УДК 658.562 : 006.91

МЕТОДИКА ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУКЦИЙ

© 2026 А.Н. Кирющенков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 20.07.2026

В статье рассмотрен подход к цифровизации процесса поверки средств измерений на основе применения интерактивной цифровой инструкции, обеспечивающей автоматизацию выполнения поверочных операций и информационное сопровождение деятельности поверителя на всех этапах метрологического контроля. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности процессов метрологического обеспечения, сокращения трудоемкости поверочных работ, минимизации ошибок, связанных с человеческим фактором, а также обеспечения полной прослеживаемости результатов измерений в условиях цифровой трансформации промышленности. Предложена архитектура интерактивной цифровой инструкции, включающая информационный, интеллектуальный и исполнительный уровни, обеспечивающие сбор, хранение и обработку исходных данных, сопровождение выполнения методики поверки, регистрацию результатов измерений и оформление итоговой документации. Реализация предложенного подхода обеспечивает непрерывное цифровое сопровождение процесса поверки, формирование цифрового следа выполненных операций, автоматизированное оформление электронного протокола поверки и актуализацию цифрового паспорта средства измерения. Разработанная методика цифровизации процесса поверки средств измерения позволяет повысить достоверность результатов метрологического контроля, обеспечить единообразие выполнения поверочных процедур, сократить продолжительность выполнения работ и повысить эффективность деятельности метрологических служб.

Ключевые слова: цифровая метрология, поверка средств измерений, интерактивная цифровая инструкция, цифровой паспорт, метрологическое обеспечение, автоматизация поверки, цифровая трансформация.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-122-128
EDN: GNFQQH

ВВЕДЕНИЕ

Развитие цифровой экономики, внедрение технологий Индустрии 4.0 и переход к интеллектуальным производственным системам обусловливают необходимость цифровой трансформации процессов метрологического обеспечения. Достоверность результатов измерений является одним из ключевых факторов обеспечения качества продукции, безопасности технологических процессов и соответствия требованиям нормативных документов. В этих условиях возрастает роль процессов поверки средств измерений, обеспечивающих подтверждение их метрологических характеристик и пригодности к дальнейшей эксплуатации [1-5].

Современные исследования в области цифровой метрологии направлены на создание единого цифрового пространства метрологических данных, а также интеграцию метрологической информации с корпоративными информационными системами предприятий. Также большое значение уделяется вопросам автоматизации обработки результатов измерений, применению технологий промышленного Интернета вещей, облачных сервисов и искусственного интеллекта для анализа метрологических данных. Несмотря на это, на сегодняшний день большинство существующих решений рассматривают информационное сопровождение процесса поверки, практически не затрагивая организацию выполнения самой процедуры поверки. Вследствие этого сохраняется зависимость качества поверки от квалификации исполнителя и отсутствует возможность автоматического контроля соблюдения требований методики поверки.

Одним из основных направлений цифровизации в литературе предлагаются интерактивные цифровые рабочие инструкции, получившие широкое распространение в машиностроении, авиационной промышленности, приборостроении и других высокотехнологичных производствах [6-8]. Такие инструкции обеспечивают последовательное отображение технологических операций,

Кирющенков Андрей Николаевич, главный метролог Научно-исследовательского центра прикладной метрологии - Ростест. E-mail: AndreyNK@rostest.ru

применение мультимедийных материалов, автоматическую регистрацию действий исполнителя и снижение вероятности возникновения ошибок при выполнении производственных процессов. Современные цифровые инструкции позволяют адаптировать маршрут выполнения работ в зависимости от технологического процесса, уровня подготовки персонала или результатов предыдущих операций, что повышает гибкость производственных процессов. Однако перенос подобных подходов в сферу метрологического обеспечения не представляется возможным, так как процесс поверки средств измерений относится к регламентированным процедурам, выполнение которых осуществляется в соответствии с утвержденными методиками поверки и требованиями государственной системы обеспечения единства измерений. Последовательность операций определяется нормативной документацией и является обязательной для исполнения. Исключение, добавление или изменение порядка выполнения операций не допускается, поскольку может привести к нарушению требований методики поверки и снижению достоверности получаемых результатов.

Анализ трендов в области цифровой метрологии показывает, что в настоящее время внедрение цифровых технологий ориентировано на автоматизацию документооборота, ведение реестров средств измерений, планирование графиков поверки, формирование свидетельств о поверке и хранение результатов измерений. При этом непосредственное выполнение поверочных операций по-прежнему осуществляется по бумажным методикам либо по их электронным копиям, не обеспечивающим автоматического контроля соблюдения последовательности действий, полноты выполнения операций и корректности регистрации результатов.

Также можно отметить, что использование электронных копий нормативной документации позволяет сократить объем бумажного документооборота, однако не изменяет организацию выполнения поверки. Исполнитель самостоятельно контролирует выполнение операций, фиксирует результаты измерений и оформляет итоговую документацию, что сохраняет влияние человеческого фактора и вероятность возникновения ошибок, связанных с пропуском отдельных операций, некорректным вводом данных или нарушением установленной последовательности выполнения работ.

Таким образом, обусловлена необходимость разработки специализированной методики цифровизации процесса поверки, основанной на применении интерактивной цифровой инструкции.

МЕТОДИКА ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ

Процесс поверки средств измерений включает совокупность последовательно выполняемых операций, целью которых является подтверждение соответствия метрологических характеристик установленным требованиям.

Предлагаемая методика цифровизации процесса поверки средств измерений основана на представлении его как детерминированного управляемого процесса последовательного преобразования метрологической информации, в котором каждая операция определяется требованиями нормативной документации, а переход к следующему этапу возможен только после завершения предыдущего этапа и подтверждения выполнения всех установленных условий.

Последовательность операций определяется утвержденной методикой поверки и требованиями государственных стандартов, следовательно, цифровизация процесса поверки должна обеспечивать цифровое сопровождение исполнения нормативно установленной последовательности операций.

Исходя из этого, интерактивная цифровая рабочая инструкция рассматривается не как электронная копия бумажного документа, а как цифровая модель процесса поверки, обеспечивающая управление выполнением операций, автоматический контроль полноты их выполнения, регистрацию результатов измерений и формирование цифрового следа процесса.

Предлагаемая структурно-функциональная модель цифровой инструкции представлена на рис. 1.

Алгоритм реализации предложенной методики цифровизации процесса поверки средств измерений и контроля на основе предложенной интерактивной цифровой инструкции представлен на рис. 2.

На первом этапе осуществляется регистрация средства измерения посредством считывания обращения к цифровому паспорту. В результате автоматически определяется объект поверки и загружается необходимая информация о его технических характеристиках, применяемой методике поверки, истории эксплуатации и предыдущих результатах метрологического контроля.

После идентификации средства измерения выполняется формирование интерактивной цифровой инструкции. В отличие от традиционных бумажных методик поверки, формирование цифровой инструкции осуществляется с учетом особенностей средства измерения. При ее создании используются сведения о средстве измерения, требования действующей методики поверки и нормативной документации.

Таким образом, для формирования интерактивных цифровых инструкций представим процесс поверки, используя единый подход, независимо от конкретного типа средства измерения. Отсюда, процесс поверки представляет собой последовательность взаимосвязанных операций:

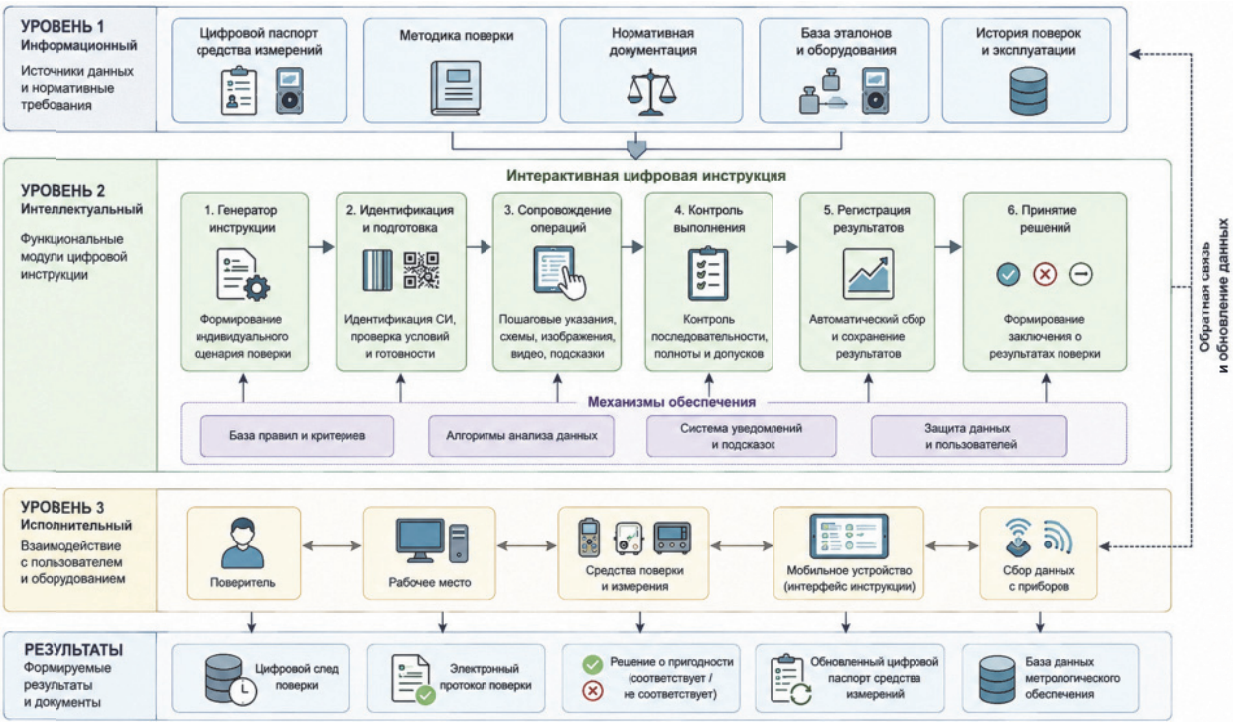

Рис.1. Структурно-функциональная модель цифровой инструкции проведения поверки

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_i\},$$

где o_i – *i*-ая операция, предусмотренная методикой поверки.

При этом каждая операция характеризуется совокупностью параметров

$$o_i = \{A_i, D_i, R_i, C_i\},$$

где A_i – описание выполняемого действия *i*-ой операции; D_i – входные данные и используемое оборудование для *i*-ой операции; R_i – возможные результаты выполнения *i*-ой операции; C_i – критерии завершения *i*-ой операции.

Интерактивная цифровая инструкция представляет собой отображение множества операций в множество цифровых представлений экранов инструкции

$$O \to S,$$

где $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – множество цифровых экранов инструкции, содержащих совокупность информации, такой как описание выполняемой операции, иллюстрации и схемы выполнения, нормативные требования, контролируемые параметры, форму регистрации результатов.

После формирования инструкции выполняется проверка готовности к проведению поверочных работ. Отмечается наличие эталонов и поверочного оборудования, подтверждается срок действия их метрологической аттестации, а также проводится оценка условий окружающей среды установленным требованиям. Если проверка готовности не пройдена, то проведение поверки откладывается до устранения выявленных несоответствий, что позволяет исключить влияние внешних факторов на достоверность результатов измерений. При положительной готовности к поверке переходим к этапу проведения самих поверочных работ.

Сформированная интерактивная цифровая инструкция представляет собой механизм сопровождения поверителя и отображает пошаговое выполнение поверочных операций. Каждая операция поверки представлена в виде отдельного функционального блока, включающего описание выполняемых действий, перечень применяемых средств поверки, алгоритм контроля правильности выполнения операции и процедуру регистрации результатов. Результаты каждой операции сохраняются в информационной системе без дополнительного ввода.

Выделение данного механизма в самостоятельный элемент обусловлено тем, что именно на этапе выполнения операций возникает наибольшее количество ошибок, связанных с нарушением требований методики поверки. Поэтому сопровождение действий поверителя рассматривается как самостоятельная функция модели.

На этапе контроля анализируется соответствие результатов требованиям методики поверки, оценивается корректность выполненных измерений и проверяется полнота прохождения всех предусмотренных операций. Если нарушения последовательности отсутствуют, система предостав-

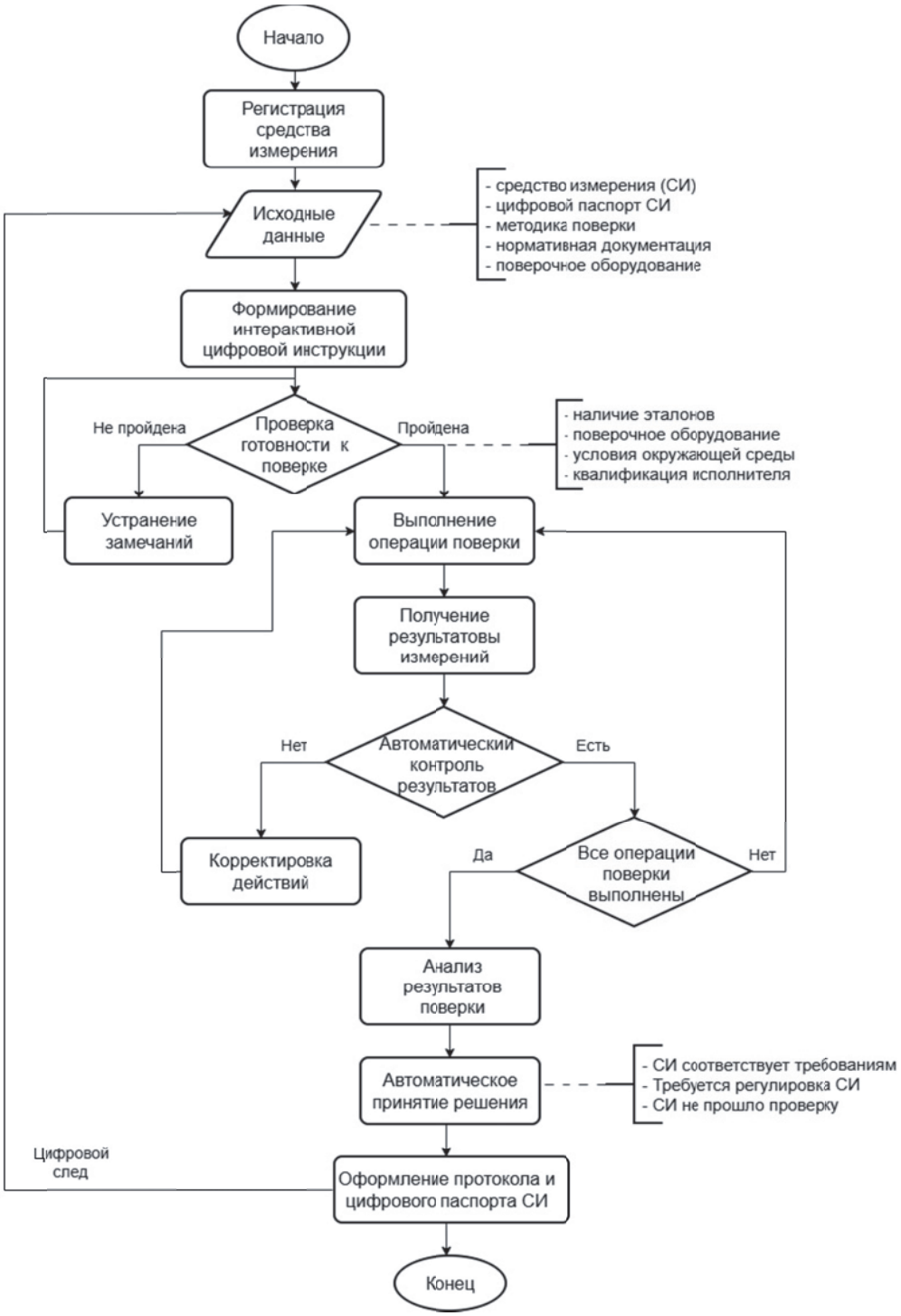

Рис. 2. Алгоритм цифрового управления процессом поверки

ляет возможность перехода к следующему этапу. В случае обнаружения отклонений пользователю предлагаются действия, предусмотренные нормативной документацией.

Следовательно, цифровая инструкция становится интерфейсом взаимодействия исполнителя с цифровой системой, при этом управление переходами между этапами операции осуществляется за счет механизма логического контроля завершения операций:

$$T_i = \begin{cases} 1, & C_i = 1 \\ 0, & C_i = 0 \end{cases},$$

где $C_i = 1$ если текущая операция соответствует всем требованиям, где $C_i = 0$ если существует хотябы одно не выполненное условие. При этом переход к следующей операции выполняется только при выполнении условия $T_i = 1$. Если условие не выполняется, то $T_i = 0$ и переход к следующей операции не выполняется и система формирует сообщение о необходимости завершения текущего

действия. Данный механизм обеспечивает автоматический контроль требований нормативной документации и исключает возможность пропуска операций.

Заключительным этапом функционирования модели является анализ результатов поверки на соответствие установленным требованиям. На основании данных результатов автоматически оформляется электронный протокол поверки с указанием решения о соответствии средства измерения.

Непрерывное формирование цифрового следа выполнения процесса поверки позволяет регистрировать соответствующую метрологическую информацию. Полученная информация автоматически включается в цифровой паспорт средства измерения и может использоваться при последующих поверках, калибровке, техническом обслуживании и анализе метрологической надежности. При этом, совокупность зарегистрированных данных образует множество

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\},$$

где каждый элемент m_i – регистрируемые данные (идентификатор операции, зарегистрированные значения измерений, дата и время выполнения операции, идентификатор поверителя, сведения об используемых эталонах, информацию о применяемом оборудовании, результат контроля).

Формирование цифрового следа обеспечивает полную прослеживаемость процесса поверки и позволяет анализировать причины возникновения несоответствий и подтверждать соблюдение требований методики поверки.

Также предложенная методика интегрирует интерактивную цифровую инструкцию с цифровым паспортом средства измерения. После завершения поверки зарегистрированные результаты автоматически передаются в цифровой паспорт, формируя единую информационную модель жизненного цикла средства измерения. Это позволяет исключить повторный ввод данных и сократить вероятность ошибок поверителя, а также обеспечивает постоянную актуальность метрологической информации.

Таким образом, разработанная методика цифровизации процесса поверки рассматривает процесс поверки как управляемую цифровую систему с фиксированной нормативной структурой, в которой интерактивная цифровая рабочая инструкция выполняет функции управления последовательностью операций, контроля полноты выполнения требований методики, автоматической регистрации метрологических данных и формирования цифрового следа процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика цифровизации процесса поверки средств измерений и контроля, основанная на применении интерактивных цифровых рабочих инструкций, направлена на цифровизацию процессов метрологического контроля и обеспечивает цифровое сопровождение выполнения поверочных операций. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на автоматизацию документооборота или использование электронных копий методик поверки, предложенная методика рассматривает процесс поверки как детерминированную последовательность взаимосвязанных операций, выполняемых в соответствии с требованиями утвержденной методики поверки.

Предложенная структурно-функциональная модель интерактивной цифровой рабочей инструкции формирует единое информационное пространство процесса поверки, объединяя сведения о поверяемом средстве измерения, требования нормативной документации, последовательность выполнения поверочных операций, результаты измерений, критерии оценки и правила принятия решений.

Использование интерактивной цифровой инструкции обеспечивает единообразное выполнение поверочных процедур независимо от уровня подготовки исполнителя, исключает возможность пропуска обязательных операций и нарушения установленного алгоритма поверки, что способствует снижению влияния человеческого фактора на результаты метрологического контроля и повышению результативности процедуры поверки.

Разработанный алгоритм управления процессом поверки обеспечивает автоматический контроль выполнения каждой операции, проверку условий перехода между этапами, регистрацию результатов измерений и формирование цифрового следа выполнения поверочных работ. Реализация предложенного подхода позволяет повысить достоверность принимаемых метрологических решений, сократить трудоемкость выполнения поверочных процедур и оформления их результатов, а также обеспечить полную прослеживаемость метрологической информации на протяжении всего процесса поверки. Накопление структурированных цифровых данных в цифровом паспорте средства измерения создает основу для интеграции с информационными системами метрологического обеспечения и корпоративными информационными системами предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Слободянюк, Д. Д.* Цифровая метрология: влияние современных технологий на процессы измерения / Д. Д. Слободянюк, К. И. Братчиков // Современные методы и инновации в науке: Сборник статей XL международной научной конференции, Санкт-Петербург, 09 декабря 2024 года. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2024. – С. 48-50. – EDN MPJUTR.
2. *Печенко, Н. С.* Тренды в метрологии: от традиционных измерений к цифровым решениям / Н. С. Печенко, К. С. Отев // Севергеоэкотех-2026 : Материалы XXVII Международной молодёжной научной конференции. В 2 ч., Ухта, 26–27 марта 2026 года. Часть 1. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2026. – С. 419-422. – EDN XLLVLB.
3. Ривас, Э. Ю. Цифровая метрология как ответ на развитие интеллектуального производства / Э. Ю. Ривас, А. В. Вячеславов, А. С. Уманский // Приборы. – 2024. – № 4(286). – С. 41-54. – EDN OQRWVP.
4. *Смирнов, Т.* Новые горизонты цифровой метрологии: использование роботов и искусственного интеллекта в системах измерения и контроля качества / Т. Смирнов, Ю. С. Калинина // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы к автоматизации и роботизации производственных процессов : Сборник научных материалов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 15–16 мая 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 547-550. – EDN QIVYXY.
5. *Кирющенков, А. Н.* Анализ нормативно-правовых аспектов для цифровизации процессов поверки средств измерений / А. Н. Кирющенков, Д. И. Благовещенский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 3. – С. 273-280. – DOI 10.24412/2071-6168-2026-3-273-274. – EDN CAWDSH.
6. *Пирогова, М. А.* Технология дополненной реальности как эффективный инструмент применения пошаговых руководств и инструкций на рабочем месте / М. А. Пирогова, И. Е. Лешихина, В. А. Краюшкин // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 2(186). – С. 23-28. – DOI 10.52190/2073-2597_2022_2_23. – EDN CLDVEK.
7. *Деева, Е. А.* Цифровое рабочее место в контексте стратегии цифровой трансформации организации: развитие навыков и компетенций сотрудников / Е. А. Деева, О. В. Рябова // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 7. – С. 142-144. – EDN LQBYNV.
8. *Шулятьева, Г. М.* Сопровождение программного обеспечения цифровых устройств инструкцией для пользователя как необходимое условие ускорения темпов цифровизации / Г. М. Шулятьева // От ЭВМ “Наири” к Higt-tech : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию кафедры информационных технологий и статистики, Киров, 16 декабря 2021 года. – Киров: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятский государственный агротехнологический университет, 2022. – С. 86-90. – EDN RXIDFM.

METHODOLOGY FOR THE DIGITALIZATION OF THE METROLOGICAL VERIFICATION PROCESS OF MEASURING AND TEST EQUIPMENT USING INTERACTIVE DIGITAL WORK INSTRUCTIONS

© 2026 A.N. Kiryushchenkov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia

The article discusses an approach to digitalization of the process of verification of measuring instruments based on the use of an interactive digital instruction, which provides automation of verification operations and information support for the verifier’s activities at all stages of metrological control. The relevance of the study is due to the need to improve the efficiency of metrological support processes, reduce the complexity of verification work, minimize errors associated with the human factor, and ensure full traceability of measurement results in the context of digital transformation of industry. The article proposes an architecture of an interactive digital instruction, which includes information, intellectual and executive levels, providing the collection, storage and processing of initial data, support for the implementation of the verification methodology, registration of measurement results and the design of final documentation. The implementation of the proposed approach provides continuous digital support for the verification process, the formation of a digital trace of the performed operations, the automated design of an electronic verification protocol and the updating of the digital passport of the measuring instrument. The developed method of digitalization of the verification process of measuring instruments allows to increase the reliability of the results of metrological control, ensure the uniformity of the verification procedures, reduce the duration of work and increase the efficiency of the activities of metrological services.

Keywords: digital metrology, metrological verification of measuring instruments, interactive digital work instructions, digital passport, metrological support, verification automation, digital transformation.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-122-128
EDN: GNFQQH

REFERENCES

1. *Slobodyanyuk, D. D.* Cifrovaya metrologiya: vliyanie sovremennyh tekhnologij na processy izmereniya / D. D. Slobodyanyuk, K. I. Bratchikov // Sovremennye metody i innovacii v nauke: Sbornik statej XL mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Sankt-Peterburg, 09 dekabrya 2024 goda. – Sankt-Peterburg: Gumanitarnyj nacional'nyj issledovatel'skij institut NACRAZVITIE, 2024. – S. 48-50. – EDN MPJUTR.
2. *Pechenko, N. S.* Trendy v metrologii: ot tradicionnyh izmerenij k cifrovym resheniyam / N. S. Pechenko, K. S. Otev // Severgeoekotekh-2026 : Materialy XXVII Mezhdunarodnoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii. V 2 ch., Uhta, 26–27 marta 2026 goda. Chast' 1. – Uhta: Uhtinskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2026. – S. 419-422. – EDN XLLVLB.
3. *Rivas, E. Yu.* Cifrovaya metrologiya kak otvet na razvitie intellektual'nogo proizvodstva / E. Yu. Rivas, A. V. Vyacheslavov, A. S. Umanskij // Pribory. – 2024. – № 4(286). – S. 41-54. – EDN OQRWVP.
4. *Smirnov, T.* Novye gorizonty cifrovoj metrologii: ispol'zovanie robotov i iskusstvennogo intellekta v sistemah izmereniya i kontrolya kachestva / T. Smirnov, Yu. S. Kalinina // Innovacionnye tekhnologii v nauke: upravlenie kachestvom, metrologicheskoe obespechenie, novye podhody k avtomatizacii i robotizacii proizvodstvennyh processov : Sbornik nauchnyh materialov III Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Saratov, 15–16 maya 2025 goda. – Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj universitet genetiki, biotekhnologii i inzhenerii im. N.I. Vavilova, 2025. – S. 547-550. – EDN QIVYXY.
5. *Kiryushchenkov, A. N.* Analiz normativno-pravovyh aspektov dlya cifrovizacii processov poverki sredstv izmerenij / A. N. Kiryushchenkov, D. I. Blagoveshchenskij // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 3. – S. 273-280. – DOI 10.24412/2071-6168-2026-3-273-274. – EDN CAWDSH.
6. *Pirogova, M. A.* Tekhnologiya dopolnennoj real'nosti kak effektivnyj instrument primeneniya poshagovyh rukovodstv i instrukcij na rabochem meste / M. A. Pirogova, I. E. Leshihina, V. A. Krayushkin // Informacionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve. – 2022. – № 2(186). – S. 23-28. – DOI 10.52190/2073-2597_2022_2_23. – EDN CLDVEK.
7. *Deeva, E. A.* Cifrovoe rabochee mesto v kontekste strategii cifrovoj transformacii organizacii: razvitie navykov i kompetencij sotrudnikov / E. A. Deeva, O. V. Ryabova // Innovacii i investicii. – 2024. – № 7. – S. 142-144. – EDN LQBYNV.
8. *Shulyat'eva, G. M.* Soprovozhdenie programmnogo obespecheniya cifrovyh ustrojstv instrukciej dlya pol'zovatelya kak neobhodimoe uslovie uskoreniya tempov cifrovizacii / G. M. Shulyat'eva // Ot EVM \"Nairi\" k Higt-tech : Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu kafedry informacionnyh tekhnologij i statistiki, Kirov, 16 dekabrya 2021 goda. – Kirov: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Vyatskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet, 2022. – S. 86-90. – EDN RXIDFM.

Andrey Kiryushenkov, Chief Metrologist of the Research Center for Applied Metrology – Rostest. E-mail: AndreyNK@rostest.ru