

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ GLOBALSTAR

ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ В РАМКАХ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ И МОНИТОРИНГА

С. В. Аверин, В. В. Дворкин, ФГУП «РНИИ КП»
Я. В. Баранов, ЗАО «ГлобалТел»



Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) создаётся при головной роли ФГУП «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения» (ФГУП «РНИИ КП»).

Необходимость создания СДКМ обусловлена растущими требованиями к точности и целостности навигационных определений, предъявляемыми со стороны различных групп потребителей. Эти требования не могут быть удовлетворены штатными средствами в составе космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС и GPS.

В основе применения СДКМ лежит принцип покрытия общим сигналом всей территории РФ, в составе которого будет передаваться корректирующая информация, единая для всех потребителей, находящихся в пределах зоны покрытия. Для реализации данного принципа предполагается использовать сигнал, излучаемый с борта специализированного геостационарного ИСЗ.

Прежде чем будет запущен специализированный ИСЗ или абонирован специализированный канал, планируется использовать систему Globalstar для доведения до потребителей корректирующей информации. В дальнейшем планируется использование системы Globalstar в качестве резервного канала распространения корректирующей информации.

В данной публикации описываются основные принципы, на которых основано применение СДКМ в пакетном режиме передачи данных с помощью системы Globalstar. В публикации также описываются результаты экспериментов по передаче корректирующей информации с помощью системы Globalstar.

ВВЕДЕНИЕ

Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) создаётся ФГУП «РНИИ КП» в кооперации с другими организациями. Работы были начаты в соответствии с контрактом, подписанным с Федеральным космическим агентством России (Роскосмосом) в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «ГЛОНАСС».

ФЦП «ГЛОНАСС» была утверждена в 2001 г. постановлением Правительства Российской Федерации от 20.08.2001 № 587 и скорректирована в 2006 г. постановлением Правительства Российской Федерации от 14.08.2006 № 423.

Необходимость создания СДКМ обусловлена растущей потребностью различных групп потребителей в использовании высокоточных данных и целостности навигационных определений ([1]).

Эти требования не могут быть реализованы штатными средствами в составе космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС и GPS.

Например, при движении судов по внутренним водным путям (реки, каналы) требуется точность определения координат от 5 до 0.25 м в реальном времени с вероятностью до 0.999, что не может быть обеспечено при использовании существующих сигналов КНС GPS и ГЛОНАСС.

Локальные дифференциальные системы, излучающие сигналы в диапазоне морских радиомаяков (298.5 – 325 МГц), или в любом другом, обеспечивают повышенную точность лишь в радиусе не более 200 км относительно опорной станции. Учитывая огромную протяженность транспортных водных путей Российской Федерации (РФ), понимаем, что обеспечить всех потребителей повышенной точностью навигационных определений с помощью одних лишь локальных опорных станций невозможно.

СДКМ позволяет реализовать доставку корректирующей информации (дифпоправок) недорогим способом, поскольку в её основе лежит принцип покрытия общим сигналом всей территории РФ (на сегодня это Российский сегмент системы связи Глобалстар), по которому будет передаваться корректирующая информация, единая для всех потребителей, находящихся в пределах зоны покрытия. Для реализации данного принципа предполагается использовать сигнал, излучаемый с борта специализированного геостационарного ИСЗ. Однако прежде чем будет запущен специализированный ИСЗ или абонирован специализированный канал, планируется использовать систему Globalstar для доведения до потребителей корректирующей информации. В дальнейшем планируется использовать систему Globalstar в качестве резервного канала передачи дифпоправок.



Рис. 1. Обобщенная схема СДКМ

Принципы функционирования СДКМ

Система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) является функциональным дополнением к космическим навигационным системам (КНС) ГЛОНАСС и GPS.

В случае развёртывания КНС GALILEO СДКМ будет дооборудована средствами, обеспечивающими решение аналогичных задач по КНС GALILEO.

Планируется, что СДКМ будет системой гражданского назначения, не входящей в наземный комплекс управления (НКУ) КНС ГЛОНАСС. Однако информация, вырабатываемая СДКМ, может использоваться НКУ ГЛОНАСС при решении целевых задач.

СДКМ должна вырабатывать два типа данных:

- информацию целостности (ИЦ),
- корректирующую информацию (КИ).

Задачами СДКМ является:

- ведение оперативного мониторинга целостности (ОМ);
- ведение апостериорного мониторинга целостности (АМ);
- обеспечение «метрового» уровня точности определения координат в реальном времени в любой точке обслуживаемой территории (по уровню 0.997):
 - в плоскости: 1.5 м;
 - по высоте: 3.0 м;

- обеспечение «сантиметрового» уровня точности определения координат в реальном времени в радиусе до 200 км относительно опорных станций (по уровню 0.997):
 - в плоскости: 2 см;
 - по высоте: 6 см;

Зоной обслуживания СДКМ является территория РФ и других стран, покрываемых Российским сегментом Глобалстар.

Задачами ОМ является выработка в реальном времени и передача потребителю оперативных данных, содержащих оценку ошибок измерения псевдодалей по навигационным космическим аппаратам (НКА) ГЛОНАСС и GPS.

Предполагается, что после получения такой информации алгоритм аппаратуры потребителей автоматически произведёт её учёт при вычислении координат. Таким образом, НКА, имеющие аномально высокие погрешности измерений, не смогут понизить качество навигационных определений.

Задачей АМ является апостериорная оценка статистических характеристик различных негативных факторов, таких как:

- погрешностей эфемерид по каждому НКА ГЛОНАСС и GPS;
- погрешностей частотно-временных параметров (ЧВП) по каждому НКА ГЛОНАСС и GPS;

- влияния тропосферы;
- влияния ионосферы.

Результаты АМ планируется предоставлять потребителям посредством Интернета, либо в виде печатных бюллетеней.

Принцип обеспечения «метровой» точности определения координат в реальном времени заключается в следующем:

1. Потребителю в реальном времени передаётся корректирующая информация (КИ) следующего состава:

- поправки к «бортовым» эфемеридам НКА;
- поправки к «бортовым» часам НКА.

2. Потребитель компенсирует погрешности:

- ионосферную задержку двухчастотным методом;
- тропосферную задержку при помощи модели.

КИ, обеспечивающая «метровый» уровень точности, должна формироваться в формате SBAS ([2]), аналогично тому, как это происходит в существующих системах WAAS (США) и EGNOS (Европа), и передаваться сервером при соединении с НАП по пакетному каналу TCP/IP Глобалстар.

Принцип обеспечения «сантиметровой» точности определения координат в реальном времени заключается в следующем:



Рис. 2. Покрывание территории РФ услугами системы Globalstar

1. Потребителю в реальном времени передается корректирующая информация (КИ) следующего состава:

- поправки к «бортовым» эфемеридам НКА;
- поправки к «бортовым» часам НКА;
- дифференциальные поправки к измерениям по фазе и коду несущей, сформированные локальной опорной станцией.

2. Потребитель компенсирует:

- ионосферную задержку двухчастотным методом;
- тропосферную задержку при помощи модели.

Как и в случае с «метровой» точностью, поправки к «бортовым» эфемеридам и часам НКА должны передаваться в формате SBAS в сеансе TSP/IP соединения НАП-модем Глобалстар – сервер СДКМ.

Локальные дифференциальные поправки должны формироваться в формате RTCM SC-104 ([3]).

Принцип обеспечения «сантиметрового» уровня точности заключается в том, что алгоритм обработки, заложенный в аппаратуре потребителя, обрабатывает в комплексе т. н. широкозонную КИ, передаваемую в формате SBAS, и локальную КИ, передаваемую в формате RTCM SC-104. В результате такой совместной обра-

ботки происходит устранение декорреляции погрешностей эфемерид на больших расстояниях и, теоретически, может быть обеспечено разрешение неоднозначности фазы несущей на расстояниях до 200–400 км относительно опорной станции ([4]). Однако, практически, дальность действия такого режима определяется дальностью действия средств связи, передающих КИ от местной опорной станции.

В соответствии со стандартом SBAS ([1]) широкозонная КИ должна передаваться с борта геостационарного космического аппарата (КА) в диапазоне L1 (1575.42 МГц).

Состав СДКМ

Система дифференциальной коррекции и мониторинга включает следующие компоненты:

- станции сбора измерений (ССИ) на Российской территории (от 6 до 18 ССИ) и ССИ за рубежом, задачей которых является доставка сырой измерительной информации, полученной по НКА ГЛОНАСС и GPS, по фазе кода и фазе несущей;
- центр дифференциальной коррекции и мониторинга (ЦДКМ), задачей которого является обработка исходной измерительной информации и формирование корректирующей

информации и информации целостности;

- подсистема информационного обмена (ПИО), обеспечивающая информационный обмен между различными компонентами системы;
- комплекс закладки и контроля (КЗиК), обеспечивающий закладку целевой информации на борт геостационарного КА для последующего излучения, а также контроль закладки;

На рис. 1 приведена обобщенная схема СДКМ, на которой отображены основные компоненты системы.

На рис. 1 номерами помечены места расположения ССИ по состоянию на 2006 г, а именно: **1 – Менделеево; 2 – Пулково; 3 – Кисловодск; 4 – Норильск; 5 – Иркутск; 6 – Петропавловск-Камчатский; 7 – Новосибирск.**

На указанных пунктах в настоящее время размещена аппаратура ГЛОНАСС/GPS, L1/L2, передающая сырую измерительную информацию в центр обработки, расположенный в Москве, во ФГУП «РНИИ КП», и являющийся прообразом ЦДКМ.

Изображение центра обработки (ЦДКМ) на рис. 1 совмещено с пунктом «Менделеево», ввиду их географической близости, однако фактически – это разные пункты.

В настоящее время, находясь на этапе разработки, центр обработки ФГУП «РНИИ КП» решает задачи оперативного и апостериорного мониторинга. В целях информирования потребителей создан Интернет-сайт (www.sdcm.ru). Пока, в настоящее время, функционирует экспериментальная версия сайта, имеющая только русскоязычный интерфейс.

Пункты сбора измерений за рубежом показаны на рис. 1 условно в виде одного квадрата, поскольку их размещение требует самостоятельной проработки. В настоящее время идут переговоры с отдельными зарубежными организациями, но об их результатах говорить ещё рано.

Для сбора данных с ССИ в настоящее время используются стандартные каналы Интернета.

Необходимость применения системы подвижной связи GLOBALSTAR

Как уже упоминалось в конце раздела 2, в соответствии со стандартом SBAS широкозонная КИ должна передаваться с борта геостационарного космического аппарата (КА) в диапазоне L1 (1575.42 МГц). Это означает либо необходимость запуска на геостационарную орбиту специализированного спутника, либо абонирование каналов на одном из существующих или планируемых к запуску спутников. Понятно,

что реализация этих планов может потребовать и много времени, и значительных инвестиций. До тех пор пока эти планы не реализованы, необходимо найти иные средства доставки КИ.

К средству, обеспечивающему доставку КИ, предъявляются следующие требования:

- 1) возможность приёма сигналов на всей территории РФ и других стран;
- 2) компактность аппаратуры потребителей;
- 3) использование потребителем всенаправленной антенны, чтобы обеспечить приём сигналов в движении.

Из всех систем связи, сертифицированных для применения на территории РФ, этим требованиям наиболее полно удовлетворяет система подвижной спутниковой связи Globalstar. На рис. 2 показана зона покрытия территории РФ услугами Российского сегмента системы Globalstar, предоставляемыми компанией ГлобалТел.

Для того чтобы обеспечить одновременный доступ к КИ со стороны большого количества потребителей, наиболее целесообразно использовать пакетную передачу данных, реализуемую в системе Globalstar на базе протокола ТСР/ИР и доступа к серверу СДКМ через Интернет или закрытую группу пользователей (ЗГ ППД).

При этом получение пакета КИ от сервера СДКМ в приемник GPS/Гло-

насс производится при IP соединении через Интернет или ЗГ ППД с программой сервера. Схема сети доставки КИ на подвижный НАП показана на рис. 3.

В настоящее время разработана технология SISNet, обеспечивающая распространение посредством Интернета корректирующей информации, вырабатываемой Европейским широкозонным дополнением EGNOS ([5]). Эту же технологию предполагается использовать и при создании СДКМ.

Для того чтобы отработать общие принципы и оценить характеристики, ожидаемые при распространении КИ посредством Интернета в режиме пакетной передачи данных через систему Globalstar, был проведён ряд экспериментов, описываемых далее.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПЕРЕДАЧЕ КИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ GLOBALSTAR

Эксперименты были организованы следующим образом.

Для выработки КИ использовалась контрольно-корректирующая станция (ККС) ГЛОНАСС/GPS разработки ФГУП «РНИИ КП», обеспечивающая передачу КИ в международном формате RTCM SC-104 ([3]).

Информация КИ непрерывно поступает на сервер СДКМ, который передает КИ на мобильные НАПы при каждом IP соединении.

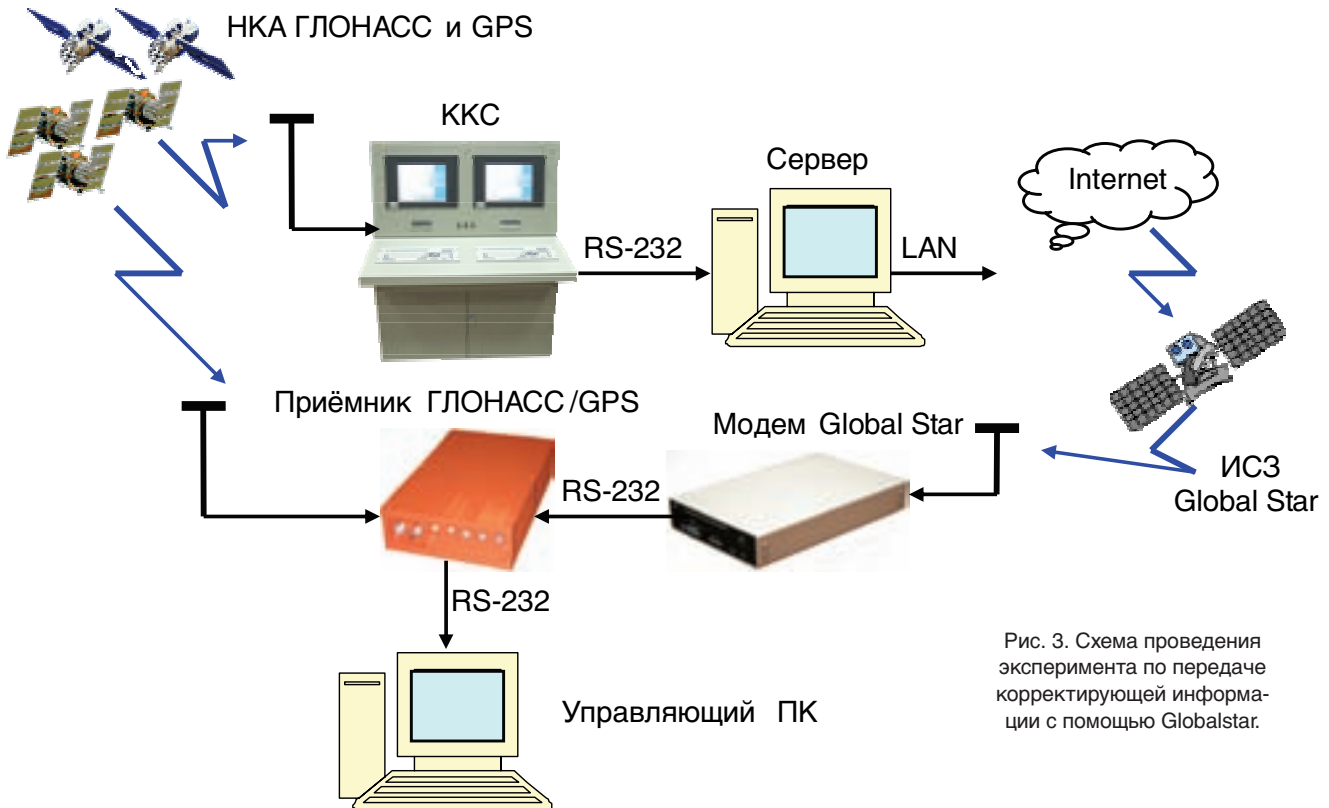


Рис. 3. Схема проведения эксперимента по передаче корректирующей информации с помощью Globalstar.

Доступ к серверу СДКМ производится через Интернет при помощи пакетного режима передачи данных через модем Globalstar по беспарольному коду доступа #777. Использовался одноканальный модем GSP-1620x1C с выносной всенаправленной антенной на фидере с длиной кабеля 23 м ([6]).

В качестве тестового приемника использовался стандартный коммерческий приёмник GGD-112T, производства «Javad Navigation Systems» с программным обеспечением «PCCDU» и интерфейсом RS232 для подключения к модему Глобалстар.

Схема проведения эксперимента приведена на рис. 3.

Изображенный на рис. 3 управляющий ПК использовался для управления работой:

- тестового навигационного приёмника ГЛОНАСС/GPS;
- технологического программного обеспечения, разработанного ФГУП «РНИИ КП» для статистической оценки задержек при распространении КИ и визуализации статистики принятых сообщений.

На первом этапе эксперимента вырабатывалась и доставлялась потребителю корректирующая информация, содержащая поправки только к кодовым измерениям (кадры RTCM SC-104 № № 1, 31). Приёмник потребителя работал в стандартном дифференциальном режиме (в т. н. «кодовом» режиме).

На рис. 4 изображена выборка решений, полученных в таком режиме в течение 30 минут. Изображение получено с помощью программного обеспечения PCCDU. Цена деления составляет 1 м.

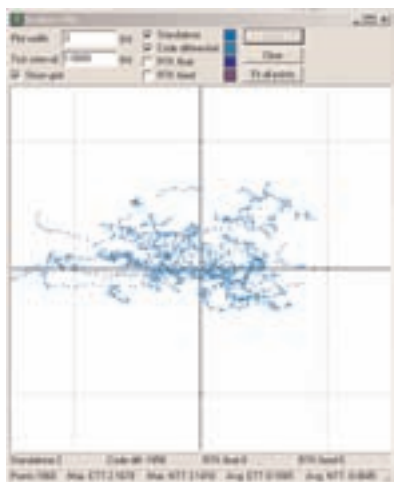


Рис. 4. Точность определения координат в «кодовом» режиме (цена деления: 1 м)

На рис. 5 приведён пример статистических характеристик принятых сообщений RTCM SC-104, полученный с помощью специализированного ПО разработки ФГУП «РНИИ КП». Графический интерфейс имеет два окна: для ГЛОНАСС и для GPS. В каждом окне по столбцам отображаются: условный номер кадра в формате RTCM SC-104, общее количество принятых кадров, средняя величина задержки между кадрами, максимальная величина задержки между кадрами, время приёма последнего кадра.

На втором этапе вырабатывалась КИ к измерениям по фазе несущей (сообщения RTCM SC-104 № № 3, 18, 19, 22, 32). Приёмник потребителя работал в режиме кинематики реально-го времени (RTK).

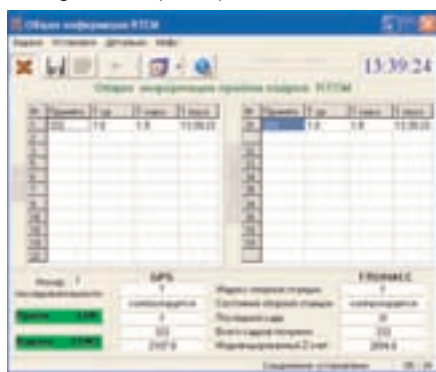


Рис. 5. Пример статистики принятых сообщений в «кодовом» режиме

На рис. 6 изображена выборка решений, полученных приёмником в режиме RTK в течение 30 минут. Цена деления составляет 0.05 м.

На рис. 7 приведён пример статистических характеристик принятых сообщений RTCM SC-104, полученный для т. н. «фазового» режима.

Обобщённые результаты описанных выше экспериментов представлены в таблице 1. В колонке 1 приведён режим работы аппаратуры потребителя, в колонке 2 – оценка средней квадратической погрешности определения координат (σ), в колонке 3 – среднее значение задержки при передаче КИ, в колонке 4 – максимальное значение задержки при передаче КИ, в колонке 5 – процент решений от общего числа, обеспечивших значение погрешности, приведённое в колонке 2.

Данные, представленные в таблице 1, говорят о том, что стандартный дифференциальный режим, обеспечивающий точность определения координат не хуже 1 м, может быть реализован с помощью терминалов

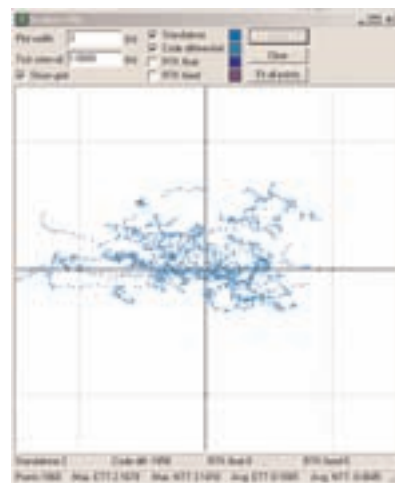


Рис. 6. Точность определения координат в «фазовом» режиме (цена деления: 0.05 м)

системы Globalstar без особых проблем. Это подтверждается данными, что все 100 % решений при проведении эксперимента обеспечили точность лучше 0.3 м.

Однако при использовании режима RTK задержки при передаче КИ увеличиваются, что вызвано увеличенным объёмом передаваемой информации. Увеличение задержек ведёт к срыву в разрешении неоднозначности измерений по фазе несущей частоты, поэтому лишь 85 % решений обеспечивают точность около 1.5 см.

Повысить качество режима RTK возможно при повышении пропускной способности канала спутниковой связи и уменьшении задержки распространения пакетов данных по каналам связи с использованием режима «за-

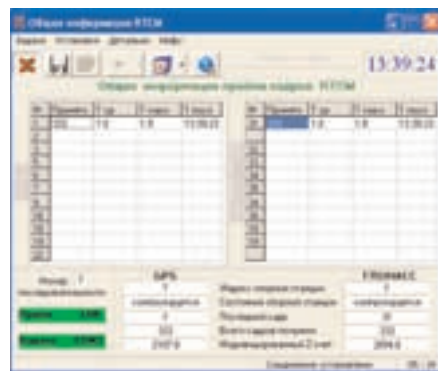


Рис. 7. Пример статистики принятых сообщений в «фазовом» режиме

крытая группа пользователей ППД Глобалстар». При проведении экспериментов использовался режим пакетной передачи данных со скоростью 9600 бит/с, что достаточно для «кодового» режима, но не достаточно для «фазового». Увеличение пропускной способности до 19200 бит/с помощью

ТАБЛИЦА 1. ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Режим	Точность, σ [м]	Средняя задержка КИ [с]	Максимальная задержка КИ [с]	Количество решений
Диффер.	0,25	1,0	2,5	100%
RTK	0,016	1,0	6,0	85%

2-канальных модемов GSP1620x2 Globalstar или режима ЗГ ППД снимают все проблемы.

Таким образом, использование спутниковых терминалов системы Globalstar для обеспечения субметрового уровня точности является привлекательным для обеспечения объектов, движущихся по территории РФ и других стран, покрываемых системой Глобалстар.

Отдельно следует сказать об относительном размещении антенн ГЛОНАСС/GPS и Globalstar. В задачи эксперимента не входило исследование минимально допустимого расстояния между указанными антеннами. Однако было отмечено, что на расстоянии около 0,6 м взаимного влияния не наблюдалось. Возможно, это объясняется тем, что основную часть времени модем Globalstar работал на приём с короткими сеансами режима пакетной передачи данных (по несколько секунд), не создавая, таким образом, помех работе навигационного приемника в диапазоне 1600 МГц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов, описанных в данной публикации, можно сделать следующие выводы:

- 1) Система Globalstar может использоваться для распространения корректирующей информации к сигналам систем ГЛОНАСС и GPS, обеспечивая точность определения координат не хуже 1 м в реальном времени в 100 % случаев (по данным эксперимента);
- 2) Система Globalstar может использоваться для распространения высокоточной корректирующей информации к сигналам систем ГЛОНАСС и GPS, обеспечивая точность определения координат не хуже 5 см в реальном времени, однако вероятность таких решений составляет лишь около 85 % (по данным эксперимента). Увеличение пропускной способности пакетного режима передачи данных до 19200 бит/с способно улучшить ситуацию; требуется проведение дополнительных экспериментов с 2-х

канальными модемами GSP1620x2 на скоростях 16-20 кбит/сек для набора дополнительных статистических данных и режима ЗГ ППД;

- 3) Во время работы на приём при расстоянии между антеннами ГЛОНАСС/GPS и Globalstar, составившем около 0,6 м, взаимного влияния не замечено.

Следует отметить, что одним из основных сдерживающих факторов использования системы Globalstar является относительно высокая стоимость пакетного режима, составляющая 0,08 доллара США (2,5 руб) за 6 сек. Однако, учитывая гибкий подход оператора ГлобалТел по снижению абонентской платы за услуги связи для масштабных применений, можно ожидать уменьшения этих расценок.

Пакетный режим передачи данных с помощью системы Globalstar планируется использовать в Российской системе дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), создаваемой при головной роли ФГУП «РНИИ КП», в качестве тестового, а также запасного каналов для распространения корректирующей информации к сигналам систем ГЛОНАСС и GPS. В частности, в интересах речного флота предполагается поставка на суда нового речного терминала Globalstar со встроенным приемником ГЛОНАСС/GPS и функцией приема корректирующей информации.

В настоящее время в рамках создания СДКМ развёрнуты 7 станций сбора измерений на территории России, а также центр обработки данных, расположенный в Москве, на территории ФГУП «РНИИ КП», который сегодня решает задачи мониторинга целостности. Задачами следующих лет построения системы являются:

- развёртывание дополнительных пунктов сбора измерений на территории России;
- развёртывание дополнительных пунктов сбора измерений за рубежом;
- выработка полноценной корректирующей информации в формате SBAS и её распространение посредством протокола SISNet через Интернет;

- вывод на орбиту геостационарного спутника связи для передачи корректирующей информации;
- построение станции закладки корректирующей информации на борту спутника связи;
- производство новых судовых спутниковых терминалов Globalstar со встроенным приемником ГЛОНАСС/GPS, обеспечивающих автоматический приём корректирующей информации;
- испытания и ввод системы в эксплуатацию.

Более полная информация о структуре и задачах СДКМ опубликована в [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский радионавигационный план, ред. 2, вер. 4. — М: НТЦ «Интернавигация», 1997г.
2. Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA/DO-229C, November, 28, 2001
3. «RTCM Recommended Standards For Differential GNSS». Version 2.2. RTCM Paper 15-96/SC104-139, 1996
4. Урличич Ю. М., Дворкин В. В., Аверин С. В., «Способ повышения радиуса действия кинематического режима реального времени определения относительных координат объекта», Патент на изобретение № 2247406, 2004 г.
5. Toran-Marti F, Ventura-Traveset J. «SISNET User Interface Document,» ESA Technical Document, Issue 2, Revision 1, Ref. E-RD-SYS-E31-010. (<http://www.esa.int/estb>)
6. Техописания на спутниковые терминалы Глобалстар GSP1620x1C, GSP2800M1, ЗАО «ГлобалТел», 2006 г.
7. Урличич Ю. М., Аверин С. В., Дворкин В. В., Карутин С. Н., Куршин В. В., Климов В. Н. «Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга: концепция и итоги первого этапа построения», Аэрокосмический курьер, № 5(47), стр. 53-57, 2006 г.

