

*А.А. Аржанников; В.Д. Глотов, канд. техн. наук; А.Л. Кожинов;
В.В. Митрикас; С.А. Панов, канд. техн. наук;
И.О. Скакун, канд. техн. наук; В.В. Янишевский, канд. физ.-мат. наук*
(АО «ЦНИИмаш», г. Королёв)

О ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Представляются результаты исследований, касающихся оценки реально достижимых точностных характеристик глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС с использованием уже имеющейся сети станций Государственной корпорации (Госкорпорации) «Роскосмос» и разработанного специалистами информационно-аналитического центра (ИАЦ) координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО), а также сертифицированного программного обеспечения (ПО). Указывается, что контур расчёта эфемеридно-временной информации (ЭВИ) космических аппаратов (КА) системы ГЛОНАСС по измерительной информации сети станций Госкорпорации «Роскосмос» был смаскетирован в ИАЦ КВНО, с его помощью было проведено два эксперимента с привлечением реальных данных. Отмечается, что в результате обоих экспериментов показана возможность двукратного уменьшения эквивалентной погрешности псевдодальности (ЭПД) за счёт космического сегмента при использовании ЭВИ, рассчитанной средствами Госкорпорации «Роскосмос» и наземного контура управления (НКУ), по сравнению со штатной ЭВИ.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, эфемеридно-временная информация, частотно-временные поправки (ЧВП), беззапросные измерительные станции (БИС), расчёт орбит КА.

A.A. Arzhannikov, V.D. Glotov, A.L. Kozhinov, V.V. Mitrikas, S.A. Panov, I.O. Skakun, V.V. Yanishevsky. On Ways to Improve the Accuracy Characteristics of the GLONASS System. The primary objective of the research is to evaluate the GLONASS system accuracy characteristics achievable by using the existing State Space Corporation Roscosmos network of stations and the certified software developed in the Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing (IAC PNT). The specific set of tools for calculating GLONASS ephemeris and clock offsets based on the measurement information of the Roscosmos network was implemented in the IAC PNT. On its basis, two experiments were conducted using several weeks of real data obtained in March 2019 and in March 2021. Both experiments showed the possibility to reduce the Signal-In-Space Range Error (SISRE) by half using the ephemeris and clock offsets calculated by means of Roscosmos and GLONASS Ground Segment instead of the broadcasted.

Key words: GLONASS, ephemeris, clock offsets, GNSS stations, orbit determination, SISRE.

Одним из наиболее важных показателей качества работы глобальной навигационной спутниковой системы является погрешность местоопределения за счёт космического сегмента, которая в свою очередь

зависит от геометрического фактора, определяемого составом орбитальной группировки, а также погрешности за счёт космического сегмента, определяемой погрешностями орбит КА ГЛОНАСС и, в наибольшей степени, погрешностями ЧВП, передаваемых потребителям в составе навигационных сообщений. Величина погрешностей ЧВП в значительной степени зависит от нестабильности бортовых синхронизирующих устройств КА, которая может быть парирована за счёт увеличения частоты обновления частотно-временной информации, закладываемой на борт КА системы ГЛОНАСС.

В рамках развития функциональных дополнений ГЛОНАСС и системы контроля и подтверждения характеристик (СКПХ) радионавигационного поля системы ГЛОНАСС в интересах гражданских потребителей Госкорпорацией «Роскосмос» предусмотрено создание глобальной сети беззапросных измерительных станций. В настоящее время развёрнуто несколько БИС за рубежом: на Кубе, в ЮАР, Бразилии, Никарагуа и Антарктиде. На территории России действуют сеть станций комплекса функциональных дополнений (КФД), заменившая сеть системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), а также базовый пункт слежения ИАЦ КВНО, сопряжённый с высокостабильным водородным стандартом частоты.

В ИАЦ КВНО АО «ЦНИИмаш» был смаскетирован контур расчёта ЭВИ с использованием сети станций Госкорпорации «Роскосмос», с помощью которого проведено два эксперимента с привлечением реальных данных, полученных в марте 2019 г. и в марте 2021 г. Результаты первого эксперимента были представлены на VIII Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО – 2019) (г. Санкт-Петербург, 15 апреля 2019 г.) [1]. Результаты второго эксперимента были представлены на «Лекции ведущих учёных в космической области», организованной Главным испытательным космическим центром МО РФ им. Г.С. Титова на базе ФГАУ «КВЦ «Патриот» (Московская область 09 апреля 2021 г.) [2]. Оценка погрешности за счёт космического сегмента была проведена в зависимости от частоты обновления бортовой информации с учётом расположения штатных средств наземного контура управления.

Все оценки выполнены с привлечением специального программного обеспечения СКПХ 1-го этапа, разработанного в ИАЦ КВНО АО «ЦНИИмаш». Учитывая большое число БИС различных сетей, созданных другими федеральными органами исполнительной власти, есть предпосылки для создания наземного сегмента ГЛОНАСС из более чем 100 станций. Такая сеть имеет высочайший уровень устойчивости, поскольку для расчёта целевой ЭВИ достаточно 15 – 20 станций на территории России [3]. При этом дальнейшее увеличение числа станций в региональной сети практически не сказывается на точности прогноза ЭВИ.

Создаваемый Госкорпорацией «Роскосмос» зарубежный сегмент станций позволит существенно расширить зону высокоточного обслуживания и частично повысить точность в приграничных районах. Такой сегмент при реализации возможности обновления ЭВИ через межспутниковую линию (МСЛ) может обеспечить паритет с другими ГНСС до создания полноценной орбитальной группировки КА ГЛОНАСС с новыми сигналами и повышенными техническими характеристиками. При этом все вопросы, касающиеся управления космическим комплексом ГЛОНАСС и закладки бортовой ЭВИ,

безусловно должны оставаться в зоне ответственности штатных средств системы, а ЭВИ, рассчитываемая средствами штатной сети наземного контура управления, должна использоваться для контроля внешних данных.

Рассмотрим возможный облик наземного сегмента Госкорпорации «Роскосмос» для расчёта целевой информации ГЛОНАСС, который обеспечит повышение точностных характеристик и конкурентоспособности системы ГЛОНАСС за счёт использования действующих измерительных средств Госкорпорации «Роскосмос».

СЕТЬ БЕЗЗАПРОСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Главными составляющими наземного сегмента системы ГЛОНАСС в части расчёта высокоточной ЭВИ являются сеть станций и центр обработки данных. Точностные характеристики ЭВИ определяются качеством используемых измерительных средств и программным обеспечением обработки измерений.

В 2020 г. в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012 – 2020 годы» в эксплуатацию был введён Федеральный центр сбора, хранения, применения и предоставления гражданским потребителям навигационной информации, в котором доступны измерительные данные более 100 станций различных сетей, в том числе Росреестра, Росгидромета, Росстандарта, РАН, созданных на средства госбюджета (рис. 1). Эти сети охватывают все регионы и, будучи оснащёнными современными высокоточными навигационными приёмниками геодезического класса, пригодны, в частности, для решения задач расчёта ЭВИ.

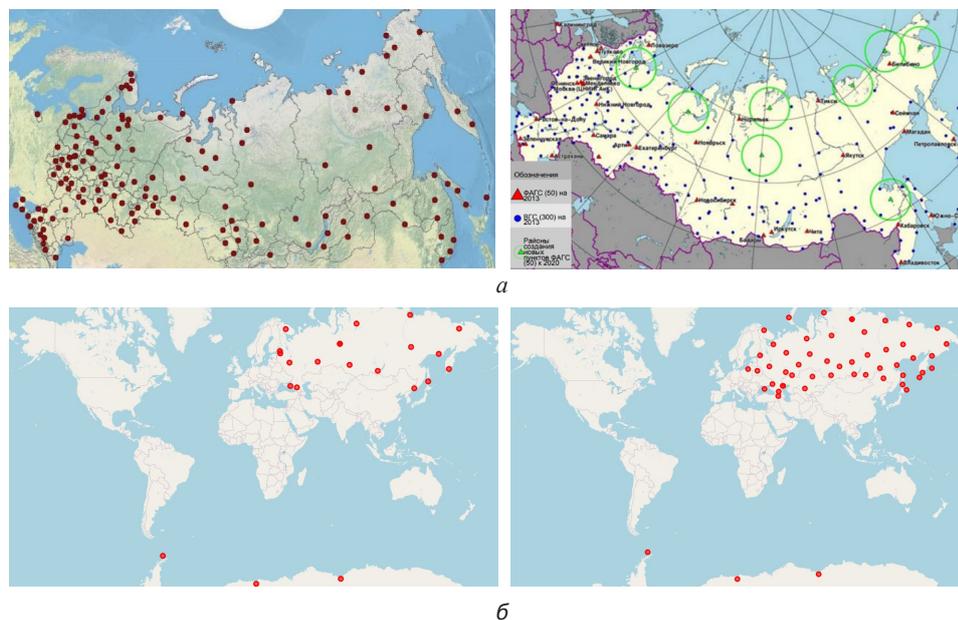


Рис. 1. Сети БИС Росгидромета и Росреестра (а), СДКМ и СДКМ-КФД (б)

Таким образом, создан и находится в штатной эксплуатации постоянно обновляемый архив измерительных данных, т. е. уже существует сегмент высокоточных станций для расчёта целевой информации ГНСС, который по числу станций, топологии сети и надёжности значительно превосходит

штатный НКУ ГЛОНАСС, даже без учёта зарубежных станций Госкорпорации «Роскосмос».

В настоящее время в России эксплуатируется несколько ведомственных центров обработки беззапросных измерений: СВОЭВИ, СКПХ и СДКМ-КФД (Госкорпорация «Роскосмос»), ИПА РАН, ЦНИИГАиК. При этом центры Госкорпорации «Роскосмос» работают в режиме реального времени, т. е. для эксплуатируемого ПО, используемого в рамках системы ГЛОНАСС, требуется доработка, главным образом, в части прогноза рассчитываемых данных. Погрешности уточняемой ЭВИ ведомственных центров контролируются на постоянной основе относительно решений зарубежных центров анализа, а также с помощью измерений квантово-оптических станций. В частности, на основании ежесуточно проводимой оценки остаточной погрешности взаимного согласования финальных решений применительно к КА ГЛОНАСС разных центров анализа: *CODE* (Швейцария), *ESOC*, *GFZ* (Германия), *EMR* (Канада), *GRG* (Франция) и ИАЦ КВНО ЦНИИмаша (Россия) – установлено, что точность определения орбит КА ГЛОНАСС в указанных центрах составляет в настоящее время первые единицы сантиметров [4].

Таким образом, уже сейчас есть предпосылки для расчёта целевой информации ГЛОНАСС вне штатного НКУ, а использование этой информации в рамках системы обеспечит новые возможности её развития и будет способствовать повышению её конкурентоспособности. Это никак не затрагивает вопросы управления КА ГЛОНАСС и обновления целевой информации на борту, которые должны оставаться прерогативой штатного НКУ. В случае каких-либо сомнений в достоверности ЭВИ, рассчитываемой ведомственными центрами, она не должна приниматься в рассмотрение, т. е. использоваться для формирования навигационных сообщений, а для оценки достоверности данной ЭВИ в рамках штатного НКУ должна уточняться и прогнозироваться ЭВИ собственными средствами. Этот подход в значительной степени позволяет «демпфировать» проблемы, касающиеся не только создания и модернизации штатных средств НКУ, но и частично самих КА ГЛОНАСС, поскольку в таком варианте объединяются технические и вычислительные возможности разных ведомств в интересах развития и успешного функционирования ГЛОНАСС, значительно снижаются требования к средствам измерений, каналам передачи и аппаратно-программной среде разработки.

Подобная практика существовала ранее при реализации других космических проектов, когда для уточнения орбит КА в рамках пилотируемых и научных программ привлекались сразу три баллистических центра: ЦНИИмаш, ЦНИИ-4 и ИПМ им. Келдыша, что обеспечивало значительное повышение точности и надёжности определения и прогнозирования орбит КА. Учитывая, что уже сейчас уточнение ЭВИ КА ГНСС регулярно проводится в нескольких центрах, есть все предпосылки для возрождения подобной практики в рамках системы ГЛОНАСС.

СХЕМА РАСЧЁТА

Для обработки в ходе эксперимента 2019 г. использовались измерения, предоставленные 20 станциями СДКМ, 4 станциями СВОЭВИ, по 1 станции СКПХ и базового пункта слежения (БПС); в процессе эксперимента 2021 г. – 19 станциями СДКМ-КФД, 4 станциями СВОЭВИ, 2 станциями СКПХ и БПС. При расчёте частотно-временных поправок в качестве опорной стан-

ции принимались навигационные приёмники БПС ИАЦ КВНО: *DICOM GTR-51* и *TOPCON NETG5*, сопряжённые с водородным стандартом частоты *VCH-1003M* с суточной нестабильностью порядка 10^{-15} .

Одним из реализуемых на практике способов повышения точности эфемеридно-временной информации, передаваемой потребителю в составе навигационных сообщений, является уменьшение времени прогноза за счёт передачи ЭВИ на борт КА ГЛОНАСС через межспутниковую линию, а также повышение частоты закладок в зоне действия средств НКУ. Поэтому в случае расчёта эфемерид и ЧВП навигационных сообщений предъявляются жёсткие требования к времени расчёта ЭВИ для уменьшения интервала старения. Ввиду этого была реализована двухконтурная обработка измерений:

- расчёт прогноза орбит и системной математической шкалы времени в апостериорном режиме;
- ежечасный расчёт поправок часов для определения ЧВП.

Уточнение ЭВИ проводилось каждые 6 часов на 4-суточной дуге одновременно по всем КА ГЛОНАСС и *GPS*. Увеличенная до 4 суток длина дуги обусловлена в первую очередь топологией с доминированием станций на территории России, а также необходимостью суточного прогноза для оценки разных вариантов. При этом оптимизация интервала исходя из числа доступных БИС не проводилась.

Ввиду достаточно длительного интервала измерений и большого числа станций отказ от *GPS* слабо влияет на точность определения орбит при региональном НКУ. Для получения максимальной точности при обработке использовалось свойство целочисленности измерений *GPS*.

В решениях по уточнению ЭВИ были задействованы последние доступные координаты станций и систематические погрешности безыоносферной

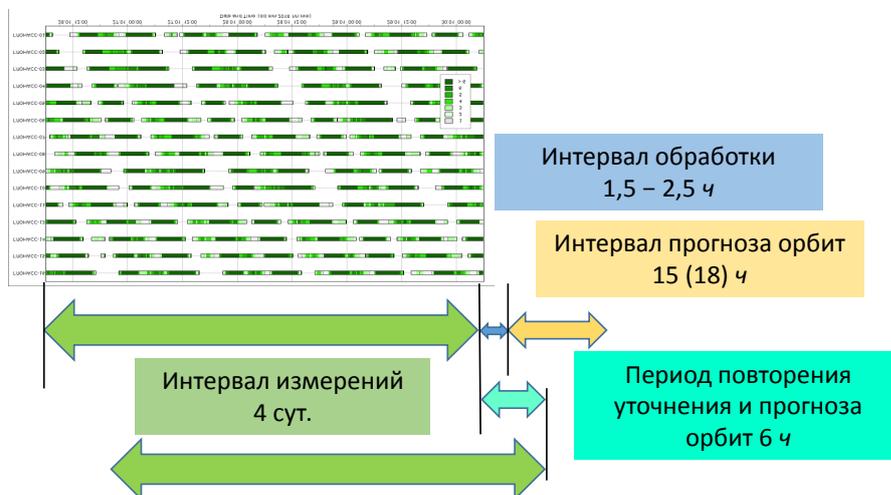


Рис. 2. Схема повторения решений по уточнению орбит КА ГЛОНАСС

комбинации кодовых измерений, уточнение которых проводится ежесуточно в автоматическом режиме в финальном апостериорном контуре СКПХ [5]. В ходе всех решений уточнялись координаты и скорости движения полюса, а также длительность суток. При этом формировались независимые ряды параметров вращения Земли (ПВЗ), в том числе для поправки *UT1-UTC* с помощью интегрирования получаемых значений эксцесса длительности су-

ток, т. е. никакой «внешней» информации о ПВЗ не использовалось. Средне-квадратическая погрешность (СКП) уточнения координат полюса составила примерно 2,2 см на поверхности Земли. В отношении поправки *UT1-UTC* наблюдался устойчивый систематический уход на 0,0002 мс в месяц, при исключении которого СКП составила 2,4 см на поверхности Земли. Кроме того, не использовалось никакой информации о метеоусловиях на БИС.

Как правило, интервал от момента последнего измерения до момента доступности прогноза орбит составлял около 1,5 ч (рис. 2). На рисунке отображено и распределение зон видимости КА ГЛОНАСС применительно к полной сети станций Госкорпорации «Роскосмос». Поскольку согласно реализованной схеме уточнение проводилось на базе расширенной региональной сети, а прогноз выполнялся только 4 раза в сутки, даже при ежечасном обновлении реальный «возраст» эфемерид изменяется от 2,5 до 11 ч, а при обновлении каждые 12 ч – от 2,5 до 22 ч.

При макетировании предполагалось, что обновление эфемерид на борту КА проводится совместно с ЧВП, которые рассчитывались фактически независимо с использованием только прогнозных эфемерид. При этом уточняемые поправки часов всегда соответствуют прогнозной орбите, т. е. частично компенсируют ошибку эфемерид в радиальном направлении.

Анализ погрешностей эфемерид при разной частоте их обновления в среднем по всей группировке ГЛОНАСС показал, что вклад эфемерид в итоговую погрешность псевдодальности в любом случае составляет не более 12 см, т. е. он в 2 раза меньше, чем погрешность, обусловленная разрядной сеткой в кадре открытого навигационного сообщения, которая составляет ~23 см. Поэтому итоговая погрешность за счёт космического сегмента ГЛОНАСС фактически полностью определяется погрешностями ЧВП.

Уточнение ЧВП осуществлялось полностью независимо с теми же координатами БИС, что и при уточнении орбит, но в отличие решений, касающихся орбит, всегда производилось с использованием региональной сети ввиду практического отсутствия совместных зон видимости российских и зарубежных станций.

При макетировании предполагалось, что для закладки ЭВИ на борт от момента расчёта прогноза ЧВП потребуется 1 ч, т. е. минимальное время от последнего измерения при расчёте ЧВП фактически составляло 1 ч, а при расчёте орбиты – соответственно от 3 до 9 ч. Важно, что фактическое минимальное время прогноза ЭВИ (от момента последнего измерения) в значительной степени зависит от нахождения КА в зоне видимости станций Госкорпорации «Роскосмос». Схема формирования ЭВИ для оценки показана на рис. 3 (красным стрелкам соответствуют постоянно выполняемые решения по уточнению поправок часов). Кроме того, показана наблюдаемость КА ГЛОНАСС при уточнении поправок часов, которая заметно хуже, чем для определения орбит ввиду фактического отсутствия синхронизации зарубежного сегмента станций с опорной БИС. Иными словами, при расчёте ЧВП реально использовалась только российская сеть СДКМ.

Для повышения точности и устойчивости определения ЧВП согласно данным региональной сети станций были скорректированы критерии выдачи мгновенных поправок часов, в частности увеличен интервал сходимости при входе КА в зону видимости станций Госкорпорации «Роскосмос». Была

существенно скорректирована процедура прогноза часов, в которую была внесена оценка вариации Алана и отбраковка с её помощью аномальных значений мгновенных поправок. Кроме того, обновление прогноза ЧВП стало проводиться только в случаях наличия мгновенных поправок часов на конец интервала расчёта полинома. Дополнительно поправки часов стали выдаваться только при условии, что есть измерения БПС. Внесённые изменения позволили снизить погрешность за счёт космического сегмента при всех интервалах обновления ЭВИ.

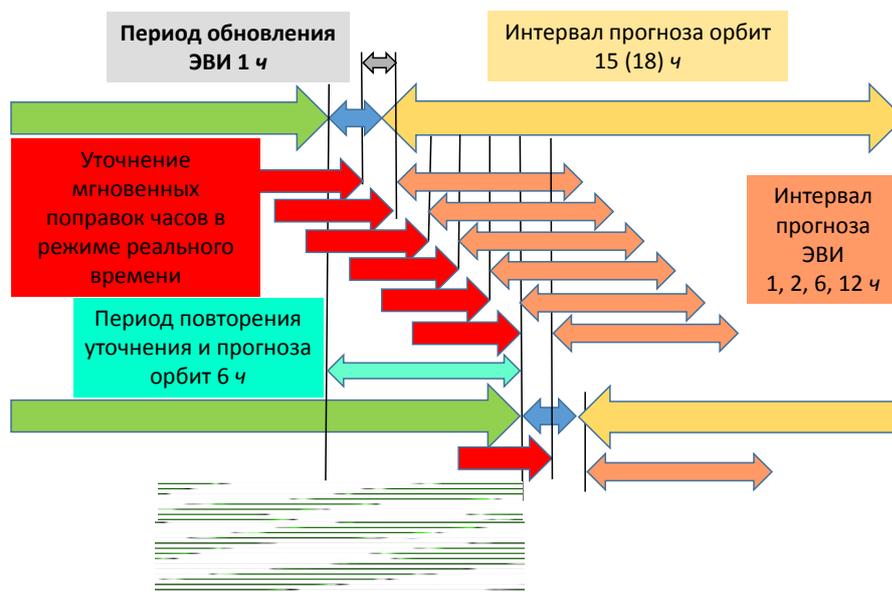


Рис. 3. Схема формирования прогнозной ЭВИ для оценки

Было также определено, что нет принципиальной разницы, как рассчитывать мгновенные поправки часов: в режиме реального времени, когда измерения поступают ежесекундно, либо по ежечасным или 15-минутным файлам измерений с 30-секундным шагом. Единственным отличием являются дополнительное время на обработку, которое при ежечасных измерениях сети СДКМ-КФД составляет не более 5 мин, а также частично усложнённая процедура поиска пропущенных циклов фазовых измерений.

На этом фактически был закончен этап проектирования. В результате было смоделировано несколько вариантов обновления ЭВИ навигационных сообщений:

1. Закладка по традиционной схеме в зоне видимости средств НКУ: на входе в 40-градусную зону любой из пяти закладочных станций и на выходе из их 20-градусной зоны. Время старения информации (время от момента последнего измерения) – не менее 1 ч.
2. Закладка с использованием МСЛ каждые 2 ч. Время старения информации – 1 ч.
3. Закладка с использованием МСЛ каждый час. Время старения информации – 1 ч.
4. Закладка с использованием МСЛ каждый час без учёта времени старения информации. Данный вариант, соответствующий часовому прогнозу

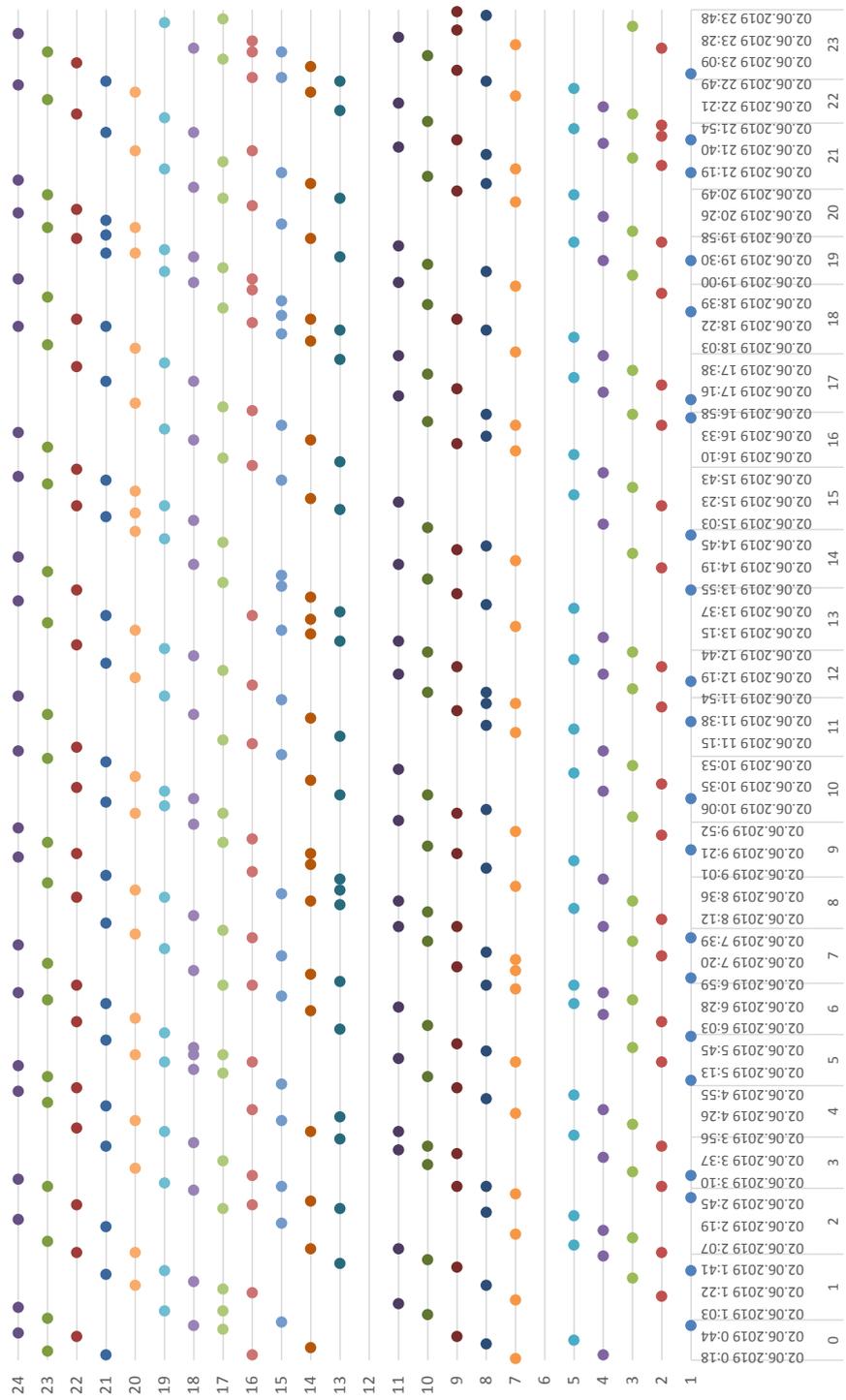


Рис. 4. Моделирование обновления ЭВИ в навигационных кадрах

ЧВП, был применён для определения теоретически достижимого предела точности бортовой ЭВИ при использовании региональной сети.

Для реализации первого варианта фактически было выполнено планирование закладки ЭВИ на борт всех КА ГЛОНАСС, излучающих сигналы в обоих частотных диапазонах в интервале более 1 мес. Распределение закладок ЭВИ в 5-суточном интервале показано на рис. 4. Важно отметить, что почти во всём интервале КА ГЛОНАСС второй плоскости в ходе эксперимента 2019 г. проходили теневые участки орбит, обуславливающие потенциальное повышение погрешности ЭВИ [1].

Схема на рис. 4 фактически соответствует оптимизированному с учётом индивидуальных зон видимости каждого КА ГЛОНАСС 4-разовому обновлению бортовой ЭВИ.

В качестве параметра оценки точности расчётов традиционно использовалась оценка эквивалентной погрешности псевдодальности или *SISRE* (*Signal-In-Space Range Error*). В работе [1] показано, что разность в значении ЭПД по сети Госкорпорации «Роскосмос» между вариантами с ежечасным обновлением ЭВИ в зоне российского сегмента станций, что соответствует 8 – 9-кратному обновлению поправок часов, и 4-кратным обновлением ЭВИ при условии часовой задержки от последнего измерения составляет около 15% (рис. 5).



Рис. 5. Влияние частоты закладки ЧВП

При этом примерно аналогичное увеличение погрешности за счёт космического сегмента получается при 8 – 9-кратном обновлении, но с задержкой 2 ч. Это объясняется тем, что для большинства КА ГЛОНАСС вне зоны видимости российского сегмента станций длительность прогноза при сокращении числа закладок в зоне видимости средств НКУ не увеличивается. И результирующая погрешность по всей орбитальной группировке определяется именно худшими, а не лучшими КА. Поэтому использование МСЛ для обновления ЭВИ имеет смысл либо при расширении регионального сегмента за счёт размещения новых БИС, либо при использовании межспутниковых измерений для уточнения поправок часов.

Формально сюда должна быть добавлена погрешность за счёт ограниченной разрядности навигационных сообщений, составляющая в среднем 0,23 м. Однако её влияние на фоне общей погрешности за счёт космического сегмента незначительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

Результаты уточнения данных и их прогнозирования в процессе обработки в 2019 и 2021 гг. показаны на рис. 6, б и 7, б. Для сравнения в том же масштабе при тех же интервалах показаны аналогичные характеристики ЭВИ, принятой в составе навигационных сообщений (см. рис. 6, а и 7, а). Каждая точка – результат обработки информации, полученной от всех КА

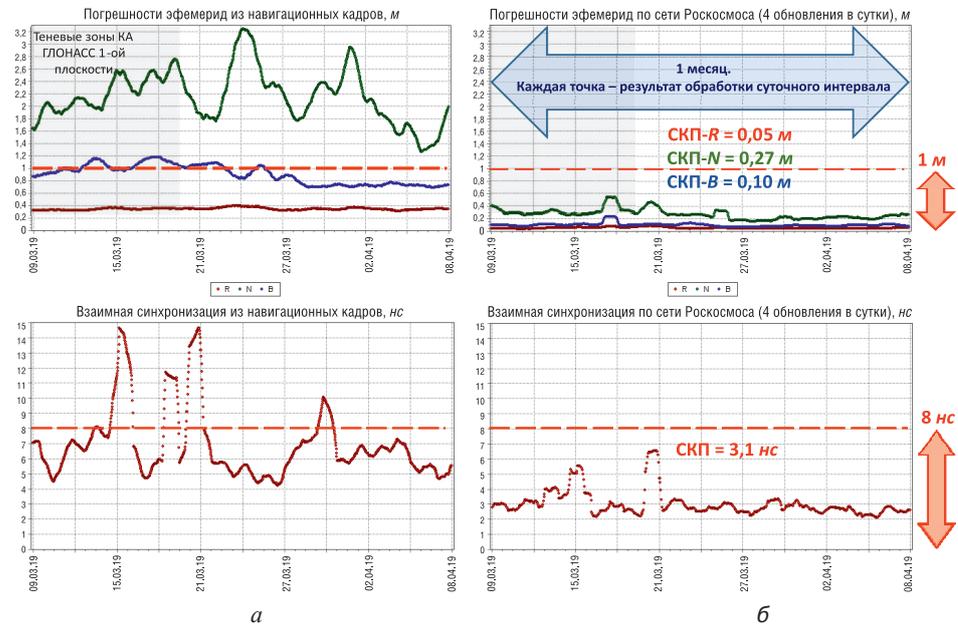


Рис. 6. Точностные характеристики ГЛОНАСС (2019 г.):
а – навигационный кадр; б – контур Роскосмоса

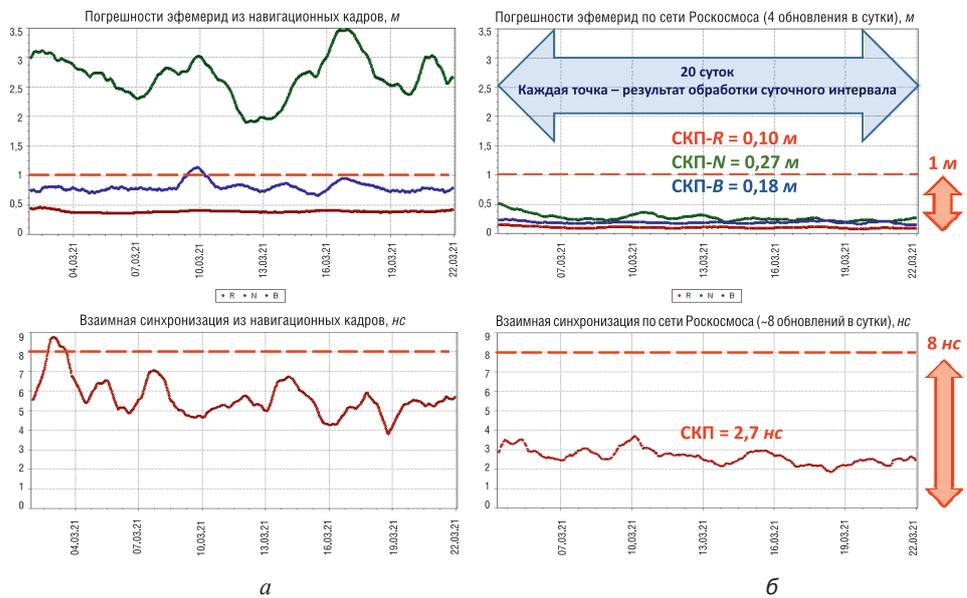


Рис. 7. Точностные характеристики ГЛОНАСС (2021 г.):
а – навигационный кадр; б – контур Роскосмоса

ГЛОНАСС, излучающих навигационные сигналы в диапазонах $L1$ и $L2$, в суточном интервале. Видно незначительное ухудшение точности прогноза орбит в 2021 г. относительно результатов 2019 г. Несмотря на двукратное увеличение погрешности прогноза в радиальном направлении, результирующая погрешность за счёт космического сегмента может быть частично скомпенсирована при небольшом улучшении прогноза часов. Интересно, что аналогичные изменения наблюдаются в бортовой ЭВИ из навигационных сообщений, хотя и в меньшей степени. Это объясняется частично изменившимся за прошедшие 2 года составом группировки КА ГЛОНАСС и фактически разными обработанными сетями БИС: в 2019 г. основу составляла сеть СДКМ, в 2021 – сеть БИС КФД с наименьшим числом разрывов поступления измерений в реальном времени. Кроме того, в рамках решения 2021 г. задействовано только до 4 зарубежных станций: 2 в Бразилии, 1 в Никарагуа, 1 в ЮАР, а из-за недостатка числа БИС были интервалы отсутствия в обработке измерений зарубежного сегмента. В решения 2019 г. устойчиво входили до семи зарубежных БИС. Возможно, что это стало причиной незначительного расхождения в точности прогноза орбит экспериментов 2019 и 2021 гг.

На рис. 8 показаны погрешности за счёт космического сегмента орбитальной группировки ГЛОНАСС при обновлении ЧВП в зоне видимости средств НКУ с задержкой 1 час от последнего измерения. Как уже было показано, при 4-кратном обновлении ЭВИ вероятно увеличение погрешности на 15%. В обоих случаях пунктирная линия соответствует уровню 0,5 м. Очевидно, что даже при 15%-ном увеличении и учёте разрядности навигационных сигналов уровень погрешности за счёт космического сегмента составит не более 0,65 м.

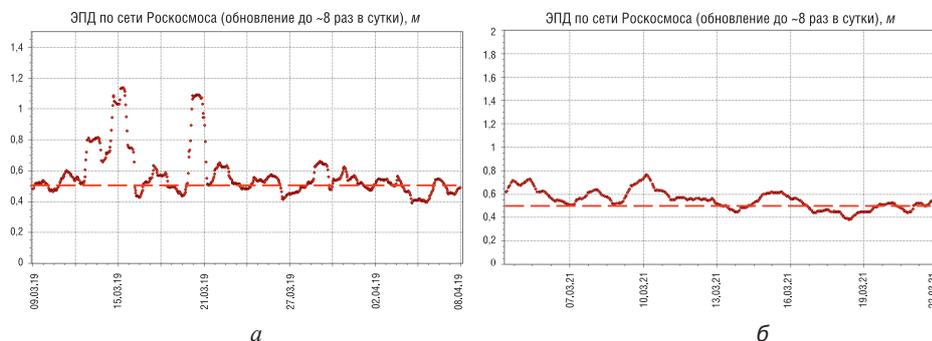


Рис. 8. Погрешность за счёт космического сегмента при ежечасном обновлении ЭВИ, рассчитанной по сети Роскосмоса:
а – 2019 г.; *б* – 2021 г.

Важно отметить, что речь идёт о погрешности применительно ко всей территории Земли. Погрешности ЭВИ для российских потребителей будут ниже, так как закладка свежей ЭВИ на борт КА производится на территории России, и поэтому ЧВП прогнозируются в существенно меньших интервалах времени, чем применительно к территории всей Земли.

Учитывая, что аналогичная погрешность ЭПД в бортовой штатной ЭВИ из навигационных сообщений составляла 1,3 м, можно утверждать о потенциальной возможности двукратного улучшения точности навигационного поля. Для конечного потребителя эффект будет не так значителен, но ис-

пользование измерений сети Госкорпорации «Роскосмос» и других гражданских ведомств с обработкой данных в нескольких указанных центрах с последующими анализом и закладкой полученных данных ЭВИ на борт всех КА системы ГЛОНАСС могло бы стать реальным шагом обеспечения конкурентоспособности ГЛОНАСС. Необходимо отметить, что аналогичные погрешности штатной ЭПД в системах *GPS* и *BEIDOU-3* составляют около 0,5 м, в *GALILEO* – около 15 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки достижимых точностных характеристик системы ГЛОНАСС на основе измерений сети станций Госкорпорации «Роскосмос» был смоделирован контур расчёта ЭВИ, с помощью которого проведено два эксперимента на базе реальных данных. В контуре применяется современная автономная технология обработки, в качестве внешних данных используются только измерения БИС. Координаты станций, систематические погрешности, параметры ионосферы, а также параметры вращения Земли уточняются самостоятельно внутри контура расчёта.

Установлено, что задача расчёта ЭВИ ГЛОНАСС принципиально может быть решена с использованием развёрнутой сети станций Госкорпорации «Роскосмос». Данные, сосредоточиваемые в Федеральном центре сбора, хранения, применения и предоставления гражданским потребителям навигационной информации, обеспечивают существенную избыточность измерительной информации.

Задача обеспечения конкурентоспособности ГЛОНАСС относится, вообще говоря, в большей степени к вопросам гражданского использования системы и может быть решена за счёт ЭВИ, рассчитанной с помощью средств Госкорпорации «Роскосмос». Предварительные оценки свидетельствуют о возможности двукратного уменьшения эквивалентной погрешности псевдодальности, при этом оценки, полученные в 2019 и 2021 гг., практически не различаются.

Расширение зарубежного сегмента станций позволит создать паритет точности с другими ГНСС при условии использования межспутниковой линии для обновления бортовой ЭВИ.

Потенциальное расширение российского сегмента станций за счёт привлечения сетей БИС других ведомств может обеспечить независимость от любых «форс-мажорных» обстоятельств. За счёт расширения числа центров обработки как источников альтернативной ЭВИ может быть достигнут требуемый уровень защиты от недостоверных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аржанников А.А., Карутин С.Н., Кожин А.Л.* и др. Пути повышения точностных характеристик системы ГЛОНАСС. – В мат. VIII Всероссийской конференции: Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО – 2019). СПб.: ИПА РАН, 2019.
2. *Аржанников А.А., Кожин А.Л., Митрикас В.В.* и др. Пути повышения точностных характеристик системы ГЛОНАСС. – В мат. V лекции ведущих учёных в космической области, Краснознаменск МО: Главный испытательный космический центр МО РФ им. Г.С. Титова, 2021.
3. *Карутин С.Н., Митрикас В.В., Скакун И.О.* и др. Архитектура системы высокоточного навигационного обеспечения потребителей ГЛОНАСС на террито-

рии Российской Федерации. – Космонавтика и ракетостроение, 2017, вып. 5(98), с. 133 – 139.

4. *Готов В.Д., Митрикас В.В., Пафнурьев А.А.* и др. Оценка положения центра панели лазерных отражателей космического аппарата «Глонасс-М». – Космонавтика и ракетостроение, 2018, вып. 6(105), с. 36 – 47.

5. *Митрикас В.В., Скакун И.О., Аржанников А.А.* и др. Применение калиброванного навигационного приёмника для оценки погрешности измерения за счёт космического сегмента (SISRE) ГЛОНАСС. – Альманах современной метрологии, 2021, вып. 2 (26), с. 79 – 103.