

Масса ^{226}Ra в поверяемом источнике γ -излучения из радия определяется по формуле

$$m_x = m_0 (S_x - S_\phi) / (S_0 - S_\phi),$$

где S — сумма площадей фотопиков в спектре ^{226}Ra и дочерних продуктов; S_ϕ — сумма площадей части спектра в тех же границах («окнах») в отсутствие источника.

Уравнение для расчета неопределенности значения массы радия имеет вид

$$u_{m_x} = \sqrt{u_{m_0}^2 + u_{S_0}^2 + u_{S_x}^2 + 2u_{S_\phi}^2}.$$

Работа по совершенствованию эталона сопровождалась созданием проекта новой поверочной схемы, согласно которой от государственного эталона наряду с единицей массы радия предлагается передавать единицу активности радия в источниках с использованием соотношения (2).

Для этой цели, чтобы обеспечить сохранность эталона — образца № 5427 целесообразно использовать эталон-копию — источник № X5. Нижняя граница диапазона передачи размера единицы массы радия снижается с 1 до 0,01 нг.

В разработанном проекте в отличие от поверочной схемы [7], которая допускает передачу единицы массы радия только «твердым» источникам, предлагается расширить номенклатуру средств измерений, которым передается единица, с добавлением растворов радия и приборов, измеряющих концентрацию радия и продуктов его распада (в основном, радона) в различных средах.

Модернизированный эталон ГЭТ 7—2011 обеспечивает единство и правильность измерений массы и активности

радия и его дочерних продуктов в медицине, геологии и геофизике, экологии, санитарии, ядерном приборостроении, строительстве. Эталон соответствует современным отечественным и международным требованиям по точности и диапазонам воспроизведения и передачи единиц.

Л и т е р а т у р а

1. Curie M. Les mesures en radioactivité et l'étalon de radium // J. de Phys. Oct. 1912. P. 795—798.
2. Богдавленский Л. Н. Установление основного эталона радия СССР // Исследование в области радиологии: Труды ВНИИМ, 1939. Вып. 26 (42), С. 3—19.
3. Joliot-Curie F. Rapport sur L'évolution de la Question des Etalons de Radium // Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Radiations Ionisantes auprès du Comité International des Poids et Mesures, 1^{re} Sess., 1959. Ann. R2. P. 68—74.
4. Conner W. S., Joudon W. J. // J. Res. NBS. 1959. V. 53. P. 273.
5. Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Radiations Ionisantes auprès du Comité International des Poids et Mesures, 2^{re} Sess. Paris, 1960. P. 46—48.
6. Comité International de Poids et Mesures. Procès-Verbaux des Séances. 1961. 2 Ser. T. 28, 49 Sess., P. 77, 119.
7. ГОСТ 8.036—74. ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массы радия.
8. Woods S. A. e. a. An Intercomparison of the Radium Mass Standards of the UK and USSR // NPL Report RSA (Ext) 34. Oct. 1992.

Дата принятия 17.06.2013 г.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

389.53.089.686:006.354

Метрологическая прослеживаемость координатно-временных измерений

А. С. ДОЙНИКОВ, Б. Н. КРУПИН, Л. В. ЮРОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия, e-mail: doynikov@miiftri.ru

Рассмотрены основные положения, предназначенные для построения Государственной системы обеспечения единства измерений в области координатно-временных измерений на основе достижений астрометрии и принятых международных небесной и земной систем координат.

Ключевые слова: метрологическая прослеживаемость, координатно-временные измерения, шкала измерений.

The basic provisions of formation of the state system of the unity of measurements ensuring in the field of coordinate-temporal measurements based on the astrometry achievements accepted by the international celestial coordinates system are considered.

Key words: metrological traceability, coordinate-temporal measurements, measurement scale.

Настоящая публикация подготовлена в целях распространения положений законодательной метрологии, элементов теории шкал измерений в сочетании с традиционными

понятиями, относящимися к геодезическим измерениям, на комплекс координатно-временных измерений (КВИ), выполняемых, в том числе, с использованием навигационных и

спутниковых технологий. Актуальность темы обусловлена тем, что в соответствии с [1, ст. 71, пункт р] и [2] осуществление геодезической и картографической деятельности входит в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений.

В новую редакцию закона [3] введена статья о необходимости связи геодезических измерений с Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ). Однако традиционные понятия и термины, используемые в геодезических измерениях, напрямую не связаны с современной понятийно-терминологической базой ГСИ.

В октябре 2011 г. на XXIV Генеральной конференции мер и весов (ГКМВ) принята Резолюция 9 [4], в которой рекомендуется Международную земную систему координат ITRS, определенную Международным союзом геодезии и геофизики IUGG и реализованную Международной службой вращения Земли и систем координат IERS [5], принимать как единственную международную систему координат для земных систем отсчета (координатных основ) во всех метрологических приложениях. Этой резолюцией по существу открывается новый этап в международном сотрудничестве в области метрологии, который требует изменения и дополнения ряда основных положений законодательной метрологии. Обновление метрологической парадигмы стало безотлагательным, так как КВИ выходят за рамки общепринятой концепции измерения величин [6].

Общие положения и основные термины. Существующая понятийно-терминологическая база для метрологического описания КВИ сформирована в ряде публикаций и нормативных документов [7–15]. В КВИ рассматривают трехмерное пространство, время и происходящие в них процессы, характеризующиеся рядом качественных (неразмерных) измеряемых свойств и измеряемых величин [8, 9]. Комбинированное измеряемое свойство — это, в частности, вектор состояния потребителя (в модельном многомерном пространстве), элементами которого являются пространственные координаты (в системе отсчета), составляющие вектора скорости и поправка часов потребителя глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

К пространственно-временным качественным (неразмерным) свойствам относятся: местоположение (в выбранной системе координат); направление и ориентация объекта в пространстве; взаимоположение точек, поверхностей, линий, фигур; форма линий, поверхностей, объемных фигур (например, земных эллипсоида и геоида). Для измерения качественных свойств по соглашению устанавливаются шкалы измерений (системы координат) — способы отображения измерительной информации. В силу многомерности пространственных свойств шкалы измерений также являются многомерными. Например, небесная система координат — это шкала измерений направлений в пространстве; земная — шкала местоположения относительно Земли; геодезические системы координат — шкалы местоположения на поверхности Земли.

Обычно размеры измеряемых величин выражают скалярными (одномерными) математическими величинами. Векторы или тензоры, компоненты которых являются измеряемыми величинами, также называют измеряемыми величинами. Одномерными измеряемыми величинами в КВИ являются: расстояние, длина, отрезки длины на пространственных координатных осях; плоские углы; интервалы времени; время (моменты событий). Шкалы измерений расстояний, плоских углов и интервалов времени опираются на стандартизованные единицы измерений. Определения различных шкал измерений текущего времени содержат кроме единицы измерения интервалов времени еще условные нули отсчета, принятые по соглашению, и регламентированные поправки. Шкалой с условным нулем является, например, шкала высот в геодезии, за нулевое значение которой в РФ принята отметка на Балтийском футштоке. Направление в пространстве не является вектором, так как не имеет модуля. Значения модулей векторов скорости и ускорения инвариантны относительно выбираемых пространственных координат, а направления этих векторов неинвариантны. Смысл координат местоположения и компонентов векторов принципиально отличается, так как из координат местоположения невозможно образовать инвариантный модуль.

Измеряемыми векторами являются скорость и ускорение движения объекта в заданной системе координат, ускорение свободного падения (градиент гравитационного потенциала). Шкалы измерений векторов опираются на трехмерные пространственные шкалы — системы координат для описания измеренного направления вектора в пространстве, а размеры модулей векторов выражаются в соответствующих единицах измерений, допущенных к применению в РФ [14].

Местоположение (позицию), взаиморасположение, направление движения и ориентацию объектов в пространстве можно описать только комплексом определений, реализующих метод координат, т. е. способом определения положения точки (объекта — навигационной аппаратуры потребителя) при помощи совокупности чисел или других символов — координат, присущих выбранной системе. Координаты — это величины, но местоположения конкретных точек, обозначенных в пространстве координатами, не относятся к величинам, так как их невозможно сопоставить по обязательному для последних признаку — одномерному упорядочению по размеру (больше или меньше). Поэтому координаты точки в пространстве представляют собой обозначение проявления (значения) качественного измеряемого свойства — местоположения. Для измерения этих свойств должны быть установлены (стандартизованы) спецификации соответствующих конкретных пространственных многомерных шкал измерений — систем координат.

В соответствии с системой метрологических понятий [10, 17] определения конкретных систем координат интерпретируются как спецификации соответствующих координатных шкал измерений, реализации этих спецификаций (координатные основы) — как эталоны координатных шкал измерений; реперы, опорные пункты (квазары, геодезические знаки, контрольно-корректирующие станции) — как материальные меры направления и местоположения объектов в пространстве; линейные базисы — как меры расстояния между объектами. Своеобразную многомерную пространственно-временную шкалу образует система параметров вращения Земли — совокупность пяти угловых параметров, характеризующих взаимную ориентацию земной и небесной систем координат. Результатом измерения местоположения (позиционирования пространственного объекта) является совокупность измеренных значений координат.

Недавно введено понятие об опорном значении величины, используемом в качестве основы для сравнения со значением величины того же рода. Опорным значением величины [17, ст. 5.18] может быть истинное значение измеря-

мой величины [17, ст. 2.11] — в таком случае оно неизвестно, или приписанное (стандартизованное) значение величины [17, ст. 2.12] — в этом случае оно известно. По смыслу обобщенное понятие «приписанное (стандартизованное) значение величины» охватывает понятие «действительное значение величины» — значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. В координатных измерениях по отношению к качественным свойствам необходимо применять аналогичное понятие «опорное значение качественного свойства» [15]. Например, опорным значением местоположения являются координаты, приписанные геодезическому пункту в заданной системе координат [18].

Термин «Принятая опорная шкала» [17] практически необходимо применять не только к измеряемым величинам, но и к качественным свойствам. Принятыми опорными шкалами измерений одномерных величин являются стандартизованные шкалы времени: национальная шкала атомного времени TA, национальная шкала координированного времени UTC(SU), григорианский календарь и др. Опорной шкалой, в частности, является системная шкала времени ГНСС, предназначенная для временной привязки основных процессов во всех ее подсистемах.

Погрешность (результата) измерения определяется как отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины или качественного свойства. Практическая оценка погрешности осуществляется заменой истинного значения на опорное (действительное) значение. В двух- и более мерных шкалах погрешность характеризуется отклонением точки шкалы, соответствующей результату измерения, от точки шкалы, соответствующей истинному значению в соответствующем модельном пространстве [10—12, 15].

Погрешность измерения (величины) [17, ст. 2.16] — разность между измеренным и опорным значениями величины. Погрешность измерения известна, если имеется единственное опорное значение величины (например, при калибровке по эталону), которое имеет пренебрежимо малую неопределенность, или если задано принятое значение величины. Погрешность измерения неизвестна, если предполагается, что измеряемая величина представлена единственным истинным значением или совокупностью истинных значений в пренебрежимо малом диапазоне.

Истинное значение величины определить невозможно. Это понятие применяют только в теоретических исследованиях. На практике используют опорное значение величины X_0 , а погрешность измерения Δ находят по формуле $\Delta = X_{\text{изм}} - X_0$, где $X_{\text{изм}}$ — значение величины, полученное путем измерения (результат измерения); X_0 — значение, приписываемое конкретной величине и принимаемое, часто по соглашению, как имеющее неопределенность, приемлемую для данной цели. В ГНСС используют, например, понятие «погрешность передачи Всемирного координированного времени государственного эталона времени и частоты Российской Федерации» — разность моментов времени, получаемых из решения задачи местоположения потребителя и Всемирного координированного времени государственного эталона времени и частоты.

Таким образом, по определению понятие «погрешность измерения» относится только к конкретному результату измерения, полученному с использованием конкретного экземпляра средства измерений (СИ). Погрешность измерения величины является конкретным положительным или отрицательным числом. Это неизвестное или оцениваемое число получается в результате сложения в эксперименте со своими положительными или отрицательными знаками систематической погрешности и реализованной случайной погрешности. Нет оснований придавать погрешности измерения смысл статистического параметра какого-либо множества реальных или предполагаемых значений.

В КВИ при нормировании погрешностей результатов измерений местоположения необходимо указывать, к какой шкале относятся результаты измерений и что принимается за опорное значение измеряемой величины или измеряемого качественного свойства — местоположения потребителя. Можно говорить о разностях измеренных и истинных координат положения потребителя. Такую погрешность нельзя выразить одним числом (их три).

В соответствии с системой понятий, изложенных в [14, 15], «погрешность навигационного определения» есть пространственный вектор, характеризующий отклонение измеренного с использованием ГНСС местоположения потребителя от его истинного местоположения в заданной системе координат.

В РФ принято следующее определение [2, ст. 2, п. 18]: *прослеживаемость* — свойство эталона единицы величины или СИ, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины путем сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки СИ. *Метрологическая прослеживаемость* [17] — свойство результата измерения, в соответствии с которым его можно соотнести с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых влияет на неопределенность измерений. Базой для сравнения может быть определение единицы измерения через ее практическую реализацию или методика измерений, включающая единицу измерения для величин, отличных от порядковых, или эталон. Метрологическая прослеживаемость требует наличия установленной калибровочной иерархии. Для измерений с более чем одной входной величиной в модели измерений каждое из значений входных величин должно само быть метрологически прослеживаемо, а калибровочная иерархия может иметь форму разветвленной структуры или сети.

Цель метрологической прослеживаемости — последовательность эталонов и калибровок, которые используются для соотнесения результата измерения с основой для сравнения. Цепь метрологической прослеживаемости определяется через *калибровочную иерархию* и используется для установления *метрологической прослеживаемости* результата измерения.

Метрологическая прослеживаемость к единице измерений — прослеживаемость, где основой для сравнения является определение единицы измерений через ее практическую реализацию. Выражение «прослеживаемость к SI» означает «метрологическую прослеживаемость к единице измерений Международной системы единиц».

Спецификации координатно-временных шкал измерений. Международная небесная опорная система координат

ICRS — шкала измерений направлений в пространстве, определенная в виде полярной (сферической) системы координат, ориентация которой в пространстве установлена согласованной совокупностью угловых координат удаленных (точечных) источников радиоизлучения космических объектов (квазаров и др. по ICRF). Спецификация этой пространственной шкалы измерений направлений определена в документе [5], содержащем каталог угловых координат квазаров (и других источников радиоизлучения) и порядок их уточнения.

Международная земная опорная система координат ITRS — шкала измерений местоположений (позиций), определенная в виде трехмерной прямоугольной (декартовой) системы координат с началом в центре масс Земли (включая атмосферу и океаны) и основной плоскостью, перпендикулярной к геоцентрическому направлению на условное международное начало, с координатами среднего полюса Земли на эпоху 1984.0. При этом считается, что ITRS не совершает глобального вращения относительно земной поверхности. Спецификация ITRS представлена в документе «IERS Conventions 2003», содержащем ссылку на каталог координат совокупности опорных международных станций на Земле (ITRF) и порядок их текущего уточнения.

Система параметров вращения Земли — шкала измерений совокупности пяти угловых параметров, характеризующих взаимную ориентацию земной и небесной систем координат. Два угла определяют нутационные движения оси вращения Земли, еще два угла — положение мгновенного полюса (оси вращения в теле Земли), пятый параметр — всемирное время, которому соответствует угол поворота Земли вокруг своей оси в данный момент времени.

Глобальная геоцентрическая координатная система отсчета РФ — государственная шкала измерений местоположений (позиций) относительно Земли, определенная в виде геоцентрической прямоугольной координатной системы отсчета, связанной с земной поверхностью набором геодезических пунктов.

Постановлением Правительства РФ [19] введена общеземная геоцентрическая система координат РФ «Параметры Земли 1990 года» для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

Геодезическая координатная система отсчета РФ (СК-95) — государственная шкала измерений местоположений (позиций) на поверхности Земли, определенная в виде референтной геоцентрической координатной системы отсчета на эллипсоиде Красовского. Местоположение по этой шкале обозначается тремя координатами: долготой и геодезической широтой (в угловых единицах), превышением (в метрах) относительно Балтийского футштока.

Местные системы координат — шкалы измерений местоположений (позиций) на Земле, определенные в виде условных систем координат, которые устанавливаются на ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта РФ; начало отсчета координат и ориентирование их осей смещены по отношению к СК-95. Следует отметить особые шкалы измерений местоположений (позиций) на Земле, определенные в виде топографических карт различных масштабов, переведенных на цифровые носители, и используемых в качестве картографических основ геоинформационных систем.

На основе топографических карт создаются мелкомасштабные и менее информативные карты-схемы, используемые в навигационной аппаратуре, на которых отметками отражаются результаты измерения местоположения потребителя.

Шкала измерений длины в системах координат — шкала измерений расстояний между точками в пространстве, выражаемых в установленных единицах измерений [16]. Длина является количественной характеристикой протяженности прямых и кривых отрезков линий (в том числе на осях координат) в пространстве. В РФ принята единица длины метр, допущены также к применению астрономическая единица, световой год, используемые в астрономии, морская миля, фут, применяемые в морской и авиационной навигации. Шкала измерений плоского угла в системах координат — шкала измерений величины, количественно характеризующей различие направлений в пространстве. В РФ принята единица плоского угла радиан, также допущены к применению градус, минута, секунда, метрический градус, равный 1/400 части полного угла (используется в геодезии).

Шкалы измерения времени — шкалы всемирного времени (UT1 и UT2), международная шкала координированного времени (UTC) и национальная шкала координированного времени (UTC(SU)) определены в [20]. За единицу измерения времени принята секунда, допущены к применению минута, час, сутки.

Эталоны координатно-временных шкал измерений.

Международный исходный (опорный) эталон шкалы направлений в пространстве фактически представляется совокупностью пространственных реперов — направлений на квазары и другие удаленные космические объекты — источники радиоизлучения, которые определены в ICRF совместно с приписанными угловыми координатами. Этот естественный эталон является реализацией спецификации международной небесной опорной системы координат (ICRS).

Международный исходный (опорный) эталон шкал местоположений (позиций) относительно Земли по [4] фактически является совокупностью пространственных реперов (мер) местоположения на Земле — опорных станций (Международной земной отсчетной основы), установленных в ITRF с приписанными декартовыми координатами.

Методика, реализующая систему определения параметров вращения Земли с совместным использованием результатов измерений по шкалам ICRS и ITRS, по существу, служит международной первичной референтной методикой измерений [17] параметров вращения Земли. Значения параметров вращения Земли, полученные по этой методике, являются исходными (опорными) для сравнения. Реализацию данной методики в одном государстве нужно интерпретировать как национальную первичную референтную методику измерений параметров вращения Земли.

Национальный исходный (опорный) эталон шкал местоположений (позиций) на Земле и околоземном пространстве относительно Земли — совокупность пространственных реперов (мер) местоположения на Земле — государственных реперов (геодезических пунктов) с установленными значениями координат в принятой шкале измерений. Согласно [2] такой эталон может быть реализован в качестве государственного первичного эталона шкал местоположений (позиций) на Земле относительно Земли в Главном метрологическом центре (Государственном научном метро-

логическом институте) Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ). Национальный опорный эталон геодезической координатной системы отсчета — эталон шкалы местоположения (позиции) на земной поверхности, которым фактически является совокупность пространственных реперов местоположения на земной поверхности: опорных пунктов государственной геодезической сети (ГГС), пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС).

Рабочие эталоны местоположения (эталонные меры местоположения) — опорные пункты ГГС (за исключением пунктов ФАГС), базовые станции, корректирующие станции и др., используемые для передачи СИ шкал измерений местоположения. Совокупность значений координат местоположения рабочего эталона фактически используется в качестве опорного значения местоположения в методиках (методах) измерений и методиках поверки (калибровки) СИ. Рабочими эталонами местоположения, применяемыми для калибровки навигационной аппаратуры с отображением результатов измерения местоположения на картах-схемах, служат реальные топографические объекты в зоне отображения. Фактически в качестве рабочих эталонов используются опорные наземные передающие станции радионавигационных систем.

Непрерывно работающий государственный первичный эталон единиц интервалов времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1—2012 воспроизводит и хранит в РФ шкалу TA(SU). Шкалы всемирного времени UT, UT1, UT2, UTC и UTC(SU) хранятся этим эталоном с использованием официальной информации ГСВЧ о параметрах вращения Земли.

Государственный первичный специальный эталон единицы длины ГЭТ 199—2012 предназначен для воспроизведения размера метра в области измерения больших длин в соответствии с определением метра и использованием ГЭТ 1—2012. Эталонные базы являются эталонными мерами длины, выполненными в виде опорных пунктов на Земле, расстояние между которыми установлено достаточно точно. В качестве таких опорных пунктов могут использоваться опорные пункты геодезической сети.

Способы выражения точности эталонов и результатов КВИ. Общие способы выражения погрешностей этало-

нов единиц одномерных величин установлены в [21]. Способы выражения погрешностей государственных первичных эталонов единиц одномерных величин, как правило, характеризуются: средним квадратическим отклонением (СКО), обусловленным влиянием случайных погрешностей; границами неисключенных систематических погрешностей (НСП); нестабильностью эталона во времени. Способы выражения погрешностей первичных эталонов для обеспечения прослеживаемости координатных СИ рекомендуется характеризовать показателями точности, аналогичными указанным в [21], но приспособленными для воспроизведения и передачи многомерных пространственных шкал измерений.

В соответствии с [15] погрешностью измерения местоположения точки является пространственный вектор, характеризующий отклонение измеренного значения от опорного значения местоположения этой точки в соответствующей системе координат. Пределами погрешностей измерений местоположения является замкнутая ограничительная поверхность вокруг точки пространства, соответствующая ее опорному значению в выбранной системе координат. Неопределенность измерений местоположения точки характеризуется замкнутым пространством, охватывающим возможную область рассеяния результатов измерений местоположения, в которой предположительно находится эта точка в указанной системе координат. Прослеживаемость координатных эталонов и рабочих СИ рекомендуется обеспечивать калибровкой (поверкой) в соответствии с «цепью метрологической прослеживаемости», отраженной на рисунке.

Показатели точности эталонов местоположения необходимо представлять совместно со сведениями о соответствующей системе координат и методе измерений (прямой, дифференциальный, фазовый с использованием ГНСС, геодезических построений и т. д.). В общем случае погрешностью эталона является пространственный вектор, характеризующий отклонение воспроизводимого эталоном значения (x, y, z) от опорного (истинного, действительного) значения местоположения (x_0, y_0, z_0) в соответствующей системе координат; в качестве опорных значений следует использовать значения, определенные при помощи более точных (по поверочной схеме) эталонов.

Государственный первичный эталон шкал местоположений на Земле рекомендуется характеризовать СКО при n независимых наблюдениях; НСП; нестабильностью v хранения местоположения (изменением значения местоположения, хранимого эталоном, в установленный промежуток времени). Перечисленные величины оцениваются в единицах длины.

Оценку СКО S_R воспроизведения значения местоположения первичным эталоном находят на основании экспериментальных данных, полученных при исследовании эталона, путем расчета и нормирования (установления границы) СКО модулей R_i векторов случайной погрешности. Оценку НСП получают по результатам метрологических исследований эталона, анализа погрешностей метода воспроизведения и погрешностей от действия влияющих величин, а также на основании международных сличений эталона с эталонами других стран. При этом рассчитывают и нормируют (устанавливают) границы модуля вектора НСП. При этом необходимо учитывать исходную дефиниционную неопределенность [17] установления воспроизводимой земной системы координат. Оценку нестабильности v хранения местоположения первичным эталоном, вызванную старением его кон-



Схема метрологической прослеживаемости измерений местоположений

структивных элементов и пр., находят путем исследования изменений во времени воспроизводимых эталоном значений местоположения, а также по данным международных сличений. Нестабильность v характеризуют модулем вектора изменения местоположения.

Каждая мера (репер) местоположения, входящая в состав эталона, характеризуется СКО, НСП и v . За опорное значение местоположения (x_0, y_0, z_0) меры (репера) можно принять значение, полученное в результате международных сличений с международным эталоном земной системы координат ITRF.

Модуль R_i случайной погрешности для i -го наблюдения вычисляют по формуле

$$|R_i| = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2},$$

где x_i, y_i, z_i — координаты местоположения меры; $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ — средние арифметические значения координат.

Оценка СКО для одного наблюдения (измерения)

$$S_{R_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2},$$

где $\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$; для среднего арифметического ряда наблюдений

$$S_{\bar{R}} = S_{R_i} / \sqrt{n}.$$

Оценки погрешностей вторичных эталонов шкал местоположений рекомендуется характеризовать отклонениями воспроизводимых или хранимых ими значений местоположений от опорных значений для этих же местоположений, определенных при помощи первичного эталона. Суммарное СКО воспроизведения вторичным эталоном шкалы местоположений должно включать в себя случайные погрешности и нестабильности сравниваемых эталонов, НСП первичного эталона и погрешность метода передачи шкалы измерений местоположения от первичного эталона. Суммарную погрешность вторичного эталона можно выразить в виде доверительной границы модулей суммарных погрешностей с доверительной вероятностью 0,99. Допускается указывать отдельно СКО, НСП и v , также как и для первичного эталона. Нестабильность вторичного эталона находят на основании результатов сравнений с первичным эталоном в начале и конце периода, для которого она определяется.

Способы выражения погрешностей рабочих эталонов и рабочих СИ местоположений аналогичны показателям точности, приведенным в [22, 23], но с учетом специфики координатных измерений.

Эталонные меры местоположения (рабочие эталоны) рекомендуется характеризовать установленным (приписанным) значением местоположения (x_n, y_n, z_n) с указанием системы координат и пределом Δ_R модуля вектора допускаемой погрешности воспроизведения местоположения.

В составной системе координат показателями точности эталона местоположения могут быть пределы горизонтальной Δ_r и вертикальной Δ_v допускаемых погрешностей. При этом Δ_r определяется как граница модулей R_r векторов погрешностей местоположения в горизонтальной плоскости

системы координат, например $R_r = \sqrt{\Delta_{\text{ш}}^2 + \Delta_{\text{д}}^2}$, где $\Delta_{\text{ш}}, \Delta_{\text{д}}$ — погрешности по широте и долготе, м; Δ_v — граница погрешностей местоположения по вертикали в шкале высот, м.

Нормируемые пределы погрешностей мер местоположения, применяемых в различных системах координат и методах измерений, рекомендуется устанавливать конкретно для всех вариантов использования, так как эти пределы могут значительно отличаться. Так, при применении дифференциального метода измерений с использованием приемной аппаратуры ГНСС в региональной (локальной) системе координат Δ_r следует устанавливать без систематических составляющих погрешностей воспроизведения мерой (репером) местоположения в государственной системе координат.

Эталонные приборы измерения местоположения рекомендуется характеризовать пределом Δ_R модуля вектора допускаемой погрешности измерения местоположения с указанием применяемых системы координат и метода измерения. Нормируемые пределы погрешностей эталонного прибора целесообразно устанавливать конкретно для всех вариантов использования. Для выражения точности результатов измерения (определения) параметров по референтным методикам измерений предлагается использовать неопределенность, причем для ее оценки по типу А применять алгоритм, аналогичный представленному для оценки СКО.

Л и т е р а т у р а

1. Конституция Российской Федерации. М.: Юридическая литература, 2009.
2. Закон РФ № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений».
3. Закон РФ № 303-ФЗ от 07.11.2011 г. «О геодезии и картографии».
4. On the adoption of a common terrestrial reference system: Resolution 9 on XXIV meeting of the General Conf. on Weights and Measures. Paris, 2011.
5. Соглашения Международной службы вращения Земли и систем координат, MCB3, 2003. Техн. запись MCB3. № 32; Conventions International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS. 2003. Technical Note IERS. N 32.
6. Брянский Л. Н., Дойников А. С., Крупин Б. Н. Необходимость обновления метрологической парадигмы // Измерительная техника. 1998. № 8. С. 15—20; Bryanskii L. N., Doynikov A. S., Krupin B. N. Need to update the metrological paradigm // Measurement Techniques. 1998. V. 41. N. 8. P. 706—715.
7. Брянский Л. Н., Дойников А. С., Крупин Б. Н. Особенности представления результатов измерений в шкалах разного типа // Законодательная и прикладная метрология. 1996. № 6. С. 30—32.
8. Дойников А. С. Измеряемые свойства // Измерительная техника. 2002. № 11. С. 50—56; Doynikov A. S. Measurable Properties // Measurement Techniques. 2002. V. 45. N 11. P. 1183—1191.

9. Брянский Л. Н., Дойников А. С., Крупин Б. Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. М.: Изд-во ВНИИФТРИ, 2004.

10. РМГ 83—2007. ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения.

11. Рекомендация КОOMET R/GM/20:2009 [Официальный сайт] www.coomet.org./RU/doc/r_20—2009 (дата обращения 16.03.2013 г.).

12. Дойников А. С., Брянский Л. Н., Крупин Б. Н. Справочник по метрологии. М.: Стандартинформ, 2010.

13. ГОСТ Р 8.699—2010. ГСИ. Величины, единицы, шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе.

14. Р 50.2.079—2011. ГСИ. Координатно-временные измерения. Термины и определения.

15. ГОСТ Р 8.739—2011. ГСИ. Эталоны для координатно-временных измерений. Основные положения. Способы выражения погрешностей.

16. Постановление Правительства РФ № 879 от 31.10.2009 г. «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации».

17. Международный словарь по метрологии: Основные и общие понятия и соответствующие термины; **International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM)**. JCGM 200:2008 (E/F).

18. ГОСТ Р 5.3606—2009. ГНСС. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения.

19. Постановление Правительства РФ № 1463 от 28.12.2012 г. «О единых государственных системах координат».

20. ГОСТ 8.567—99. ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения.

21. ГОСТ 8.381—2009. ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности.

22. ГОСТ 8.401—80. ГСИ. Классы точности измерений. Общие требования.

23. ГОСТ 8.009—84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

Дата принятия 16.05.2013 г.

519.24

Применение непараметрических критериев согласия Купера и Ватсона при проверке сложных гипотез

Б. Ю. ЛЕМЕШКО, А. А. ГОРБУНОВА

Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия, e-mail: lemeshko@fpm.ami.nstu.ru

Рассмотрены модели распределений статистик и таблицы процентных точек, позволяющие применять критерии согласия Купера и Ватсона при проверке сложных гипотез относительно принадлежности выборок различным параметрическим моделям законов распределения вероятностей. Приведена методика интерактивного моделирования, дающая возможность построить и использовать распределение статистики критерия в ходе решения задачи статистического анализа, связанного с проверкой гипотезы.

Ключевые слова: непараметрические критерии согласия, критерии Купера и Ватсона, простые и сложные гипотезы.

The statistics distributions models and tables of percentage points allowing to use the Kuiper and Watson goodness-of-fit tests at testing the composite hypotheses on belonging of samples to different parametric models of statistical laws of probabilities distribution are considered. The procedure of interactive simulation allowing to construct and use the statistics distribution of test during the solution of problem of statistical analysis inherent to hypothesis testing is presented.

Key words: nonparametric goodness-of-fit test, Kuiper's and Watson's tests, simple and composite hypotheses.

В [1] при исследовании распределения статистик и мощности непараметрических критериев согласия Купера [2] и Ватсона [3] было показано, что в случае проверки простых гипотез они имеют некоторое преимущество в мощности перед критериями Колмогорова, Крамера—Мизеса—Смирнова и Андерсона—Дарлингга. Это позволяет рекомендовать их применение в различных приложениях. При сложных проверяемых гипотезах такого заметного преимущества не наблюдается, однако ясно, что критерии Купера и Ватсона

целесообразно использовать наряду с другими упомянутыми выше критериями согласия.

При проверке сложных гипотез вида $H_0: F(x) \in \{F(x, \theta), \theta \in \Theta\}$, где оценка $\hat{\theta}$ скалярного или векторного параметра распределения $F(x, \theta)$ вычисляется по той же самой выборке, непараметрические критерии согласия теряют свойство свободы от распределения [4]. Условные распределения $G(S|H_0)$