УДК 658.562 : 006.91

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ

© 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 рассматривается задача оценки рисков потенциальных несоответствий процесса поверки средств измерений и контроля в условиях цифровизации метрологических процессов. Обоснована необходимость расширения традиционного подхода к оценке рисков за счет учета влияния цифровых компонентов процесса. Предложена методика оценки рисков потенциальных несоответствий, основанная на совместном учете технологических, метрологических, организационных и цифровых факторов. Методика для каждой технологической операции позволяет определить потенциальные несоответствия, контрольные точки и совокупность факторов риска, после чего осуществляется количественная оценка их влияния с использованием показателей значимости последствий, вероятности возникновения, вероятности необнаружения, коэффициента цифрового влияния и коэффициента взаимного влияния факторов. В отличие от традиционного определения приоритетного числа риска, предложенный подход позволяет формировать профиль риска каждой поверочной операции и процесса поверки в целом. Результаты оценки используются для определения критичности операций и формирования управляющих и предупреждающих действий для снижения вероятности появления несоответствий в процессе поверки. Предлагаемый подход обеспечивает переход от статической оценки риска к его использованию в качестве информационного параметра управления цифровизированным процессом поверки и может применяться при разработке цифровых систем управления качеством метрологических процессов.

Ключевые слова: поверка средств измерений, оценка рисков, потенциальные несоответствия, метрологические процессы, цифровизация, цифровые факторы риска, интерактивные цифровые инструкции, управление рисками, система менеджмента качества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-129-135
EDN: GTFCWQ

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития промышленности характеризуется внедрением цифровых технологий в процессы производства, контроля, управления и обеспечения качества продукции [1,2]. Формирование цифровой инфраструктуры предприятий, развитие информационных систем, автоматизация сбора и обработки данных, применение программных средств и интеллектуальных технологий способствуют повышению оперативности, прозрачности и управляемости производственных процессов. Цифровая трансформация затрагивает не только основные процессы системы менеджмента качества организации, но и нацелена на обеспечивающие процессы, от которых зависит достоверность принимаемых технических и управленческих решений [3].

Одним из направлений цифровой трансформации является развитие цифровых технологий в области метрологического обеспечения производства. В частности, цифровизация процессов поверки средств измерений предусматривает переход от преимущественно документарного и ручного выполнения отдельных процедур к использованию электронных нормативных документов, автоматизированной регистрации результатов, цифровых данных о средствах измерений и средствах поверки, информационных систем и интерактивных средств сопровождения деятельности специалистов. Такое развитие создает предпосылки для повышения воспроизводимости выполнения поверочных операций, сокращения количества ошибок и повышения эффективности контроля, одновременно формируя новые требования к организации и управлению качеством цифровизированных метрологических процессов [4].

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

Обеспечение достоверности результатов измерений является одним из ключевых условий функционирования современных систем технического регулирования, управления качеством продукции и обеспечения безопасности технологических процессов. Особое место в данной системе занимает поверка средств измерений, результаты которой непосредственно определяют возможность их дальнейшего применения и соответствие установленным метрологическим требованиям.

В основе обеспечения качества поверочной деятельности лежит жесткая регламентация этапов работ, строгие критерии к применяемому эталонному оборудованию, мониторинг внешних условий и верификация итоговых данных. При этом важное значение для качества полученной информации имеет предупреждение потенциальных несоответствий, вероятность появления которых существует на всех стадиях процесса поверки. Возникновение критических несоответствий может привести к ошибкам в результатах поверки и принятию необоснованного решения о соответствии или несоответствии средства измерения установленным требованиям [5-7].

В условиях внедрения цифровых технологий в процессы поверки на результат процесса начинают оказывать влияние не только традиционные технологические, метрологические и организационные факторы, но и цифровые компоненты процесса, что приводит к сложности оценки рисков и обоснования результативности всего процесса.

Традиционные подходы к анализу рисков, основанные на определении причин потенциальных несоответствий и оценке их значимости, вероятности возникновения и обнаружения, не могут в полной мере отразить специфику цифровизированного процесса, так как, цифровизация способна одновременно снижать вероятность возникновения одних несоответствий и создавать новые источники риска.

В связи с этим в работе предлагается методика оценки рисков потенциальных несоответствий процесса поверки средств измерений и контроля, основанная на совместном рассмотрении технологических, метрологических, организационных и цифровых факторов риска. Методика ориентирована не только на количественную оценку уровня риска, но и на использование полученного результата для формирования управляющих воздействий в цифровизированном процессе поверки.

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ

Основной особенностью предлагаемой методики является установление непосредственной связи между результатами оценки риска и структурой интерактивной цифровой инструкции. Таким образом, риск рассматривается не как статическая характеристика процесса, а как информационный параметр, определяющий требуемый уровень контроля конкретной поверочной операции.

Пусть процесс поверки средства измерения имеет вид ориентированной последовательности взаимосвязанных операций:

$$P = \{O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n\},$$

где P – процесс поверки, O_i – i-я операция процесса поверки; n — общее количество операций.

При этом каждая операция O_i характеризуется набором входных данных:

$$O_i = \{X_i, N_i, M_i, U_i, Y_i\},$$

где X_i— входные данные операции; N_i – нормативные требования; M_i – используемые средства измерений, эталоны и средства поверки; U_i – условия и действия исполнителя; Y_i – результат выполнения операции.

Таким образом, процесс поверки имеет вид:

$$X_i + N_i + M_i \xrightarrow{U_i} Y_i,$$

При этом результат одной операции может являться входной информацией для последующей операции: $Y_i \to X_{i+1}$.

Это имеет значительное влияние на оценку риска, так как потенциальное несоответствие, возникшее на одной операции, может влиять на результаты последующих операций.

Далее для каждой операции определяются контрольные точки, которые представляют собой момент процесса, в котором необходимо проверить выполнение определенного требования или получить подтверждение корректности выполненного действия.

Для i-ой операции множество контрольных точек определяется как:

$$K_i = \{K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{im}\},$$

где K_{ij} – j-ая контрольная точка i-ой операции.

Таким образом, формируется детализированная технологическая карта процесса поверки. Важным условием является сохранение установленной нормативной последовательности операций $P = const$. Поэтому сформированная последовательность операций является базовой структурой, которая переносится в интерактивную цифровую инструкцию.

На следующем этапе методики для каждой операции определяется множество потенциальных несоответствий:

$$NC_i = \{nc_{i1}, nc_{i2}, \dots, nc_{im}\},$$

где nc_{ij} – *j*-е потенциальное несоответствие, которое может возникнуть при выполнении *i*-ой операция; m_i — количество потенциальных несоответствий для i-ой операция.

Причина возникновения каждого потенциального несоответствия представляется как совокупность факторов риска способных непосредственно влиять на вероятность возникновения и вероятность обнаружения потенциального несоответствия. Для цифровизированного процесса поверки множество факторов риска предлагается разделить на четыре основные группы:

$$F = F_T \cup F_M \cup F_O \cup F_D ,$$

где F_T – технологические факторы, F_M – метрологические факторы, F_O – организационные факторы; F_D – цифровые факторы.

Технологические факторы характеризуют отклонения непосредственно от установленной технологии выполнения поверочной операции. Метрологические – характеризуют состояние и характеристики средств измерений и средств поверки, погрешности, нестабильность метрологических характеристик, неправильный выбор диапазона измерений, несоответствие применяемых эталонов установленным требованиям и другие факторы, способные повлиять на достоверность результата. Организационные факторы связаны с действиями персонала и организацией процесса поверки. Цифровые факторы способны одновременно выполнять функцию предотвращения ошибок и выступать источником новых потенциальных несоответствий.

Для оценки каждого потенциального несоответствия предлагается использовать три базовые характеристики: S – значимость последствий несоответствия; O – вероятность возникновения причины несоответствия; D – вероятность необнаружения несоответствия существующими средствами контроля.

На их основе традиционный показатель приоритетного числа риска имеет вид:

$$\text{ПЧР}_{ij} = S_{ij} O_{ij} D_{ij},$$

где S_{ij} – значимость последствий *j*-го потенциального несоответствия *i*-ой операции, которая характеризует влияние потенциального несоответствия на достоверность результата поверки; O_{ij} – вероятность возникновения риска, отражающая вероятность возникновения причины несоответствия; D_{ij} – вероятность обнаружения риска, характеризующая вероятность того, что возникшее несоответствие не будет выявлено существующими средствами контроля до формирования итогового результата поверки.

Однако, вследствие внедрения цифровых инструментов и их взаимного влияния на риск процесса поверки применение данных трех параметров недостаточно. Для учета влияния цифровизации вводится коэффициент цифрового влияния C_D. Его значение зависит от того, насколько конкретная операция связана с цифровыми компонентами процесса. Чем выше вероятность того, что цифровой компонент может привести к возникновению или необнаружению несоответствия, тем выше значение C_D.

Коэффициент цифрового влияния может определяться на основании совокупности характеристик цифровизированного процесса: $C_D = f(c_D)$.

При этом значения всех показателей нормируются на интервале от 1 до 10. Это позволяет сохранить интерпретируемость результатов и обеспечивает сопоставимость оценки различных поверочных операций.

Для учета того обстоятельства, что цифровизация может не только увеличивать, но и снижать факторы традиционных рисков, вводится коэффициент взаимного влияния факторов I. Такой коэффициент позволяет учитывать ситуации, когда одновременная реализация двух факторов приводит к более высокому риску, чем их изолированное действие.

Таким образом, значение риска целесообразно определять по формуле:

$$R_{ij} = S_{ij} O_{ij} D_{ij} C_{Dij} I_{ij},$$

где C_{Dij} – степень цифрового влияния, отражающая влияние цифровой составляющей на риск конкретного потенциального несоответствия; I_{ij} – коэффициент взаимного влияния факторов риска, учитывающий взаимное усиление или ослабление отдельных факторов.

Таким образом, в отличие от классической модели, где оценка риска определяется получением приоритетного числа риска, в предлагаемой модели результатом является профиль риска конкретной операции:

$$PR_i = \{R_i, F_i^*, NC_i, A_i\},$$

где R_i – уровень риска операции; F_i^* – фактор риска, оказывающий наибольшее влияние; NC_i – множество потенциальных несоответствий; A_i – управляющие и предупреждающие действия для i-ой операции.

Совокупность профилей отдельных операций формирует профиль всего процесса поверки:

$$PR_P = \{PR_1, PR_2, \dots, PR_n\},$$

Полученный профиль используется для определения критичности операций и формирования соответствующего уровня их контроля, при этом уровень контроля определяет состав управляющих действий.

$$R_i \rightarrow A_i,$$

где A_i – множество управляющих и предупреждающих действий.

Ограничениями модели является то, что установленная в методике измерения последовательность операций является постоянной $P = const$, тогда как управляющее воздействие на операцию процесса может изменяться в зависимости от величины риска

$$A_i = f(R_i).$$

Таким образом, на рис.1 изображена методика оценки рисков потенциальных несоответствий процесса поверки средств измерений и контроля, устанавливающая взаимосвязь между структурой процесса поверки, потенциальными несоответствиями, совокупностью технологических, метрологических, организационных и цифровых факторов, количественной оценкой риска и последующим управлением процессом поверки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика позволяет проводить оценку потенциальных несоответствий в условиях цифровой трансформации процесса поверки. В отличие от классических методов оценки риска, предложенная методика позволяет определить участки процесса требующие повышенного контроля, а также сформулировать и внедрить управляющие воздействия предупреждения возникновения несоответствий.

Основным результатом является учет цифровой составляющей наряду с технологическими, метрологическими и организационными условиями выполнения поверки. Это позволяет учитывать двойственный характер цифровизации, приводящий к тому, что автоматизированные средства влияющие на уменьшение вероятности появления ошибок исполнителем одновременно могут приводить к ошибкам программного обеспечения, данных или цифровой инфраструктуры.

Практическое применение методики заключается в использовании полученной информации при построении цифрового сопровождения поверочных работ. В зависимости от установленного уровня риска для отдельных операций может изменяться интенсивность контроля, состав проверок и предупреждений, тогда как регламентированная техно-

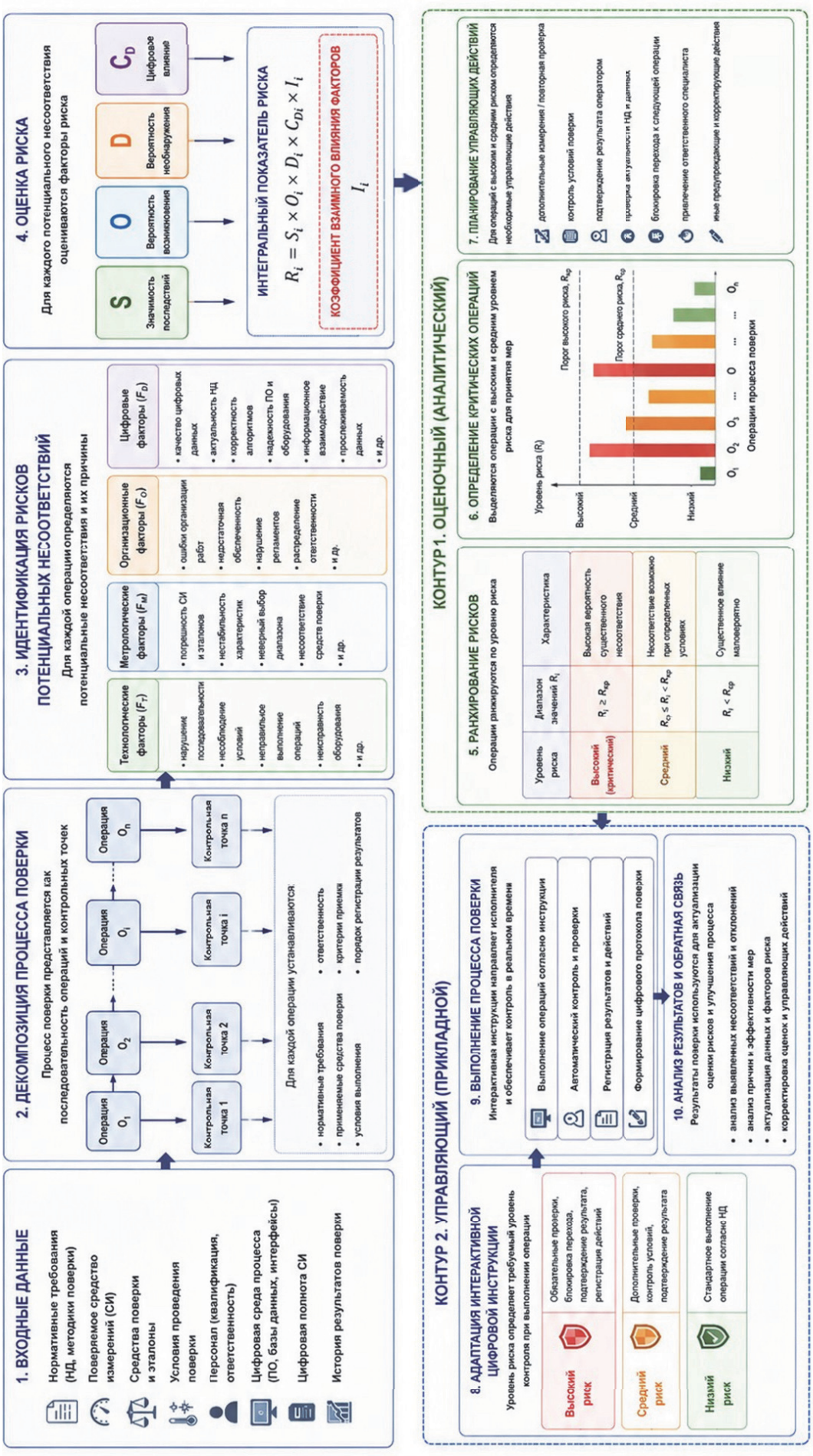

Рис. 1 – Методика оценки рисков потенциальных несоответствий процесса поверки средств измерений и контроля

логия выполнения поверки остается неизменной. Такой подход позволяет сосредоточить контрольные мероприятия на наиболее значимых участках процесса без изменения установленной методики поверки.

Предложенный подход может быть развит за счет накопления статистики выполнения поверочных операций и ее использования для уточнения оценок риска. Это создает предпосылки для формирования адаптивной системы цифрового сопровождения, способной учитывать фактические результаты выполнения процесса и своевременно корректировать меры контроля при изменении условий или появлении новых факторов риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савич, Е. К.* Автоматизация методов и инструментов менеджмента качества на этапе проектирования и разработки продукции и процессов / Е. К. Савич, Д. В. Антипов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 4(126). – С. 5-12. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-4-5-12. – EDN AIYZFB.
2. *Савич, Е. К.* Методика цифровизации системы менеджмента качества / Е. К. Савич // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 9. – С. 9-15. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-9-9-10. – EDN PEZFMV.
3. *Савич, Е. К.* Цифровой инструментарий управления качеством на этапах жизненного цикла продукции / Е. К. Савич // Омский научный вестник. – 2025. – № 3(195). – С. 19-26. – DOI 10.25206/1813-8225-2025-195-19-26. – EDN DIANIA.
4. Метрология в эпоху цифровизации: роль достоверных данных и искусственного интеллекта // Главный метролог. – 2025. – № 2(143). – С. 26-27. – DOI 10.32446/2587-9677gm.2025-2-26-27. – EDN VGHQJM.
5. *Гаврилова, А. Д.* Подход оценки рисков производственных процессов в условиях цифровизации / А. Д. Гаврилова // Прорывные экономические реформы в условиях риска и неопределенности : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Калуга, 19 декабря 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2023. – С. 21-23. – EDN EYZDEK.
6. *Восканян, А. А.* Методика оценки рисков деятельности по поверке средств измерений / А. А. Восканян, И. А. Кострикина // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 4(42). – С. 51-57. – DOI 10.21685/2307-5538-2022-4-7. – EDN NVCOWU.
7. *Гумиров, И. С.* Управление рисками и возможностями при поверке средств измерений / И. С. Гумиров, В. Ф. Сопин, Я. В. Денисова // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 49-57. – DOI 10.22213/2413-1172-2024-2-49-57. – EDN FXQIJL.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR RISK ASSESSMENT OF POTENTIAL NONCONFORMITIES IN MEASURING INSTRUMENT VERIFICATION AND CONTROL PROCESSES UNDER DIGITALIZATION

© 2026 A.N. Kiryushchenkov

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

The article examines the task of assessing the risks of potential non-conformities in the process of verifying measuring and control instruments under conditions of digitalization of metrological processes. The necessity of expanding the traditional approach to risk assessment by taking into account the influence of the digital components of the process is substantiated. A methodology for assessing the risks of potential non-conformities is proposed, based on the joint consideration of technological, metrological, organizational, and digital factors. For each technological operation, the methodology makes it possible to identify potential non-conformities, control points, and a set of risk factors; after that, their impact is quantitatively assessed using indicators of the significance of consequences, the probability of occurrence, the probability of non-detection, the digital influence coefficient, and the coefficient of mutual influence of factors. Unlike the traditional definition of a priority risk number, the proposed approach makes it possible to form a risk profile for each verification operation and for the verification process as a whole. The assessment results are used to determine the criticality of operations and to develop control and preventive actions to reduce the likelihood of non-conformities occurring during the verification process. The proposed approach ensures a transition from a static risk assessment to its use as an information parameter for managing the digitalized verification process and can be applied in the development of digital quality management systems for metrological processes.

Keywords: verification of measuring instruments, risk assessment, potential non-conformities, metrological processes, digitalization, digital risk factors, interactive digital instructions, risk management, quality management system.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-129-135
EDN: GTFCWQ

REFERENCES

1. *Savich, E. K.* Avtomatizaciya metodov i instrumentov menedzhmenta kachestva na etape proektirovaniya i razrabotki produkcii i processov / E. K. Savich, D. V. Antipov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 27. – № 4(126). – S. 5-12. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-4-5-12. – EDN AIYZFB.
2. *Savich, E. K.* Metodika cifrovizacii sistemy menedzhmenta kachestva / E. K. Savich // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 9. – S. 9-15. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-9-9-10. – EDN PEZFMV.
3. *Savich, E. K.* Cifrovoj instrumentarij upravleniya kachestvom na etapah zhiznennogo cikla produkcii / E. K. Savich // Omskij nauchnyj vestnik. – 2025. – № 3(195). – S. 19-26. – DOI 10.25206/1813-8225-2025-195-19-26. – EDN DIANIA.
4. Metrologiya v epohu cifrovizacii: rol' dostovernyh dannyh i iskusstvennogo intellekta // Glavnyj metrolog. – 2025. – № 2(143). – S. 26-27. – DOI 10.32446/2587-9677gm.2025-2-26-27. – EDN VGHQJM.
5. *Gavrilova, A. D.* Podhod ocenki riskov proizvodstvennyh processov v usloviyah cifrovizacii / A. D. Gavrilova // Proryvnye ekonomicheskie reformy v usloviyah riska i neopredelennosti : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Kaluga, 19 dekabrya 2023 goda. – Ufa: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Aeterna», 2023. – S. 21-23. – EDN EYZDEK.
6. *Voskanyan, A. A.* Metodika ocenki riskov deyatel'nosti po poverke sredstv izmerenij / A. A. Voskanyan, I. A. Kostrikina // Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'. – 2022. – № 4(42). – S. 51-57. – DOI 10.21685/2307-5538-2022-4-7. – EDN NVCOWU.
7. *Gumirov, I. S.* Upravlenie riskami i vozmozhnostyami pri poverke sredstv izmerenij / I. S. Gumirov, V. F. Sopin, Ya. V. Denisova // Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. – 2024. – T. 27, № 2. – S. 49-57. – DOI 10.22213/2413-1172-2024-2-49-57. – EDN FXQIJL.

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