

УДК 006.072.025

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ МЕТРОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Боков М.М., Гришаев М.Е., Мищенко М.В.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: bokov.mihail@mail.ru

В статье описано влияние измерительной техники на боеготовность образцов вооружения и военной техники. Обоснована необходимость повышения точности, стабильности и воспроизводимости единиц физических величин с помощью эталонов нового поколения. Проведён обзор квантовых методов, используемых в современной метрологии. Поддержание высокой боевой готовности войск невозможно обеспечить без выполнения измерений различного спектра характеристик и параметров современных образцов военной техники, находящихся на вооружении. Измерения составляют неотъемлемую часть деятельности войск в мирное и, что особенно важно, в военное время. Правильное применение измерительной техники по назначению, её своевременное техническое обслуживание, проверка и ремонт непосредственно влияют на точность и полноту оценки тактико-технических характеристик современного оружия.

Ключевые слова: вооружение, военная техника, квантовые методы, нормативная база

APPLICATION OF QUANTUM METROLOGY IN THE OPERATION OF MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Bokov M.M., Grishaev M.E., Mischenko M.V.

Military scientific center of the air force, «Air force Academy n.a. professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: bokov.mihail@mail.ru

The article describes the influence of the measuring equipment on the combat readiness of weapons and military equipment. The necessity to improve the accuracy, stability and reproducibility of physical units using the standards of the new generation. The review of quantum methods used in modern metrology. Maintaining a high level of combat readiness of the troops can not be achieved without the measurement of different spectrum characteristics and parameters of modern military hardware, are in service. The measurements are an integral part of the activities of troops in peacetime and, most importantly, in time of war. Proper use of measuring equipment for its intended purpose, its timely maintenance, calibration and repair directly affect the accuracy and completeness of the evaluation of tactical and technical characteristics of modern weapons.

Keywords: weapons, military equipment, quantum methods, regulatory framework

Очевидно, что поддержание боевой готовности войск невозможно обеспечить без выполнения измерений характеристик и параметров современных образцов вооружения и военной техники (ВВТ), находящихся в войсках. Измерения составляют неотъемлемую часть деятельности войск в мирное и, что особенно важно, военное время. Правильное применение измерительной техники по назначению, её своевременное техническое обслуживание, проверка и ремонт непосредственно влияют на точность и полноту оценки тактико-технических характеристик современного оружия.

Основным документом, в соответствии с которым в Российской Федерации осуществляются работы по стандартизации оборонной продукции, является государственный военный стандарт (ГСВ), принятый национальным органом по стандартизации, устанавливающий требования к военной продукции, обязательность применения которого определяется

государственными заказчиками оборонного заказа и уполномоченными органами исполнительной власти.

ГСВ являются важной составной частью конструкторской и технологической документации, составляя основу для формирования тактико-технических заданий на разработку образцов ВВТ, опыт создания которых показывает, что в совокупности узлы, агрегаты и материалы невозможно использовать без жестких требований к их тактико-техническим характеристикам [1].

В соответствии с требованиями ГСВ, в Вооруженных Силах РФ исходными средствами измерений являются военные эталоны. По отношению к государственным эталонам они являются вторичными и изготавливаются так, чтобы обеспечивать единство измерений в войсковых условиях. Военные эталоны представляют собой средства измерений высокой точности, однако в современных условиях конструирования образцов ВВТ существует необходимость их совершенствования.

За последние годы в измерительной технике благодаря достижениям микроэлектроники произошли значительные изменения. В связи с разработкой новых датчиков в интегральном исполнении у средств измерений появились новые приложения и перспективы развития. Нашла широкое применение и цифровая измерительная техника. В связи с постоянным расширением и усложнением задач измерений в настоящее время достаточно часто применяются не только отдельные приборы, а измерительные системы, представляющие собой комплексы, обеспечивающие измерения различных величин с необходимой точностью, а также в ряде случаев передачу измерительной информации, её обработку и регистрацию [2].

Основой повышения точности, стабильности и воспроизводимости единиц физических величин с помощью эталонов нового поколения в настоящее время является использование квантовых закономерностей микрофизики и фундаментальных физических констант. Переход к квантовым эталонам в последние годы является основным направлением совершенствования эталонной базы метрологических организаций многих стран [3].

Квантовые методы в современной метрологии отличаются особыми свойствами, обусловленными стабильностью физических явлений, лежащих в их основе. Функции квантовых измерительных преобразователей и приборов базируются на фундаментальных законах микромира и квантово-механических соотношениях.

Поэтому во многих случаях в качестве коэффициентов преобразования таких средств измерений выступают фундаментальные физические константы, обычно известные с высокой точностью, или коэффициенты, поддающиеся точному теоретическому расчету. Это, кроме высокой точности преобразования, обеспечивает достижение значительной экономии в процессе эксплуатации современных средств измерений, поскольку они не нуждаются в градуировке и периодической поверке.

Потенциальные ресурсы стабильности параметров физических объектов микромира заключаются в наиболее эффективном способе повышения точности измерений, т.е. в использовании таких методов и средств измерений, которые свободны от многих видов погрешностей и которые не требуют применения сложных методов коррекции.

В этом отношении наиболее перспективными являются методы квантовой метрологии, основанные на квантовых эффектах, имеющих место на атомном и ядерном уровнях, а также бесконтактные спектрометрические

(волновые) методы (особенно оптические), базирующиеся на естественных шкалах длин волн электромагнитного излучения.

Эффект Зеемана заключается в расщеплении энергетических уровней атомных частиц на магнитные подуровни, создаваемые магнитным полем, и основанные на этом эффекте квантовые магниторезонансные явления.

Магнитные подуровни могут создаваться как внешними магнитными полями, так и магнитными моментами микрочастиц. Например, взаимодействие магнитных моментов электронной оболочки и ядра атома вызывает расщепление энергетических уровней атома и соответствующих спектральных линий, называемое сверхтонкой структурой энергетического спектра атома. Переходы между уровнями сверхтонкой структуры используются, в частности, для создания квантовых стандартов частоты, лазеров и высокочувствительных тесламетров.

Эффект Джозефсона обусловлен макроскопическими квантовыми состояниями свободных электронов (куперовских пар) в сверхпроводниках. Эффект возникает в контактах двух сверхпроводников, разделенных тонким слоем диэлектрика. Если средняя скорость куперовских пар отлична от нуля, то говорят, что имеет место явление сверхпроводимости.

На использовании эффекта Джозефсона основаны современные эталоны единиц напряжения – вольта. В состав эталона входит дискретный переход, возбуждаемый сверхвысокочастотным излучением на частоте 8...10 ГГц. Значение квантового напряжения составляет при этом 4...10 мВ.

Высокая стабильность эталонов на основе эффекта Джозефсона открывает широкие перспективы для совершенствования естественного эталона вольта (стандартное отклонение при воспроизведении составляет в настоящее время $\approx 10-8$ В).

Не менее интересные возможности для метрологии дает квантовый эффект Холла. Суть его состоит в том, что в специальных структурах типа металл – диэлектрик – полупроводник при температуре жидкого гелия и в сильном магнитном поле электрическое сопротивление принимает строго фиксированное значение.

Качественное объяснение данного явления, открытого в 1980 г. и названного квантовым эффектом Холла, связано с наличием в слое примесей. Эффект, заключающийся в квантовании холловской проводимости (отношение тока через образец к напряжению Холла), имеет место в сильных магнитных полях.

В начале 20 века немецкий физик Макс Планк показал, что основные единицы для

нашей Вселенной, однозначно predeterminedенные наиболее общими законами физики, могут быть составлены из фундаментальных физических констант: скорости света c , постоянной Планка h и гравитационной постоянной g . Значения этих констант, фигурирующие в виде коэффициентов в уравнениях основных физических теорий – классической и квантовой электродинамике и общей теории относительности, – являются максимально стабильными и не зависящими от различных внешних условий.

Однако единицы длины, времени и массы Планка лежат достаточно далеко от используемых на практике диапазонов. Кроме того, значение гравитационной постоянной до сих пор известно с недостаточной точностью. Необходимо отметить, что самым главным недостатком этих единиц является то, что мы не располагаем реальными физическими процессами, в которых бы они воспроизводились [4].

Для измерения скоростей подвижных объектов, жидких, газообразных и сыпучих сред, а также для измерения параметров вибраций широкое применение находят способы, основанные на использовании эффекта Доплера. Эти способы используются для измерения скоростей в широком диапазоне – от 0,001 мкм/с до скоростей, близких к скорости света.

Эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты излучения при движении его источника или приемника, нашел широкое применение в акустике, радиофизике, оптике, а также для ряда прикладных целей, особенно для измерения параметров движения. Относительное изменение частоты излучения пропорционально отношению измеряемой скорости к скорости распространения колебаний.

Измерение напряжения с использованием электрооптических эффектов Керра и Поггеля основано на возникновении лучепреломления поляризованного света, распространяющегося в электрическом поле, создаваемом измеряемым напряжением.

Возникновение квадратичного эффекта Керра можно пояснить следующим образом. Поляризованный луч света, образуемый с помощью источника света и поляризатора, проходит через электрическое поле, создаваемое конденсатором, к электродам которого приложено измеряемое напряжение U_x . При этом луч света направлен перпендикулярно вектору напряженности этого поля. После анализатора свет попадает в фотоприемник, где он преобразуется в электрический сигнал, измеряемый прибором. интенсивность света на выходе преобразователя связана с измеряемым напряжением U_x .

Линейный электрооптический эффект Поггеля наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, находящихся в электрическом поле, и применяется для измерения напряжения [5].

Использование физических явлений, происходящих на атомном или ядерном уровнях, т.е. в недрах атома, позволяет создавать высокочувствительные средства измерений с порогом чувствительности, равным кванту энергии одной или небольшого ансамбля атомных частиц.

По этой же причине метрологические характеристики квантовых приборов достаточно мало или вообще не зависят от изменений внешних факторов. При этом чем более глубинные явления используются, тем меньше эта зависимость. Квантовые преобразователи обычно не искажают состояния объекта исследования.

В качестве информативного параметра выходного сигнала квантовых средств измерений во многих случаях выступает частота, являющаяся наиболее точно измеряемой физической величиной, которую легко, без искажений можно передавать на большие расстояния. Это позволяет сделать общедоступной высокую точность измерения не только в метрологической практике, но и при технических измерениях.

Квантовые методы уже нашли применение в метрологии для создания естественных эталонов единиц ряда физических величин. На их основе уже созданы эталоны единиц длины, времени и частот, электрического напряжения, магнитной индукции, вторичный эталон температуры.

Проводятся исследования по созданию естественных эталонов единиц массы на основе уточнения значения числа Авогадро, электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла, силы тока на основе ядерного магнитного резонанса и др.

Совершенствование квантовых методов и их сочетание с современной элементной базой позволяют на их основе создавать не только высокоточные эталоны единиц физических величин, но также образцовые и рабочие средства измерений с уникальными характеристиками, которые не могут быть получены на основе применения классических методов. Уже созданы усилители и аналого-цифровые преобразователи с порогом чувствительности 10–14 В, бесконтактные расходомеры и концентратометры на основе ядерного магнитного резонанса, измерители сверхмалых линейных и угловых размеров с порогом чувствительности соответственно 10–12 м, лазерные интерферометры, обеспечивающие измерение линейных

размеров с погрешностью $2 \cdot 10^{-7}$, концентратометры и измерители сверхмалых скоростей на основе эффекта Мессбауэра [3, 6].

Высокая точность измерений, проводимых с использованием квантовых методов, позволяет выполнять метрологическое сопровождение технологических процессов производства материалов, структур, объектов и иной продукции с использованием нанотехнологий. В свою очередь, за разработку теории, методов и инструментов для измерения параметров объектов, линейные размеры которых находятся в нанодиапазоне, отвечает нанометрология.

Именно в нанотехнологии актуален тезис: «Если нельзя правильно измерить, то невозможно создать». Все страны, вступившие в нанотехнологический прорыв, прекрасно представляют необходимость опережающего развития метрологии в этой области, ибо уровень точности и достоверности измерений способен либо стимулировать ее развитие, либо быть сдерживающим фактором.

Развитие нанотехнологий ужесточает требования к измерительным системам, погрешности измерений которых должны быть сравнимы с межатомными расстояниями, что требует серьезного отношения к обеспечению единства линейных измерений в нанометровом диапазоне [7].

Уже сейчас для обеспечения нормативной базы нанометрологии разработаны и внедрены семь российских стандартов [7, 8].

В перспективе одной из основных задач «военной» нанометрологии будет метрологическое обслуживание средств измерений, входящих в состав новейших образцов ВВТ. Необходимым условием успешного выполнения данной задачи является практическое использование квантовых закономерностей микрофизики.

Применение описанных квантовых методов в приборостроении позволяет создавать высокоточные средства измерений, обладающие высокой чувствительностью. В свою очередь, успех современного боя зависит во многом от того, насколько полно реализуются тактико-технические характеристики образцов ВВТ, значения которых контролируются с помощью современных средств измерений.

Список литературы

1. Корсун О.Н., Нескородев Е.Ю. Проблемы системы стандартизации оборонной продукции // Инженерно-физические проблемы новой техники: сборник материалов

X Всероссийского совещания-семинара. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 318.

2. Шишмарев В.Ю. Основы проектирования приборов и систем. – М.: Юрайт, 2011. – 343 с.

3. Дресвянников А.Ф., Петрова Е.В., Ермолаева Е.А. Физические основы измерений и эталоны. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 296 с.

4. Горошко Д.Л. Метрология, стандартизация, сертификация. – Владивосток: ВГУЭС, 2003. – 148 с.

5. Медякова Э.И. Физические основы измерений: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2005. – 63 с.

6. Гончар Л.Л., Гришаев М.Е., Малай И.М. Физические основы измерений и эталоны. – Воронеж, ВУНЦ ВВС ВВА, 2012. – 102 с.

7. Тодуа П.А. Нанотехнологии. Нанометрология и стандартизация // Наноиндустрия. – 2009. – № 2.

8. Новиков Ю.А., Раков А.В., Тодуа П.А. Прямое измерение ширины линии на атомно-силовом микроскопе // Измерительная техника – 2008. – № 5.

References

1. Korsun O.N., Neskorojev E.Yu. Problemy i sistemy standartizatsii oboronnoy produktsii // *Sbornik materialov X Vserossiyskogo Soveshaniya-seminara «inzhenerno-fizicheskie problemyi novoy tehniki»* (Collection of materials X National Conference-Workshop «Engineering and physical challenges of new technology»). Moscow, 2012, pp. 318.

2. Shishmarev V.Yu. *Osnovy i proektirovaniya priborov i sistem* [Basics of designing devices and systems]. Moscow, Yurayt Publ, 2011. 343 p.

3. Dresvyannikov A.F., Petrova E.V., Ermolaeva E.A. *Fizicheskie osnovy i izmereniye talonyi* [Physical basis of measurements and standards]. Moscow, LENAND Publ, 2011. 296 p.

4. Goroshko D.L. *Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya* [Metrology, standardization, certification]. Vladivostok, VGUES Publ, 2003. 148 p.

5. Medyakova E.I. *Fizicheskie osnovy i izmereniy: Pismennyie lektzii* [Physical basis of measurements: Writing lecture] St. Petersburg, SZTU Publ, 2005. 63 p.

6. Gonchar L.L., Grishaev M.E., Malay I.M. *Fizicheskie osnovy i izmereniye talonyi* [Physical basis of measurements and standards] Voronezh, VUNTs VVS VVA Publ, 2012. 102 p.

7. Todua P.A. *Nanotehnologii. Nanometrologiya i standartizatsiya – Nanoindustry*, 2009, no. 2.

8. Novikov Yu.A., Rakov A.V., Todua P.A. *Pryamoe izmerenie shirinyi linii na atomno-silovom mikroskope – Measuring equipment*, 2008, no. 5.

Рецензенты:

Умывакин В.М., д.г.н., к.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж;

Лагунов В.С., д.т.н., профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и медицинских знаний, Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.