

Эфемеридно-временное обеспечение потребителей космической навигационной системы ГЛОНАСС на основе функциональных дополнений

Ephemerid-temporal providing of GLONASS space navigation system users on the basis of functional additions

Ключевые слова: космическая навигационная система – space navigation system; эфемеридно-временное обеспечение – ephemerid-temporal providing; функциональное дополнение – functional addition; точность местоопределения – accuracy of positioning.

В статье анализируется современное состояние системы ГЛОНАСС и рассматриваются принципы построения двух активно развивающихся в настоящее время ее функциональных дополнений – Системы дифференциальной коррекции и мониторинга и Системы высокоточного определения эфемерид и временных поправок. Дается характеристика способов передачи потребителям эфемеридно-временной информации и возможностей оперативного и апостериорного повышения точности их местоопределения с использованием функциональных дополнений.

In the article the modern state of GLONASS system is analyzed and the principles of construction of two actively developing presently it's functional additions – System of differential correction and monitoring and System of high-fidelity determination of ephemerid and temporal amendments – are examined. The description of methods of transmission to users of ephemerid-temporal information and possibilities of operative and a posteriori increase of accuracy of their positioning with the using of functional additions is given.

Космическая навигационная система (КНС) ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) является основой Единой системы координатно-временного и навигационного обеспечения Российской Федерации.

МАЛЬЦЕВ / MALTSEV G.

Георгий Николаевич

доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ. действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э.Циолковского. профессор ВКА им. А.Ф.Можайского. г. Санкт-Петербург

ИЛЬИН / ILYIN A.

Андрей Васильевич

Начальник Главного испытательного космического центра им. Г.С.Титова. г. Москва

Формируемое системой глобальное радионавигационное поле позволяет подвижным объектам, оснащенным навигационной аппаратурой потребителя оперативно определять (уточнять) свое местоположение (три координаты), параметры своего движения (три составляющие вектора скорости) и точное время [1,2]. В настоящее время поддержание высокой точности навигационных определений в системе ГЛОНАСС имеет особое значение с точки зрения обеспечения независимости отечественных потребителей от зарубежных КНС (GPS, Galileo) и создания условий для осуществления полнофункциональных навигационных определений только по сигналам системы ГЛОНАСС.

В результате выполнения Федеральной программы «Глобальная навигационная система», рассчитанной на период 2002–2011 г.г., были достигнуты существенные результаты: орбитальная группировка системы ГЛОНАСС доведена до штатного состава из 24 КА, осуществлен переход от летной эксплуатации космических аппаратов (КА) первого поколения «Глонасс» к КА второго поколения «Глонасс-М» и начаты летные испытания КА третьего поколения «Глонасс-К», разработаны модернизированные наземные и бортовые сред-

ства, обеспечивающие реализацию программы повышения точности навигационных определений потребителей до уровня точности системы GPS. На рис. 1 в виде диаграммы показано изменение среднеквадратического отклонения (СКО) местоопределения потребителей по плановым координатам в соответствии с этапами программы повышения точности системы ГЛОНАСС с 20–30 метров до 2–3 метров, что сопоставимо с точностными характеристиками системы GPS.

Начало реализации программы повышения точности системы ГЛОНАСС соответствует началу перехода от КА «Глонасс» к КА «Глонасс-М» в 2007 году. На этот момент гарантированное СКО местоопределения потребителями составляло 30 м по плановым координатам и 0,15 м/с по составляющим вектора скорости. К настоящему времени в результате проведенных работ по модернизации наземных и бортовых средств системы ГЛОНАСС достигнутая точность местоопределения потребителей по плановым координатам составляет 4–6 м, что свидетельствует о переходе к III этапу программы повышения точности системы. На рис. 2 в качестве примера приведены данные о точности местоопределения потребителей по результатам текущей оценки характеристик системы ГЛОНАСС в период с августа по ноябрь 2013 года.

Начиная с 2012 года, система ГЛОНАСС развивается в рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы». Ее цель – массовое внедрение отечественных навигационных технологий и гарантированное предоставление потребителям всех категорий навигационных услуг за счет поддержания и развития системы ГЛОНАСС, улучшения ее характеристик, условий и сфер использования, сбалансированного развития системы. В рамках этой программы предусмотрено развитие всех сегментов системы ГЛОНАСС и дальнейшее повышение точности местоопределения потребителей.

Анализ показывает, что на современном этапе для дальнейшего повышения точности местоопределения потребителей в системе ГЛОНАСС принципиальное значение имеет повышение точности эфемеридно-временного обеспечения системы – формирования эфемеридной и частотно-временной информации, передаваемой потребителям в составе навигационных сообщений. При существующей технологии спутниковой навигации эти навигационные данные формируются и передаются (закладываются) на навигационные КА средствами наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС. На достигнутом

уровне точности навигационных определений в системе ГЛОНАСС повышение точности эфемеридно-временного обеспечения потребителей является основным фактором, определяющим достижение «метрового» уровня точности местоопределения потребителей, характеризуемого величиной СКО порядка 1 м.

В общем случае эфемеридно-временное обеспечение КНС включает комплекс организационных, технических и технологических мероприятий, которые обеспечивают определение эфемеридной и частотно-временной информации и передачу ее потребителям. В техническом плане эфемеридно-временное обеспечение поддерживается комплексом технических и программных средств, выполняющих измерение текущих параметров орбитального движения навигационных КА, сверку, коррекцию и фазирование бортовых шкал времени, обработку результатов измерений и расчет эфемеридно-временной информации, передаваемой на навигационные КА для ее последующей трансляции в виде навигационных сообщений потребителям [2,3]. Целью развития эфемеридно-временного обеспечения является повышение точности местоопределения потребителей по глобальному навигационному полю КНС. Высокая точность расчета эфемеридно-временной информации обеспечивается соответствующей точностью измерительных средств и моделей, используемых при расчетах, периодической калибровкой измерительных средств, внесением поправок на выявленные методические погрешности, учетом геофизических факторов, применением в процессе расчета эфемерид навигационных КА не только текущих измерений параметров их движения, но и накапливаемых за недельный срок.

Таким образом, повышение точности эфемеридно-временного обеспечения потребителей КНС достигается в результате реализации ряда организационных и технических мер, которые могут быть объединены в две направления, связанных с развитием собственно технических средств и алгоритмов функционирования КНС и с развитием средств, взаимодействующих с КНС, но структурно в их состав не входящих. Отмеченные направления соответствуют двум принятым в мировой практике способам решения проблемы повышения точности навигационных определений в КНС: либо повышением точности эфемеридно-временной информации, передаваемой потребителям в составе навигационного сигнала КНС, либо использованием для повышения точности навигационных определений на основе навигационного сигнала КНС комплекса функцио-

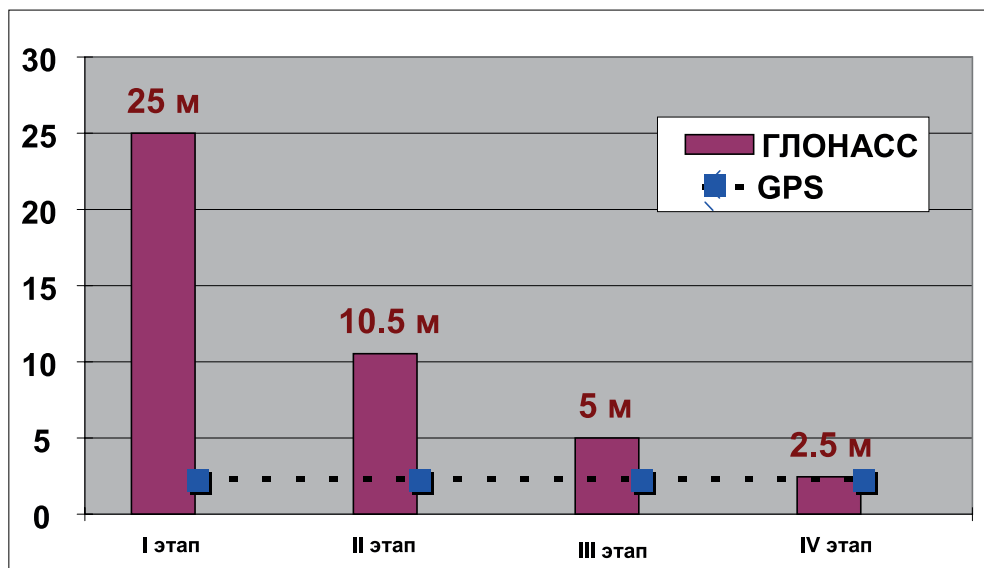


Рис.1. Этапы программы повышения точности системы ГЛОНАСС

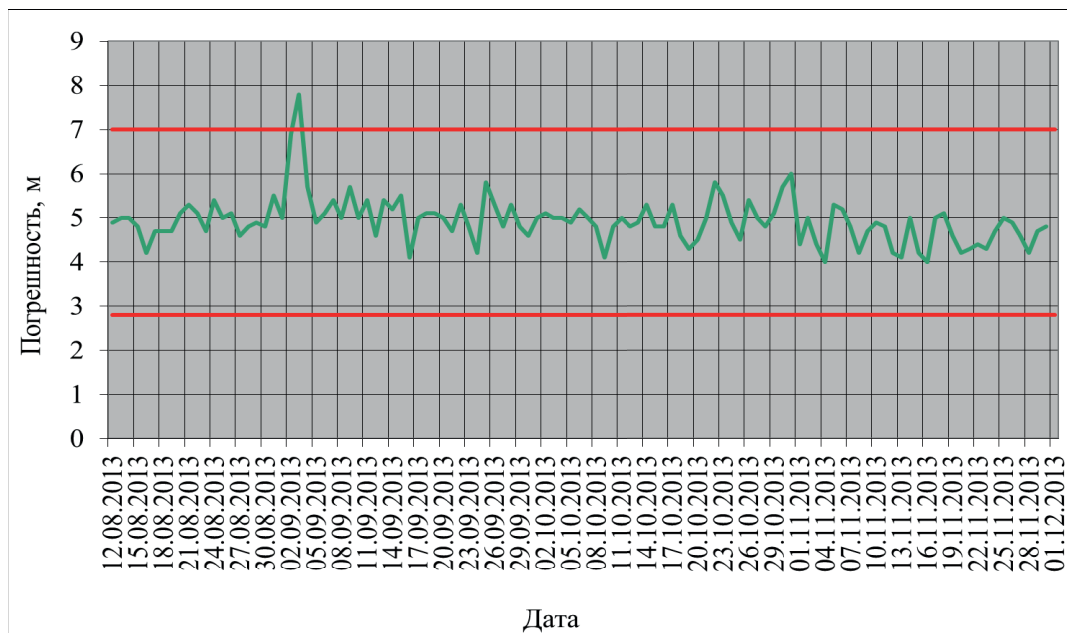


Рис.2. Текущая точность определения местоположения потребителей в системе ГЛОНАСС

нальных дополнений с передачей потребителям дополнительной (корректирующей) эфемеридно-временной информации [4–6].

В общем случае под функциональными дополнениями следует понимать не входящие в состав КНС аппаратные и программные средства, предназначенные для повышения точности навигационных определений потребителей на основе навигационного сигнала КНС. Общий принцип построения функциональных дополнений КНС состоит в реализации дифференциального режима навигационных определений, при котором потребители получают корректирующую информацию, являющуюся налогом дифференциальных поправок при «классическом» дифференциальном режиме навигации с использованием наземных контрольно-корректирующих станций [1,7]. Эта корректирующая информация представляет собой оценки погрешностей измерений и данные о целостности навигационного поля КНС, которые учитываются потребителями при их навигационных определениях и позволяют устранить соответствующие составляющие суммарной ошибки определения местоположения.

Анализ функциональных возможностей наземного и орбитального сегментов системы ГЛОНАСС показывает, что в настоящее время и с учетом перспектив развития системы возможности дальнейшего повышения точности эфемеридно-временной информации для достижения «метрового» уровня точности местоопределения потребителей только за счет совершенствования средств системы ГЛОНАСС приближаются к своему пределу. Это связано с тем, что для повышения точности эфемеридно-временной информации, передаваемой потребителям в составе навигационных сообщений, необходимо существенное увеличение состава наземного сегмента системы ГЛОНАСС и усложнения технологических циклов управления навигационными КА. В этих условиях в качестве основного направления повышения точности навигационных определений потребителей системы ГЛОНАСС следует рассматривать использование функциональных дополнений.

К настоящему времени получили развитие два функциональных дополнения системы ГЛОНАСС – Система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) и Система высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП) [7]. Для обеих систем состав, структура, решаемые задачи и порядок обмена данными с потребителями системы ГЛОНАСС определены выпущенными Интерфейсными контроль-

ными документами (ИКД) [8,9], аналогичными по статусу ИКД системы ГЛОНАСС. Рассмотрим функциональные возможности этих систем и перспективы их использования потребителями в оперативном и апостериорном режимах.

Задачами СДКМ являются оперативный и апостериорный мониторинг целостности КНС ГЛОНАСС и GPS, трансляция потребителям дифференциальных поправок и информации о целостности радионавигационного поля, а также апостериорный анализ характеристик системы ГЛОНАСС. Для этого на обширной территории разворачивается сеть пунктов мониторинга с приемниками сигналов КНС. Измерения, полученные на этих пунктах, передаются для обработки в центр глобального мониторинга, где вычисляются погрешности текущих эфемерид и бортовой шкалы времени навигационных КА систем ГЛОНАСС и GPS. СДКМ должна гармонично дополнить существующие локальные дифференциальные подсистемы различной ведомственной подчиненности за счет большей зоны покрытия и распределенной сети собственных и зарубежных станций, принадлежащих различным международным службам.

В СДКМ в реальном времени вырабатывается и передается потребителям КНС корректирующая информация (КИ) и оперативная информация целостности (ИЦ) о качестве функционирования КНС. Кроме того, в апостериорном режиме потребителям предоставляется расширенная информация о качестве функционирования КНС. В СДКМ вырабатывается КИ двух типов: широкозонная КИ, содержащая поправки к эфемеридно-временной информации навигационных КА, и региональная КИ, содержащая поправки к измерениям псевдодалности по фазе кода и фазе несущей для каждого навигационного КА. В качестве средств оперативной доставки потребителям широкозонной КИ и оперативной ИЦ в СДКМ предполагается использование общедоступных каналов сети Интернет и каналов спутниковой ретрансляции.

Состав СДКМ представлен на рис.3. Основными элементами СДКМ являются сеть станций сбора измерений (СССИ), включающая станции сбора измерений (ССИ) на территории Российской Федерации и за рубежом, подсистема информационного обмена (ПИО), Центр дифференциальной коррекции и мониторинга (ЦДКМ) и подсистема передачи данных потребителям (ППДП). СССИ и ПИО образуют комплекс сбора измерений (КСИ). ППДП включает наземный сегмент (НС ППДМ) и спутниковый сегмент (СС ППДМ) доставки информации потребителям.

КОСМОС И ИНФОРМАТИКА

ССИ расположены на пунктах мониторинга и оборудованы навигационными приемниками, обладающими способностью производить измерения по сигналам навигационных КА систем ГЛОНАСС и GPS в диапазонах L1 и L2 по фазе кода и фазе несущей. К концу 2012 г. были развернуты 16 пунктов мониторинга на территории Российской Федерации и 2 пункта мониторинга в Антарктике (на базе российских научно-исследовательских станций). Еще на территории страны и ее пределами планируется разместить по 6–8 ССИ. Дополнительные ССИ за пределами Российской Федерации могут быть размещены в Латинской Америке и в Азиатско-Тихоокеанском регионе. ЦДКМ включает сектора сбора информации, анализа навигационной и измерительной информации и аппаратно-программного обеспечения.

На ЦДКМ ложится основная нагрузка в рамках выполнения задач СДКМ, как функционального дополнения системы ГЛОНАСС. Это – сбор и обработка измерений, поступающих от ССИ, реализация функций оперативного и апостериорного мониторинга, подготовка КИ и ИЦ для передачи потребителям, поддержание баз данных с результатами мониторинга навигационного поля и обслуживание потребителей. В процессе своего функционирования ЦДКМ взаимодействует с Центром управления системы ГЛОНАСС (ЦУС-У) и с СВОЭВП. От СВОЭВП в ЦДКМ поступает высокоточная эфемеридно-временная информация и данные о состоянии навигационного поля системы ГЛОНАСС, формируемые СВОЭВП в апостериорном режиме.

На рис.4 показан состав комплекса средств доставки информации СДКМ потребителям по наземным и спутниковым линиям связи. Передача корректирующей информации по спутниковым радиоканалам предусматривается с использованием многоцелевой космической системы ретрансляции (МКСР) «Луч», функционально входящей в состав СДКМ. В настоящее время сформирована орбитальная группировка МКСР – на геостационарную орбиту выведены три спутника-ретранслятора (СР) МКСР типа «Луч-5» (последний из них – в апреле 2014 г.). В состав бортовой аппаратуры СР типа «Луч-5» входит специализированный ретранслятор сигналов СДКМ. Наличие спутникового сегмента делает СДКМ системой функционального дополнения КНС класса SBAS (Space-Based Augmentation Systems) и является основой обеспечения широкозонной зоны обслуживания СДКМ на всей территории Российской Федерации. В перспективе планируется передача информации СДКМ через навигационные КА «Глонасс-К». Передача корректирующей информации по наземным

линиям связи будет осуществляться по сети Интернет. В целях информирования потребителей создан Интернет-сайт СДКМ (www.sdcm.ru), на котором размещается информация о системе.

Зона действия СДКМ определяется областью, в которой потребитель имеет возможность принимать данные СДКМ по спутниковым или наземным линиям связи. На рис.5 показаны зона действия СДКМ и зарубежных функциональных дополнений КНС класса SBAS – американской широкозонной системы функционального дополнения WAAS, европейской системы навигационного обслуживания EGNOS, японской спутниковой системы функционального дополнения MSAS и индийской спутниковой системы функционального дополнения GAGAN. Все зарубежные системы (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN) в настоящее время передают широкозонные поправки в формате SBAS только для КНС GPS. В СДКМ предполагается передача широкозонных поправок для КНС ГЛОНАСС и GPS.

По результатам оперативного мониторинга потребителям в реальном масштабе времени в виде КИ и ИЦ передаются данные, которые могут быть введены в навигационную аппаратуру потребителя и учтены при вычислении его координат, при этом сигналы навигационных КА, дающие аномально высокие погрешности измерений, не смогут понизить качество навигационных определений. Определение корректирующей информации оперативного мониторинга, оценка целостности навигационных полей и остаточных погрешностей среды распространения при решении задач оперативного мониторинга КНС в СДКМ осуществляется с частотой обновления данных 1 Гц, задержка доставки оперативной корректирующей информации потребителям составляет до 5 с.

Апостериорный мониторинг обеспечивает фиксирование ситуаций, когда навигационные КА функционируют аномально, а также оценку различных параметров, влияющих на качество навигационных определений. По результатам апостериорного мониторинга осуществляется оценка статистических характеристик различных негативных факторов, влияющих на точность навигационных определений потребителей в КНС. Это две группы факторов: погрешности эфемерид и частотно-временных параметров по каждому навигационному КА систем ГЛОНАСС и GPS и погрешности, обусловленные влиянием тропосферы и ионосферы.

В СДКМ предусмотрены режимы обеспечения «метровой» и «сантиметровой» точности местоопределения потребителей. В соответствии

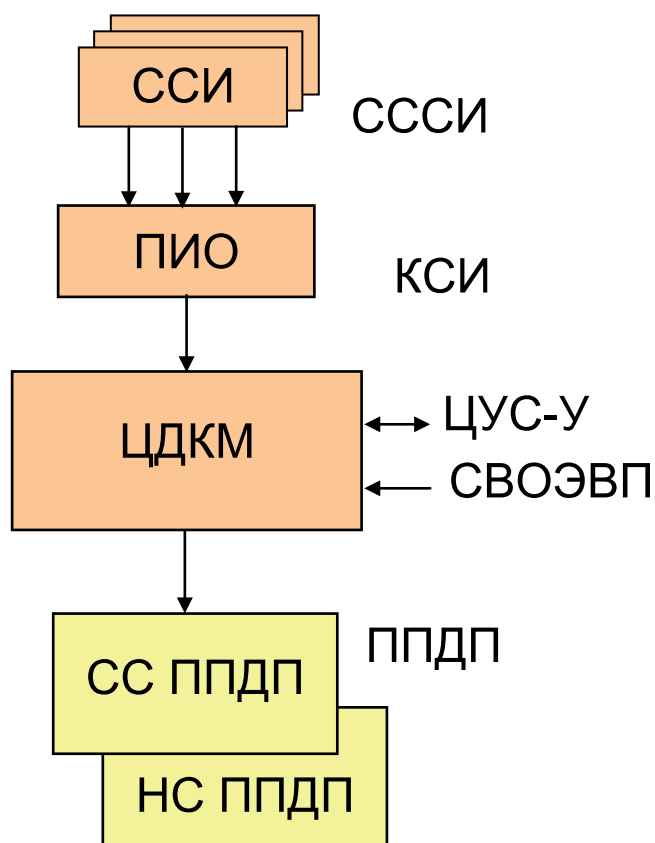


Рис.3. Основные подсистемы СДКМ

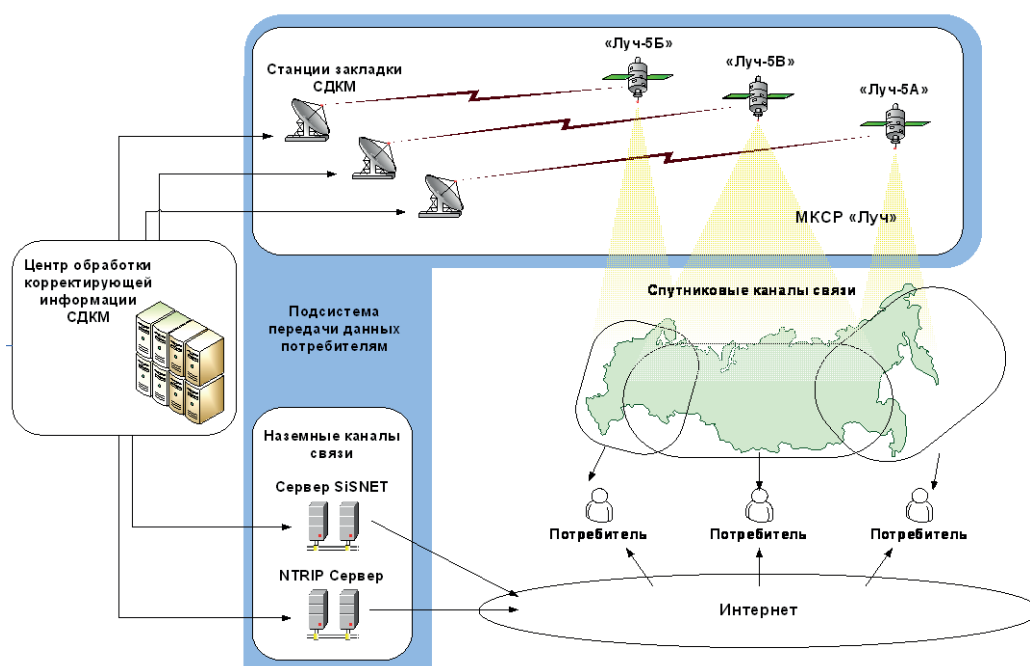


Рис.4. Комплекс средств доставки информации СДКМ потребителям

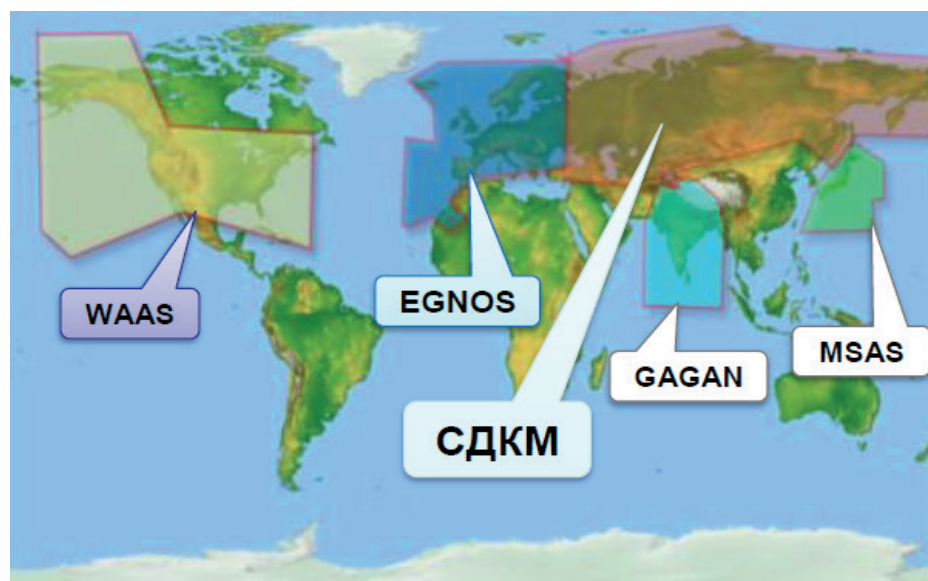


Рис.5. Зоны действия СДКМ и зарубежных функциональных дополнений КНС класса SBAS

с предъявляемыми к СДКМ техническими требованиями в режиме «метровой» точности она должна обеспечивать СКО определения координат потребителями в реальном времени в любой точке обслуживаемой территории не хуже 1,5 м в плане и 3 м по высоте. определение потребителями координат с «метровой» точностью на всей территории, охваченной зоной обслуживания системы. А в случае совместного использования сигналов систем ГЛОНАСС и GPS, СДКМ и региональных функциональных дополнений предполагается возможность определения потребителями своих координат в режиме «сантиметровой» точности с обеспечением СКО определения координат относительно опорных (дифференциальных) станций в реальном времени в на удалении до 200 км от опорных станций не хуже 3 см в плане и 6 см по высоте.

Принцип обеспечения в СДКМ «метровой» точности определения потребителями координат в реальном времени заключается в следующем. Потребителю в реальном времени передается широкозонная корректирующая информация – поправки к эфемеридам и бортовым часам навигационных КА. Потребитель использует эту корректирующую информацию, а также компенсирует ионосферную погрешность двухчастотным методом и тропосферную задержку при помощи модели. Для широкоэмитерного распространения КИ должен использоваться сигнал в диапазоне L1 (1575,42 МГц). Использование формата SBAS и сигнала в диапазоне L1 обеспечивает совместимость СДКМ с существующими

зарубежными системами SBAS, а также позволяет использовать имеющийся парк аппаратуры потребителей. При распространении КИ по сети Интернет предполагается использование протокола SISNet, хорошо зарекомендовавшего себя при распространении КИ, формируемой европейской системой навигационного обслуживания EGNOS.

Принцип обеспечения в СДКМ «сантиметровой» точности определения потребителями координат в реальном времени заключается в следующем. Потребителю в реальном времени передается локальная корректирующая информация – поправки к эфемеридам и бортовой шкалы времени навигационных КА и дифференциальные поправки к измерениям по фазе и коду несущей, сформированные локальной опорной (контрольно-корректирующей) станцией. Потребитель использует эту корректирующую информацию, а также компенсирует ионосферную погрешность двухчастотным методом и тропосферную задержку при помощи модели. Передача КИ производится по сети Интернет, наземным и спутниковым линиям связи. Как и в режиме обеспечения «метровой» точности, поправки к эфемеридам и бортовым часам навигационных КА должны передаваться в формате систем SBAS и с использованием сигналов в диапазоне L1. Локальные дифференциальные поправки должны передаваться по наземным линиям связи или по сети Интернет в формате RTCM SC-104. На практике дальность действия режима обеспечения «сантиметровой» точности может определяться

дальностью действия наземных средств связи, передающих КИ от местной опорной станции.

В настоящее время на территории РФ для отработки технологий СДКМ и демонстрации потенциальным заказчикам различных технологий навигационных определений вместе с развернутыми станциями мониторинга и ЦДКМ осуществляется реализация пилотных проектов:

- пилотной региональной дифференциальной системы (РДС-П);
- пилотной мобильной региональной дифференциальной системы (МРДС-П);
- пилотной межрегиональной системы относительных определений (МСОО-П).

Задачами СВОЭВП являются апостериорный мониторинг целостности СРНС и предоставление потребителям высокоточных эфемерид и поправок к бортовым шкалам времени навигационных КА, необходимых для решения потребителями с использованием КНС различных прикладных и фундаментальных задач. Для этого в СВОЭВП осуществляется совместная обработка результатов измерений текущих навигационных параметров навигационных КА запросных и беззапросных измерительных средств наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС, собственных измерительных средств СВОЭВП, беззапросных измерительных средств глобальной сети, а также других отечественных и зарубежных наземных радиотехнических и квантово-оптических измерительных средств.

СВОЭВП функционирует в автоматизированном режиме, обеспечивая сбор, хранение и обработку измерительной и навигационной информации по КНС ГЛОНАСС и GPS, данных о параметрах вращения Земли и расхождениях шкал времени от различных отечественных и международных источников, технологических данных по навигационным КА и измерительным средствам, обеспечивая расчет выходных данных, формирование их в установленном виде и выдачу их потребителям. В процессе своего функционирования СВОЭВП взаимодействует с отечественными и зарубежными, региональными и ведомственными центрами сбора прецизионной измерительной, технологической, геодинимической, геодезической, метеорологической, гелиогеофизической и другой информации. Конечными результатами функционирования СВОЭВП являются управление технологическим процессом расчета прецизионных эфемеридно-временных данных, контроль точности оперативного эфемеридно-временного обеспечения системы ГЛОНАСС, анализ причин ухудшения и выдача рекомендаций по их устранению.

Данные СВОЭВП могут быть использованы потребителями для прецизионного моделирования параметров движения навигационных КА, решения фундаментальных геодинимических и геодезических задач, получения уточненных координат измерительных средств и параметров движения наземных, воздушных и космических объектов, планирования навигационных определений в КНС ГЛОНАСС. В отличие от СДКМ основным режимом использования потребителями данных СВОЭВП является апостериорный режим, однако за счет использования высокоточной эфемеридно-временной информации и уточненных параметров моделей тропосферы и ионосферы в апостериорном режиме обеспечивается более высокая точность решения координатно-временных задач по сравнению с оперативным режимом.

Состав СВОЭВП представлен на рис.6. Основными элементами СВОЭВП являются Центр сбора, обработки информации и управления (ЦСОИУ), подсистемы сбора информации от государственных источников информации (ПСИ ГИИ) и от негосударственных и зарубежных источников информации (ПСИ НГЗИИ), пункт метрологического контроля (ПМК) и подсистема представления результатов потребителям (ППРП). Функционально в состав СВОЭВП входят измерительные средства (ИС) различной ведомственной принадлежности и внешняя подсистема передачи данных (ППД).

На ЦСОИУ ложится основная нагрузка по выполнению задач СВОЭВП. Это – прием и обработка данных измерений от ИС, контроль точности текущего эфемеридно-временного обеспечения системы ГЛОНАСС и выдача потребителям результирующей информации. ЦСОИУ получает измерительную информацию, поступающую от ИС, по ППД через ПСИ ГИИ и ПСИ НГЗИИ. По этим данным в ЦСОИУ осуществляется расчет высокоточной апостериорной эфемеридно-временной информации, при этом используются специальные методы обработки результатов измерений, отличающиеся от методов обработки результатов текущих измерений в ЦУС-У при оперативном эфемеридно-временном обеспечении системы ГЛОНАСС. В процессе своего функционирования ЦСОИУ взаимодействует с ПМК, ЦУС-У, СДКМ, а также со смежными средствами – комплексом средств определения и прогнозирования параметров вращения Земли (КСОППВЗ) и со стендом калибровки навигационной аппаратуры потребителя (СКНАП).

Особенностью взаимодействия ЦСОИУ с ЦУС-У и СДКМ является то, что от них СВОЭВП

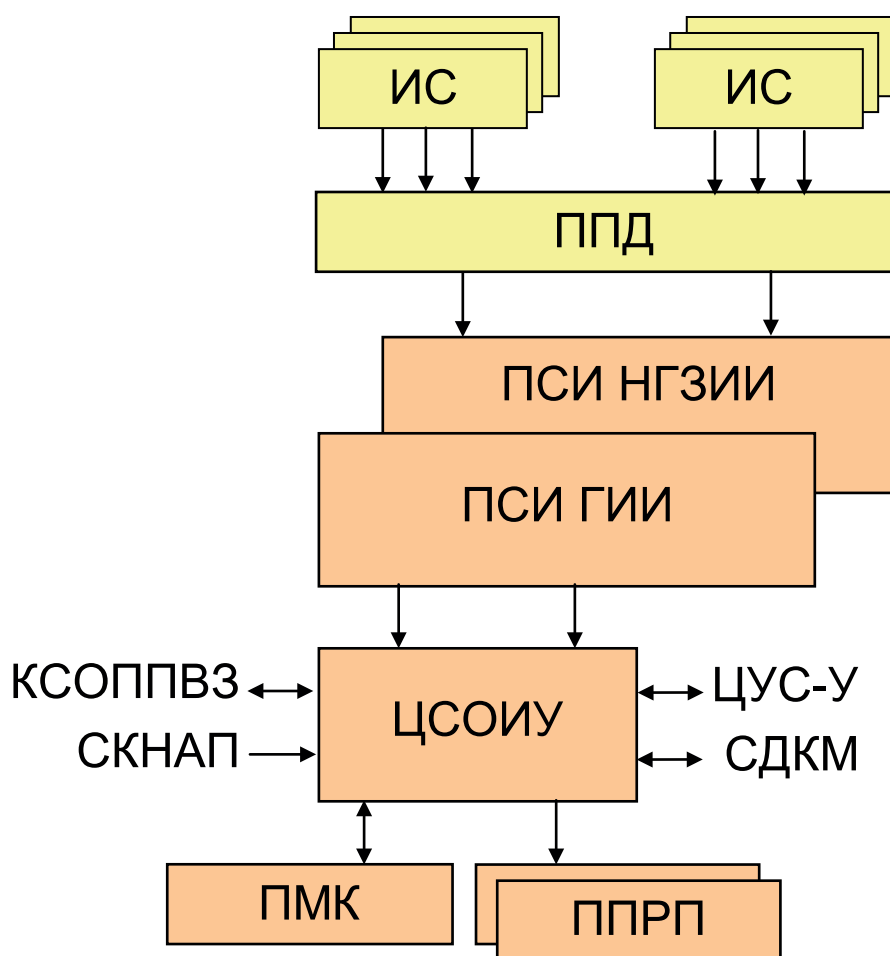


Рис.6. Основные подсистемы СВОЭВП

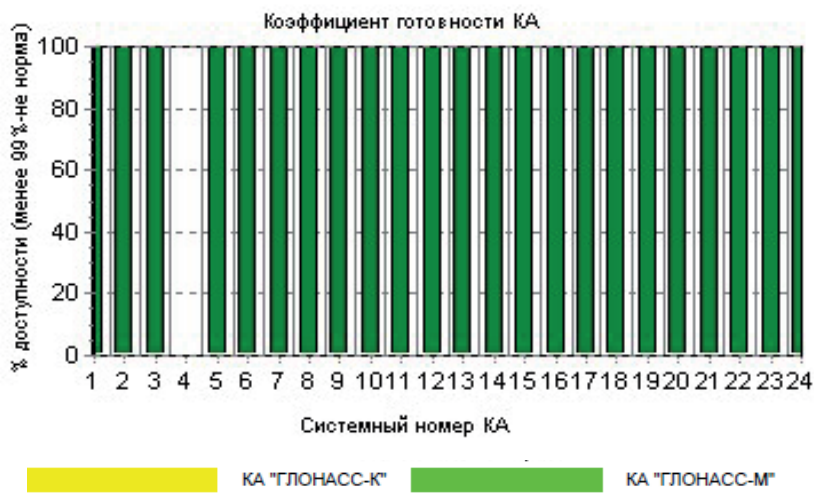
получает результаты текущих измерений измерительных средств наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС и СДКМ, а после обработки всей измерительной информации СВОЭВП передает в ЦУС-У и СДКМ высокоточную апостериорную эфемеридно-временную информацию. Контроль и поддержание метрологических характеристик СВОЭВП осуществляется ПМК путем периодической оценки точностных характеристик эфемеридно-временной информации, выдаваемой потребителям. Для потребителей различных классов и ведомственной принадлежности планируется создание нескольких ППРП.

Источником данных для расчета эфемеридно-временной информации – высокоточных эфемерид и частотно-временных поправок к бортовой шкале времени навигационных КА – являются измерения глобально распределенной по поверхности Земли сети беззапросных ИС (беззапросные кодовые измерения на СТ-коде текущих

навигационных параметров навигационных КА, доплеровские измерения и измерения на фазе несущей), измерения радиоинтерферометров со сверхдлинной базой и квантово-оптических систем, а также измерения запросных и беззапросных средств наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС. В результате расчетов формируются таблично представляемые высокоточные эфемериды и частотно-временные поправки к бортовой шкале времени навигационных КА относительно шкалы времени системы, описывающие положение КА системы ГЛОНАСС в пространстве и времени. В ЦУС-У целях повышения качества навигационного поля системы ГЛОНАСС производится совместный анализ апостериорной эфемеридно-временной информации, поступившей от СВОЭВП, и результатов решения навигационных задач по данным измерений, поступивших от средств наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС. Кроме

Таблица 1 – Характеристики группировки НКА

СН	№КА	Тип КА	Литер	Тсущ,л	Дост/Цел (%)	ЭПД, м	ЭПД(ЧВИ), м	ЭПД(ЭИ), м	Примечание
1	730	ГЛОНАСС-М	1	1.65	100/100	1.22	0.99	0.71	
2	728	ГЛОНАСС-М	-4	2.62	100/100	2.67	2.66	0.24	
3	715	ГЛОНАСС-М	-6	4.62	100/100	4.50	4.42	0.82	
4	701	ГЛОНАСС-К	-5						Не исп. по ЦН
5	734	ГЛОНАСС-М	1	1.65	100/100	2.06	2.00	0.50	
6	733	ГЛОНАСС-М	1	1.65	100/100	2.06	2.00	0.50	
7	712	ГЛОНАСС-							
8	729	ГЛОНАСС-							
9	736	ГЛОНАСС-							
10	717	ГЛОНАСС-							
11	723	ГЛОНАСС-							
12	737	ГЛОНАСС-							
13	721	ГЛОНАСС-							
14	722	ГЛОНАСС-							
15	716	ГЛОНАСС-							
16	738	ГЛОНАСС-							
17	714	ГЛОНАСС-							
18	724	ГЛОНАСС-							
19	720	ГЛОНАСС-							
20	719	ГЛОНАСС-							
21	725	ГЛОНАСС-							
22	731	ГЛОНАСС-							
23	732	ГЛОНАСС-							
24	735	ГЛОНАСС-М	2	1.44	100/100	8.11	8.10	0.35	



Примечание:

1. Тсущ - время существования КА, [лет]
2. Дост/Цел - доступность и целостность навигационного сигнала КА, [% от суточного интервала]
3. ЭПД - эквивалентная погрешность дальности за счет космического сегмента (SISRE) на суточном интервале (по уровню вероятности 0,95)
 - 3.1. ЭПД(ЧВИ) - вклад погрешностей ЧВП к БШВ КА в значение ЭПД
 - 3.2. ЭПД(ЭИ) - вклад погрешностей эфемерид КА в значение ЭПД
4. Не исп. по ЦН - не используется по целевому назначению

Рис.7. Представление в Бюллетене СВОЭВП данных о состоянии орбитальной группировки системы ГЛОНАСС

Таблица 2 – Оценка погрешности определения пространственных координат потребителя за счет космического сегмента при PDOP=2 (по уровню вероятности 0,95)

Оцениваемый параметр	Значение
Положение (UNE), м	7.0

Рис.8. Представление в Бюллетене СВОЭВП данных о погрешности определения пространственных координат потребителями за счет космического сегмента

того, по данным СВОЭВП в ЦУС-У осуществляется уточнение корректируемых параметров математических моделей оперативного эфемеридно-временного обеспечения.

Рассчитываемая в СВОЭВП и предоставляемая потребителям информация по степени оперативности представления подразделяется на следующие виды: «оперативные данные» предоставляемые с задержкой не более 1–2 часов; «предварительные данные», предоставляемые с задержкой не более 1–2 суток; «окончательные данные», предоставляемые с задержкой не более 15 суток. В состав выходной информации СВОЭВП каждого вида (оперативной, предварительной и окончательной) входят высокоточная эфемеридная информация и поправки к бортовым шкалам времени навигационных КА систем ГЛОНАСС и GPS. Дополнительно потребителям могут предоставляться: параметры вращения Земли, параметры моделей ионосферы и тропосферы, уточненные координаты измерительных средств, калибровочные поправки для навигационной аппаратуры ГЛОНАСС и другие данные. Информация СВОЭВП передается потребителям по каналам передачи данных, а также публикуется в Бюллетенях СВОЭВП. В целях информирования потребителей создан Интернет-сайт СВОЭВП (www.glonass-svoevp.ru), на котором размещается информация о системе, а также компьютерные Бюллетени СВОЭВП.

Данные о состоянии системы ГЛОНАСС и формируемого ею навигационного поля представляются в Бюллетенях СВОЭВП в виде таблиц и диаграмм. На рис.7 приведены вид таблиц и диаграмм, характеризующих состояние орбитальной группировки системы ГЛОНАСС. На рис.8 приведен вид таблиц, характеризующих апостериорную оценку погрешности определения пространственных координат потребителями за счет космического сегмента. Представленные формы используются в ежедневных Бюллетенях СВОЭВП. Диаграмма, характеризующая достигнутый в системе ГЛОНАСС уровень погрешности определения пространственных

координат потребителями, приведенная на рис.2, построена по данным, приведенным в аналогичных ежедневных Бюллетенях.

СВОЭВП обеспечивает следующие точностные характеристики определения эфемерид и частотно-временных поправок КА системы ГЛОНАСС. Параметры движения центра масс навигационных КА с предельными погрешностями не более: оперативные данные – 5,0 м вдоль орбиты, 2,0 м по бинормали к орбите, 0,7 м по радиусу-вектору; предварительные данные – соответственно 3,0 м, 1,5 м, 0,4 м; окончательные данные – соответственно 0,5 м, 0,2 м, 0,1 м. Поправки к бортовой шкале времени навигационных КА относительно шкалы времени системы с предельными погрешностями не более: оперативные данные – 10 нс; предварительные данные – 6 нс; окончательные данные – 3 нс.

Использование данных СВОЭВП способствует повышению потребительских характеристик системы ГЛОНАСС и обеспечению её конкурентоспособности, как в части характеристик навигационного поля, так и в части обеспечения возможностей для прецизионной апостериорной обработки навигационных измерений потребителями. Основными направлениями использования потребителями системы ГЛОНАСС данных СВОЭВП являются:

- решение задач определения местоположения, скорости движения и времени с более высокой точностью по сравнению с использованием оперативной эфемеридно-временной информации путем ее замены апостериорными данными СВОЭВП;

- решение прикладных задач навигации и геодезии с использованием прямых или разностных беззапросных кодовых и фазовых измерений и их линейных комбинаций с использованием кинематических или динамических методов.

Проведенный анализ принципов построения и основных характеристик двух функциональных дополнений системы ГЛОНАСС – СДКМ и СВОЭВП – показывает их широкие

возможности по предоставлению потребителям системы ГЛОНАСС корректирующей информации различного вида для повышения точности навигационных определений в оперативном (СДКМ) и апостериорном (СВОЭВП) режимах. В результате развертывания СДКМ и создания СВОЭВП различные группы потребителей смогут с более высокой эффективностью решать прикладные координатно-временные задачи. При использовании корректирующей информации, поступающей от функциональных дополнений, у потребителей появится возможность определения координат с «метровой» точностью на всей территории Российской Федерации и с «сантиметровой» точностью в отдельных регионах, в зависимости от конкретных задач.

Таким образом, на современном этапе развития системы ГЛОНАСС улучшение ее потребительских характеристик, предусмотренное программой повышения точности системы, следует рассматривать как результат совместного развития наземного комплекса управления и комплекса функциональных дополнений системы. Принципиальное значение имеет обоснование и принятие таких организационно-технических решений, выбор схем измерений и алгоритмов совместной обработки их результатов, при которых повышение точности эфемеридно-временного обеспечения будет достигаться с использованием всех возможностей функциональных дополнений, обеспечивающих дальнейшее улучшение потребительских характеристик системы.

Литература

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С.Шебшаевич, П.П.Дмитриев, В.Н.Иванцевич и др.; Под ред. В.С.Шебшаевича // М.: Радио и связь, 1993. 408 с.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Р.В.Бакитько, Н.Т.Булавский, А.П.Горев и др.; Под ред. А.И.Перова, В.Н.Харисова // М.: Радиотехника, 2005. 688 с.
3. Перов А.И. Основы построения спутниковых радионавигационных систем. – М.: Радиотехника. 2012. – 240 с.
4. Михайлов С., Кульнев В. Анализ направлений и состояния разработок функциональных дополнений к спутниковым радионавигационным системам // Беспроводные технологии. – 2006. – №3. – С.61–69; №4. – С.64–71.
5. Эфемеридно-временное обеспечение системы ГЛОНАСС / М.Леонов, А.Круглов, В.Романюк и др. // Аэрокосмический курьер. – 2007. – №1. – С.66–69.
6. Дворкин В.В., Карутин С.Н., Глухов П.Б. Анализ состояния и перспектив развития технологии высокоточного местоопределения по сигналам ГНСС // Радиотехника. – 2011. – №3. – С.4–13.
7. Романов А.А., Романов А.А. Основы космических информационных систем. – М.: Радиотехника, 2013. – 352 с.

8. Система дифференциальной коррекции и мониторинга. Интерфейсный контрольный документ (редакция 1.0). – М.: ОАО «Российские космические системы», 2012. –131 с.

9. Система высокоточного определения эфемерид и временных поправок. Интерфейсный контрольный документ (редакция 3.0). – М.: ОАО «Системы прецизионного приборостроения», 2011. – 93 с.