



Метрологическое обеспечение и стандартизация НК в эпоху 4-й промышленной революции

Статья посвящена анализу современных тенденций развития метрологического обеспечения и стандартизации в области НК. Рассмотрены задачи приборостроения, в том числе создание «умных» средств измерений, адаптированных для использования в роботизированных комплексах, разработка универсальных датчиков с возможностью самотестирования и удалённой калибровкой (поверкой), цифровизация измерений и контроля в промышленности на основе «цифровых двойников». Изложены задачи цифровизации метрологической инфраструктуры, развития метрологического обеспечения распределённых измерительных сетей и цифровых моделей, разработки принципиально новых подходов к метрологическому обеспечению приборов НК как средств измерения многопараметрических (многомерных) величин.

Submitted 18.03.19
Accepted 27.03.19

К. V. Gogolinskiy¹, V. A. Syasko^{1,2},

Metrological Assurance and Standardization in NDT during “Industry 4.0”

The modern development of NDT tools and methods is inextricably linked with the trends and challenges of the current 4th industrial revolution. It is based on the principles of digital processing – the transition to digital methods of collecting, transmitting and processing all the data obtained, as well as automation of processes in all industries, including design, development and manufacturing of products. In this regard, the role of NDT at all stages of the life cycle increases significantly. The main trend in the development of methods and means of NDT as measuring technologies, the authors consider the active transition at all levels of design, production and operation from non-destructive testing to monitoring the state of products, engineering objects, technological processes and ecological systems. In the field of metrology, the main focus is the development of metrological support of measuring transducers and non-destructive testing devices as a means of measuring multiparameter and multidimensional quantities. One of the most actively developing areas of application of NDT methods are additive technologies.

Keywords: metrology, standardization, NDT, condition monitoring, digital processing

Влияние «цифровизации» на существующую инфраструктуру приборостроения и метрологии

Метрологическая инфраструктура обеспечения единства измерений включает в себя несколько взаимопересекающихся уровней, которые порождают большие информационные потоки, требующие систематизации в виде электронных информационных систем.

Само наличие такой информации в электронном виде потенциально позволяет существенно автоматизировать многие процессы. Для решения этой задачи национальный метрологический институт Германии — Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) — выступил с инициативой разработки единой европейской цифровой инфраструктуры качества для инновационных продуктов и услуг под названием «Европейское

метрологическое облако». [1]. Также PTB работает над созданием цифрового сертификата калибровки [2]. Целью этой разработки является предоставление возможности метрологическим организациям использовать цифровые сертификаты калибровки (ЦСК), а не их аналоговую версию. Машиночитаемый формат такого ЦСК особенно важен для процессов цифровизации производства и контроля качества. Конечная цель работы заключается в разработке универсальных форматов обмена ЦСК, действующих во всех областях метрологии.

Можно выделить следующую тенденцию «цифровизации» эксплуатации и метрологической аттестации средств измерений (СИ) в сфере государственного регулирования (подлежащих утверждению типа и поверке): снабжение всех СИ уникальными метками, а в дальнейшем оснащение СИ средствами подключения к телекоммуникационным

сетям для передачи информации в единую информационную базу. Все технические решения для этого существуют, необходимо создание соответствующей информационной системы, решение вопросов по стандартизации и внесение соответствующих изменений в законодательство.

Задачи приборостроения в 4-й промышленной революции

Создание средств измерений с возможностью подключения и обмена данными через Интернет

Одной из актуальных задач для приборостроителей является оснащение СИ коммуникационным оборудованием для подключения к Интернету. Внедрение таких решений создаст предпосылки для решения задач удалённого мониторинга и сбора измерительной информации, дистанционного контроля технического состояния и метрологических

ГОГОЛИНСКИЙ Кирилл Валерьевич

Профессор кафедры Метрологии и управления качеством Национального минерального университета «Горный» (Санкт-Петербург), д. т. н.



СЯСЬКО Владимир Александрович

Профессор кафедры «Приборостроение» Национального минерального университета «Горный», Генеральный директор ООО «Константа» (Санкт-Петербург), д. т. н.



¹ Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

² CONSTANTA Ltd, St. Petersburg, Russia; 9334343@gmail.com

характеристик измерительных преобразователей и приборов, интеграции СИ в «умные» и распределённые кибер-физические системы.

Частично эти задачи решаются путём разработки и утверждения международных стандартов, определяющих общие характеристики измерительных преобразователей с интерфейсными модулями, функции интерфейсных модулей, формат данных преобразователя, набор команд для настройки и управления интерфейсных модулей, а также чтения и записи данных [3, 4]. Кроме того, ведутся разработки стандартов для создания сетей измерительных преобразователей, в частности для «умных сетей» [5].

Создание СИ, адаптированных для роботизированных комплексов

Тенденции автоматизации и роботизации в промышленности постепенно развились в один из основных трендов «Индустрии 4.0» — создание кибер-физических систем. Процедуры измерений и контроля являются неотъемлемой частью любого технологического процесса, а в автоматизированных безлюдных производствах их значение возрастает многократно. В то же время уже сейчас происходит создание автоматизированных систем НК и мониторинга состояния сложных инженерных объектов с высокой степенью потенциальной опасности и ответственности: небоскрёбов, электростанций, мостов, трубопроводов и т.д. СИ для подобного рода систем должны обладать специфическими свойствами по сравнению с традиционными приборами: полной автоматизацией измерений и тестирования и калибровки, повышенной надёжностью, возможностью автономной работы и встраивания в другие системы, наличием средств передачи измерительной информации и т.д. В качестве примера можно привести ультразвуковое устройство для контроля качества точечной сварки в реальном времени [6].

Разработка универсальных датчиков первичных измерительных преобразователей для «умных» систем с возможностью самотестирования и удалённой калибровки (поверки)

В настоящее время интеграция средств измерений или первичных измерительных преобразователей непосредственно в элементы технологического оборудования, конструкций и изделий стала широко внедряться. Это создаёт, с одной стороны, новые рынки для приборостроителей, а с другой стороны — вынуждает перестраивать мышление разработчиков на новые подходы

и концепции [7]. Существующие разработки в области создания интеллектуальных датчиков позволили разработать и утвердить два стандарта РФ [8, 9]. Обладая вычислительными возможностями, интеллектуальный датчик позволяет осуществлять:

- автоматическую коррекцию погрешности, появившейся в результате воздействия влияющих величин и /или старения компонентов;
- самовосстановление при возникновении единичного дефекта в датчике;
- самообучение.

Создание цифровой промышленности

Цифровизация промышленности, являющаяся основой 4-й промышленной революции, заключается в объединении результатов измерений, полученных с использованием сети измерительных преобразователей и других источников информации, в единое целое и их обработке на основе интеллектуальных машинных алгоритмов для автоматизированного управления процессами и принятия решений. Ключевым здесь является понятие «цифровой двойник». Его главной особенностью является широкое использование упомянутых интеллектуальных измерительных преобразователей. В области стандартизации как основы единства решений одна из главных задач заключается в том, что практические элементы цифровизации становятся всё более междисциплинарными. Должно быть принято решение, каким организациям по стандартизации следует заниматься разработкой стандартов в этой области, однако, при этом следует учитывать, что в настоящее время практически нет квалифицированных экспертов по разработке таких стандартов. Более того, процессы стандартизации часто не успевают за развитием технологий, что приводит к тому, что многие ведущие компании оперативно создают стандарты предприятий, реализуют соглашения экспертов или доминируют на рынке, используя иногда способы блокировки (lock-in effects) своих продуктов и платформ (по аналогии с фирмой Apple).

Задачи метрологии в 4-й промышленной революции

В рамках рассматриваемых процессов перед метрологами стоит задача разработки, стандартизации и законодательного утверждения новых принципов метрологического обеспечения интеллектуальных датчиков информационно-измерительных систем.

Использование сенсорных сетей вместо единичных средств измерения в сочетании с большими массивами данных, облачными вычислениями и удалёнными службами ставит перед метрологией целый ряд новых требований. Например, при калибровке сенсорной сети должны приниматься во внимание возможности измерений отдельных измерительных преобразователей, вопросы коммуникаций и подходы к агрегированным данным. В некоторых сферах производства, таких как единая энергосистема, первые разработки были успешно реализованы, однако, требуется значительно больше дополнительных исследований для установления гармонизированного обращения с сенсорными сетями. Совершенно иные методы калибровки и измерений требуются для удалённых служб. Например, онлайн и дистанционные измерения параметров окружающей среды, таких как качество воздуха или воды, имеют разные требования по калибровке, повторяемости, воспроизводимости и общей оценке результатов измерений [10].

Разработка метрологического обеспечения алгоритмов управления и принятия решений на основе измерительной информации

Стандартизация и законодательная метрология НК и мониторинга состояния, обязанные обеспечивать доверие к результатам измерений, также должны претерпеть изменения в условиях 4-й промышленной революции. Главной тенденцией будет увеличение использования распределённых («облачных») измерений и дистанционная обработка данных. То есть, структурные элементы измерительных систем, в общем случае, будут распределяться на больших расстояниях в разных регионах или даже странах [11]. При этом проектанты могут использовать облачную инфраструктуру для дистанционного обновления программного обеспечения и настройки параметров градуировки (калибровки). Для законодательной метрологии выполнение этих задач в настоящее время трудноосуществимо, т.к. при оценке соответствия метрологических характеристик средства измерения, представляющего собой распределённую программно-аппаратную среду, должны учитываться параметры систем коммуникации, программного обеспечения облачных вычислений и т.д. С другой стороны, станет актуальной проблема пересмотра принципов настройки, калибровки и поверки распределённых средств измерения, т.к. облачный сервер практически недоступен экспертам, программное обеспечение

может носить закрытый характер, а возможности испытания каналов связи на месте могут отсутствовать.

Метрологическое обеспечение цифровых моделей

Одним из ключевых положений, лежащих в основе разработки новых средств измерений (построение которых будет осуществляться на изложенных выше принципах) является необходимость учёта того, что перспективные программы, которые позволят создавать цифровые модели распределённых средств измерений и объектов контроля и производить по ним расчёт контролируемых параметров и параметров надёжности объектов, а также сами цифровые модели, имеют ряд ограничений, связанных, в том числе, со следующими факторами:

- адекватность и полнота используемых физических моделей;
- применимость используемых математических методов;
- точность задания параметров моделируемых объектов и граничных условий их применения.

Неправильное применение физических моделей и математических методов расчёта параметров цифровых моделей, а также погрешности или ошибки при задании физических параметров, могут приводить к ошибочным результатам прогнозирования свойств и поведения реальных объектов.

В настоящее время не существует единых устоявшихся подходов к оценке качества цифровых моделей «средство измерения — объект контроля». Для практических применений должно быть разработано, своего рода, «метрологическое обеспечение» цифровых моделей для определения следующих параметров:

- достоверность и неопределённости расчётов (измерений);
- влияние неопределённости входных данных на результаты расчётов контролируемых параметров;
- устойчивость модели при разных комбинациях входных данных и вариации мешающих параметров.

Перспективы и проблемы, связанные с 4-й промышленной революцией, для сферы НК и мониторинга состояния

Все приведённые выше перспективы и вызовы имеют прямое отношение к сфере НК. В то же время, необходимо подчеркнуть отдельные моменты, специфические для данной области, или оказывающие исключительное влияние на происходящие процессы.

От НК к мониторингу состояния

В первую очередь необходимо отметить тенденцию перехода от классического НК, локализованного во времени и пространстве, к мониторингу. Сутью этого процесса является создание автоматизированных информационно-измерительных систем, работающих в непрерывном режиме без непосредственного участия человека, анализирующих измерительную информацию на основе цифровых моделей контролируемых объектов и средств измерений и вырабатывающих, в конечном итоге, управленческие рекомендации и решения на основе обработки полученных данных. Из этого определения вытекают следующие задачи:

- разработка и производство самокалибрующихся измерительных преобразователей с увеличенным сроком службы;
- создание автоматических средств НК, подключаемых к телекоммуникационным сетям с помощью стандартизованного протокола через универсальную программно-аппаратную платформу;
- разработка цифровых моделей объектов НК, включая модели дефектов, определяемых методами НК;
- разработка цифровых моделей средств измерений в области НК;
- разработка алгоритмов автоматической обработки измерительной информации на основе цифровых моделей объектов и средств НК для принятия оперативных решений.

Метрологическое обеспечение приборов НК как средств измерения многопараметрических (многомерных) величин

Большинство методов измерений в НК являются многомерными и многопараметрическими. Например, в широко распространённом вихретоковом методе измерения толщины покрытий показания прибора зависят не только от геометрических размеров покрытия, но также от свойств материалов покрытия и основания (подложки): электропроводности, магнитной проницаемости, плотности и т. д. [12]. Большое количество факторов влияют на результаты измерений механических напряжений: геометрия контролируемого объекта и его расположение в пространстве (многомерность), электрические, магнитные, механические свойства (многопараметровость).

Проведение измерений в автоматизированном режиме требует автомати-

ческой адаптации датчиков к изменению свойств объекта контроля. Данная задача решается путём разработки многопараметрических датчиков, позволяющих учитывать основные факторы, влияющие на результат измерений.

Заключение

4-я промышленная революция — не абстрактное будущее, а объективный процесс, происходящий непосредственно сейчас и затрагивающий все сферы человеческой жизни. Мы можем пользоваться её плодами и одновременно должны принимать в ней самое действенное участие. Коммерческий успех приборостроительных компаний и востребованность услуг метрологических организаций напрямую зависит от того, насколько их работа соответствует новым требованиям. Наиболее ёмко об этом сказал один из основоположников современной теории менеджмента Эдвардс Деминг (Edwards Deming): «Вы можете не изменяться. Выживание не является обязанностью».

Литература

1. F. Thiel «Digital transformation of legal mThiel F. Digital transformation of legal metrology — The European Metrology Cloud. — OIML Bulletin. 2018. V. LIX. No. 1. P. 10–21.
2. Hackel S., Härtig F., Hornig J., Wiedenhöfer T. The Digital Calibration Certificate. — PTB-Mitteilungen. 2017. Bd 127. H. 4.
3. ISO/IEC/IEEE 21450. Smart transducer interface for sensors and actuators — Common functions, communication protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) formats.
4. ISO/IEC/IEEE 21451. Smart transducer interface for sensors and actuators (Parts 1,2,4).
5. ISO/IEC 30101:2014. Sensor networks: Sensor network and its interfaces for smart grid system.
6. Real-Time Integrated Weld Analyzer. <http://www.tessonics.com/products-riwa.html>, 23.09.2018.
7. Taymanov R., Sapozhnikova K. What makes sensor devices and microsystems 'intelligent' or 'smart'? — In: Smart sensors and MEMS for industrial applications. /Ed. by: S. Nihtianov, A. L. Estepa. — In: Woodhead Publishing, Elsevier Ltd, 2018, pp. 1–22.
8. ГОСТ Р 8.673–2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения.
9. ГОСТ Р 8.734–2011. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля.
10. Adamo F., Attivissimo F., Guarnieri C. et al. A Smart Sensor Network for Sea Water Quality Monitoring. — IEEE Sensors J. 2015. V. 15. No. 5. P. 2514–2522.
11. Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Metrologische IT, Bd. 4/ — Braunschweig: PTB Mitteilungen, 2016.
12. Golubev S. S., Smirnova N. I., Skladanovskaya M. I. Providing the Uniformity of Measurements of the Thickness of Metallic Coatings by Eddy-Current Phase Thickness Gages During Their Calibration and Verification. — Measurement Techniques. 2017. V. 60, No. 6. P. 552–557.

Статья получена 18 марта 2019 г., в окончательной редакции — 27 марта