

Обеспечение точности показаний цифровых измерительных приборов

Д. Ф. Зингер, Н.В. Богданова

Казанский государственный энергетический университет

Аннотация: В исследовании представлен обзор современных методов обеспечения точности цифровых измерительных приборов. Рассматриваются такие подходы, как имитационное моделирование, возможность самокалибровки, применение программных комплексов, а также автоматизация отдельных операций в процессе поверки. Проведен анализ влияния различных факторов, таких как условия эксплуатации и окружающей среды, на результаты измерений. В результате исследования выявлены условия повышения точности измерений. Особое влияние имеют автоматизация процесса поверки средств измерений, учет влияния параметров измеряемой среды и окружающей среды, снижение влияния человеческого фактора. Подчеркивается важность системного подхода к повышению точности процесса измерений. Внедрение современных технологий и систем управления качеством является ключевым для достижения высоких стандартов в области измерений.

Ключевые слова: цифровые измерительные приборы, калибровка, проверка точности, поверка, условия эксплуатации, достоверность измерений, показания приборов, погрешность.

Цифровые измерительные приборы широко применяются благодаря своей способности предоставлять точные и стабильные данные в режиме реального времени. Достоверность их показаний обеспечивается, в частности, соответствующими методами проверки точности. Учитывая разнообразие влияния характеристик окружающей среды и условий эксплуатации, вопросы управления точностью измерений приобретают особое значение.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью обеспечения точности и надёжности измерительной информации, а также возможности своевременной коррекции данных, получаемых от цифровых приборов. Наличие больших погрешностей измерений технологических параметров приводит к таким серьёзным последствиям, как потеря материальных и энергетических ресурсов, получение недостоверных научных данных, создание угрозы безопасности производства. Потому исследование и анализ эффективных методов обеспечения точности цифровых измерительных приборов имеет важное значение.

Цель данного исследования является анализ существующих методов обеспечения точности цифровых измерительных приборов, а также влияние на результаты измерений условий эксплуатации средств измерений.

Методы исследования включают теоретический обзор и анализ актуальных научных исследований, направленный на выявление рекомендаций по повышению надёжности и точности показаний измерительных приборов. Особое внимание уделяется внедрению современных технологий, способствующих улучшению качества измерений.

Среди базовых операций, необходимых для обеспечения точности цифровых измерительных приборов выделяют калибровку, учёт параметров окружающей среды и компенсацию погрешностей [1]. Методы компенсации погрешностей применяются для конкретного средства измерений в рабочих условиях, поэтому в данной работе не рассматриваются.

Калибровка представляет собой процесс настройки измерительного прибора с использованием эталонного устройства, целью которого является минимизация расхождений в их показаниях. Помимо точности работы, калибровка обеспечивает соответствие процесса измерений нормативным стандартам. Проверка точности включает определение погрешностей приборов в реальных условиях эксплуатации. Это повышает надёжность измерений и минимизирует появление как систематических, так и случайных погрешностей измерений величин [2].

Метод калибровки выбирается в зависимости от типа измерительного прибора, его функциональных особенностей. Применяется абсолютная, относительная, автоматическая и многоступенчатая калибровка.

Абсолютная калибровка заключается в сравнении показаний прибора с эталоном без применения дополнительных корректировок, что обеспечивает высокую точность, но требует наличия высококачественного эталона. В отличие от неё, относительная калибровка предполагает использование уже

откалиброванного прибора в качестве эталона, что упрощает процесс, делает его более экономичным, но ограничивает точность.

Автоматическая калибровка использует встроенные функции приборов для самокалибровки, что значительно упрощает процесс, но требует регулярной проверки системы.

Многоступенчатая калибровка применяется для приборов, которые должны работать в широком диапазоне измерений, обеспечивая высокую точность. Но применение этого метода требует больших временных и человеческих ресурсов [3].

Важно понимать, что проверка точности измерительных приборов должна осуществляться с учётом реальных эксплуатационных условий. Для этого используются различные методы, такие как сравнительный анализ, анализ линейности, тестирование на отклонение от нуля и имитация реальных условий эксплуатации. Эти методы позволяют определить точность и возможные погрешности в условиях эксплуатации прибора.

Например, в работе [4] автор проводит сравнение точности средств измерений лабораторного оборудования при использовании блока цифрового вольтметра АВ1-07 и виртуального вольтметра программного обеспечения «NL Multisim». В ходе эксперимента в условиях моделирования установлено, что точность измерений виртуального вольтметра не может быть определена. Все элементы в его цепи считаются идеальными и не учитывают реальных погрешностей. То есть виртуальный вольтметр демонстрирует идеальные результаты измерений. В то же время показания цифрового вольтметра характеризуются определёнными погрешностями. Проведённый эксперимент подчёркивает важность учёта реальных условий эксплуатации при оценке точности цифровых измерительных приборов. Возможность влияния на результат измерений параметров окружающей среды становится ключевым

фактором при выборе метода калибровки и проверке точности прибора в рабочих условиях.

Использование виртуальных моделей может быть полезным для теоретических расчётов, но практические измерения требуют учитывать погрешности.

Перспективным направлением деятельности по повышению надёжности и точности цифровых контрольно-измерительных приборов является автоматизация процесса поверки с помощью технологии компьютерного зрения. Внедрение этой технологии позволяет минимизировать влияние различных погрешностей, связанных с человеческим фактором, например, погрешности применения интерполяции и влияние на считывание результатов явления параллакса. Оперативное построение характеристики поверки помогает учитывать субъективные погрешности и улучшает точность измерений [5].

Могут быть успешно автоматизированы осуществляемые в ходе поверки процессы определения оптимальных характеристик поверяемого прибора: тестирование диэлектрической прочности и сопротивления изоляции, определение основной погрешности. Автоматизация поверки не исключает требований по учёту влияющих на результаты измерений факторов и чёткого соблюдения методики поверки. В первую очередь требуется подключить прибор к поверочному оборудованию для определения его характеристик, затем подать тестовый сигнал и зафиксировать показания. На завершающем этапе осуществляется оценка пригодности прибора.

Одним из методов автоматизации поверки является имитационное моделирование, направленное на оценку достоверности её результатов. Для реализации метода необходимо сформировать выборку подготовленных средств измерений, построить стохастическую модель погрешностей,

оценить точность измерений, смоделировать процесс поверки и проанализировать полученные результаты [6].

Применение имитационного моделирования помогает выявлять потенциальные источники ошибок и разрабатывать более эффективные методики поверки [7], позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и повысить точность результатов. Создание реалистичных симуляций даёт возможность анализировать и оптимизировать процессы калибровки.

Внедрение аналогово-цифровых преобразователей и различных программных комплексов, постоянное совершенствование программного обеспечения в сочетании с развитием средств измерений повышает работоспособность и качество технических приборов и устройств.

В работе [8] проводилось исследование возможностей повышения точности полупроводниковых газоанализаторов. По результатам исследований сделан ряд рекомендаций. Для обеспечения стабильности электрических характеристик предлагается использование высококачественных источников питания. Для исключения ошибок передачи данных - применение альтернативных типов измерительных приборов, внедрение специальных механизмов, а также интеграция датчиков температуры и влажности в систему газоанализа. Кроме того, акцентируется внимание на важности регулярной калибровки, проверки целостности оборудования, применения селективных датчиков и использования аналого-цифровых преобразователей с высокой разрешающей способностью. Эти рекомендации универсальны и являются актуальными не только для полупроводниковых, но и для других типов измерительных приборов [8].

Для обеспечения точности показаний цифровых измерительных приборов необходимо следовать установленным принципам эксплуатации и применять современные методы обработки данных, что позволит

значительно повысить достоверность результатов измерений в различных областях.

В работе [9] рассматривается возможность синтеза эффективной информационной системы оценки состояния электроснабжения. Для адекватной работы такой системы и эффективного управления важно обеспечение точности измерений параметров сети. Улучшение технологии и внедрение высокоточных измерительных устройств позволят оптимизировать процессы мониторинга и анализа полученных данных и существенно сократить потери электрической энергии. Оснащение цифровыми измерительными приборами всех источников питания и потребителей энергии позволяет разделить сеть на логические фрагменты, что упрощает определение потерь электроэнергии. На основании мониторинга определено, что качественные показатели состояния системы включают наличие неучтённого потребления и повышенные технические потери, в то время как количественные показатели описывают превышение падения напряжения.

Обеспечение точности показаний цифровых измерительных приборов является критически важным аспектом для достижения эффективности в различных сферах их применения [10]. Современные аналоговые и цифровые приборы обладают автономностью и возможностью самокалибровки, что положительно влияет на их точность и надёжность.

Новые технологии, такие как алгоритмы машинного обучения и автоматическая калибровка, значительно повышают точность измерений и минимизируют влияние человеческого фактора. Это особенно актуально в условиях, когда точность измерений может напрямую влиять на безопасность и качество продукции.

В работе [11] акцентируется внимание на проблемах, возникающих при использовании цифровых технологий в измерительной практике. Автор

выделяет основные источники ошибок, такие как нестабильность сигналов, влияние внешних факторов и недостаточная квалификация операторов. Эти проблемы могут существенно снижать точность измерений, что делает необходимым внедрение систем контроля.

В исследовании [12] подчёркивается, что регулярная калибровка является ключевым элементом для обеспечения точности показаний; описаны различные подходы к калибровке, включая автоматизированные системы, внимание акцентируется на важности использования эталонов и стандартов, что способствует унификации процессов калибровки и повышению доверия к получаемым данным.

Факторы окружающей среды, такие как температура, влажность, электромагнитные помехи и вибрации, могут существенно влиять на результаты измерений. Внешние условия способны вызывать смещения в показаниях, что, в свою очередь, приводит к снижению надёжности данных, получаемых от измерительных приборов и систем.

Для обеспечения точности показаний важно не только правильно откалибровать приборы, но и учитывать изменения условий внешней среды.

Изменение температуры среды может вызывать дрейф показаний, так как характеристики многих электронных компонентов зависят от температуры. Например, показания осциллографа при резких колебаниях температуры могут вносить погрешность до 0.5-1% от реальных значений величины.

Воздействие влажности вызывает короткие замыкания или коррозию элементов измерительных схем. Механические воздействия, такие, как вибрации и удары, могут повредить чувствительные элементы приборов, что также ведёт к ошибкам в измерениях. Использование специализированных контейнеров для хранения и транспортировки приборов, а также регулярный

мониторинг условий, в которых проводятся измерения, выбор мест установки измерительных устройств позволит избежать воздействия помех.

Применение программных алгоритмов, которые будут автоматически корректировать результаты измерений в соответствии с текущими значениями влияющих на результаты величин, позволит повысить точность и надёжность измерений в динамично изменяющейся окружающей среде [13].

Таким образом, повышение точности измерений возможно при соблюдении следующих условий:

- регулярная калибровка средств измерений, измерительных систем и их элементов;
- методика калибровки в соответствии с рекомендациями производителя;
- поверка приборов в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации;
- применение методов автоматической компенсации погрешностей;
- использование средств измерений с функцией самодиагностики, что позволит минимизировать влияние человеческого фактора.

Среди современных методов по обеспечению точности цифровых измерительных приборов стоит выделить автоматизацию процесса поверки с использованием компьютерного зрения, использование машинного обучения и автоматическую калибровку, что тоже снижает влияние человеческого фактора и, как следствие, повышает точность измерений.

Системный подход к управлению качеством измерений, учёт влияния внешних условий также является перспективным для достижения высоких стандартов точности и доверия к результатам измерений в различных областях науки и техники. Особую важность приобретает решение этой задачи, когда точность измерений величин напрямую влияет на безопасность и эффективность протекания различных технологических процессов.

Литература

1. Wu, Y., Wang, G. Towards accurate measurement: Ensuring precision in digital measuring instruments. *Journal of Instrumentation*. 2020. 15(6). 055005.
 2. Алексеева М, Грибов В., Богданова Н. Влияние поверки и калибровки средств измерения на качество продукции // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики. – Издательский дом «Ажур» : Екатеринбург, 2023. – С. 374-379.
 3. Бородина Е.А. Оценка основных метрологических характеристик цифрового и виртуального вольтметров // Инновационные научные исследования: сетевой журнал. – 2021. № 2-1(4). – С. 23-28.
 4. Коновалов Е.Ю., Ченцов С.В. Актуальность и проблемы разработки методик калибровки средств измерения геометрических величин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2020. – №. 2. – С. 590-592.
 5. Бобрышов А.П., Солёный С.В., Сержантова М.В., Кузьменко В.П., Создателява М.Э., Рудаков Р.В. Теоретическая оценка влияния автоматизации на производственный процесс поверки контрольно-измерительных приборов // Ядерная физика и инжиниринг. – 2023. – №14(6). – С. 571-577.
 6. Эйтерник А. Ю. Особенности автоматизации процесса поверки технических средств измерений // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем. – Санкт-Петербург. – 2023. – С. 319-323.
 7. Baker, C. J., Moore, S. A. (2018). Simulation modeling for calibration of measurement instruments. *Measurement Science and Technology*, 29(5), 055002.
 8. Колистратов М. В. Повышение точности измерения полупроводниковых газоанализаторов / М. В. Колистратов, А. В. Лебедев // Лучшая студенческая статья 2020. – Петрозаводск: «Новая Наука». – 2020. – С. 95-100.
-

9. Казымов И. М., Компанеец Б. С. Применение цифровых измерительных устройств для оценки состояния системы электроснабжения // Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. – С. 38-40.

10. Фомин, А. В. Принцип работы электрических измерительных приборов // Компьютерные системы и сети. – Минск, 2024. – С. 338–342.

11. Соловьев, В. И. Проблемы обеспечения точности измерений в цифровых технологиях // Измерительная техника. – 2019. – № 5. – С. 12-15.

12. Бобков, А. А. Современные методы калибровки измерительных приборов // Метрология и стандартизация. – 2020. – № 3. – С. 45-50.

13. Петров, Д. С. Влияние внешних условий на точность измерений // Научные труды. – 2021. – т. 10. – С. 78-82.

References

1. Wu, Y., Wang, G. Journal of Instrumentation. 2020. 15(6). 055005.

2. Alekseeva M., Gribov V., Bogdanova N. Vliyanie poverki i kalibrovki sredstv izmereniya na kachestvo produktsii [The Influence of Calibration and Verification of Measuring Instruments on Product Quality]. Ról' tekhnicheskogo regulirovaniya i standartizatsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki. Ekaterinburg: Izdatel'skiy dom «Azhur», 2023. pp. 374-379.

3. Borodina E.A. Innovatsionnye nauchnye issledovaniya: setevoy zhurnal. 2021. No. 2-1(4). pp. 23-28.

4. Konovalov E.Yu., Chentsov S.V. Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki. 2020. No. 2. pp. 590-592.

5. Bobryshov A.P., Solenyy S.V., Serzhantova M.V., Kuz'menko V.P., Sozdateleva M.E., Rudakov R.V. Yadernaya fizika i inzhiniring. 2023. No. 14(6). pp. 571-577.



6. Eiternik A.Yu. Energetika, upravlenie i avtonomizatsiya: innovatsionnye resheniya problem. Saint-Peterburg, 2023. pp. 319-323.
7. Baker, C.J., Moore, S.A. Measurement Science and Technology. 2018. 29(5). 055002.
8. Kolistratov M.V., Lebedev A.V. Luchshaya studencheskaya stat'ya 2020. Petrozavodsk: «Novaya Nauka», 2020. pp. 95-100.
9. Kazymov I.M., Kompaneev B.S. P Vysokie tekhnologii, nauka i obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii. Penza: MTSN «Nauka i Prosveshchenie», 2021. pp. 38-40.
10. Fomin A.V. Printsip raboty elektricheskikh izmeritel'nykh priborov [Principle of Operation of Electrical Measuring Instruments]. Komp'yuternye sistemy i seti. Minsk, 2024. pp. 338–342.
11. Solov'ev V.I. Izmeritelnaya tekhnika. 2019. № 5. pp. 12-15.
12. Bobkov A.A. Metrologiya i standartizatsiya. 2020. №3. pp. 45-50.
13. Petrov D.S. Nauchnye trudy. 2021. T. 10. pp. 78-82.

Дата поступления: 5.12.2024

Дата публикации: 27.01.2025