

М. Е. Арапова^{1✉}, В. С. Ефремов¹

Автоматизация процесса поверки изделий с использованием искусственного интеллекта

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
e-mail: 89635115285@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме автоматизации поверки средств измерений с использованием искусственного интеллекта, в дальнейшем ИИ. Основной темой же является анализ эффективности применения искусственного интеллекта для замены трудоемкого ручного труда в метрологических лабораториях. Проблема заключается в том, что традиционные методы поверки отнимают до 70 % рабочего времени на рутинные операции и подвержены ошибкам из-за человеческого фактора, а существующие автоматизированные системы недостаточно гибки. Цель исследования – обоснование применимости методов ИИ для автоматизации поверочного процесса. В качестве основных методов рассмотрены нейросети с автоассоциативной памятью, алгоритмы кластеризации и обнаружения дефектов. Результаты показывают, что внедрение ИИ позволяет сократить время поверки на 35-45 % и снизить число ошибок в 3-4 раза по сравнению с ручным методом. Применение ИИ существенно повышает эффективность поверки, однако требует изменения нормативной базы для юридического признания автоматических протоколов, а также решения проблем объяснимости решений и интеграции в существующие процессы.

Ключевые слова: автоматизация поверки, искусственный интеллект, метрология, машинное обучение, нейросети, обнаружение аномалий, контроль качества средств измерений

М. Е. Arapova^{1✉}, V. S. Efremov¹

Automation of the product verification process using artificial intelligence

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: 89635115285@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of automation of verification of measuring instruments using artificial intelligence, hereinafter AI. The main topic is the analysis of the effectiveness of the use of artificial intelligence to replace labor-intensive manual labor in metrological laboratories. The problem is that traditional verification methods take up to 70% of the working time for routine operations and are prone to errors due to the human factor, and existing automated systems are not flexible enough. The purpose of the study is to substantiate the applicability of AI methods for automating the verification process. Neural networks with auto-associative memory, clustering and defect detection algorithms are considered as the main methods. The results show that the introduction of AI makes it possible to reduce the verification time by 35-45% and reduce the number of errors by 3-4 times compared with the manual method. The use of AI significantly increases the efficiency of verification, but requires a change in the regulatory framework for the legal recognition of automatic protocols, as well as solving problems of explainability of solutions and integration into existing processes.

Keywords: automation of verification, artificial intelligence, metrology, machine learning, neural networks, anomaly detection, quality control of measuring instruments

Введение

Поверка средствами измерений различных изделий до сих пор остается во многом ручным трудом. Работник отдела технического контроля, в дальнейшем работник ОТК, подключает прибор или подготавливает инструменты поверки, переключает режимы, фиксирует показания, заполняет протоколы. Из источников [1, 5], большая часть рабочего времени, а это 60 %, уходит именно на расчетные операции. При этом неизбежны ошибки – как при измерениях (из-за усталости или невнимательности), так и при оформлении документов. Например, указан не верный номер детали, изделия, или в результате неразборчивого почерка, затруднено определение записанных данных. И вот тут-то, казалось бы, давно существующие автоматизированные системы и должны решать эту проблему. Однако на практике, процесс настройки аппаратного комплекса, разработки и программного обеспечения под каждый измерительный процесс, по началу будет довольно трудозатратен [9].

В отличие от обычных программ, ИИ способен определить отклонение или сменить способ проверки без вмешательства со стороны, оставляя за человеком лишь окончательную проверку проведенных измерений [2, 4]. В условиях цифровизации промышленности и ужесточения стандартов качества такие возможности становятся не просто полезным дополнением, а необходимым инструментом. Тем более что, по данным [20], почти 40 % метрологических работ на предприятиях до сих пор выполняются без серьезной автоматизации – потенциал для повышения эффективности здесь огромен.

Целью данной статьи является обоснование возможности и эффективности применения методов искусственного интеллекта для автоматизации процесса поверки изделий. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать существующие подходы к автоматизации поверки на основе литературных источников; описать конкретные методы ИИ (нейросети, кластеризация, обнаружение аномалий), которые можно применить в метрологии; представить результаты сравнения ручной и ИИ-автоматизированной поверки; выявить недостатки внедрения интеллектуальных систем и предложить пути их решения.

Методы и материалы

В рамках теоретического анализа рассмотрены три класса задач автоматизированной поверки, решение которых можно осуществить с помощью методов искусственного интеллекта: выбор оптимальных режимов измерений, обнаружение дефектов и классификация состояния прибора или изделия (годен / не годен / доработать / перепроверить).

В обычных автоматизированных системах режимы поверки задается определенное количество измеряемых параметров и количество поверок, что приводит к избыточности или, наоборот, недостаточности измерений. Альтернативой

является использование нейросетей с автоассоциативной памятью, заранее обученную на большом количестве заведомо исправных приборов и деталей, параметры которых она запоминает, что позволяет ей адаптировать программу проверки под текущий экземпляр прибора или детали [13], тем самым сократит количество измерений неточных измерений.

Так же в процессе проверки могут возникать нештатные ситуации. Например, кратковременные сбои связи. Человек иногда не замечает такие события, особенно при наличии большого объема данных. Алгоритмы машинного обучения – в частности, метод изолирующего леса (Isolation Forest) и методы кластеризации – позволяют автоматически маркировать подозрительные измерения и либо повторить их, либо исключить из расчета [3, 4], что в результате повышает надежность итогового заключения.

Окончательной задачей является, определение нахождения погрешности прибора в допустимых значениях. Например, ИИ-методы могут учитывать не только текущее отклонение, но и динамику его изменения, а также совокупность косвенных признаков, что особенно полезно для многопараметрических приборов [8, 12].

Все перечисленные ранее методы не требуют создания новой физической инфраструктуры. Они могут быть реализованы путем внедрения поверх существующего поверочного оборудования, компьютерной программы, что соответствует экономичному подходу к автоматизации [15]. Интеграция таких решений в действующие лаборатории возможна по стандартным методикам внедрения информационных систем [18] с использованием шаблонов процессов [11]. Таким образом, методологическая основа для применения ИИ в проверке уже существует и может быть адаптирована к нуждам конкретной лаборатории без кардинального переоснащения. Алгоритм процессов контроля представлен на рисунке 1 и 2.

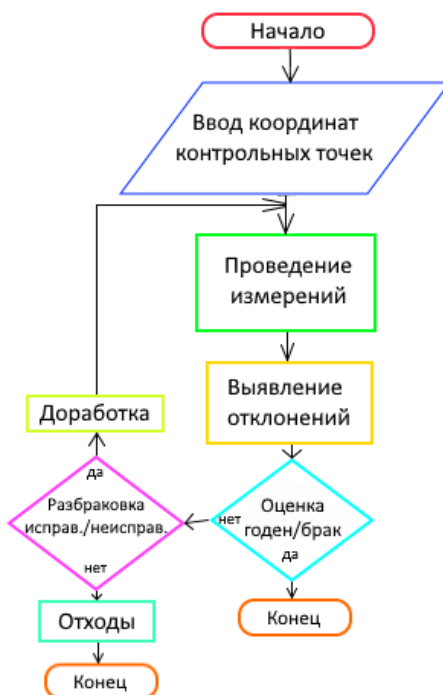


Рис. 1. Блок-схема процесс контроля без использования ИИ

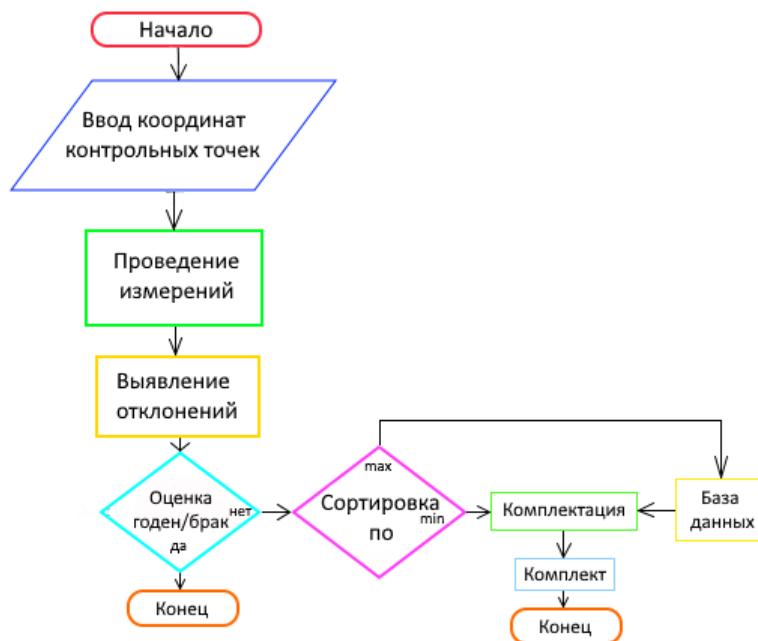


Рис. 2. Блок-схема процесс контроля с использованием ИИ

Результаты

На основе обобщения данных из литературных источников [1, 5-7, 20] можно сделать следующие выводы о потенциальной эффективности внедрения ИИ в процессы поверки.

Например, ожидаемое сокращение времени по оценкам, приведенным в [7] и [15], автоматизация рутинных операций (переключение диапазонов, запись показаний) дает выигрыш в 20-25 %. Добавление интеллектуальных алгоритмов, адаптирующих программу поверки под конкретный прибор, позволяет дополнительно сократить время еще на 15-20 % за счет исключения избыточных измерений. В результате, суммарное снижение времени поверки может достигать 35-45 % по сравнению с ручным методом.

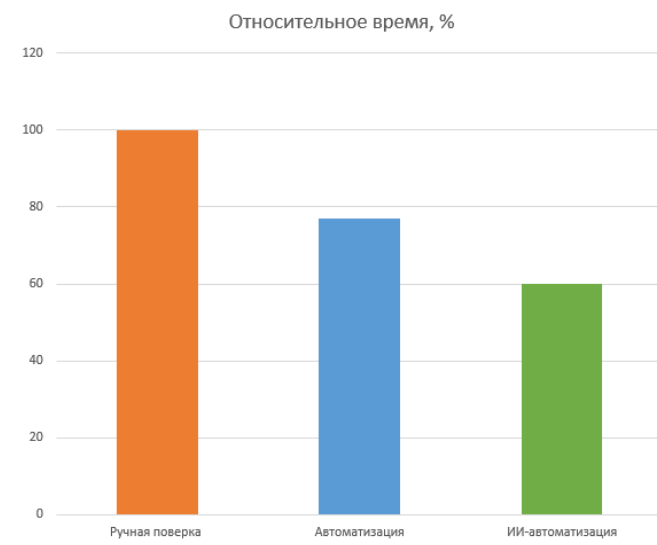


Рис. 3. Затраты времени

Человеческий фактор – основная причина ошибок при поверке: пропуск бракованного прибора, неверная запись в протокол, неправильный выбор диапазона. По данным [6] и [8], автоматизация снижает количество таких ошибок в 2-3 раза. Использование ИИ-алгоритмов обнаружения аномалий и автоматической классификации позволяет сократить ошибки еще сильнее – в 3-4 раза по сравнению с ручной проверкой, поскольку система не устает и одинаково строго оценивает каждое измерение.

В отличие от человека, ИИ-система дает идентичный результат при повторении поверки одного и того же прибора в одинаковых условиях. Это критически важно для спорных ситуаций и повторных проверок.

Общую теоретическую оценку эффективности представлена в таблице 1, представленной ниже.

Таблица 1 – Оценка эффективности различных подходов к поверке

Параметры	Ручная проверка	Автоматизация	Автоматизация с помощью ИИ
Относительное время	100 %	65-75 %	55-65 %
Относительное число ошибок	100 %	40-50 %	25-35 %
Воспроизводимость результатов	90-95 %	100 %	100 %
Адаптация к новому типу изделия	Переобучение персонала для поверки нового изделия (несколько минут или дней)	Перепрограммирование программы для проверки нового изделия (от нескольких часов или дней)	Переадаптация ИИ для нового изделия (несколько минут)

Обсуждение

Полученные теоретические оценки согласуются с выводами практических работ [6-8] и показывают, что ИИ действительно может стать следующим шагом после простой автоматизации. Однако для реализации этого потенциала необходимо преодолеть ряд ограничений.

Главный барьер – это юридический статус. Действующее законодательство в области обеспечения единства измерений (Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [21], ГОСТ Р 8.000-2015 [22], ГОСТ Р 8.894-2015 [23]) требует, чтобы поверку проводило аттестованное лицо. Протокол, сформированный ИИ-системой без участия человека, не имеет юридической силы [9, 12]. Необходимы изменения в нормативной базе или разработка отраслевых стандартов, признающих автоматическую поверку при условии полного логирования всех действий системы [2, 10]. На сегодняшний день утвержденных методик поверки с использованием искусственного интеллекта не существует, а имеющиеся ГОСТы предполагают только традиционные методы поверки [23].

Вторым барьером является – чувствительность к изменению эталонов. ИИ-алгоритмы обучаются на имеющихся уже проверенных данных. Если эталонное оборудование имеет незамеченный дрейф, нейросеть может «привыкнуть» к систематической ошибке и начать проводить измерение с этой же ошибкой. Решением может служить регулярная валидация ИИ-моделей на контрольных образцах и обязательное периодическое тестирование на пограничных значениях [5, 8].

Отдельного внимания заслуживает проблема объяснимости решений, принимаемых нейросетью. Специалист должен не просто получить вердикт «годен» или «не годен», но и понять, какие именно измерения привели к такому выводу. В противном случае невозможно ни проверить корректность поверки, ни аргументированно отстаивать ее результаты. Выход предлагают методы объяснимого ИИ – SHAP и LIME, которые для каждого решения показывают, какие измерения сильнее всего повлияли на вердикт [4].

Барьером является – интеграция в существующие процессы. Внедрение ИИ требует не только технических, но и организационных изменений: переобучения персонала, пересмотра должностных инструкций, создания новых регламентов [18, 19]. Наиболее реалистичный путь – поэтапное внедрение по гибридной схеме: ИИ выдает предварительное заключение, а метролог его утверждает, сначала на всех приборах, а затем – выборочно, только в пограничных случаях.

Заключение

Подводя итог по проведенному теоретическому анализу, можно утверждать, что искусственный интеллект действительно способен стать следующим логическим шагом в развитии автоматизации поверочных процессов. Проблема высокой трудоемкости и подверженности ошибкам, характерная для ручного труда [1, 5], а также недостаточная гибкость традиционных автоматизированных систем [9] могут быть в значительной степени преодолены за счет внедрения методов машинного обучения. Как указано в работе, нейросети с автоассоциативной памятью позволяют адаптировать программу поверки под конкретный экземпляр прибора или детали [13], а методы обнаружения дефектов и интеллектуальной классификации повышают достоверность результатов [3, 4, 8]. По оценкам, основанным на обобщении литературных данных, потенциальное сокращение времени поверки может составить 35-45 %, а снижение числа ошибок – в 3-4 раза по сравнению с ручными методами [6, 7, 15]. Это подтверждает актуальность цифровой трансформации метрологии и необходимость более широкого внедрения ИИ-решений на предприятиях [14, 20].

Вместе с тем, в проведенном анализе были выявлены серьезные ограничения, которые носят не столько технический, сколько организационный и юридический характер. Главным барьером остается неготовность нормативной базы: действующий Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» [21] и сопутствующие ГОСТы [22, 23] не признают автоматически сформированный ИИ-протокол поверки как юридически значимый документ [9, 12]. Кроме того, требуют решения проблемы объяснимости решений нейросетей [4], чувствительности к изменениям эталонов [5, 8] и интеграции интеллектуальных систем

в сложившиеся метрологические процессы [18, 19]. Тем не менее, эти препятствия не выглядят непреодолимыми. Наиболее реалистичным путем представляется поэтапное внедрение. Как пример, когда ИИ выступает в роли интеллектуального помощника, а окончательное решение остается за аттестованным метрологом [2, 10]. Параллельно необходимо развивать методы объяснимого ИИ и разрабатывать отраслевые стандарты для автоматизированной поверки [4, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация процессов поверки и калибровки средств измерений в современных лабораториях. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protseessov-poverki-i-kalibrovki-sredstv-izmereniy-v-sovremennyh-laboratoriayah/viewer> (дата обращения 06.04.26). - Режим доступа: свободный.

2. Цифровизация и искусственный интеллект в метрологии. – Текст : электронный // Качество.ру : [сайт]. – URL: <https://kachestvo.pro/metrology/articles/luchshie-praktiki/tsifrovizatsiya-i-iskusstvennyy-intellekt-v-metrologii/> (дата обращения 06.04.26). - Режим доступа: свободный.

3. Контроль качества, искусственный интеллект, интеграция и автоматизация. – Текст : электронный // Polymer Branch : [сайт]. – URL: <https://polymerbranch.com/articles/kontrol-kachestva-iskusstvennyj-intellekt-integratsiya-i-avtomatizatsiya/> (дата обращения 06.04.26). - Режим доступа: свободный.

4. Как искусственный интеллект и машинное обучение переосмысливают контроль качества продукции. – Текст : электронный // Synaptik : [сайт]. – URL: <https://synaptik.ru/blog/kak-it-resheniya-uluchshayut-kachestvo-produkcii/kak-iskusstvennyj-intellekt-i-mashinnoe-obuchenie-pereosmyslivayut-podhod-k-kachestvu-produkcii> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

5. Автоматизация в сфере метрологии. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-v-sfere-metrologii/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

6. Повышение качества поверочных работ с помощью применения автоматизированных систем. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-poverochnyh-rabot-s-pomoschyu-primeneniya-avtomatizirovannyh-sistem/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

7. Автоматизация операций поверки и калибровки электроизмерительных приборов. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-operatsiy-poverki-i-kalibrovki-elektroizmeritelnyh-priborov/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

8. Оценка качества автоматизированной поверки средств измерений. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-avtomatizirovannoy-poverki-sredstv-izmereniy/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

9. Недостатки применения автоматизированных систем поверки. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nedostatki-primeneniya-avtomatizirovannyh-sistem-poverki/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

10. Автоматизация метрологического обеспечения на стадии производства продукции. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-metrologicheskogo-obespecheniya-na-stadii-proizvodstva-produkcii/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

11. Создание шаблона процесса (оказание услуг в области метрологии) с помощью программы PDM step suite (PSS) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-shablona-protseessa>

okazanie-uslug-v-oblasti-metrologii-s-pomoschyu-programmy-pdm-step-suite-pss/viewer (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

12. Автоматизация процедуры поверки средств измерений. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protsedury-poverki-sredstv-izmereniy/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

13. Актуальность разработки автоматизированной системы учета средств измерений на предприятии. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskii-vybor-rezhimov-raboty-iis-s-ispolzovaniem-avtoassotsiativnoy-pamyati/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

14. Актуальность разработки автоматизированной системы учета средств измерений на предприятии URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnost-razrabotki-avtomatizirovannoy-sistemy-ucheta-sredstv-izmereniy-na-predpriyatii/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

15. Экономичный подход к автоматизации поверки средств измерений. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomichnyy-podhod-k-avtomatizatsii-poverki-sredstv-izmereniy/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

16. Особенности создания автоматизированных систем управления в современных условиях. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sozdaniya-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-v-sovremennyh-usloviyah/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

17. Разработка автоматизированной системы для определения погрешности измерительных каналов. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-avtomatizirovannoy-sistemy-dlya-opredleniya-pogreshnosti-izmeritelnyh-kanalov/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

18. Методика внедрения информационных систем на промышленных предприятиях. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vnedreniya-informatsionnyh-sistem-na-promyshlennyh-predpriyatiyah/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

19. Система оборота технологической оснастки на предприятии. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-oborota-tehnologicheskoy-osnastki-na-predpriyatii/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

20. Направления повышения эффективности метрологических работ. – Текст : электронный // CyberLeninka : научная электронная библиотека : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-povysheniya-effektivnosti-metrologicheskikh-rabot/viewer> (дата обращения 10.04.26). - Режим доступа: свободный.

21. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об обеспечении единства измерений». – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения 21.04.26). – Режим доступа: свободный.

22. ГОСТ Р 8.000-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – Введ. 2016-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 15 с.

23. ГОСТ Р 8.894-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. – Введ. 2016-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 20 с.

© М. Е. Арапова, В. С. Ефремов, 2026