

УДК 521.3 + 521.92

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПВЗ

С.Л. Пасынок

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

В России обязанность по формированию и выдаче (опорных) данных о параметрах вращения Земли, согласно Постановлениям Правительства РФ № 225 и 323, возложена на Главный метрологический центр Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ). Данные о ПВЗ определяются путём совместной обработки (комбинирования) результатов измерений различных видов: ГНСС, РСДБ, СЛД. Для обеспечения непрерывно растущих требований к точности определения ПВЗ средства измерений всех этих видов, как и средства обработки и анализа данных измерений, непрерывно совершенствуются. В статье кратко рассмотрены современные тенденции развития международных средств определения и прогнозирования ПВЗ, а также развитие средств определения и прогнозирования ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ» с точки зрения международных тенденций развития этих средств.

Ключевые слова: комбинирование, параметры вращения Земли, ГНСС, РСДБ, СЛД.

CURRENT DEVELOPMENT TRENDS OF EARTH'S ORIENTATION PARAMETERS EVALUATION AND PREDICTING FACILITIES

S.L. Pasynok

FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region
pasynok@vniiftri.ru

Main metrological center of the State Service for time, frequencies and EOP evaluation (MMC SSTF) is charged to form and disseminate of Russian official EOP data according to Government decrees of Russia № 225 and 323. These EOP are evaluated as result of combination of different geodetic technics measurements: GNSS, VLBI and SLR. These devices as such as analysis facilities are permanently improved to ensure permanently increasing EOP accuracy requirements. The current development trends of international facilities of EOP evaluation and predicting are shortly considered. The improvement of EOP evaluation and predicting facilities of MMC SSTF are considered from the point of view of international facilities development.

Key words: combination, Earth's orientation parameters, GNSS, VLBI, SLR.

Введение

В России обязанность по формированию и выдаче (опорных) данных о параметрах вращения Земли, согласно Постановлениям Правительства РФ № 225, возложена на Главный метрологический центр (ГМЦ) Государствен-

Альманах современной метрологии, 2020, № 1 (21)

ной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ). ГСВЧ — это межведомственная организация, объединяющая усилия предприятий различных министерств и ведомств, направленные на определение параметров вращения Земли и обеспечение единства измерений в этой части. Роль ГМЦ ГСВЧ исполняет НИО-7 ФГУП «ВНИИФТРИ». Данные о ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ формируются на основе совместной обработки (комбинирования) данных различных видов измерений:

- радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ);
- приём сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- спутниковая и лунная лазерная дальнометрия (СЛД и ЛЛД).

Для обеспечения непрерывно растущих требований к точности определения ПВЗ средства измерений всех этих видов, как и средства обработки и анализа данных измерений, непрерывно совершенствуются как в России, так и за рубежом. Эти средства образуют глобально пространственно распределённую измерительную систему, в которой условно можно выделить следующие подсистемы:

- измерительная подсистема (включая средства планирования измерений);
- передающая подсистема (каналы связи, средства передачи данных измерений по каналам связи в центры обработки и анализа данных);
- подсистема обработки и анализа данных (центры обработки и анализа данных, центры первичной (корреляционной) обработки данных РСДБ-измерений (ЦКО) и другие).

Следует заметить, что передающая подсистема до недавнего времени даже не рассматривалась, поскольку она функционально включала в себя существующие коммерческие каналы связи, и расходы по передаче данных (измерений и их частичной обработки) составляли незначительную часть от общей стоимости работ. Однако в связи с появлением РСДБ-систем нового поколения вопрос встал очень остро, поскольку объёмы данных стали настолько велики (десятки терабайт за сутки), что коммерческая стоимость передачи данных стала сравнима со стоимостью всех остальных работ. Другая причина, по которой передающая подсистема стала упоминаться, — необходимость работы средств измерений в режиме, близком к реальному времени.

Также следует заметить, что для определения ПВЗ используются также вспомогательные виды измерений, такие как система определения орбит и положений по доплеровским спутниковым измерениям (DORIS), локальные геодезические сети, метеостанции, средства измерения уровня грунтовых вод, гравиметры и средства определения отклонения отвесных линий и др. В этой статье их совершенствование рассматриваться не будет. Также не будут рассматриваться квантовые средства определения ПВЗ, такие как лазерные гироскопы (кольцевые и оптоволоконные), атомные спиновые гироскопы (ядерно-магнитно-резонансные и на основе квантовых свойств сверхпро-

водящей жидкости), а также атомные интерферометры, поскольку они пока только развиваются и ещё не вышли на современный уровень точности определения ПВЗ.

1. Международные тенденции развития измерительной подсистемы для целей определения ПВЗ и установления и поддержания земной системы координат

Поскольку различные виды измерений обладают своими систематическими и случайными погрешностями, то наиболее ценными являются те пункты измерений, на которых имеются измерения всех трёх основных видов (РСДБ, ГНСС и СЛД), взаимные положения опорных точек которых (вектора привязки) контролируются методами классической геодезии. Такие пункты называют пунктами колокации. Кроме того, многие пункты имеют оборудование разных поколений. Поэтому фундаментальными опорными астрономо-геодезическими пунктами сети нового поколения должны являться пункты колокации, оснащённые средствами измерений нового поколения (VGOS (ранее — VLBI2010[1]), ГНСС нового поколения, СЛД и ЛЛД стандарта SLR2000 [2]). Если на пункте имеются только два из трёх видов измерений, то такой пункт называется пунктом с частичной колокацией. Измерения с пунктов колокации, оснащённых средствами измерений прошлых поколений и с пунктов частичной колокации также будут привлекаться, но использоваться с меньшим весом. Что же касается пунктов, обладающих только одним видом измерительных средств (как правило, это ГНСС), то они будут использоваться в основном для передачи высокоточных значений координат с пунктов полной или частичной колокации и, возможно, для более точного определения тропосферной поправки.

Основные требования к совершенствованию фундаментальной опорной сети пунктов нового поколения рассмотрены в [3]. Ещё одним требованием к пункту нового поколения является по возможности наиболее полная автоматизация процесса измерений. В идеале такой пункт измерения должен управляться удалённо, и визит обслуживающего персонала будет необходим только для ремонта или работ по техническому обслуживанию оборудования.

Средства РСДБ-измерений нового поколения основаны на применении быстроповоротных (полный оборот за половину минуты) антенн малого диаметра (около 13 м) и осуществлении широкополосного приёма (от 2 до 15 ГГц). В качестве примера приводится парный радиотелескоп обсерватории Ветцель (Германия), см. рис. 1 (Электронный ресурс. URL: <https://www.tum.de/nc/en/about-tum/news/press-releases/details/30824/>. Дата обращения: 23.10.2019).



Рис. 1. Радиотелескоп для РСДБ-сетей нового поколения

Средства нового поколения ГНСС — это коммерческие мультисистемные приёмники, способные принимать сигналы от космических аппаратов (КА) всех доступных ГНСС: GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, Beidou (COMPASS) и тех, которые будут созданы в будущем.

Средства СЛД нового поколения основаны [2] на осуществлении однофотонного приёма, что также приведёт к снижению интенсивности лазерного излучения до уровня полностью безопасного для глаз человека, оснащению лазерных дальномеров пикосекундными таймерами с опцией «мультистоп» (*multi-stop*) с разрешением в единицы пикосекунд, а также высокой частоте повторения импульсов (от 100 Гц до 2 кГц). В качестве примера приводится спутниковый лазерный дальномер нового поколения Годдардовской астрономо-геофизической обсерватории (*Goddard Geophysical and Astronomical Observatory — GGAO*) НАСА, США, см. рис. 2 (Электронный ресурс. URL: <https://space-eodesy.nasa.gov/NSGN/sites/GGAO/images/sl2000.gif>. Дата обращения: 16.08.19).

В качестве примера фундаментального опорного пункта нового поколения приводится Годдардовская астрономо-геофизическая обсерватория США. Аппаратура этого пункта и его общий вид изображены на рис. 3 (Электронный ресурс. URL: https://space-geodesy.nasa.gov/docs/2011/04_Core_Sites_and_the_Role_GGOS.3.pdf. Дата обращения: 19.08.19).



Рис. 2. Спутниковый лазерный дальномер нового поколения

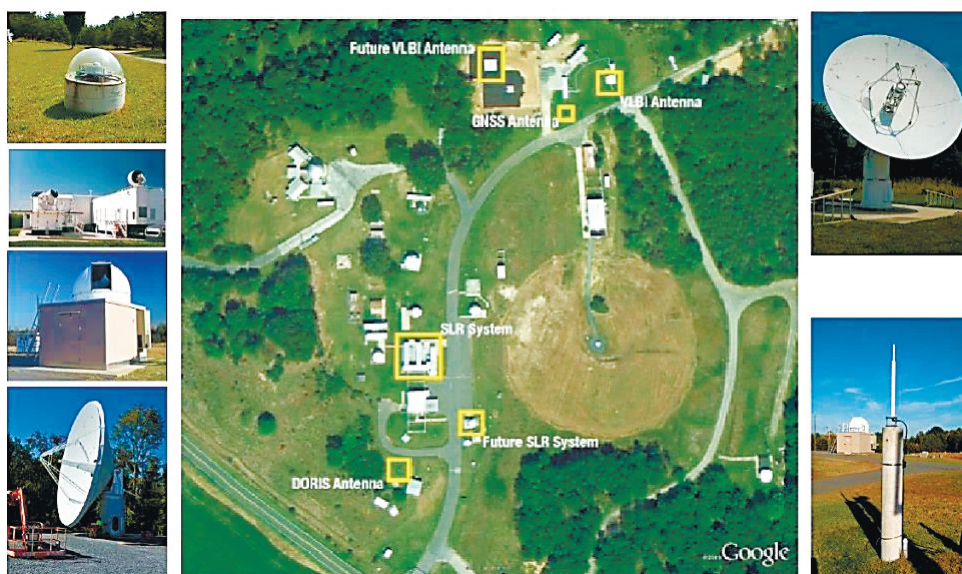


Рис. 3. Аппаратура Годдардовской астрономо-геофизической обсерватории США и её общий вид

Поскольку фундаментальный опорный пункт с учётом вспомогательных средств измерений представляет собой целую астрономо-геодезическую обсерваторию, то создание таких пунктов очень дорогое удовольствие. Возникает вопрос: сколько же таких пунктов нужно и как они должны быть расположены, чтобы решить задачи по достижению точностей, провозглашён-

Альманах современной метрологии, 2020, № 1 (21)

ных в проектах GGOS, VGOS, SLR2000 и других? Согласно [3], в результате предварительного анализа НАСА с целью проектирования сети фундаментальных опорных пунктов нового поколения было получено, что для этого необходимо примерно 30 глобально распределённых пунктов колокации нового поколения. Дополнительные пункты колокации предыдущего поколения, частичной колокации ГНСС усилят сеть, улучшив покрытие и обеспечив передачу координат с фундаментальных пунктов потребителям во всех уголках Земного шара.

В завершение этого пункта следует заметить, что спутниковые средства измерения делятся на наземные и космические. Тенденции развития наземных средств рассмотрены выше. Космические средства состоят из искусственных спутников Земли и естественного спутника Земли — Луны, несущих ретрорефлекторы и бортовую аппаратуру межспутниковых измерений (БАМИ), позволяющую осуществить так называемую «колокацию в космосе», и они также будут совершенствоваться. Но их совершенствование не предмет настоящей статьи, в которой рассматривается только наземный сегмент измерительной подсистемы.

2. Международные тенденции развития передающей подсистемы

Основную проблему обеспечения передачи информации составляет, прежде всего, передача результатов измерений, полученных с помощью РСДБ-антенн нового поколения в центры корреляционной обработки (ЦКО) в реальном времени. Для этого должны использоваться высокоскоростные оптоволоконные линии связи (ВОЛС) с пропускной способностью не менее 8 Гбит/с (в будущем планируется её увеличение до 32 Гбит/с). Такая техника разработана и изготавливается серийно, но коммерческие цены аренды канала связи с требуемой пропускной способностью очень большие. Однако за рубежом компании предоставляют возможность научно-исследовательским институтам пользоваться своими каналами на безвозмездной основе, либо в качестве рекламы, либо имея за это налоговые льготы.

Международной РСДБ службой развивается проект e-VLBI, который призван решить, в том числе проблему передачи данных в реальном времени. В рамках европейской РСДБ-сети этот проект реализован, но для гораздо меньших скоростей передачи данных. В настоящее время возможности e-VLBI этой сети составляют 8 станций, осуществляющих передачу со скоростью 2 Гбит/с или 15 телескопов со скоростью 1 Гбит/с. Расписание работы европейской РСДБ-сети в режиме e-VLBI на 2018–2019 год доступно по электронному адресу: http://old.evlbi.org/evlbi/e-vlbi_status.html. Следует заметить, что все станции российского РСДБ-комплекса КВАЗАР-КВО, созданного в Институте прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН), также участвуют в работе EVN пока на скорости 1 Гбит/с.

3. Международные тенденции развития подсистемы обработки и анализа данных

Частично тенденции развития подсистемы обработки и анализа данных связаны с совершенствованием измерительных средств. Так, средства корреляционной обработки должны уметь обработать данные первичных РСДБ-измерений с новой широкополосной РСДБ-системы. Программные средства обработки ГНСС измерений должны уметь проводить совместную обработку измерений всех доступных ГНСС. При этом, поскольку число измерений возрастёт в разы, необходимо повышать быстродействие электронно-вычислительных машин и привлекать специальные ухищрения (распараллеливание вычислений), чтобы оперативно получать результаты обработки. Программные средства обработки СЛД измерений должны уметь работать с данными измерений от новых станций.

Другая причина необходимости модернизации — изменение форматов представления данных.

Так, для наиболее универсального использования данных РСДБ-измерений Рабочей группой № 4 Международной РСДБ службы (IVS-WG4) был разработан новый формат представления данных — vgosDB [4]. В конце 2018 года Международная служба вращения Земли и опорных систем (МСВЗ, IERS) перестала выкладывать результаты суточных сессий РСДБ-наблюдений в привычных форматах NGS и MK3.

Для данных ГНСС-измерений совместными усилиями Рабочей группы IGS RINEX и комитета RTCM SC-104 был разработан новый формат представления ГНСС измерений — RINEX 3.04 (Электронный ресурс. URL: <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201096516-IGS-Formats>. Дата обращения: 25.10.2019).

Третьей причиной является необходимость совершенствования моделей физических процессов и обработки данных измерений. Прежде всего, это касается определения тропосферной задержки. Ионосферная задержка представляет меньшую проблему благодаря возможности исключить ионосферную поправку путём использования измерений на нескольких частотах, используя известную зависимость ионосферной поправки от частоты. Неопределённость типа А вычисления тропосферной поправки, например, из измерений, достаточно мала: СКО от 3 до 6 мм в апостериорном режиме. Но неопределённость типа В (систематические отклонения определений тропосферной задержки, определённой с помощью одного метода от другого) составляет от 6 мм до 2 см [5], что в разы больше миллиметровой точности, заявленной в GGOS [3]. То есть, в любом случае, полная погрешность определения тропосферной задержки находится в районе сантиметра.

Повысить точность определения тропосферной задержки можно, используя приборы, которые могут напрямую измерять тропосферную задержку,

например радиометр водяного пара. Этот прибор определяет радиояркостную температуру атмосферы по результатам измерений вблизи линий излучения водяного пара. Далее на основании зависимости между радиояркостной температурой и содержанием водяного пара рассчитывается содержание последнего. Однако у радиометра водяного пара при большой влажности — примерно 80% и выше, наблюдаются достаточно сильные отклонения от 2 до 4 см от данных по влажной тропосферной поправке, вычисленной по другим методам измерений [5]. Поэтому становится ясно, что решить проблему определения полной тропосферной задержки при миллиметровых требованиях к точности с помощью одних только радиометров водяного пара не удастся. Другой (или дополнительной) возможностью является использование измерительной ГНСС-информации с пунктов сгущений между фундаментальными опорными пунктами.

Возможно также, что при миллиметровых требованиях точности сама модель тропосферной задержки в виде суммы произведений сухой и влажной составляющей тропосферной задержки в зените на соответствующие картирующие функции плюс градиентная часть, зависящая от синуса и косинуса азимута, может оказаться неполной, и попытки уточнения общей модели тропосферной задержки уже делаются (см., например, [6]).

Помимо тропосферной задержки необходимо совершенствование и стандартов обработки данных. В настоящее время при обработке измерений используются стандарты [7] МСВЗ. Однако в части вращения Земли должно быть проведено их совершенствование в следующих направлениях [8]:

- учёт членов второго порядка в уравнениях вращательного движения Земли;
- ликвидация несогласованности действующей теории нутации и теории прецессии, а также новых данных, полученных из измерений последних лет;
- построение моделей внутригодовых вариаций движения полюса (декадных, внутрисуточных и других);
- использование более точных моделей внутреннего строения Земли (учёт нерадиальной неоднородности мантии, топографии границы ядро — мантия, более точного учёта электромагнитных сил с учётом вариаций скоростей и давления в жидком ядре и т.д.).

При этом новые процедуры должны предусматривать, по возможности, максимально простые пути их изменения при дальнейшем уточнении стандартов МСВЗ.

Следующей важной проблемой является повышение точности прогнозирования ПВЗ. Для этого нужно учитывать дополнительные геофизические данные, связанные с круговоротом геофизических флюидов (подвижных фракций планеты Земля, таких как осадки, атмосфера и океаны, ледники, грунтовые воды и др.). Для решения этой задачи международные службы

регулярно собирают и сохраняют данные о температуре, давлении и влажности, скоростях течений и ветра. Для повышения точности прогнозирования ПВЗ, в рамках МСВЗ для обработки этих данных созданы особые бюро по каждому типу геофизических флюидов [9]:

- особое бюро по определению атмосферного углового момента;
- особое бюро по определению углового момента океанов;
- особое бюро по определению гидрологического углового момента;
- особое бюро по совместной обработке (комбинированию) этих данных.

На их основе формируются данные о глобальном угловом моменте геофизических флюидов, которые затем используются для краткосрочного прогноза ПВЗ (на интервале до двух недель) [9].

Так как каждый из вышеупомянутых методов измерений (РСДБ, ГНСС и СЛД) обладает своими неопределённостями, возможностями, достоинствами и недостатками, то представляется разумным проводить их совместную обработку (комбинирование), чтобы использовать сильные стороны отдельных методов измерений и подавить слабые. Конечно, неопределённость типа А при этом несколько возрастёт, но зато будет значительно уменьшена неопределённость типа В.

Можно показать, что при разумных положениях относительно точности входных данных и их погрешности комбинированные значения всегда будут в систематическом отношении более устойчивы и в среднем наиболее близки к точным значениям.

Кроме того, совместная обработка важна и с точки зрения обеспечения единства измерений. Совокупность параметров вращения Земли образует принятую опорную шкалу направлений в пространстве. Согласно Международному словарю основных и общих терминов в метрологии (*International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms* (VIM)), принятая опорная шкала (англ. *conventional reference scale*) — шкала значений величины, установленная официальным соглашением. Такое соглашение закрепляется соответствующим нормативным актом (постановлением, стандартом и т.д.).

В настоящее время основной тенденцией является переход на совместную обработку (комбинирование) на уровне нормальных уравнений, сохранённых в виде SINEX-файлов (*Solution INdependent EXchange format* — независимый от программного обеспечения формат представления нормальных уравнений и их решений). С 2002 года так формирует свой комбинированный ряд ПВЗ Международная ГНСС служба (IGS). С 1 января 2007 года Международная РСДБ служба (IVS) использует строгий метод комбинирования нормальных уравнений и результатов их решения для совместной обработки результатов РСДБ-измерений для целей определения официальных данных о ПВЗ IVS. Для внедрения этой технологии для комбинирования результатов измерений различных видов в 2009 году была создана рабочая

группа MCB3 по исследованиям технологий совместного решения на уровне измерений (*Working Group on Combination at the Observation Level (COL-WG)*)).

Обработка результатов отдельных измерительных сессий на уровне SINEX-файлов позволяет одновременно получать согласованные между собой координаты источников, наземных пунктов и ПВЗ. Кроме того, эта технология позволяет легко добавлять/исключать пункты из решения, а также добавлять, например, данные о векторах привязки без внесения существенных изменений в программное обеспечение.

Правда, следует заметить, что пока оперативную службу определения и прогнозирования ПВЗ MCB3 ведёт методом комбинирования временных рядов. Комбинирование на основе SINEX-файлов за рубежом используется пока только для апостериорных данных.

4. Совершенствование средств определения и прогнозирования ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ»

В России фундаментальную основу координатно-временного обеспечения образуют пункты, дополненные пунктами фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). В соответствии с тенденциями развития средств определения и прогнозирования ПВЗ, минимум шесть из пунктов ФАГС должны являться фундаментальными опорными пунктами нового поколения, быть равномерно распределёнными вблизи границ территории Российской Федерации и обеспечивать максимальный охват её территории. Остальные пункты ФАГС должны являться также, по возможности, пунктами частичной колокации.

В настоящее время ФГУП «ВНИИФТРИ» имеет средства измерений для целей определения ПВЗ на пяти пунктах метрологического контроля Росстандарта, расположенных в Менделеево (mdvj, mdvl), г. Новосибирске (novm), г. Иркутске (irkj, irkl), г. Хабаровске (khas) и г. Петропавловске-Камчатском (pett). На этих пунктах размещены эталоны времени и частоты, составляющие фундаментальную основу временного обеспечения России. На пунктах метрологического контроля Росстандарта ведутся непрерывные ежесуточные ГНСС измерения и, по мере открытия погодных окон, СЛД измерения с помощью спутниковых лазерных дальномеров «Сажень — ТМ — БИС». В настоящее время на пунктах в Иркутске и Менделеево установлены также спутниковые лазерные системы нового поколения [10], отвечающие стандарту SLR2000.

Все пять пунктов входят в состав фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), три пункта (Менделеево, Иркутск и Новосибирск) входят в состав сети пунктов Международной земной координатной основы (ITRF) и Международной ГНСС службы (IGS). Два пункта (Менделеево и Иркутск)

являются пунктами с частичной колокацией, поскольку на них имеются средства приёма сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и спутниковой лазерной дальнометрии, и входят в состав сети Международной службы лазерной дальнометрии спутников и Луны (ILRS). Один пункт (Менделеево) входит также в состав Европейской геодезической сети (EPN).

Хотя во ФГУП «ВНИИФТРИ» и не имеется средств РСДБ нового поколения стандарта VGOS, однако результаты первичной (корреляционной) обработки измерений с таких средств, созданных в ИПА РАН [11], поступают в ГМЦ ГСВЧ в режиме службы, где они используются для определений всемирного времени. Использование этих данных позволило в разы повысить точность определения всемирного времени. На рисунке 4 показаны отклонения сводных значений UT1, формируемых в ГМЦ ГСВЧ, до (штрихованная линия) и после (сплошная линия) использования данных с антенн нового поколения.

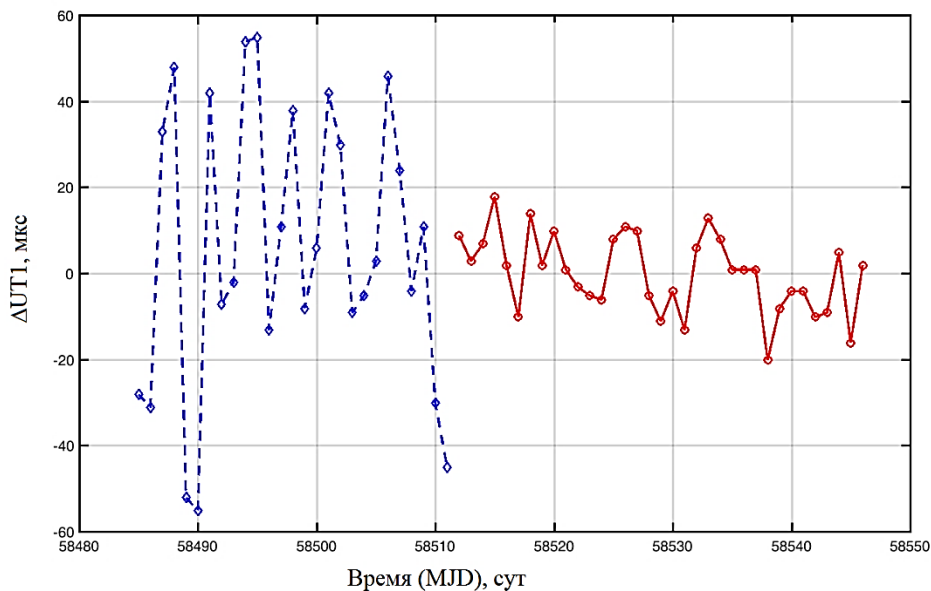


Рис. 4. Отклонение сводных значений UT1 от данных МСВЗ (пояснения в тексте)

Работы по модернизации программного обеспечения вторичной (пост-корреляционной) обработки РСДБ-измерений ГМЦ ГСВЧ, проведённые в конце 2018 – начале 2019 года [12], позволили перейти на использование результатов первичной (корреляционной) обработки РСДБ-измерений в новом формате (vgosDB), что было очень своевременно, поскольку с лета 2019 года Международная РСДБ служба полностью прекратила формирование файлов задержек в старых форматах.

В части развития программного обеспечения для мультисистемной (в смысле многих ГНСС систем, а не в смысле операционных систем) обработки данных ГНСС измерений во ФГУП «ВНИИФТРИ» был разработан программный комплекс оперативного определения орбит и поправок часов космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС и GPS. Алгоритм основан на совместном использовании как измерений GPS, так и ГЛОНАСС с более чем 500 станций слежения Международной ГНСС сети (IGS) [13]. Работы по разработке и совершенствованию программного обеспечения для мультисистемной обработки ГНСС-измерений продолжают. Следует заметить, что с увеличением числа навигационных систем и количества данных измерений повышаются требования к быстродействию вычислительной техники.

В настоящее время АО «НПК «СПП» проводит работы по созданию отечественного лунного лазерного дальномера (ЛЛД) [14]. Одним из применений ЛЛД является определение всемирного времени по результатам измерений методом лазерной лунной дальнометрии. В ГМЦ ГСВЧ разработано программно-аппаратное средство определения всемирного времени по наблюдениям Луны (ПАС ВВ) [15].

Для того, чтобы проводить совместную обработку (комбинирование) на уровне нормальных уравнений в виде SINEX-файлов, необходимо, чтобы все средства обработки и анализа данных по отдельным видам измерений (РСДБ, СЛД, ГНСС) умели сохранять матрицы нормальных уравнений и результаты их решения для отдельных измерительных сессий и отдельных видов измерений. Благодаря проведённой модернизации программного обеспечения, в ГМЦ ГСВЧ в настоящее время одновременно с уравниванием измерений каждого вида формируются необходимые SINEX-файлы. Совместно с данными других Центров обработки и анализа данных они используются в ГМЦ ГСВЧ для экспериментального определения и прогнозирования ПВЗ на основе совместного решения (комбинирования) матриц нормальных уравнений из полученных SINEX-файлов.

Сбор результатов данных обработки отдельных файлов в формате SINEX, определение режима обработки в соответствии с порядком формирования бюллетеней ГСВЧ, формирование выходных данных как в форматах МСВЗ (ряда ЕОРС04 и бюллетеня *finals.daily*), так и в виде официальных бюллетеней ГСВЧ, а также запуск на выполнение вычислительного ядра производится скриптами, разработанными в ГМЦ ГСВЧ (на языке Perl), начало выполнения которых определяется планировщиком заданий операционной системы.

Вычислительным ядром программы является главный исполняемый модуль программного пакета SINCom, разработанный в ИПА РАН [16].

В настоящее время в ГМЦ ГСВЧ осуществляются:

- комбинирование на уровне временных рядов с учётом данных средств РСДБ нового поколения ИПА РАН, на основе результатов которого формируются бюллетени ГСВЧ с конца февраля 2019 года;

- комбинирование старым программным обеспечением для проведения сравнительного анализа;
- комбинирование на уровне SINEX-файлов в режиме исследований.

На рисунке 5 изображены результаты определения координат земного полюса x_p (слева), y_p (справа) в Военно-морской обсерватории США (USNO) и в ГМЦ ГСВЧ. Значения, полученные в ГМЦ ГСВЧ, изображены красными квадратами (для комбинирования на уровне временных рядов) и чёрными кружками (для комбинирования на уровне на уровне SINEX-файлов). Значения, полученные в USNO, изображены сплошной кривой. Тренд снят.

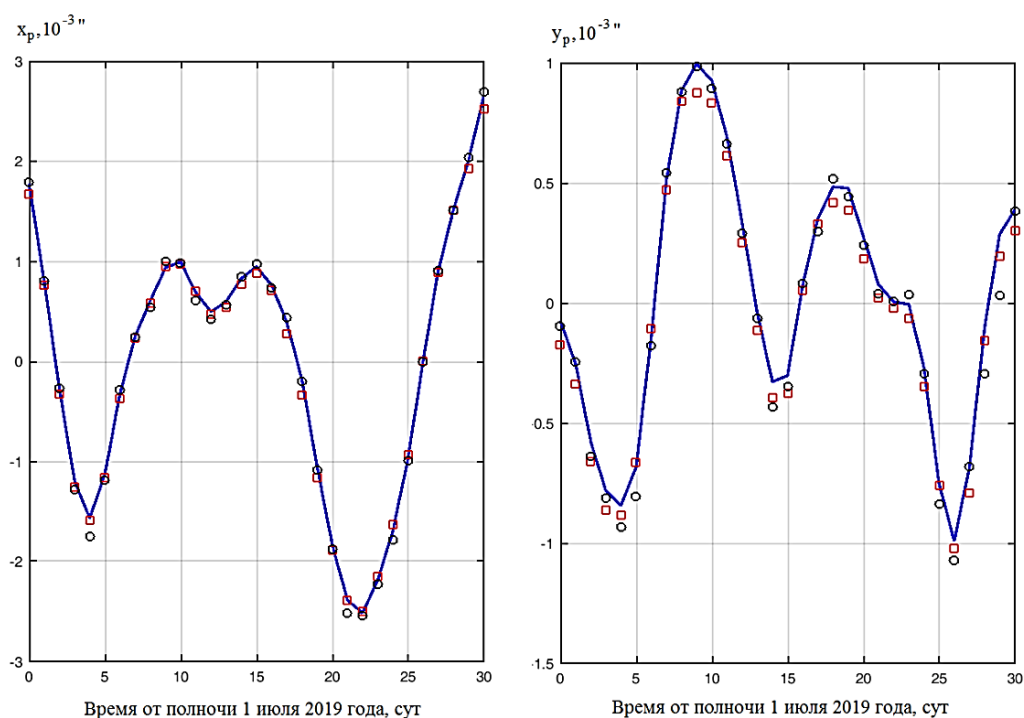


Рис. 5. Сводные значения земного полюса x_p и y_p USNO и ГМЦ ГСВЧ за вычетом тренда (пояснения в тексте)

5. Резюме

Средства определения и прогнозирования ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ» развиваются в русле международных тенденций, что позволило обеспечить проведение работ, направленных на определение и прогнозирование ПВЗ, на высоком международном уровне и создало некоторый задел на будущее. Однако для реализации этого задела и обеспечения устойчивого поступательного развития необходимо предусмотреть работы по поддержанию и дальнейшему совершенствованию средств определения и прогнозирования ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ», в частности, и всей ГСВЧ в целом.

Литература

1. Petrachenko B., Niell A., Behrend D., Corey B., Böhm J., Charlot P., Colloud A., Gipson J., Haas R., Hobiger T., Koyama Y., MacMillan D., Nilsson T., Pany A., Tuccari G., Whitney A., Wresnik J. Design Aspects of the VLBI2010 System. Progress Report of the VLBI2010 Committee. NASA Technical Memorandum, NASA/TM-2009-214180. June 2009. 58 p.
2. Degnan J., McGarry J., Zagwodzki T., Titterton P., Sweeney H., Donovan H., Perry M., Conklin B., Decker W., Cheek J., Mallama A., Dunn P., Ricklefs R. (1996) SLR2000 : An Inexpensive, Fully Automated, Eyesafe Satellite Laser Ranging System, Proceedings of the 10th International Workshop on Laser Ranging Instrumentation, Shanghai – China. 367–377.
3. GGOS Requirements for Core Sites, Global Geodetic Observing System (GGOS), (Revision 2) Draft 3.4, 2015, [Electronic resource]. URL: https://cddis.nasa.gov/docs/2015/SiteRecDoc_Rev2_D3.4.pdf. Дата обращения: 16.08.19.
4. Gipson J. IVS Working Group 4 on VLBI Data Structures. The 5th IVS General Meeting Proceedings. 2008. P. 143–152.
5. Suvorkin V., Ilyin G., Kurdubov S. Comparison of zenith troposphere delay from different techniques [Electronic resource]. Institute of Applied Astronomy of RAS. St. Petersburg. URL: <https://www.igs.org/assets/pdf/IGSWS-2018-PS04-02.pdf>. Дата обращения: 21.08.19.
6. Huang Liangke, Liu Lilong and Yao Chaolong A zenith tropospheric delay correction model based on the regional CORS network // Geodesy and Geodynamics. 2012. 3(4): 53-62. Doi:10.3724/SP.J.1246.2012.00053.
7. Petit G., Luzum B. (eds.). IERS Conventions 2010 // IERS Technical. Note 36. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 p. ISBN 3-89888-989-6.
8. Ferrandiz J.M., Gross R.S., Escapa A., Getino J., Brzezinski A., Heinkelmann R. Joint Working Group on Theory of Earth rotation and validation [Electronic resource]. URL: https://synte.obspm.fr/astro/journees2019/journees_pdf/Session-IV_2/FERRANDIZ_JSR19_JWG_TERV.pdf. Дата обращения: 25.10.2019.
9. Thaller Dick and Daniela IERS Annual Report 2016 / edited by Wolfgang R. International Earth Rotation and Reference Systems Service, Central Bureau. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2016. 195 p. ISBN 978-3-86482-130-1.
10. Барышников М.В., Блинов И.Ю., Бондарев Н.Н., Борисов Б.А., Донченко С.И., Колычев А.М., Некрасов Ю.В., Мартынов С.В., Садовников М.А., Шаргородский В.Д. Результаты испытаний российской лазерной станции нового поколения «Точка» // Тезисы восьмой Всероссийской конференции «Фундаментальное прикладное и навигационное обеспечение» (КВНО-2019). СПб.: ИПА РАН, 2019. С. 18.

11. Ипатов А.В., Иванов Д.В. Сеть радиотелескопов РТ-13 комплекса «Квазар-КВО»: первые результаты // Тезисы восьмой Всероссийской конференции «Фундаментальное прикладное и навигационное обеспечение» (КВНО-2019). СПб.: ИПА РАН, 2019. С. 15.
12. Пасынок С.Л., Безменов И.В., Игнатенко И.Ю., Цыба Е.Н., Жаров В.Е. Определение ПВЗ и совершенствование аппаратно-программных средств в ГМЦ ГСВЧ // Труды ИПА РАН. СПб.: ИПА РАН, 2019 (в печати).
13. Безменов И.В. Вычисление в ГМЦ ГСВЧ орбит и поправок часов КА ГНСС в оперативном режиме по данным измерений // Материалы IX Международного симпозиума «Метрология времени и пространства». Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2018. С. 206–210.
14. Васильев В.П., Шаргородский В.Д. Современное состояние высокоточной спутниковой лазерной дальнометрии в России // Фотоника. 2017. № 6. С. 74–85. DOI: 10.22184/1993-7296.2017.66.6.74.85.
15. Tsyba E., Volkova O. Determination of Earth Orientation Parameters by SLR in MMC SSTF FSUE VNIIFTRI // Proceedings of the Journees 2019 «Astrometry, Earth Rotation and Reference systems in the Gaia era», (в печати).
16. Brattseva O., Gayazov I., Kurdubov S., Suvorkin V. SINCom — the new program pack-age for combined processing of space geodetic observations // Proceedings of the Journées 2014 «Systèmes de Référence Spatio-Temporels». Malkin and N. Capitaine (eds). Pulkovo observatory. 2015. P. 250–251.