

УДК 621.371

П.И. Неежмаков, В.Н. Романько

Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков, Украина

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ КАЛИБРОВКИ РАЗНОСТИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ К ВСЕМИРНОМУ КООРДИНИРОВАННОМУ ВРЕМЕНИ

В статье рассмотрены нормативные и практические аспекты обеспечения прослеживаемости при выполнении калибровок разности шкал времени в соответствии с опубликованными в КСДВ СМС Украины по результатам ключевых сличений ССТФ- K001.UTC.

Ключевые слова: неопределенность, измерение времени и частоты, калибровка, прослеживаемость.

Введение

Активное развитие телекоммуникационных и радионавигационных систем, ракетно-космической отрасли, решение различных научных и практических задач требует постоянного совершенствования время-частотного обеспечения. За последние несколько десятилетий, благодаря развитию таких направлений науки и техники, как вакуумная и лазерная техника, квантовая электроника, точность воспроизведения и хранение единиц времени и частоты возросла на несколько порядков и продолжает динамично расти [1]. На сегодняшний день она превышает точность воспроизведения других единиц физических величин на несколько порядков. Использование квантовых явлений дало возможность многим странам создать национальные эталоны времени и частоты на высоком метрологическом уровне, что, в свою очередь, вызвало необходимость организации четкой международной метрологической общности с целью обеспечения единства в этом виде измерений.

Около 60 лабораторий всего мира, в том числе и Украина, сотрудничают с ВІРМ для решения проблемы обеспечения единства измерений времени и частоты при формировании международной шкалы атомного времени ТАІ. Для сохранения связи с вращением Земли с 1 января 1972 г., как основа гражданского времени, используется универсальное или всемирное координированное время (UTC, *Universal Time Coordinated*), основанное на определении секунды через квантовый резонанс в атоме цезия ($Cs133$) и отличающееся на целое число секунд от атомного времени. За UTC не стоят никакие «материальные» часы». Эта шкала формируется Международным бюро мер и весов (ВІРМ) путем объединения данных лабораторий хранения времени различных стран, а также данных Международной службы вращения Земли (ІERS).

Повышение точности воспроизведения шкал времени и частоты первичными эталонами неминуемо требует улучшения качества работы систем

синхронизации шкал опорных генераторов, расположенных в измерительных пунктах. Экономически более предпочтительным является построение систем синхронизации, применение которых рассматривается в данной статье, на основе пассивного способа с использованием глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС).

Универсальное координированное время UTC, как всемирно признанный эталон в области измерения времени и частоты, формируется и распространяется в виде разницы $[UTC - UTC(k)]$, где $UTC(k)$ это реализация k-ой лабораторией шкалы времени UTC, в официальном документе ВІРМ – Циркуляре T (*Circular T*) по результатам ключевых сличений ССТФ-K001.UTC проводимых Международным Комитетом по времени и частоте и публикуемого в базе данных ключевых сличений (КСДВ, <http://kcdb.bipm.org>).

Первые шаги по разработке конкретных положений и процедур по оценке неопределенности получения упомянутой разницы, которая фактически означает оценку неопределенности UTC (k), приняты в [2]. Техническое приложение к Соглашению о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (СІРМ МРА) требует оценки неопределенности измерения разности шкал времени [3].

Цель этой статьи – рассмотреть нормативные и практические аспекты обеспечения прослеживаемости при выполнении калибровок разности шкал времени в соответствии с опубликованными в КСДВ СМС Украины по результатам ключевых сличений ССТФ- K001.UTC.

Правовые аспекты международных сличений

С целью международного признания национальной эталонной базы и обеспечения прослеживаемости к международно признанным эталонам Украиной 14 октября 2003 г. было подписано Со-

глашение CIPM MRA. В реализации этого соглашения в Украине участвуют 4 метрологических организации: Национальный научный центр «Институт метрологии», государственное предприятие «Укрметрестандарт», государственное предприятие «НИИ «Система» и государственное предприятие «Ивано-Франковскстарндартметрология», которые хранят и поддерживают государственные первичные эталоны.

Появление глобальной экономики потребовало открытой, прозрачной и всеобъемлющей системы обеспечения информации о сравнимости национальных измерительных услуг и технической базы для международной торговли и регуляторных дел.

В попытке достичь этой цели были созданы региональные организации, объединившие страны региона по географическому, экономическому или политическому признаку. Национальные метрологические институты (НМИ) этих стран тоже объединились в региональные метрологические организации (RMO). В ЕвроАзиатском регионе такой RMO стала COOMET – ЕвроАзиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений – созданная в 1991 году и объединяющая сегодня НМИ 18 стран [4, 5].

Известно, что региональные и международные рынки смогут работать более эффективно, когда технические барьеры в торговле будут устранены. С этой целью в Соглашении по техническим барьерам в торговле (ТВТ) Всемирной организации торговли (WTO) в статье 6 сформулировано, что центральные правительственные органы в странах-членах WTO «...обеспечивают признание результатов процедур оценки соответствия в других странах-членах, даже когда подобные процедуры отличаются от их собственных, при условии, что они удостоверяются в таком же соответствии данных процедур применяемым техническим регламентам или стандартам, как и их собственные процедуры» [6]. Следующим шагом на потребность в создании международной системы для установления эквивалентности измерений и тем самым снижения технических барьеров в торговле стала подготовка Международным комитетом мер и весов текста CIPM MRA. Как известно, НМИ сотрудничают и проводят международные сличения своих национальных эталонов в течение более сотни лет. Однако, полученное в результате этого признание не считалось достаточным, вот почему возникла потребность во всеобъемлющем соглашении.

Началом по его разработки послужила Резолюция 2 принятая 20-ой Генеральной Конференции по Мерам и Весам (CGPM) в 1995г., которая призвала к увеличению сотрудничества между НМИ, RMO и Международным Бюро Мер и Весов (BIPM) для улучшения прослеживаемости эталонов в мировом масштабе. В течение 1996г. имели место дискуссии

среди RMO о возможности составления региональных соглашений о взаимном признании. Это стимулировало BIPM на создание проекта соглашения в мировом масштабе, который был представлен на совещании директоров НМИ, состоявшемся в BIPM в феврале 1997 г. Одобрение этой инициативы привело к разработке окончательного текста, который был подписан 14 октября 1999г. во время проведения 21-й CGPM. Подпись под Соглашением CIPM MRA была официально поставлена делегатами правительств тридцати восьми стран-членов Метрической Конвенции, принявших на следующий день специальную Резолюцию «Взаимное признание национальных эталонов, сертификатов о калибровке и измерениях, выдаваемых национальными метрологическими институтами».

Общей координацией Соглашения CIPM MRA занимается BIPM под руководством Международного Комитета Мер и Весов (CIPM). За проведение ключевых и дополнительных сличений отвечают Консультативные комитеты (КК) CIPM, RMO и BIPM.

Для реализации части 2-й Соглашения CIPM MRA в феврале 1998 года создан Объединенный комитет региональных метрологических организаций и BIPM (JCRB). Основными видами его деятельности являются:

- координация и руководство экспертизами калибровочных и измерительных возможностей (CMC - Calibration and Measurement Capabilities) НМИ;
- разработка политики и руководящих документов по реализации Соглашения CIPM MRA с целью обеспечения взаимодействия RMO и CIPM.

Учреждение, которое подписывает Соглашение CIPM MRA, является координирующей организацией в стране и несет ответственность за установление соответствующего механизма чтобы избежать совпадения CMC одних назначенных институтов (НИ) с CMC других НИ на национальном уровне и соблюдения этими институтами процесса одобрения CMC, установленного JCRB.

Для реализации целей Соглашения CIPM MRA только один институт из страны может быть признан в качестве института, который несет национальную ответственность за определенную возможность (величину, измеряемую величину, матричную среду, диапазон измерения) и компетентность, за подачу соответствующих CMC и участие в соответствующих ключевых сличениях [7].

Калибровочные и измерительные возможности. «СМС – это калибровочная и измерительная возможность, предлагаемая клиентам на обычных условиях:

(а) опубликованная в базе данных ключевых сличений BIPM (KCDB) Соглашения CIPM MRA; или

(b) указанная в области аккредитации лаборатории, полученной от подписанта Соглашения ИЛАС.» [8]

Для того чтобы СМС получили одобрение на публикацию в *Приложении С* Соглашения СИРМ МРА, они должны быть сначала проверены и одобрены соответствующим Техническим комитетом/Рабочей группой (ТК/РГ) исходной РМО (экспертиза внутри РМО).

После получения этого одобрения СМС подвергаются межрегиональной экспертизе (экспертиза между РМО). Экспертизы подтверждают обоснованность СМС с точки зрения РМО и таким образом обеспечивают техническое доверие, необходимое для публикации. Ключевую роль в этом процессе играют ТК/РГ РМО, которые проводят техническую экспертизу и окончательное одобрение СМС-заявок.

Правила приема СМС. В соответствии с Разделом 3 Соглашения СИРМ МРА техническая поддержка соглашения достигается, главным образом, за счет *результатов ключевых и дополнительных* сличений. Доверие в поддерживаемых измерениях в дальнейшем подтверждается реализацией системы качества [9] удовлетворяющую требованиям ISO/IEC 17025.

Ключевые сличения разрабатываются для доказательства компетентности НМИ в основных методах каждой области. Они отбираются, проводятся и оцениваются Консультативными комитетами СИРМ. Региональные сличения проводятся ТК/РГ РМО и должны строго следовать протоколам ключевых сличений КК. Дополнительные сличения выполняются РМО независимо в случае, когда для СМС необходимо дополнительное подтверждение, не обеспечиваемое ключевыми сличениями. Результаты *ключевых и дополнительных сличений являются идеальным подтверждающим* доказательством для СМС. Ключевое или дополнительное сличение может обеспечить достаточное доказательство, подтверждающее заявки неопределенности группы связанных СМС. То, насколько обширной должна быть эта группа, является проблемой, рассматриваемой КК на непрерывной основе.

Критерии одобрения СМС. JCRB требует, чтобы СМС, представляемые для публикации в *Приложении С*, сопровождалась отчетом РМО, в котором указывается, что ТК/РГ одобрил диапазон и неопределенность данных СМС и что *все данные СМС поддерживаются полностью внедренной системой качества*, проверенной и одобренной местной РМО.

Помимо этого, JCRB требует, чтобы диапазон и неопределенность представляемых СМС не находились бы в противоречии с информацией, получаемой из некоторых или из всех нижеследующих источников [8]:

- 1) результатов ключевых и дополнительных сличений;
- 2) зарегистрированных результатов прошедших сличений в рамках КК, РМО или других сличений (включая двусторонние сличения);
- 3) информация о технической деятельности других НМИ, включая публикации;
- 4) отчеты о взаимных проверках на месте;
- 5) активное участие в проектах РМО;
- 6) другие известные сведения, подтверждающие знания и опыт.

Как уже говорилось, в то время как результаты ключевых и дополнительных сличений являются идеальным способом поддержки СМС, данные из всех других пяти вышеперечисленных источников могут рассматриваться как способ поддержки тех СМС, которые не имеют прямого отношения к имеющимся результатам сличений и тех СМС, по которым результаты сличений еще отсутствуют.

НМИ, которые формируют СМС, несут основную ответственность за предоставление, через ТК/РГ своих РМО информации, которая, по их мнению, необходима для поддержки заявляемых СМС. На межрегиональную экспертизу могут представляться только те СМС, которые поддерживаются полностью внедренной системой качества и которые прошли экспертизу и были одобрены соответствующей РМО. ТК/РГ других РМО могут, по мере необходимости, запрашивать дополнительную информацию.

Требования к прослеживаемости. Национальный метрологический институт или другой назначенный институт, публикующий СМС в базе данных КСДВ имеет два способа для установления маршрута прослеживаемости к единицам SI:

1. Через первичное воспроизведение или представление соответствующей единицы измерения. В этом случае прослеживаемость должна декларироваться до собственного подтвержденного воспроизведения единицы SI.

2. Через другой НМИ или НИ, имеющий соответствующие СМС с подходящей неопределенностью, которые опубликованы в КСДВ или через калибровочные и измерительные услуги, предлагаемые ВРМ. В этом случае прослеживаемость должна декларироваться через лабораторию, предоставляющую услугу.

Измерительные сличения. Технической базой Соглашения СИРМ МРА является совокупность результатов периодических ключевых сличений [10]. Ключевые сличения проводятся консультативными комитетами СИРМ, ВРМ и РМО, публикуются ВРМ и хранятся в КСДВ. Техническое приложение к Соглашению СИРМ МРА определяет правила проведения и виды ответственности, связанные с ключевыми сличениями [3].

Все проводимые сличения должны поддерживать Соглашение СИМ МРА и публиковаться для обеспечения прозрачности всего процесса. В отличие от обычных сличений, проводимых органами по аккредитации, результаты этих сличений не являются анонимными. Связь между каждым участником и его результатом должна быть явно указана в окончательном отчете, и эта информация является общедоступной.

Ключевые сличения. Ключевые сличения, проводимые КК или ВРМ, называются ключевыми сличениями СИМ. Участие в ключевом сличении СИМ открыто для тех лабораторий, которые обладают наивысшей технической компетентностью и опытом [3]. Ключевые сличения, проводимые региональными метрологическими организациями, называются ключевыми сличениями РМО. Ключевые сличения РМО должны быть связаны с соответствующими ключевыми сличениями СИМ посредством совместных участников.

Под степенью эквивалентности эталонов понимают степень, в которой эти эталоны соотносятся с исходными значениями, определенными в результате ключевых сличений, и таким образом, соотносятся друг с другом. Каждое опорное значение называется опорным значением ключевых сличений и, в большинстве случаев, его можно считать хорошим, но не обязательно наилучшим, приближением к значению SI. Степень эквивалентности национальных эталонов количественно выражается через ее отклонение от опорного значения ключевого сличения и неопределенность этого отклонения. Степень эквивалентности, полученная из ключевого сличения РМО, имеет тот же статус, что и значение, полученное из ключевого сличения СИМ.

Контроль влияния результатов сличений на заявки СМС. Система ответственности за обеспечение соответствия заявлений СМС НМИ результатам, полученным в ключевых и дополнительных сличениях, определяется следующим образом [10]:

1. НМИ, который заявляет СМС, несет первичную и основную ответственность.
2. Посредством своих технических комитетов/рабочих групп РМО должна проводить мониторинг влияния результатов ключевых и дополнительных сличений на заявления СМС своих НМИ.
3. Рабочие группы Консультативного комитета по СМС должны:
 - обеспечивать руководства по диапазону СМС, поддерживаемых определенными ключевыми и дополнительными сличениями;
 - определять области, в которых существует необходимость проведения добавочных ключевых и дополнительных сличений;
 - координировать экспертизу существующих СМС в контексте новых результатов ключевых и дополнительных сличений.

чевых и дополнительных сличений.

По состоянию на февраль 2011 года общее число СМС опубликованных в КСДВ составляло 24477 позиции, при этом Украиной опубликовано – 168 строк.

ННЦ «Институт метрологии» имеет 83 строки, из них 17 строк в области измерения времени и частоты. В настоящее время межрегиональную экспертизу дополнительно проходят еще 13 строк в области измерения времени и частоты.

Все диапазоны и неопределенности этих строк подтверждаются результатами международных сличений ССТФ- K001.UTC.

Оценка неопределенности при проведении калибровки разности шкал времени

В соответствии с Документом СИМ МРА D-04 [8], как правило, существует четыре способа выражения полного заявления неопределенности (диапазон, уравнение, фиксированное значение и матрица). Неопределенности всегда должны соответствовать Руководству по выражению неопределенности в измерениях (GUM) и включать компоненты, указанные в протоколах соответствующих ключевых сличений КК СИМ. Эти протоколы можно найти в отчетах по ключевым или дополнительным сличениям, опубликованных в КСДВ.

Часы местные по отношению к UTC(UA). Калибровка предназначена для определения действительного значения разности между шкалой времени калибруемого прибора (местные часы, Time and Frequency Calibration Services of NSCIM (Ukraine), строка 1), который доставлен на Государственный первичный эталон единицы времени – секунды, единицы частоты – Герца и национальной шкалы координированного времени Украины UTC(UA) (далее по тексту – ДЕГУ 07-01-97), и шкалой времени UTC(UA) [11].

Калибровка выполняется методом сравнения с помощью компаратора шкалы времени, которая воспроизводится калибруемым прибором, со шкалой времени UTC(UA), которая воспроизводится ДЕГУ 07-01-97. Измерения проводятся в соответствии с [12].

После получения результатов измерений проводятся вычисления действительного значения разности ΔT шкалы времени калибруемого прибора T_{clock} и национальной шкалы координированного времени Украины UTC(UA) по формуле:

$$\Delta T = T_{\text{clock}} - \text{UTC(UA)} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta T_i + \Delta T_{\text{системы}} + \Delta T_{\text{UA}}, \quad (1)$$

где ΔT_i , с – показания измерителя интервалов времени автоматизированной измерительной системы ($i = 1, 2, 3 \dots, N$); N – количество наблюдений на

інтервалі часу спостереження ($N \geq 100$);

$\Delta T_{\text{системи}}$, с – поправка на затримку сигналів між каналами по входу №4 і №10, отримана в відповідності з [13] в результаті калібрування автоматизованої вимірної системи еталона ДЕ-ТУ 07-01-97 з урахуванням підключених кабелів. При наявності в складі калібруваного приладу власного комплекту кабелів необхідно виробити вимірювання $\Delta T_{\text{системи}}$ в відповідності з [13] і використовувати отримане значення $\Delta T_{\text{системи}}$ при обробці результатів вимірювань.

ΔT_{UA} , с – розрахункове значення різниці національної шкали координованого часу України UTC(UA) і шкали часу формувача робочої шкали еталона $T_{\text{раб}}$ на теперішній час доби при проведенні вимірювань, отримане з допомогою автоматизованої вимірної системи в відповідності з [13].

Розширена неопределенність калібрування u при коефіцієнті охоплення $k = 2$ і довірливої ймовірності $p = 0,95$ в відповідності з [14] розраховується за формулою:

$$u = 2 \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (2)$$

де u_A – стандартна неопределенність за типом А; u_B – стандартна неопределенність за типом В.

Стандартна неопределенність u_A за типом А розраховується за формулою

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta T_i - \bar{M})^2}{N \cdot (N-1)}}, \quad (3)$$

де $\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$ – середнє значення різниці шкал

часу калібруваного приладу і робочої шкали часу еталона ($T_{\text{clock}} - T_{\text{раб}}$), отримане з допомогою автоматизованої вимірної системи при $N \geq 100$ вимірюваннях.

Стандартна неопределенність u_B за типом В розраховується за формулою

$$u_B = \sqrt{u_{\text{системи}}^2 + u_{\text{UA}}^2 + u_{\text{компаратора}}^2}, \quad (4)$$

де $u_{\text{компаратора}}$ – стандартна неопределенність, отримана для компаратора (вимірник інтервалів часу GT-200-10) в відповідності з рекомендаціями [14].

Часи місцеві по відношенню к UTC. Калібрування призначена для визначення дійсного значення різниці шкал часу калібруваного приладу (місцеві часи, Time and Frequency Calibration Services of NSCIM (Ukraine), рядок 2), який доставлений на ДЕТУ 07-01-97, і міжнародної шкали координованого часу UTC [11].

Калібрування виконується методом порівняння з допомогою компаратора (вимірник інтервалів вре-

мени GT 200-10) шкали часу, яка виробляється калібруваним приладом, з шкалою часу UTC, яка розраховується Міжнародним бюро мір і ваг. Вимірювання проводяться в відповідності з [15].

Визначення дійсного значення різниці ΔT шкали часу калібруваного приладу T_{clock} і міжнародної шкали координованого часу UTC проводяться за формулою

$$\Delta T = T_{\text{clock}} - \text{UTC} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta T_i + \Delta T_{\text{системи}} + \Delta T_{\text{UA}} + \Delta T_{\text{UTC(UA)}}, \quad (5)$$

де $\Delta T_{\text{UTC(UA)}}$, с – поправка на розходження національної шкали часу України UTC(UA) і шкали міжнародного координованого часу UTC. Для введення поправки в формулу (5) необхідно отримати Циркуляр Т (Circular T) з FTP сервера BIPM, адрес посилання: ftp://ftp2.bipm.org/pub/tai/publication/cirt.*** (де *** – цифри номера Циркуляра Т); або з WEB сервера BIPM, рядок запиту в таблиці секції 1 Циркуляра Т (Coordinated Universal Time UTC and its local realizations UTC(k). Computed values of [UTC-UTC(k)] and uncertainties valid for the period of this Circular) www.bipm.org/jsp/en/TimeFtp.jsp?TypePub=publication#nohref. Необхідно вибрати з рядка UA (Kharkov) значення поправки $\Delta T_{\text{UTC(UA)}}$ на розходження національної шкали часу України UTC(UA) і шкали міжнародного координованого часу UTC, що відповідає даті проведення калібрування MJD. В тому випадку, якщо дати поправок в Циркулярі Т не збігаються з датою проведення калібрування, необхідно вибрати поправки $\Delta T_{\text{UTC(UA)-}}$ і $\Delta T_{\text{UTC(UA)+}}$ на найближчі дні, що передує (MJD-) і наступує (MJD+) за датою проведення калібрування. Далі, проводиться розрахунок поправки $\Delta T_{\text{UTC(UA)}}$ на дату проведення вимірювань методом лінійної апроксимації. Відношення для розрахунок:

$$\Delta T_{\text{UTC(UA)}} = \frac{(\Delta T_{\text{UTC(UA)+}} - \Delta T_{\text{UTC(UA)-}}) \cdot (\text{MJD} - \text{MJD}_-)}{\text{MJD}_+ - \text{MJD}_-} + \Delta T_{\text{UTC(UA)-}} \quad (6)$$

Необхідно зазначити, що введення поправки $\Delta T_{\text{UTC(UA)}}$ виконується після публікації BIPM Циркуляра Т (Circular T), що містить інформацію про різницю ходу національної шкали часу України UTC(UA) і міжнародної координованої шкали часу UTC на момент часу проведення калібрування.

Стандартна неопределенність u_A за типом А розраховується за формулою (3).

Стандартна неопределенність за типом В u_B розраховується за формулою

$$u_B = \sqrt{u_{\text{системи}}^2 + u_{\text{UA}}^2 + u_{\text{компаратора}}^2 + u_{\text{UTC(UA)}}^2}, (7)$$

где $u_{\text{UTC(UA)}}$ – стандартная неопределенность, рассчитанная ВРМ для поправки $\Delta T_{\text{UTC(UA)}}$ на разность хода национальной шкалы времени Украины UTC(UA) относительно международной шкалы координированного времени UTC (публикуется в Циркуляре Т).

Расширенная неопределенность калибровки u при коэффициенте охвата $k = 2$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ рассчитывается по формуле (2).

Часы, удаленные по отношению к UTC(UA).

Калибровка предназначена для определения действительного значения разности шкал времени калибруемого прибора (удаленные часы, Time and Frequency Calibration Services of NSCIM (Ukraine),

строка 3), размещенного удаленно по отношению к ДЕГУ 07-01-97 [11].

Калибровка выполняется методом косвенного дифференциального сравнения с помощью компараторов (измерителей интервалов времени) шкалы времени, которая воспроизводится калибруемым прибором, и шкалы времени UTC(UA), которая воспроизводится ДЕГУ 07-01-97, с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Измерения проводятся в соответствии с [16].

Комплекс аппаратуры, необходимой для проведения калибровки удаленных часов состоит из аппаратуры потребителя и аппаратуры ДЕГУ 07-01-97. Структурная схема комплекса аппаратуры приведена на рис. 1.

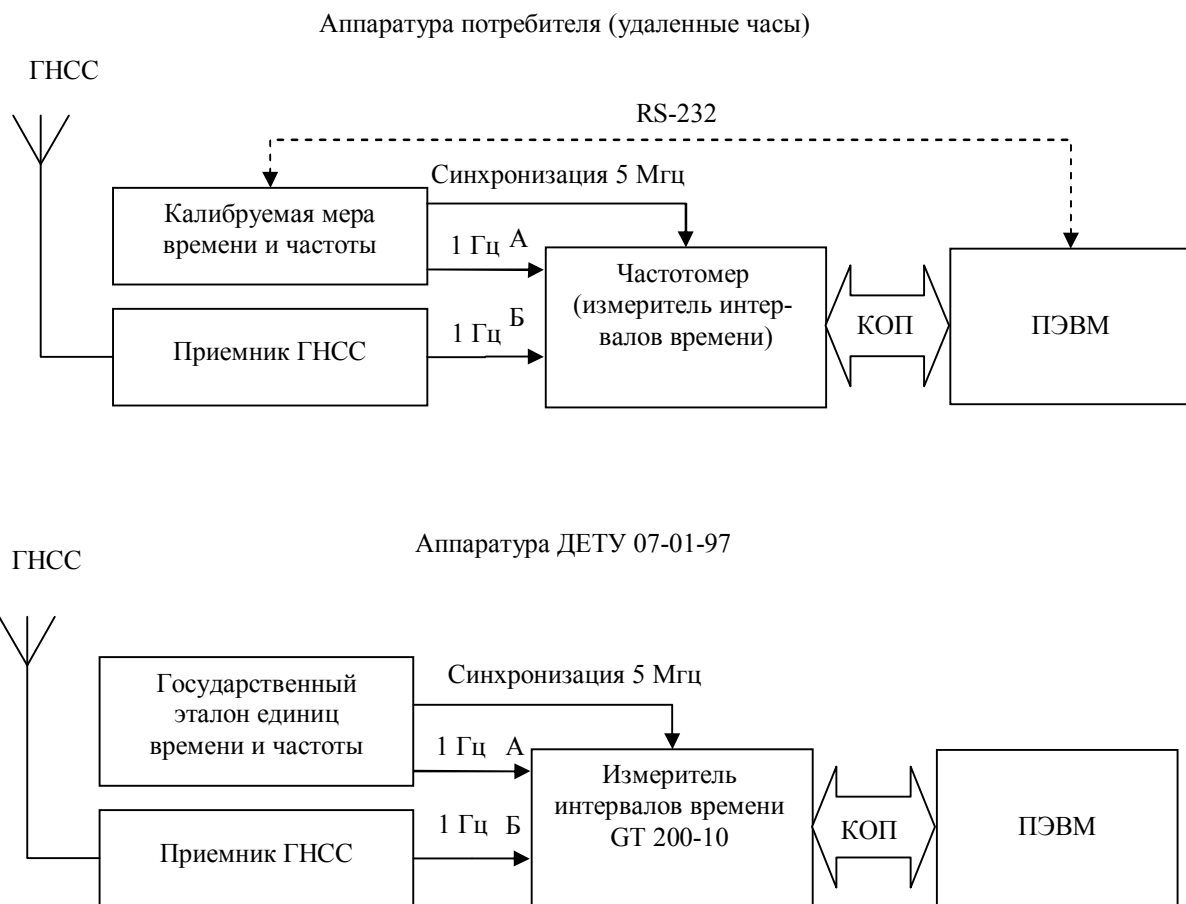


Рис. 1. Структурная схема комплекса аппаратуры для проведения калибровки удаленных часов

Измерение разности хода национальной шкалы времени Украины UTC(UA) и шкалы времени $T_{\text{ГНСС}}$ глобальной навигационной спутниковой системы производится на ДЕГУ 07-01-97 каждую секунду непрерывно в течении суток

$$\Delta T_{\text{UTC(UA)}} = \text{UTC(UA)} - T_{\text{ГНСС}}.$$

С помощью специализированного программного обеспечения производится статистическая обработка результатов измерений, определяется матема-

тическое ожидание $\Delta \bar{T}_{\text{UTC(UA)}}$ разности хода шкалы времени UTC(UA) и шкалы $T_{\text{ГНСС}}$ навигационного приемника глобальной спутниковой системы ГНСС.

Результаты измерений публикуются в бюллетене Т на сайте ННЦ «Институт метрологии».

В месте расположения калибруемого прибора при помощи измерителя интервалов времени (в составе электронно-счетного частотомера) осуществ-

ляется измерение интервала времени между передним фронтом импульса частоты 1 Гц шкалы времени МЧВ, которую калибруют, и импульсом частоты 1 Гц внутренней шкалы времени приемника ГНСС. На частотомер должен быть подан сигнал внешней синхронизации с частотой 5 МГц от эталонной МЧВ или от МЧВ, которую калибруют.

Информация с выхода частотомера (значение интервала времени) передается в ПЭВМ для дальнейшей обработки и хранения. ПЭВМ должна быть оборудована интерфейсом «канал общего пользования» (КОП) и иметь соответствующее программное обеспечение.

После окончания измерений значения разности $\Delta T_{КПij}$ шкалы времени калибруемого прибора $T_{КПij}$ и шкалы времени, формируемой приемником ГНСС $T_{ГНССij}$, заносится в массив данных ($i = 1, 2, \dots, I$; I – число измерений в серии, $j = 1, 2, \dots, J$; J – число серий на протяжении суток).

Массив данных с результатами измерений, в котором указывается время начала и продолжительность серий измерений, доставляется (пересылается по линии связи) на ДЕТУ 07-01-97 для дальнейшей обработки.

После получения массива данных с результатами измерений при помощи специализированного программного обеспечения вычисляется среднесуточное значение разности между шкалой времени МЧВ, которую калибруют, $\Delta \bar{T}_{КП}$, и шкалой времени формируемой приемником ГНСС – $T_{ГНСС}$

$$\Delta \bar{T}_{КП} = \frac{1}{I \cdot J} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (T_{КПij} - T_{ГНССij}). \quad (8)$$

Далее, вычисляется действительное значение $\Delta \bar{T}_{КП-UTC(UA)}$ разности шкал времени калибруемого прибора $\Delta \bar{T}_{КП}$ и национальной шкалы координированного времени Украины UTC(UA):

$$\Delta \bar{T}_{КП-UTC(UA)} = \Delta \bar{T}_{КП} - \Delta \bar{T}_{UTC(UA)}. \quad (9)$$

Стандартная неопределенность калибровки по типу А рассчитывается по формуле

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (\Delta T_{КПij} - \Delta \bar{T}_{КП})^2}{J \cdot I \cdot (I-1) \cdot (J-1)}}. \quad (10)$$

Стандартная неопределенность u_B по типу В рассчитывается по формуле

$$u_B = \sqrt{u_{КП}^2 + u_{КОМП}^2 + u_{UTC(UA)}^2 + u_{ГНСС}^2}, \quad (11)$$

где $u_{КП}$ – стандартная неопределенность формирования шкалы времени калибруемого прибора – удаленных часов (из паспортных данных или сертификата калибровки прибора);

$u_{КОМП}$ – стандартная неопределенность измерения интервалов времени компаратором аппарату-

ры потребителя (из паспортных данных или сертификата калибровки компаратора);

$u_{ГНСС}$ – стандартная неопределенность в формировании шкалы времени приемника ГНСС аппаратуры потребителя (из паспортных данных или сертификата калибровки приемника).

Расширенная неопределенность калибровки u при коэффициенте охвата $k = 2$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ рассчитывается по формуле (2).

Часы удаленные по отношению к UTC. Калибровка предназначена для определения действительного значения разности шкал времени калибруемого прибора (удаленные часы, Time and Frequency Calibration Services of NSCIM (Ukraine), строка 4), размещенного удаленно по отношению к ДЕТУ 07-01-97, и международной шкалы координированного времени UTC [11].

Калибровка выполняется методом дифференциального сличения шкал времени UTC (рассчитывается Международным бюро мер и весов) и калибруемого прибора с шкалой времени ГНСС. Измерения проводятся в соответствии с [17].

После получения массива данных с результатами измерений при помощи специализированного программного обеспечения по формуле (6) вычисляется среднесуточное значение разности между шкалой времени МЧВ, которую калибруют, $\Delta \bar{T}_{КП}$, и шкалой времени формируемой приемником ГНСС – $T_{ГНСС}$.

Далее, вычисляют действительное значение разности шкал времени калибруемого прибора $T_{КП}$ и международной шкалы координированного времени UTC:

$$\Delta \bar{T}_{КП-UTC} = \Delta \bar{T}_{КП} - \Delta \bar{T}_{UTC(UA)} + \Delta T_{UTC}, \quad (12)$$

где ΔT_{UTC} (поправка на расхождение национальной шкалы времени Украины UTC(UA) и шкалы международного координированного времени UTC) рассчитывается по алгоритму, изложенному для формулы (5).

Стандартная неопределенность калибровки по типу А рассчитывается по формуле (10).

Стандартная неопределенность по типу В u_B рассчитывается по формуле

$$u_B = \sqrt{u_{КП}^2 + u_{КОМП}^2 + u_{UTC(UA)}^2 + u_{ГНСС}^2 + u_{UTC}^2}. \quad (13)$$

Расширенная неопределенность калибровки u при коэффициенте охвата $k = 2$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ рассчитывается по формуле (2).

Выводы

Результаты калибровки оформляются в соответствии с ДСТУ 3989.

Значения разности шкал времени и значения неопределенности калибровки, рассчитанные по

формулам (1) – (13) приводяться в протоколі в табличному порядку в формі бюллетеня неопределенности.

Сертифікат калібровки оформляється в відповідності з Рекомендацією COOMET R/GM/15.

Форма сертифіката калібровки приведена в Рекомендації COOMET R/GM/15, *Приложение В*, а свідчення о калібровке в ДСТУ 3989.

По результатам калібровки приборів при опрацюванні дійсного значення різниці шкал часу для калібруваного прибору видається сертифікат з логотипом CIPM MRA і COOMET.

Таким образом, при проведенні калібровки вимірних приборів, формують шкалу часу, забезпечується прослідкованість як до Державного первинного еталону одиниці часу - секунди, одиниці частоти - Герца і національної шкали координованого часу України UTC(UA), так і до міжнародного еталону, який виробляє всесвітню координовану шкалу часу UTC.

Список литературы

1. Холл Дж. Л. Определение и измерение оптических частот: перспективы оптических часов – и не только / Дж. Л. Холл // УФН. – 2006. – Т. 176, № 12. – С. 1353-1367.
2. The evolution of uncertainties in [UTC – UTC(k)] / W. Lewandowsky, D. Matsakis, G. Panfilo, P. Tavella // Metrologia. – 2006. – 43. – P. 278-286.
3. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificated issued by national metrology institutes [Электронный ресурс]. – Paris, October 1999. – Режим доступа к ресурсу: http://www.bipm.org/en/cipm-mra/mra_online.html.
4. Neyezhnikov P. 20 years of COOMET: we measure together for a better tomorrow / P. Neyezhnikov // OIML Bulletin. – July 2011. – Vol. LII, № 3. – P. 32-37.
5. Нежмаков П.И. Деятельность региональной метрологической организации COOMET по обеспечению международного признания национальных эталонов и систем менеджмента качества национальных метрологических институтов / П.И. Нежмаков, Г.С. Сидоренко // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 4. – С. 56-62.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/17-tbt_e.htm.
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.bipm.org/cc/CIPM/Allowed/94/DESIGN/INSTITCIPM07.pdf>.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://www.bipm.org/utis/common/CIPM_MRA/CIPM_MRA-D-04.pdf.
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://www.bipm.org/utis/common/CIPM_MRA/CIPM_MRA-G-01.pdf.
10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://www.bipm.org/utis/common/CIPM_MRA/CIPM_MRA-D-05.pdf.
11. Calibration and Measurement Capabilities. Time and Frequency, Ukraine, NSCIM (National Scientific Center - Institute of Metrology). The BIPM key comparison database, December 2009. – 3 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://kcdb.bipm.org/AppendixC/TF/UA/TF_UA.pdf.
12. Метрология. Часы местные по отношению к UTC(UA). (Разность шкал времени). Методика калібровки. МКУ 07-20:2010. – X. – 17 с.
13. Методика проведения внутренних сличений стандартов частоты и времени в УМЦ ГСВЧ. – X. – 15 с.
14. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрология. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений» (IDT РМГ 43:2001). – 20 с.
15. Метрология. Часы местные по отношению к UTC. (Разность шкал времени). Методика калібровки. МКУ 07-21:2010. – X. – 18 с.
16. Метрология. Часы удаленные по отношению к UTC(UA). (Разность шкал времени. Дифференциальные сличения с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем). Методика калібровки. МКУ 07-28:2010. – X. – 20 с.
17. Метрология. Часы удаленные по отношению к UTC. (Разность шкал времени. Дифференциальные сличения с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем). Методика калібровки. МКУ 07-29:2010. – X. – 21 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ КАЛІБРУВАННЯ РІЗНИЦІ ШКАЛ ЧАСУ ПРИБОРІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОСТЕЖУВАНІСТІ ДО ВСЕСВІТНЬОГО КООРДИНОВАНОГО ЧАСУ

П.І. Нежмаков, В.Н. Романько

В статті розглянуто нормативні та практичні аспекти забезпечення прослідкованості при виконанні різниць шкал часу відповідно до опублікованих у КСДВ СМС України за результатами ключових звірів ССТФ-К001. UTC.

Ключові слова: невизначеність, вимірювання часу та частоти, калібрування, прослідкованість.

THE UNCERTAINTY OF THE CALIBRATION OF THE DIFFERENCE OF TIME SCALES, WHILE ENSURING TRACEABILITY TO COORDINATED UNIVERSAL TIME

P.I. Neyezhnikov, V.N. Romanko

The regulatory and practical aspects of traceability in the performance difference between the calibration time scales in accordance with the published in the KCDB Ukraine CMC by the results of key comparison CCF-K001. UTC are discussed.

Keywords: uncertainty, time and frequency measurement, calibration, traceability.