

**Предисловие главного редактора**

УДК 006.91.821

**ПРОРЫВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ИХ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА  
И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

**С.И. Донченко**

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.  
director@vniiftri.ru*

*Приводятся примеры прорывных метрологических исследований в таких областях, как измерения времени и частоты, координатно-временные, релятивистские, температурные, физико-химические измерения, оценивается их роль в обеспечении единства измерений в соответствии с требованиями, предъявляемыми современным уровнем развития науки и техники.*

*Examples of breakthrough metrological researches in such areas as time and frequency measurements, coordinate-time, relativistic, temperature, physico-chemical measurements are given, their role in ensuring the uniformity of measurements in accordance with the requirements imposed by the current level of science and technology development is assessed.*

*Ключевые слова: метрология, прорывные исследования, измерения, эталон времени и частоты, длины, релятивистская теория, температура, постоянная Больцмана, физико-химические измерения.*

*Key words: metrology, breakthrough researches, measurements, standard of time and frequency, length, relativistic theory, temperature, Boltzmann's constant, physical and chemical measurements.*

Развитие измерительных технологий, обеспечение прослеживаемости измерений к первичным эталонам, их уровень и модернизация являются актуальными для целого ряда отраслей промышленности и социальной среды. Решение каких задач важно сейчас для повышения уровня метрологического обеспечения приоритетных направлений развития науки и технологий? Это — совершенствование системы фундаментальных и прикладных научных исследований в области метрологии; комплексное развитие научного потенциала государственных научных метрологических институтов; восстановление полного научно-производственного цикла — от фундаментальных научных исследований до внедрения полученных достижений в измерительные технологии, создания эталонов и средств измерений.

За последнее время ученые-метрологи осуществили целый ряд прорывных исследований, которые позволили вывести нашу страну в области обеспечения единства и точности измерений на передовые мировые позиции

В лабораториях ФГУП «ВНИИФТРИ» впервые реализован оптический стандарт на холодных атомах стронция, более чем в 100 раз превосходящий показатели точности измерений времени по старому цезиевому стандарту.

Характеристики оптического стандарта частоты как минимум не уступают зарубежным аналогам.

Не менее важные результаты получены в области координатно-временных измерений, которые позволили создать уникальный комплекс воспроизведения единицы длины, использующий фемтосекундные лазерные технологии.

Метрологические характеристики усовершенствованного Государственного первичного специального эталона единицы длины (в диапазоне до 60 м погрешность воспроизведения единицы длины — не более 1 мкм; на более удаленных эталонах и для средств измерений, транспортировка к измерительному базису которых является невозможной, — не более 2,4 мкм; для диапазона до 300 м погрешность — 0,7 мм) получены впервые и выводят Российскую Федерацию на одно из ведущих мест в мире в данном виде измерений.

Средства измерений длины, максимальное расстояние для которых находится в диапазоне от десятков и сотен метров до тысячи километров, являются базовыми средствами измерения больших длин для использования измерительной информации в таких областях, как глобальные навигационные спутниковые системы, геодезия и картография, мониторинг характеристик различных объектов, создание и развитие транспортных систем, проведение научных изысканий и др. В целом, усовершенствованные технические средства эталона обеспечивают воспроизведение единицы длины с максимальной точностью в Российской Федерации.

Завершена разработка релятивистской теории метрологии высокоточных измерительных систем, применяемых на Земле и в околоземном пространстве. Уровень релятивистских измерений времени и частоты в околоземном пространстве превышает достигнутые на сегодняшний день инструментальные погрешности измерительных систем на 5–6 порядков. Релятивистская теория метрологии наземных и космических измерительных систем в прикладной постановке с относительной погрешностью учета релятивистских эффектов  $10^{-18}$  предложена в Российской Федерации впервые. Учет релятивистских эффектов в космических радиолиниях позволит повысить точность системы ГЛОНАСС, проектируемых спутниковых геодезических систем, систем синхронизации.

В восьми странах проводятся исследования по определению значений фундаментальной физической константы Больцмана с целью нового определения кельвина, Россия — в числе этих стран. Здесь на базе разработанного акустического газового термометра создана экспериментальная измерительная установка для включения её в состав созданного ВНИИФТРИ Государственного первичного эталона единицы температуры ГЭТ 35-2010.

Проведенные эксперименты по высокоточным измерениям частот акустического и электромагнитного резонансов в уникальном квазисферическом акустическом резонаторе, заполненном гелием  $^4\text{He}$  при температуре тройной точки воды, позволили определить значение постоянной Больцмана с неопределенностью  $1,4 \cdot 10^{-6}$ .

Точные измерения константы Больцмана, выполненные ведущими странами с участием России, обеспечивают преемственность нового определения кельвина с действующей международной температурной шкалой МТШ-90.

Еще в предыдущее десятилетие было заметно отставание отечественного комплекса физико-химических измерений от решения актуальных задач метрологического обеспечения данной области. Приводился пример несоответствия эталонной базы в области измерений растворенных газов (кислород, водород) в жидких средах от современных требований промышленности.

Сегодня с полным основанием можно констатировать заметные прорывы в этой области. Создан Государственный первичный эталон единиц массовой доли и массовой (молярной) концентрации неорганических компонентов в водных растворах на основе гравиметрического и спектральных методов ГЭТ 217-2018. Проведенные международные сличения подтвердили эквивалентность отечественного эталона зарубежным аналогам.

Эталон обеспечит единство измерений массовой (молярной) концентрации неорганических компонентов в водных растворах. Созданный эталон позволит решить проблемы метрологического обеспечения и единства измерений при контроле качества воды, технологических сред и реактивов в микроэлектронной и атомной промышленности, при оценке качества сырья и готовой продукции в пищевой промышленности и экологии при проведении высокоточных анализов в отрасли медицины и фармацевтики, при проведении научных исследований.

Эталон позволит снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с использованием сырья ненадлежащего качества в приборостроении и машиностроении, снизить негативное влияние продуктов пищевой и фармацевтической промышленности на здоровье человека за счет более точного измерения концентрации опасных примесей.

Участие эталона в сличениях МБМВ будет способствовать улучшению измерительных и калибровочных возможностей РФ до мирового уровня и получению новых строк в базе МБМВ.

Прорывные метрологические исследования имеются и в других областях измерений.