

Развитие методов и средств измерений Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли

С. Л. ПАСЫНОК, И. В. БЕЗМЕНОВ, М. Б. КАУФМАН

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических
и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия,
e-mail: pasynok@vniiftri.ru, bezmenov@vniiftri.ru

Рассмотрено развитие методов и средств измерений Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли.

Ключевые слова: вращение Земли, глобальная геодинамика, движение полюса, всемирное время.

The development of methods and measuring instruments of the State service for time, frequency and Earth rotation parameters determination is considered.

Key words: Earth rotation, global geodynamics, polar motion, universal time.

Долгое время в Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) наблюдали за суточным вращением Земли для решения следующих задач: построения равномерной и стабильной шкалы времени; определения вариаций вращения Земли (отклонений ее вращения от равномерного). Вариации вращения Земли характеризуются рядом параметров, которые называются параметрами вращения Земли (ПВЗ).

С изобретением атомных высокостабильных стандартов частоты, обладающих беспрецедентной стабильностью, для решения первой задачи перестали использовать результаты наблюдений за внеземными объектами. Развитие атомных технологий позволило создать такие высокоточные средства измерений (СИ), как радиоинтерферометры со сверхдлинными базами (РСДБ) и современные спутниковые СИ, позволяющие повысить точность определения вариаций вращения Земли сначала в десятки, а затем и сотни раз. Таким образом, с изобретением атомных стандартов частоты обе задачи стали решать на новом, более высоком, уровне точности. Поскольку результаты астрометрических и геодезических измерений применяют не только для определения ПВЗ, но и для сличения разнесенных шкал времени, а данные о последних, в свою очередь, используют при проведении измерений для определения ПВЗ, то обе области являются тесно взаимосвязанными и составляют основу координатно-временного обеспечения страны.

Так как результаты определения времени, частоты и ПВЗ используют во многих отраслях народного хозяйства, то важным является обеспечение единства измерений, что отражено в документах [1, 2]. Согласно [2] организации и институты различных министерств и ведомств, ведущие деятельность в этой области измерений, функционально объединены в единую организацию — ГСВЧ. Общее руководство ГСВЧ осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт РФ), а оперативное — Главный метрологический центр (ГМЦ) ГСВЧ. Информация о времени, частоте и ПВЗ, формируемая в ГМЦ, является обязательной к использованию на территории Российской Федерации.

Многие страны мира имеют национальные службы ПВЗ и участвуют в работе Международной службы вращения Земли и опорных систем отсчета (МСВЗ). На протяжении ряда десятилетий ГСВЧ не только обеспечивала потребности страны в данных о ПВЗ, но и вносила достойный информационный вклад в МСВЗ, который в 1970-х гг. составлял 1/3 от общемирового.

Круг задач, для решения которых необходимо иметь высокоточную информацию о ПВЗ, расширился в связи с тем, что во многих сферах деятельности стали активно применять искусственные спутники Земли (связь, телевидение, геодезия и навигация, прогнозы погоды, оборонные задачи и др.). Для управления полетом космических аппаратов или ракет измеряют расстояния или угловые направления до них с наземных пунктов и, следовательно, необходимо иметь точную информацию об ориентации Земли в пространстве в момент измерений, т. е. знать текущие значения ПВЗ. К числу областей производственной деятельности, нуждающихся в информации о ПВЗ, относятся: наземная и космическая геодезия, аэрокосмические съемки, картографирование; космическая, воздушная, наземная и морская навигация; метеорология; мониторинг природных ресурсов; экология, прогноз землетрясений и техногенных катастроф; мониторинг крупных объектов (плотин, газопроводов и т. д.) и обеспечение безопасности их эксплуатации.

Фундаментальные научные исследования на основе ПВЗ — это определение координат небесных объектов, геодинамика, изучение внутреннего строения Земли, геофизических явлений и их влияния на процессы, происходящие на поверхности Земли и в окружающем пространстве; динамика атмосферы, суши, океанов и ледников; исследования физических полей Земли. Особые требования к информации о ПВЗ, в особенности к оперативности и надежности обеспечения данными, обусловлены развитием современных средств техники.

Таким образом, работы по определению ПВЗ являются неотъемлемой частью деятельности ГСВЧ, составляя наряду с Государственным первичным эталоном единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭТ 1—2012)

метрологическую основу координатно-временного обеспечения страны.

Методы определения ПВЗ. Параметры вращения Земли характеризуют ориентацию земной системы координат (ЗСК) относительно небесной системы координат (НСК). Первая система связана с земной поверхностью, на которой располагаются СИ, а вторая — с инерциальным пространством, для которого и сформулированы законы механики.

С теоретической точки зрения, для определения взаимной ориентации двух систем координат достаточно задать три параметра, например углы Эйлера, однако, с прикладной точки зрения, удобно использовать большее число параметров: всемирное время UT1; координаты полюса; углы нутации и прецессии.

Для определения ПВЗ применяют астрометрические и геодезические измерения, основанные на приеме излучения от внеземных объектов. По разновидности используемых технических средств методы определения ПВЗ подразделяют на спутниковые, астрооптические и метод радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Регулярные астрооптические измерения для координатно-временного обеспечения страны начали проводить в России с 1863 г. К 1970-м гг. для решения этой задачи были привлечены около 20 обсерваторий СССР. История развития ГСВЧ в эти годы достаточно подробно описана в работе [3]. Однако с появлением новых высокоточных методов измерений (РСДБ и спутниковых) в МСВЗ отказались от применения результатов астрооптических измерений. В России СИ, работа которых основана на РСДБ, появились только в 2004 г., а регулярные измерения начались только после модернизации этих средств в рамках ФЦП ГЛОНАСС [4]. В результате в ГСВЧ результаты астрономических измерений стали использовать с ограничениями (только для определения всемирного времени UT1) с 2006 г., а полностью прекратили только в 2011 г.

Методы определения ПВЗ можно условно разделить на абсолютные и относительные. Относительные методы опираются на наблюдения за быстро движущимися легкими объектами — искусственными спутниками Земли (ИСЗ). Из-за чувствительности ИСЗ к малым возмущениям не удается полностью учесть медленное систематическое смещение орбит спутников относительно инерциального пространства, поэтому углы прецессии (нутации) и низкочастотный тренд во всемирном времени UT1 не могут быть определены спутниковыми методами с требуемой точностью. Таким образом, спутниковые методы позволяют определять только координаты полюса и продолжительность суток. По видам измерений спутниковые методы делятся на радионавигационные и лазерные. Радионавигационные спутниковые средства делятся на доплеровские и псевдодальномерные. Доплеровские измерения в ГСВЧ в настоящее время используют только для контроля систематической составляющей ПВЗ, поскольку по точности и оперативности определения ПВЗ они уступают радионавигационным псевдодальномерным измерениям.

Абсолютные методы основаны на наблюдениях за неподвижными (или практически неподвижными) объектами (такими как звезды или удаленные внегалактические источники радиоизлучения — квазары). По ним можно определять полный набор ПВЗ. Кроме того, все ПВЗ можно определять по наблюдениям за Луной, которая из-за размеров практически не реагирует на малые возмущения, которым

подвержены ИСЗ. Однако в настоящий момент станций лазерной лунной дальнометрии всего три. По причине более низкой точности и оперативности результаты их определений могут служить лишь для контроля систематической составляющей всемирного времени UT1, но никак не для его определения в ГСВЧ. В настоящее время единственным используемым в ГСВЧ высокоточным абсолютным методом измерений, позволяющим определять UT1 и углы прецессии (нутации), является метод РСДБ.

Определение ПВЗ в ГМЦ по отдельным видам измерений. В 1987 г. ПВЗ стали определять с помощью отечественных спутниковых радионавигационных измерений [5]. Исходными данными служили результаты измерений, полученные путем обработки данных радиоконтроля орбит спутников ГЛОНАСС. Эти данные получали в рамках штатного цикла информационного обеспечения системы. Результатом обработки являлись значения координат полюса Земли, всемирного времени и длительности суток. В том же году было начато использование спутниковых доплеровских измерений сигналов геодезического спутника ГЕО-ИК, выполнявшихся с 10—15 пунктов на территории нашей страны [6]. Эти данные позволяли определять только координаты полюса. Точность определений координат полюса по данным радиоконтроля орбит ГЛОНАСС и ГЕО-ИК заметно превышала точность астрооптических данных.

С 1995 г. были начаты вычисления ПВЗ по данным спутниковой лазерной локации двух пассивных геодезических спутников ЛАГЕОС. Метод спутниковой лазерной дальнометрии, в отличие от радионавигационных спутниковых методов наблюдений, можно применять только при безоблачной погоде. Он не зависит от погрешностей бортовых шкал времени и фазовых неоднозначностей измеряемых дальностей, потому может служить по отношению к радионавигационным спутниковым методам в качестве калибровочного.

Обработку результатов лазерных наблюдений выполняли с помощью программы ITALAS, разработанной по заказу ГМЦ в Институте теоретической астрономии РАН и модифицированной во ВНИИФТРИ в 1997 и 2000 гг. [7]. В последующее десятилетие были разработаны новые спутниковые лазерные дальнометры и точность вычислений ПВЗ по данным лазерной дальнометрии заметно повысилась. К сожалению, возможности, заложенные в вычислительной программе ITALAS, уже не могли обеспечивать выполнение новых требований, и ее использование в 2010 г. было приостановлено. В настоящее время в ГМЦ ведется подготовка к возобновлению регулярных оперативных вычислений ПВЗ по данным лазерной локации ИСЗ [8].

Собственные измерения методом спутниковой лазерной дальнометрии были начаты в ГМЦ в 1990-х гг. с помощью лазерных спутниковых дальномеров «Грань» и «Сажень-2». Все наблюдения передавались в центр сбора и обработки спутниковых лазерных измерений — Центр управления полетами Центрального научно-исследовательского института машиностроения (ЦУП ЦНИИМАШ), и после предварительного контроля — в МСВЗ. В последующие годы в связи с ростом требований к точности лазерных спутниковых дальномерных измерений возникла необходимость модернизации пункта лазерной спутниковой дальнометрии ГМЦ, которая и была проведена по ФЦП ГЛОНАСС в 2007—2011 гг. В результате старые дальнометры были демонтированы, а вместо них в ГМЦ и Восточно-Сибирском филиале ВНИИФТРИ (г. Иркутск) были установлены лазерные спутниковые даль-

номеры нового поколения — малогабаритные квантово-оптические системы «Сажень-ТМ-БИС». В настоящее время они включены в состав технических средств ГСВЧ [9]. На этих дальноточных проводятся регулярные измерения как для определения ПВЗ, так и для метрологического обеспечения Российской сети лазерной спутниковой дальнометрии и ГЛОНАСС [10].

Важный шаг в повышении точности и разрешающей способности определений ПВЗ — освоение спутникового радионавигационного метода двухчастотных фазовых измерений сигналов космической навигационной системы (КНС) GPS, а затем и ГЛОНАСС. Регулярные непрерывные измерения этим методом на пунктах ГСВЧ в Менделееве и Иркутске были начаты в 1995 г. с помощью GPS-приемников Trimble 4000SSE и Turbo Rogue. Результаты измерений по каналам Интернет оперативно поступали в ГМЦ и базы данных Международной геодезической службы IGS.

В 1998—1999 гг. на пунктах ГСВЧ в Менделееве, Иркутске и Хабаровске выполняли регулярные измерения с помощью совмещенных ГЛОНАСС/GPS приемников Ashtech Z-18, участвовавших в рамках международного проекта IGEX-98, а с 2001 г. на указанных пунктах и пунктах ГСВЧ в Новосибирске и Петропавловске-Камчатском действовали 5 приемников ГЛОНАСС/GPS типа JPS Legacy.

В 2007—2011 гг. в рамках модернизации пунктов метрологического контроля ГСВЧ, в частности средств определения ПВЗ, по программе [4] были закуплены и установлены на каждом из пунктов новые многоканальные и мультиспектральные GPS/GLONASS приемники JAVAD JNSS Sigma. В настоящее время результаты измерений в почасовом режиме поступают в ГМЦ и их используют для определения ПВЗ.

Оперативные вычисления ПВЗ по данным фазовых измерений сигналов ГНС были начаты в ГМЦ в 1999 г. К тому времени на территории России и стран СНГ уже регулярно измеряли сигналы GPS примерно на 15 пунктах, действовавших по геодезическим программам Российской академии наук (сейчас их число приближается к 40). Сеть пунктов охватывает довольно большой диапазон по долготе 22—123° в. д. и широте 39—72° с. ш. Обработывают измерения и вычисляют ежесуточные значения ПВЗ с помощью универсального программного комплекса BERNESSE [11]. Точность результатов определения ПВЗ приближается к уровню точности международной службы IGS (International GNSS Service).

При всех достоинствах спутниковых методов определений ПВЗ их основной недостаток состоит в принципиальной невозможности абсолютных определений всемирного времени UT1 — можно получать лишь продолжительность суток LOD. Метод РСДБ позволяет определять полный набор ПВЗ: координаты полюса (ориентировка Земли по отношению к оси ее суточного вращения); поправки к углам нутации (ориентировка оси вращения в инерциальной системе координат); всемирное время и длительность суток (текущая фаза и период суточного вращения). Как и в астрооптическом методе, определение ПВЗ сводится к измерению направлений непосредственно на объекты с известными положениями в инерциальной системе, но метод РСДБ обладает более высокой точностью. В настоящее время в России регулярные измерения с помощью метода РСДБ проводят на трех станциях комплекса КВАЗАР-КВО, созданного в Институте прикладной астрономии РАН (ИПА РАН), как совместно с пунктами международной РСДБ-сети, так и по собствен-

ной программе [12]. Корреляционная обработка измерений по российским программам происходит в Центре корреляционной обработки (ЦКО) ИПА РАН, а результаты выкладываются на ftp-сервер. Результаты измерений обрабатывают на корреляторе Института радиоастрономии им. Макса Планка Боннского университета. Результаты обработки этих измерений, а также измерений на зарубежных РСДБ средствах выкладывают в базы данных МСВЗ.

В ГМЦ измерения, выполненные методом РСДБ, начали обрабатывать с 2000 г. Исходными данными служили результаты наблюдений, ведущихся по международной программе NEOS-A, которая координируется Национальной службой вращения Земли США, и по другим международным программам. Корреляционная обработка данных наблюдений проводится в Военно-морской обсерватории США (USNO), и ее результаты — разности задержек приема сигналов, непосредственно используются для вычислений ПВЗ. До 2004 г. эти вычисления выполняли только в ИПА РАН и их результаты передавали в ГМЦ ГСВЧ. С 2004 г. в ГМЦ ГСВЧ обработку результатов РСДБ-измерений проводят с помощью программного комплекса OCCAM 5.0. С 2012 г. в ГМЦ ГСВЧ для получения полного набора ПВЗ после обработки результатов РСДБ-измерений используют программу VieVs [13], разработанную в Институте геодезии и геофизики Технологического университета (г. Вена, Австрия). Ее модернизация для определения ПВЗ и внедрение в регулярную работу выполнены в 2011 г. [14].

Определение и прогнозирование ПВЗ в ГМЦ по результатам совместной обработки (комбинирования) данных отдельных видов измерений. Каждый из методов определений ПВЗ имеет преимущества и недостатки и, следовательно, наиболее рациональным является комплексное использование этих методов. Такой подход позволяет получить полный набор рядов точных значений ПВЗ с высоким временным разрешением. Методика и алгоритмы совместной обработки определений ПВЗ за истекшие 50 лет также претерпевали изменения вследствие усовершенствования СИ и растущих требований к точности и оперативности выдачи данных.

Разработанная Д. Ю. Белоцерковским в 1951 г. и использовавшаяся в ГМЦ до середины 1970-х гг. методика вычислений всемирного времени UT1 [15], которое тогда принимали в качестве эталонного, ставила главной задачей построение равномерной шкалы времени и потому предусматривала сильное сглаживание данных астрономических наблюдений (на двухмесячном интервале). В результате ежемесячные официальные бюллетени «Эталонное время» выпускали с большой задержкой. С введением атомного времени и изменением функционального назначения астрономических методов в ГСВЧ потребовался пересмотр способа их математической обработки. Внедренный в 1975 г. вероятностно-статистический метод вычислений всемирного времени, разработанный М. Б. Кауфманом [16], обеспечил повышение разрешающей способности результатов до суток и оперативности их выдачи: бюллетени под новым названием «Всемирное время» стали выходить еженедельно. С 1985 г. кроме всемирного времени начаты вычисления также и координат полюса, сначала по данным астрооптических наблюдений широты, затем с использованием спутниковых измерений. Именно с этого момента в ГМЦ начали определять ПВЗ [17]. По мере внедрения новых способов измерений совершенствовалась и методика обработки,

обеспечивая объединение разнородных данных на основе методов математической статистики.

В настоящее время вычисление опорных оперативных значений ПВЗ осуществляется в соответствии с методикой, разработанной и внедренной Кауфманом М. Б. в 2006 г. для обеспечения ежесуточного формирования опорных значений ПВЗ ГСВЧ [18]. Эта методика разработана с учетом возросших требований к точности и оперативности выдачи текущих и прогнозируемых значений ПВЗ, возникших, в первую очередь, в связи с задачей эфемеридно-временного обеспечения модернизируемой системы ГЛОНАСС. Помимо существенного повышения оперативности выдачи данных, методика обеспечила более высокие точность ПВЗ (в результате использования большего объема измерений), а также прогнозируемость (вследствие использования последних измерений).

Результирующие значения ПВЗ образуются путем совместной обработки (комбинирования) 8 независимых рядов, формируемых в центрах обработки и анализа данных Росстандарта (ГМЦ ГСВЧ), РАН (ИПА РАН) и Роскосмоса (Системы высокоточного определения эфемерид и временных поправок ГЛОНАСС и Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»).

Как показывает анализ и многолетний опыт, среди указанных рядов наиболее устойчивыми в систематическом отношении являются ряды РСДБ и GPS, и именно среднее из их сглаженных значений, вычисляемых в ГМЦ, принято в качестве российской опорной системы ПВЗ. Для остальных рядов вычисляют систематические поправки путем экспоненциального сглаживания отклонений ПВЗ от опорных значений. После учета этих поправок образуются средние из значений ПВЗ каждого ряда с весами, принятыми на основании оценки точности за предшествующий календарный год.

Согласно принятой методике предусмотрены следующие основные этапы совместной обработки: исключение систе-

матических погрешностей индивидуальных рядов ПВЗ; образование средневзвешенных значений ПВЗ; прогнозирование; анализ результатов и оценка точности; формирование бюллетеней с выходными данными.

Вычисления ПВЗ на всех этапах проводят для каждого параметра — всемирного времени UT1 и координат полюса. Каждое утро до 10 часов Московского времени информацию о ПВЗ отправляют в автоматизированный центр управления системой «Цель» по автоматизированному каналу связи. Полученные значения относятся к 0 часам всемирного времени (UT1) каждых суток.

Вычисления по принятой методике ведут тремя циклами:

ежесуточно определяют *оперативные* значения ПВЗ за истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;

еженедельно (каждый четверг) перерабатывают накопленные измерения за истекшую календарную неделю, уточняют систематические погрешности используемых независимых рядов и вычисляют *срочные* значения ПВЗ;

спустя 5 недель после завершения очередного календарного месяца обрабатывают все накопленные за этот месяц измерения и вычисляют *окончательные* значения ПВЗ.

В результате вычислений по этой методике формируют информацию об оперативных официальных значениях ПВЗ, представленную в следующих видах:

бюллетени Q формируются ежесуточно и содержат оперативные значения ПВЗ за истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;

первая часть бюллетеня A формируется еженедельно (каждый четверг) и содержит срочные значения ПВЗ за истекшую неделю и прогноз на следующие 7 недель с недельным шагом. При этом перерабатываются накопленные измерения за истекшую календарную неделю и уточняются систематические погрешности используемых независимых рядов;

информационное сообщение DT по мере необходимости.

На всех этапах вычислений оценивается точность ПВЗ. Апостериорная оценка точности осуществляется по сравнению с *окончательными* опорными данными о ПВЗ ГСВЧ, которые публикуются ежемесячно во второй части бюллетеня А, а также с опорными окончательными данными о ПВЗ МСВЗ. Следует отметить, что точность окончательных данных ГСВЧ достаточно высока (табл. 1). Точностные характеристики оперативной информации о ПВЗ ГСВЧ (данных бюллетеней Q и A) приведены в табл. 2.

Окончательные опорные данные МСВЗ формируются спустя примерно месяц после измерений, а затем уточняются на протяжении года. Поэтому полезно сравнить с ними не только данные оперативных бюллетеней ГСВЧ, но и данные различных оперативных бюллетеней МСВЗ.

На рисунке изображены средние квадратические отклонения (СКО) различных оперативных данных о всемирном времени UT1 от опорных окончательных данных МСВЗ: оперативных данных ГСВЧ (бюллетеней Q и A); ежесуточных данных бюллетеня А Военно-морской обсерватории США (USNO); ежемесячных данных бюллетеня А USNO; данных бюллетеня В МСВЗ. Глубина данных численно равна временному интервалу, кото-

Таблица 1

Точность окончательных опорных значений ПВЗ ГСВЧ в 2013 г.

Точностная характеристика	U = UT1–UTC	X	Y
СКО	0,017 мс	0,00014"	0,00011"
Среднее отклонение	–0,004 мс	–0,00001"	+0,00001"

Таблица 2

Точность оперативных определений ПВЗ ГСВЧ в 2013 г.

Оперативные данные	Точностная характеристика	Источник опорных значений	UT1–UTC (10 ^{–3} с)	X (10 ^{–3} ")	Y (10 ^{–3} ")
Бюллетень Q	СКО	МСВЗ ГСВЧ	0,04 0,04	0,3 0,3	0,3 0,3
	Среднее отклонение	МСВЗ ГСВЧ	–0,02 –0,01	+0,1 +0,01	+0,1 –0,03
Первая часть бюллетеня А	СКО	МСВЗ ГСВЧ	0,03 0,03	0,2 0,2	0,2 0,2
	Среднее отклонение	МСВЗ ГСВЧ	–0,02 –0,01	+0,1 +0,01	+0,1 –0,01

рым разделены два момента: момент, к которому относятся опубликованные в бюллетене данные, и момент публикации бюллетеня.

Распространение данных о ПВЗ ГСВЧ осуществляется в соответствии с положениями и протоколами информационного взаимодействия:

ежедневно до 10 часов утра по Московскому времени отправляются по автоматизированному каналу связи между ГМЦ и АЦУС «Цель»;

выкладываются на сервер ГМЦ [19];

в случае нарушений в работе каналов связи рассылаются по факсу или сообщаются по телефону;

выпускаются в виде печатных бюллетеней серий А и Е и рассылаются по почте.

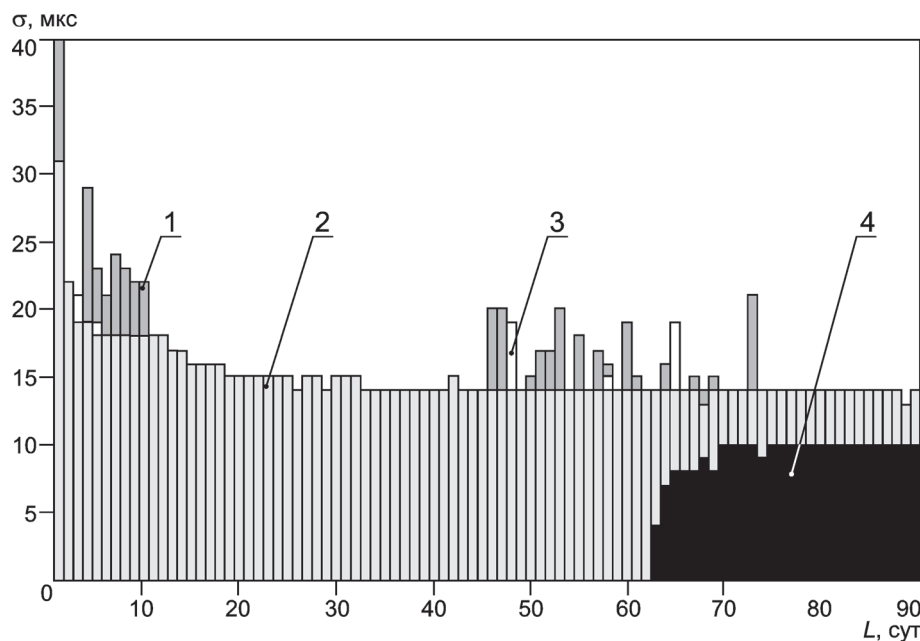
Перспективы развития методов и средств определения ПВЗ. Методы и средства ГСВЧ непрерывно совершенствуются. МСВЗ уже не считает сегодняшнее состояние соответствующим современным запросам науки и техники и ведет работы по развертыванию новой РСДБ-системы на основе малых (12-метровых) высокоскоростных (быстровращающихся) антенн. Это позволит совершить новый качественный скачок в точности и оперативности определения ПВЗ.

Модернизация отечественных средств определения ПВЗ проводится в рамках совершенствования комплекса средств определения и прогнозирования ПВЗ фундаментального сегмента ГЛОНАСС. В настоящее время по ФЦП ГЛОНАСС проводятся опытно-конструкторские работы «Квазар-М», «Корреляторы», «РВП» (ИПА РАН) и «Совмещение» (ВНИИФТРИ). Эти работы направлены на создание в России РСДБ-сети на основе малых высокоскоростных антенн и модернизацию средств обработки и анализа данных ГСВЧ. Опытно-конструкторская работа «Эфемериды» (Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения») направлена на создание в России лазерного лунного дальномера и чистых высокоточных отечественных эфемерид тел Солнечной системы.

В совокупности все работы должны обеспечить поддержание характеристик подсистемы определения ПВЗ ГСВЧ на высоком научно-техническом уровне, соответствующему мировому.

Л и т е р а т у р а

1. **Федеральный закон** от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. **Постановление** Правительства РФ от 23 марта 2001 г. № 225 «Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли».
3. **Белоцерковский Д. Ю., Палий Г. Н.** Государственная служба времени и частоты СССР // Измерительная техника. 1972. № 12. Р. 38—42; **Belotserkovskii D. Yu., Paliy G. N.** State time and frequency service in the USSR // Measurement Techniques. 1972. V. 15. N. 12. Р. 1804—1811.



СКО σ различных оперативных данных о всемирном времени от окончательных данных МСВЗ (L — глубина данных):

1 — оперативных данных ГСВЧ (бюллетеней Q и A); 2 — ежедневных данных бюллетеня А Военно-морской обсерватории США (USNO); 3 — ежемесячных данных бюллетеня А USNO; 4 — данных бюллетеня В МСВЗ

4. **Постановление** Правительства Российской Федерации № 587 от 20 августа 2001 г. «Об утверждении ФЦП «Глобальная навигационная система» (с изменениями, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации № 423 от 14 июля 2006 г.).

5. **Быханов Е. В., Кауфман М. Б.** Вычисление параметров вращения Земли в ГСВЧ с использованием данных навигационной системы ГЛОНАСС // Исследования в области измерений времени и частоты: Сб. научн. тр. ВНИИФТРИ. М, 1989.

6. **Бойков В. В., Каплан Б. Л., Максимов В. Г.** Определение ПВЗ по наблюдениям геодезического спутника ГЕО-ИК. Всемирное время и координаты полюса // Госстандарт СССР. Бюл. Е-65. М. 1991.

7. **Gayazov I. S., Kaufman M. B.** Analysis of the weekly ERP calculations on the basis of SLR data // Annales Geophysicae. EGS. 1996. Suppl. 1. V. 14. Pt. 1.

8. **Kaufman M. B., Pasynok S. L., Tsyba E. N.** Earth rotation parameters estimation based on SLR data using BERNESE 5.0 software // One-way and Two-way SLR for GNSS Co-located With RF Techniques: Intern. Scie.-Techn. Conf. (WPLTN-2012). September 24—28, St. Petersburg, Russia. 2012. P. 48—49.

9. **Приказ** Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 мая 2014 г. № 655 «О внесении изменений в Организационную структуру Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли Российской Федерации, утвержденную приказом Федерального агентства от 6 февраля 2007 г. № 324».

10. **Ignatenko I. Yu., Palchikov V. G., Zhestkov A. G.** New generation of the SLR station «Mendeleevo» // Proc. 17th Intern. Workshop on Laser Ranging. Bad Koetzing, Germany. 2011. P. 363—364.

11. **Bernese GPS Software.** Version 5.0 / Ed. R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez e. a. // Astronomical Institute of Bern University, 2007.

12. **Ипатов А. В. и др.** Ежедневные оперативные определения Всемирного времени по наблюдениям РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» // Тр. ИПА РАН. 2013. Вып. 27. С. 237—242. ISBN 978-5-93197-029-5.

13. **Boehm J. e. a.** Plans for the Vienna VLBI Software VieVS // Proc. 19th Europ. VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting. 24—25 March 2009, Bordeaux, edited by G. Bourda, P. Charlot and A. Collioud, 2009.

14. **Кауфман М. Б., Пасынок С. Л.** Оперативные вычисления параметров вращения Земли по данным РСДБ с помощью программы VieVS // Тр. ИПА РАН. 2012. Вып. 23. С. 361—363. ISBN 978-5-02-038188-9.

15. **Белоцерковский Д. Ю.** О вычислении эталонного времени в средние моменты передач радиосигналов // Труды институтов комитета стандартов. 1962. Вып. 58 (118).

16. **Кауфман М. Б.** «Вероятностно-статистический» метод вычисления всемирного времени из обработки астрономических наблюдений служб времени // Исследования в области измерений времени и частоты: Труды ВНИИФТРИ. 1976. Вып. 29 (59).

17. **Кауфман М. Б.** Методика вычислений параметров вращения Земли в ГСВЧ СССР // Измерительная техника. 1989. № 4. С. 38—39; **Kaufman M. B.** Procedure employed in SSTF USSR for calculating the earth's rotational parameters // Measurement Techniques. 1989. V. 32. N. 4. P. 348—350.

18. **Кауфман М. Б.** Точные методы измерения параметров вращения Земли в интересах навигационно-временных определений // Точные измерения для высоких технологий. Монография под общей редакцией П. А. Красовского. Менделеево: ВНИИФТРИ, 2008. С. 80—118.

19. **Сервер ВНИИФТРИ.** [Электрон. ресурс]. ftp://ftp.vniiftri.ru/Out_data/ (дата обращения 11.09.2014 г.)

Дата принятия 10.11.2014 г.

006.924.4

Система одно- и двухсторонних сравнений шкал времени

С. С. ДОНЧЕНКО, О. В. КОЛМОГОРОВ, Д. В. ПРОХОРОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия, e-mail: nio8@vniiftri.ru

Предложен способ одно- и двухсторонних сравнений шкал времени удаленных наземных объектов с использованием оптоволоконной линии связи. Оптический импульс с одного из объектов направляется в оптоволоконную линию, в шкале времени излучающего объекта определяются моменты времени излучения этого импульса и приема импульса, отраженного от конца оптоволоконной линии на втором объекте. На основании полученных данных определяется расхождение шкал времени объектов. Рассмотрена схема системы, реализующей указанный способ и позволяющей синхронизировать шкалы времени с погрешностью не более 100 пс.

Ключевые слова: сравнение шкал времени, передача шкалы времени, синхронизация.

The method for comparison and synchronization of time scales of distant terrestrial objects by means of unilateral and bilateral comparisons using a fiber-optic communication line is suggested. An optical pulse from one of objects is directed in fiber-optic line. In the time scale of this object the moments of pulse emission and of receiving the pulse reflected from the end of an optical fiber on the second object are determined. On the basis of this data the divergence of time scales is determined. A scheme system with an error less than 100 ps based on this method is proposed.

Key words: comparison of time scales, synchronization, time scale transfer.

Развитие глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, в первую очередь повышение ее точностных характеристик, невозможно без усовершенствования средств метрологического обеспечения. Одна из важных задач — обеспечение прослеживаемости средств измерений (СИ) системы, т. е. установление и документальное подтверждение их связи с государственными первичными эталонами физических величин посредством поверок и сличений.

В целях развития СИ ГЛОНАСС и достижения заданных технических характеристик системы во ВНИИФТРИ проводятся работы по созданию стационарного комплекса метрологического обеспечения (СКМО) средств оценки характеристик беззапросных и запросных измерительных радио-

технических средств наземного комплекса управления (НКУ), основу которого составляют СИ параметров навигационных сигналов ГЛОНАСС, антенно-фидерных устройств, а также средства воспроизведения навигационных сигналов и средства формирования шкалы времени. Данный комплекс предназначен для оценки точностных характеристик СИ ГЛОНАСС при проведении автономных и комплексных испытаний, испытаний в целях утверждения типа, первичной и периодической поверки.

Требованиями к СКМО НКУ предусмотрено обеспечение синхронизации шкал времени (ШВ) удаленных объектов в режиме реального времени с инструментальной погрешностью не более 100 пс. Один из объектов — аппаратно-программный комплекс формирования шкалы времени (АПК ФШВ)