих материалов проводятся на соответствие стандартам: ГОСТ 12.4.235-2019, ГОСТ 12.4.246-2016, ГОСТ 12.4.122-2020, ГОСТ 12.4.245-2013, ГОСТ 12.4.119-82, ГОСТ Р ЕН 1822-2010, ГОСТ Р ЕН 779-2014.

За прошедшие два года ученые НИО-6 на ГЭТ 163 приняли участие в международном пилотном сличении по измерению счетной концентрации коллоидных наночастиц ССQM-Р194, проведенном в рамках



Рис. 1. Комплекс эталонной аппаратуры измерения эффективности фильтрации аэрозольных частиц

деятельности Консультативного комитета по количеству вещества: измерения в химии и биологии (ССQM). Финальный отчет (Final Report) одобрен Рабочими группами ССQM по неорганическому и клеточному анализам (IAWG и SAWG, соответственно) и после согласования с авторами будет опубликован в ведущем международном журнале по общей и прикладной метрологии Международного бюро мер и весов (BIPM) Metrologia [15].

Также на базе ГЭТ 163 для метрологического обеспечения измерений параметров частиц в рамках совместной задачи, поставленной перед Государственными научными метрологическими институтами (ГНМИ), по разработке мер и стандартных образцов для различных отраслей промышленности в целях технологического суверенитета РФ (ОКР «Суверенитет») начались исследования по получению широкого спектра комплексов мер:

- размеров частиц в водной среде от 0,07 до 1 мкм (10 номиналов);
- счетной концентрации частиц в воде от 0,063 до 1,1 мкм (10 номиналов);
- счетной концентрации частиц в масле от 5 до 200 мкм (11 номиналов);
- значений дзета-потенциала в жидкости от минус 90 до плюс 90 мВ (6 номиналов).

Разрабатываемые меры предназначаются для поверки/калибровки/градуировки средств измерений, утверждения типа средств измерений, аттестации методик измерений, в том числе референтных, межлабораторных сличений и др., связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности человека в загрязненной окружающей среде, созданием природоохранительных технологий и утилизацией техногенных отходов, контролем качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов, параметров технологических сред, столь актуальных на современном этапе научно-технического прогресса и развития промышленного производства.

Важную нишу в современной науке и технике для определения химического состава веществ занимают спектральные методы анализа. Достоинства спектральных методов с индуктивно связанной плазмой, такие как экспрессность измерений, простота градуировки, возможность одновременного многоэлементного определения макро- и микрокомпонентов, высокие точностные характеристики, обусловили их стремительное внедрение во многие исследовательские и отраслевые лаборатории во всем мире (аналитические лаборатории предприятий тепловой и атомной энергетики, металлургии, пищевой, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, биотехнологий и медицины,



Рис. 2. ГСО ФГУП «ВНИИФТРИ» слева направо: ГСО 11407-2019 (ИСП-СО-Co); ГСО 11408-2019 (ИСП-СО-Li); ГСО 12008-2022 (ИСП-СО-Ba); ГСО 11406-2019 (ИСП-СО-Cd); ГСО 11409-2019 (ИСП-СО-Pb)

жилищно-коммунального хозяйства, служб экологического мониторинга и др.).

Чтобы обеспечить единство измерений в стране в данной области измерений, разработан и успешно функционирует Государственный первичный эталон единиц массовой доли и массовой (молярной) концентрации неорганических компонентов в водных растворах на основе гравиметрического и спектрального методов – ГЭТ 217, на базе которого разрабатываются стандартные образцы (СО). В результате успешного участия ученых НИО-6 на ГЭТ 217 в международных сличениях, проводимых в рамках деятельности ССQM/IAWG, разрабатываемые на базе ГЭТ 217 СО позволят лабораториям, использующим эти СО, обеспечивать прослеживаемость своих измерений к государственному первичному эталону ГЭТ 217, а некоторым из них до ВРМ КСДВ [7].

В рамках деятельности НИО-6 разработан новый стандартный образец утвержденного типа состава водного раствора ионов бария – ГСО 12008-2022 (рис. 2). На стадии утверждения типа находятся стандартные образцы (СО) состава водного раствора ионов цинка и многокомпонентного СО ИСП-СО Multi 1, в состав которого входят шесть ионов металлов. Продолжаются исследования по разработке СО состава водного раствора ионов галлия, индия и лантана, а также многокомпонентного СО состава водного раствора ионов металлов ИСП-СО Multi 2, содержащего 10 элементов (рис. 3).

СО ФГУП «ВНИИФТРИ» предназначены для аттестации методик измерений и контроля точности результатов измерений массовой доли и массовой концентрации неорганических компонентов в различных веществах и материалах методами атомной абсорбции (ААС), оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ОЭС) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС); для поверки и/или калибровки средств



Рис. 3. СО ФГУП «ВНИИФТРИ» слева направо: СО-Zn; СО Multi1; СО-In; СО-La; СО Multi2; СО-Ga

измерений, установления и контроля стабильности градуировочной/калибровочной характеристики средств измерений; для контроля метрологических характеристик средств измерений при проведении испытаний, в том числе в целях утверждения типа, а также для других видов метрологического контроля при условии, что их метрологические характеристики не противоречат требованиям соответствующих процедур метрологического контроля.

В НИО-6 ведутся исследования в целях расширения возможностей метрологического обеспечения электрохимических видов измерений.

Как известно, измерения показателя активности ионов (рХ) и концентрации анионов и катионов весьма распространены. Они проводятся в питьевых, природных, сточных водах, в фармакологии, водных растворах проб почв, пищевых продуктах, продовольственном сырье и других материалах, которые могут быть переведены в раствор путем соответствующей пробоподготовки, согласно стандартизованным методикам анализа. Существует огромное множество приборов (иономеров) для этой цели. С их помощью определяются активность, массовая концентрация и молярная доля ионов в водном растворе, температура раствора, изучаются воды морей и океанов, решаются геологические задачи и многое другое. Без учета активностей индивидуальных ионов не обойтись во многих физико-химических расчетах. Для обеспечения единства измерений рХ в России на базе НИО-6 разработан и успешно функционирует Государственный первичный эталон показателей рХ активности ионов в водных растворах ГЭТ 171-2011, воспроизводящий на сегодняшний день показатель рХ ионов нитрата, натрия, калия, хлора, брома, йода и фтора.

Для расширения функциональных возможностей ГЭТ 171 ведутся исследования по части добавления возможности передачи единиц массовой доли дейтерия в диапазоне от 0,1 до 49,999%.

Другим важным показателем качества воды является ее электропроводность, поэтому в отдельных

отраслях, таких как энергетика, экология, медицина, электронная и пищевая и атомная промышленность, применяются исключительно жесткие требования к качеству водоподготовки. Способность специально подготовленной жидкости проводить ток, а также величина удельного сопротивления сказываются на эффективности некоторых технологических процессов, в связи с чем эти показатели регламентированы в соответствующих нормативных документах.

Для обеспечения единства измерений удельной электропроводимости жидкостей (УЭП) в НИО-6 разработан и успешно функционирует Государственный первичный эталон единицы удельной электрической проводимости жидкостей в диапазоне от 0,001 до 50 См/м – ГЭТ 132-2018 (в части диапазона 0,001-10 См/м, ВНИИФТРИ).

В настоящее время ведутся исследования, проводимые в целях расширения нижнего диапазона воспроизведения единицы УЭП до $1 \cdot 10^{-6}$ См/м.

На стадии утверждения типа находятся стандартные образцы удельной электрической проводимости жидких сред ВРК-УЭП и ВРН-УЭП, разработанные на базе ГЭТ 132, метрологические характеристики которых указаны в табл. 2.

Также ведутся исследования по разработке новых СО удельной электрической проводимости жидких сред (УЭП) с номинальными значениями от 84,5 до 6700 мкСм/см и целевой неопределенностью (расширенной) приписываемых значений – 0,5%.

СО УЭП создадут возможность для метрологической прослеживаемости соответствующих измерений в таких областях, как гидрология, океанография, энергетика, медицина и фармакология, производство продуктов питания, экология, электроника, оборонная промышленность и безопасность государства, научные исследования.

Помимо научных исследований, проводимых в лабораториях, НИО-6 продолжает свою активную деятельность в международных и региональных организациях:

- Международный комитет мер и весов (CIPM) в составе CCQM, рабочих (WGs) и целевых групп (TGs) CCQM;

- Евро-азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений – КООМЕТ, в ТК 1.8 «Физико-химия», возглавляя подкомитеты: ПК1.8.1 «Электрохимия» и ПК1.8.7 «Характеризация частиц», и в качестве экспертов в ТК 1.12 «Стандартные образцы»;
- Международная организация законодательной метрологии, МОЗМ (фр. Organisation Internationale de Métrologie Légale, OIML, англ. International Organization of Legal Metrology) в ТК17/ПК 3 «рН-метрия» как ведущие Секретариат;
- Сотрудничество в области международной прослеживаемости в аналитической химии – СИТАС, в составе Исполнительного комитета;
- Международная организация по стандартизации, ИСО (International Organization for Standardization, ISO), в составе ISO/TC 281 Fine Bubble technology (мелкопузырьковые или мелкодисперсные технологии) и ISO/TC24/SC4 Particle characterization (характеризация частиц) как полномочный представитель России;
- Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) Содружества независимых государств (СНГ), в МТК 335 «Методы испытаний агропромышленной продукции на безопасность» как Председательствующий и ведущий Секретариат и в деятельности рабочих групп по стандартным образцам, межлабораторным сравнительным испытаниям и по вопросам обеспечения единства измерений в сфере здравоохранения научно-технической комиссии по метрологии (РГ СО НТКМетр, РГ СМИ НТКМетр и РГ ИЗ НТКМетр, соответственно).

Важно отметить также, что по результатам V Международной научно-технической конференции «Метрология физико-химических измерений» (МНТК «МФХИ»), прошедшей 14-16 сентября 2021 года в гибридном формате, НИО-6 (ФГУП «ВНИИФТРИ»), как научный организатор, опубликовало прошедшие рецензию материалы конференции на английском языке в Journal of Physics: Conference Series [16] в 2022 году и на русском языке в научно-техническом журнале «Альманах современной метрологии» [17] в начале 2023 года. К середине 2023 года НИО-6 начало работу по подготовке Шестой МНТК «МФХИ» и опубликовало к началу конференции Сборник тезисов [18].

Таким образом, несмотря на сложную международную обстановку, за последние два года НИО-6

Таблица 2. Метрологические и технические характеристики ГЭТ 132

Модификация	Разряд	Диапазон значений, См/м	U, при P=0,95 и k=2, %	Срок годности	Объем меры
ВРК-УЭП	1	От 0,001 до 10	0,1	1 год	500 мл
	2		0,5		
ВРН-УЭП	2		0,5		

продолжило работу в международных и региональных организациях, подготовило и провело очередную международную конференцию МНТК «МФХИ»-2023, опубликовало материалы предыдущей конференции, в том числе на английском языке в журнале *Journal of Physics: Conference Series*, индексируемом в международной единой библиографической и реферативной базе данных рецензируемой научной литературы – Scopus, провело огромную исследовательскую работу в целях обеспечения единства измерений в России по соответствующим видам измерений. Сегодня НИО-6 работает по всем указанным направлениям, в том числе для решения такой приоритетной задачи для России, как импортозамещение.

Благодарности

Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам НИО-6, результаты исследований которых нашли отражение в статье.

Литература

- <https://www.vniiftri.ru/>
- Добровольский В., Оганян Н. Вступительное слово. *Альманах современной метрологии*. 2023; 1(33): 12–14.
- Добровольский В. И., Оганян Н. Г., Прокунин С. В. Деятельность ФГУП ВНИИФТРИ в сфере физико-химических измерений. *Стандартные образцы*. 2018; 14(3–4): 51–56.
- Добровольский В. И., Оганян Н. Г., Прокунин С. В., Стахеев А. А. Участие ФГУП «ВНИИФТРИ» в международных сличениях в области физико-химических измерений. *Стандартные образцы*. 2018; 14(1–2): 51–56.
- Добровольский В. И., Оганян Н. Г., Прокунин С. В., Балаханов Д. М., Стахеев А. А. Государственные первичные эталоны ВНИИФТРИ в области физико-химических измерений / В сб.: 175 лет ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений. Сборник трудов конференции. 2018. С. 117–127.
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G. Advances of the research department on physicochemical and electrical measurements of FSUE VNIIFTRI. *Journal of Physics: Conference Series*. V International Scientific and Technical Conference: Metrology of Physical and Chemical Measurements, MPM 2021. 2022, С. 012001.
- <https://www.bipm.org/kcdb/>
- ГОСТ Р 58797-2020. Вода питьевая, расфасованная в ёмкости. Определение массовой концентрации растворённого кислорода. Методика измерений.
- СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.
- ПНД Ф 14.1.2:3.101-97. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом.
- Постановление Госатомнадзора РФ от 18 сентября 2000 года № 4 «Об утверждении и введении в действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии НП-017-2000 „Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции“».
- Постановление Госатомнадзора и Госгортехнадзора России от 19 июня 2000 года № 4/98 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов для объектов использования атомной энергии».
- <https://keosan.ru/why-solco.html>
- <http://www.sibecolog.ru/informatsiya/91/121/>
- <https://iopscience.iop.org/journal/0026-1394>
- V International Scientific and Technical Conference: Metrology of Physical and Chemical Measurements (MPM 2021) 14/09/2021–16/09/2021 Hybrid. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022:2192.
- Альманах Современной метрологии. Материалы конференции, Специальный выпуск, 2023. 1(33), ISSN 2313-8068.
- Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции «Метрология физико-химических измерений», Парк-отель «Морозовка», Россия, 5–8 сентября 2023 года – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2023. 215 с. ISBN 978-5-6049203-1-2.

References

- <https://www.vniiftri.ru/>
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G. Introduction. *Al'manac of Modern Metrology*. 2023; 1(33): 12–14.
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G., Prokunin S. V. Activity of All-Russian Research Institute of Physical-Technical and Radio-Technical Measurements (VNIIFTRI) in the sphere of physicochemical measurements. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2018;14(3–4):51–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-3-4-51-56>
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G., Prokunin S. V., Stakheev A. A. Participation of VNIIFTRI in international comparisons in the field of physical-chemical measurements. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2018;14(1–2):51–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-1-2-51-56>
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G., Prokunin S. V., Balakhanov D. M., Stakheev A. A. State Primary Standards of VNIIFTRI in the Field of Physical and Chemical measurements. 175 years of VNIIM named after. D. I. Mendeleev and the National System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Collection of conference Proceedings. 2018. pp. 117–127.
- Dobrovolskiy V. I., Oganyan N. G. Advances of the research department on physicochemical and electrical measurements of FSUE VNIIFTRI. *Journal of Physics: Conference Series*. V International Scientific and Technical Conference: Metrology of Physical and Chemical Measurements, MPM 2021. 2022. V. 2192. P. 012001.
- <https://www.bipm.org/kcdb/>
- GOST R 58797-2020. Drinking bottled water. Determination of mass concentration of dissolved oxygen. Measurement procedure.
- SanPiN 2.1.4.1116-02. Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water packaged in containers. Quality control.
- PND F 14.1.2:3.101-97. Measuring procedure for mass concentration of dissolved oxygen in samples of natural and treated wastewater using the iodometric method.
- Regulation of Gosatomnadzor of the Russian Federation No. 4 On approval and entry into force of Federal norms and regulations in the field of using atomic energy NP-017-2000 Basic requirements for extending the life of a nuclear power plant unit.
- Regulation of Gosatomnadzor and Gosgortekhnadzor of the Russian Federation dated June 19, 2003, No. 4/98 Rules for the design and safe operation of steam and hot water boilers for nuclear energy facilities.
- <https://keosan.ru/why-solco.html>
- <http://www.sibecolog.ru/informatsiya/91/121/>
- <https://iopscience.iop.org/journal/0026-1394>
- V International Scientific and Technical Conference: Metrology of Physical and Chemical Measurements (MPM 2021) 14/09/2021–16/09/2021 Hybrid. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022:2192.
- Almanac of modern metrology. The Conference Proceedings, Special issue, 2023. 1(33), ISSN 2313-8068.
- Abstracts. VI International Scientific and Technical Conference Metrology of Physicochemical measurements, Park-Hotel Morozovka, Moscow region, Russia, 5–8 September, 2023. Mendeleevo: VNIIFTRI, 2023. 215 p. ISBN 978-5-6049203-1-2.

Статья поступила в редакцию 12.10.2023

Принята к публикации 21.10.2023