

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ CONNECTIONS AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

УДК 621.396.99

А. Г. Мильковский, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., генеральный директор, corp@tsniimash.ru
А. Ю. Данилюк, канд. техн. наук, доц., первый зам. генерального директора, corp@tsniimash.ru,
С. Н. Карутин, канд. техн. наук, доц., нач. центра, s.karutin@glonass-iac.ru,
П. Б. Глухов, канд. техн. наук, науч. сотр., p.glukhov@glonass-iac.ru,
ФГУП "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королев, МО

Основы обеспечения целостности системы ГЛОНАСС

Проведен анализ требований к целостности навигационного обеспечения потребителей системы ГЛОНАСС, описаны основные характеристики целостности. Рассмотрены основные сегменты по контролю и мониторингу навигационного поля ГЛОНАСС, а также методы формирования признаков целостности глобальных национальных спутниковых систем. Описаны особенности реализации алгоритма контроля целостности при высокоточных навигационных определениях. Сделаны выводы и даны рекомендации по развитию основных направлений по повышению целостности услуг ГЛОНАСС.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, ГЛОНАСС, целостность, точность, RAIM, SBAS, GBAS, СДКМ, precise point positioning, защитный уровень

Введение

Повышение тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС приводит к постоянному расширению круга практических задач в области связи, энергетики, транспорта, имущественных отношений, сельского хозяйства и других, решение которых невозможно уже представить без отечественной глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Возрастающая зависимость национальной экономики от состояния и стабильности функционирования ГЛОНАСС показывает необходимость улучшения не только точности и доступности, но и целостности и непрерывности навигационного обеспечения.

Под *целостностью* понимается способность навигационной системы выдавать потребителю своевременное и достоверное предупреждение в тех случаях, когда какие-либо сигналы нельзя использовать по целевому назначению в полном объеме [1]. Контроль целостности ГНСС подразумевает комплекс мероприятий по определению соответствия заданным характеристикам способности этих систем обеспечивать потребителей сигналами тревоги о недостоверности навигационных сигналов ГНСС [2].

Нарушения целостности возникают при сбое в трех сегментах ГНСС: космическом (сегмент навигационного космического аппарата); наземном (сегмент управления); пользовательском, а также в среде распространения радиосигналов. Данные сбои потенциально могут нанести вред потребителю до

того момента, пока он о них не оповещен либо средствами самой системы через скорректированное служебное сообщение, либо через автономный контроль или через вспомогательные наземные службы контроля и мониторинга качества навигационного поля ГНСС. Поэтому задача контроля целостности, являясь критической, должна решаться на разных уровнях:

- на борту навигационного космического аппарата (НКА) с использованием средств бортовой диагностики;
- наземными средствами контроля и управления системы;
- с использованием функциональных дополнений ГНСС;
- в аппаратуре потребителя.

Требования к целостности навигационного обеспечения

В совокупности целостность можно описать такими параметрами, как порог срабатывания тревоги, риск потери целостности, время срабатывания тревоги и защитный уровень [3]:

- *порог срабатывания тревоги (alert limit — AL)* — превышение допустимого отклонения для измеряемого параметра, вызывающее срабатывание тревоги;
- *время срабатывания тревоги (time to alert — TTA)* — максимальное допустимое время между момен-

том выхода навигационной системы за допустимый порог и срабатывания тревоги;

- *риск потери целостности* — вероятность того, что в любой момент времени ошибка определения местоположения (*position error* — *PE*) превысит порог срабатывания тревоги;
- *защитный уровень* (*protection level* — *PL*) — статистическая граничная ошибка, рассчитанная для обеспечения того, чтобы вероятность абсолютной ошибки определения местоположения, превышающей указанную величину, была меньше или равна заданным пределам риска потери целостности;
- *потеря целостности* — событие, длящееся дольше времени срабатывания тревоги, при котором не происходит срабатывания тревоги.

Из рис. 1 [4] можно понять разницу между двумя типами событий в целостности: событий, несущих недостоверную информацию (*misleading information* — *MI*) и опасно недостоверную информацию (*hazardously misleading information* — *HMI*):

- событие *MI* возникает, когда система имеет статус доступной, при этом ошибка определения местоположения превышает безопасный уровень, но не порог срабатывания тревоги;
- событие *HMI* возникает, когда система имеет статус доступной, при котором ошибка определения местоположения превышает порог срабатывания тревоги.

Требуемые значения характеристик контроля целостности изменяются в широких пределах в зависимости от вида потребителей, динамики их движения и оперативности использования уточняемых навигационных параметров при решении потребителями своих целевых задач (подробнее в работе [1]). При этом требования к времени предупреждения о нарушении целостности у морских, речных и на-

земных потребителей ниже, чем у воздушных потребителей, что обусловлено, прежде всего, более высокими скоростями перемещения последних и повышенными рисками, возникающими в условиях, когда решение навигационной задачи по точности ниже требуемого уровня.

Контроль качества параметров радионавигационного поля ГНСС ГЛОНАСС

Решение задачи целостности наземными средствами контроля системы. В настоящее время для организации внутрисистемного контроля качества навигационных услуг силами наземного сегмента в системе ГЛОНАСС используется аппаратура контроля навигационного поля (АКНП), установленная в двух пунктах (в Московской области и г. Комсомольске-на-Амуре). Результаты навигационных определений (а в случае отрицательных данных контроля — и вся соответствующая измерительная информация) передаются в центр управления системой (ЦУС) (Московская обл.), проверяются на достоверность и записываются в центральную базу данных. Последующая обработка информации проводится с помощью комплекса программ контроля навигационного поля.

Оповещение о недостоверности навигационного сигнала предусматривает:

- кратное обнаружение на текущем секундном интервале недостоверности навигационного радиосигнала НКА с номером *n* средствами непрерывного (эпизодического) слежения;

- наискорейшую, без задержек, передачу в ЦУС информации о недостоверности навигационного сигнала;

- принятие в ЦУС решения о недостоверности навигационного сигнала НКА с номером *n* и необходимости выдачи на него соответствующего признака;

- реализацию доставки признака недостоверности навигационного сигнала на НКА с номером *n*;
- оперативное включение в навигационный кадр признака недостоверности;

- возможность передачи потребителю в навигационном сигнале упомянутого признака с необходимой частотой повторения, обеспечивающей наискорейшее от начала приема предупреждение об исключении радиосигнала НКА при уточнении местоположения;

- контроль целостности ГНСС, под которым понимается регистрация обнаружения и прохождения признака недостоверности навигационного сигнала на всех этапах с периодическим предоставлением квитанции в центр управления для апостериорного анализа и в случаях чрезвычайных происшествий.

Формируемый АКНП признак неисправности C_n ($n = 1, \dots, 24$) появляется в неоперативной информации навигационных сообщений (альманахах сис-

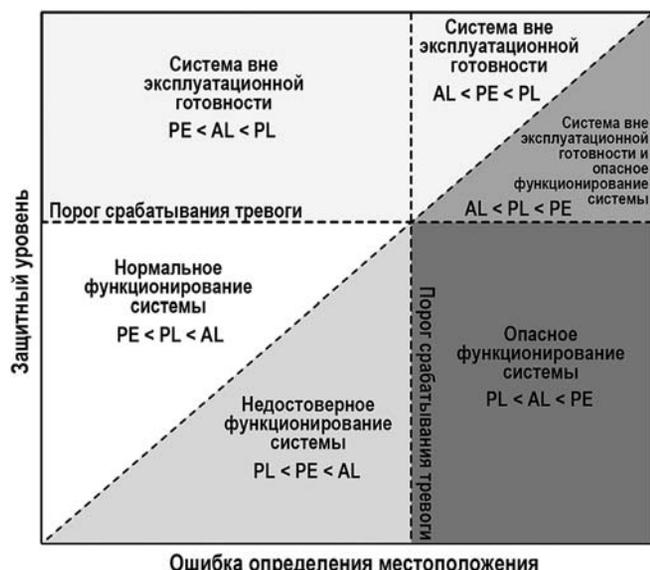


Рис. 1. Стэнфордская диаграмма

темы) всех спутников не позднее чем через 16 ч после появления неисправности. Дискретность передачи данного признака в навигационных сообщениях НКА ГЛОНАСС составляет 2,5 мин.

Решение задачи целостности на борту НКА. Помимо АКНП, на борту всех НКА ГЛОНАСС осуществляется непрерывный автономный контроль функционирования основных бортовых систем. В случае обнаружения нарушений нормального функционирования этих систем, влияющих на качество излучаемого спутником навигационного радиосигнала и достоверность передаваемого навигационного сообщения, на спутнике формируется признак его неисправности B_n ($n = 1, \dots, 24$), который передается потребителю системы в составе оперативной (эфемеридной) информации навигационного сообщения. Дискретность передачи соответствующего признака в навигационных сообщениях НКА ГЛОНАСС составляет 30 с (до 10 с в НКА серии "Глонасс-М"). Максимальная задержка от момента обнаружения неисправности до момента передачи соответствующего признака не превышает 1 мин [5].

В новых навигационных сигналах с кодовым разделением предусмотрена передача двух различных признаков, которые могут как формироваться на борту НКА, так и инициироваться командами наземных средств управления:

- Γ_n — оперативный признак непригодности навигационного радиосигнала n -го НКА;
- l_n — оперативный признак непригодности цифровой информации (ЦИ) n -го НКА в данной строке навигационного кадра.

Признак непригодности ЦИ l_n трактуется как "нестрогий" и говорит о том, что потребитель имеет возможность использовать ранее принятую ЦИ, в составе которой отсутствовал данный признак. Следует отметить, что с точки зрения решения задач навигационных определений признак l_n является

критичным только для строк, содержащих эфемеридно-временную информацию.

Признак непригодности радиосигнала Γ_n формируется на основе автономного контроля в аппаратуре бортового информационно-навигационного комплекса (БИНК) "гладкости" шкалы времени бортового синхронизирующего устройства и формируется, когда фаза навигационного радиосигнала начинает уход от средневзвешенного значения. Для потребителя появление этого признака говорит о необходимости исключения данного НКА из навигационной выборки.

Признаки Γ_n и l_n следуют в служебной части каждой строки навигационного кадра, а время воспроизведения строк в сигнале L3 составляет 3 с, в сигнале L1, L2 — 2 с. Таким образом, индикация результатов автономного контроля БИНК может выполняться не позднее 2—3 с с момента обнаружения.

На текущий момент недостатки бортового канала контроля целостности заключаются в его неполноте. Например, средства самоконтроля рассчитаны на обнаружение не всех возможных нарушений в работе каждой бортовой системы НКА; неисправности самих средств контроля не обнаруживаются и не сопровождаются передачей соответствующего сообщения потребителям; искажение бортовых эфемерид и неправильное прогнозирование частотно-временных поправок не могут быть обнаружены на самом НКА и т. д. [5].

Решение вопросов повышения надежности бортового канала контроля целостности и развития средств бортовой самодиагностики является в настоящее время перспективным направлением, требует дальнейшей проработки в целях максимального парирования неожиданных сбоев ГЛОНАСС и оперативного доведения информации до потребителя. При этом стоит учитывать опыт и планы развития других навигационных систем, разработчики

Требования к бортовой целостности и непрерывности перспективных НКА ГНСС

Аномальная величина	Значение	Вероятность или время
Превышение URE^1	>7 м	$7,6 \cdot 10^{-7}$ в час
Превышение передаваемого порога ошибки псевдодальности	$URE > 4,42 \cdot URA^2$	$7,6 \cdot 10^{-6}$ в час
Вероятность ложной тревоги	$URA > 2,5 \cdot \text{суточная СКП } URE$	$< 1\%$ в год
Запланированный перерыв в работе	$< 1,3$ перерывов в год	1 в год
Средняя продолжительность запланированного перерыва в работе	< 12 ч один перерыв	7,3 ч
Незапланированный перерыв в работе	$< 1,3$ отказов в год	0,55 в год
Средняя продолжительность незапланированного перерыва в работе	< 36 ч один отказ	17 ч
Основной отказ обслуживания	$URE > 4,42 \cdot URA$ или > 30 м	$7,6 \cdot 10^{-7}$ в час
Ошибки за счет скачков фазы	$> 3,6$ м & < 300 м	$7,9 \cdot 10^{-8}$ в час
Погрешность скорости изменения псевдодальности	$> 0,01$ м/с & $< 0,05$ м/с	$7,6 \cdot 10^{-7}$ в час
Погрешность ускорения изменения псевдодальности	$> 0,019$ м/с ²	$1,7 \cdot 10^{-6}$ в час
Деформация сигнала	Опережение/запаздывание ≥ 10 нс Ring $\geq 7,3$ МГц	0,0 в час

¹ URE (User Range Error) — ошибка псевдодальности за счет космического сегмента

² URA (User Range Accuracy) — оценка ожидаемой ошибки псевдодальности, передающаяся в навигационном сообщении

которых уже на этапе создания новых НКА внедряют в процесс производства стандарты и рекомендации по разработке аппаратных и программных средств в авиации, что позволяет повысить показатели бортовой целостности и непрерывности перспективных НКА (см. таблицу) [6] для удовлетворения растущих потребностей военных, коммерческих и гражданских пользователей.

Автономный мониторинг целостности. Благодаря избыточности навигационной информации, получаемой аппаратурой потребителя от рабочего созвездия НКА, возможна организация автономного контроля целостности (Receiver Autonomous Integrity Monitoring — RAIM) в навигационном приемнике.

Существует множество разнообразных способов реализации RAIM, отличающихся статистическим подходом, применяемыми правилами анализа, необходимым числом спутников. Однако в основе всегда лежит анализ внутренней сходимости измерений, выполняющийся путем сравнения координатных решений или их функций, полученных по различным подмножествам наблюдаемой совокупности НКА.

Среди методов RAIM можно выделить фильтрационные методы и методы мгновенной оценки, методы на основе анализа вектора четности или оценки СКО кодовых измерений по результатам фазовых.

В методах мгновенной оценки используется информация, полученная в отдельную эпоху измерений. Предыдущие измерения в построении оценки не участвуют. К данному типу относятся следующие алгоритмы.

Алгоритм оценки максимальной разности решений. При наличии N измерений ($N > 4$) формируются комбинации из $N - 1$ измерений. В качестве тестовой статистики рассматривается максимальная разность решений, полученная по этим комбинациям.

Алгоритм сравнения дальности. Здесь также формируются комбинации из $N - 1$ измерений ($N > 4$), затем дальность до НКА, не участвовавшего в решении, вычисляется с использованием полученных на предыдущем шаге координат. Тестовой статистикой является разность между измеренным значением дальности и ее прогнозом.

Алгоритм сравнения положения. Решение выполняется по комбинации из $N - 1$ измерений ($N > 4$) и по всем N измерениям. В качестве тестовой статистики используются разности полученных решений.

Алгоритм анализа невязок, полученных методом наименьших квадратов (МНК). По результатам измерений выполняется решение по методу МНК. Далее полученные координаты используются для вычисления дальностей до каждого НКА. Эти дальности сравниваются с результатами измерений. Полученная разность и является тестовой статистикой.

Неиспользование полученной ранее измерительной информации является общим недостатком методов мгновенной оценки, что позволяет обнаружить факт отказа только в момент достаточно сильного проявления, а не в момент возникновения.

В фильтрационных методах RAIM используются результаты предыдущих измерений, которые подаются на вход того или иного фильтра, например фильтра Калмана, в целях построения оценки навигационного параметра или положения потребителя на очередную эпоху. Далее эта оценка сравнивается с результатами измерений. Недостатками таких методов являются сложный математический аппарат, который требует значительного времени на выполнение вычислений, и, главное, трудности, возникающие при выявлении плавно нарастающих ошибок навигационных параметров.

Методы, основанные на анализе вектора четности, более корректны в математическом отношении, чем те, что основаны на анализе невязок. Они получили наибольшее распространение, а один из них был рекомендован к использованию в авиационной навигационной аппаратуре. Однако и этот метод сложен в вычислительном отношении, поскольку требует численного интегрирования плотности вероятности функции смещенного χ^2 -распределения для различного числа степеней свободы.

Метод оценки среднего квадратичного отклонения (СКО) кодовых измерений по результатам фазовых предполагает сравнение приращения дальности потребитель—спутник между последовательными эпохами измерений, вычисленного по результатам кодовых измерений с тем же приращением, полученным по фазовым измерениям. По невязкам вычисляется СКО кодовых измерений. Если это значение превышает номинальное для ГНСС значение, то делается вывод о возникновении сбоя. Недостатком метода является отсутствие анализа данных в эфемеридном сообщении. Кроме того, весьма трудно выявляются сбои, связанные с недопустимо высоким дрейфом бортового стандарта частоты.

К безусловным достоинствам методов автономного мониторинга целостности относятся:

- возможность при наличии избыточных навигационных измерений выявления одиночных или групповых сбоев в работе НКА непосредственно в аппаратуре потребителя;
- обеспечение мгновенной выдачи сигналов предупреждения при превышении значений решающей статистики априорно заданных значений уровней предупреждения.

Основные недостатки данных методов следующие:

- ✓ зависимость их работоспособности от числа используемых НКА;
- ✓ необходимость расчета и использования различных значений решающих порогов для конкретных параметров рабочего созвездия и значений геометрического фактора (ГФ). Ошибки,

связанные с выбором порога отбраковки изменений, могут приводить в стандартных RAIM алгоритмах к необоснованному длительному исключению из обработки "хорошего" спутника, вызывая тем самым недопустимое ухудшение ГФ и небезопасное снижение точности.

Вместе с тем стоит отметить, что в последние годы проводятся активные работы по развитию алгоритмов автономного контроля целостности. Наиболее масштабные исследования выполняет Федеральная авиационная администрация США, которая разрабатывает улучшенный алгоритм автономного контроля целостности (Advanced RAIM — ARAIM). Основной целью работ по развитию ARAIM является обеспечение возможности управления по высоте воздушными судами в глобальном масштабе на основании сигналов НКА нескольких ГНСС, предоставляющих услуги посредством навигационных радиосигналов в двух и более частотных диапазонах. Совместное использование сигналов двух и более ГНСС снижает уязвимость навигационного обеспечения потребителя в условиях деградации какой-либо системы.

Информация целостности функциональных дополнений. При решении практических задач, критически важных для безопасности человека (в первую очередь в гражданской авиации), в ГНСС широко используют системы функциональных дополнений наземного (Ground Based Augmentation System — GBAS) и космического базирования (Space Based Augmentation System — SBAS). Эти системы обеспечивают потребителя дополнительной корректирующей информацией и информацией целостности, формируемой на основе измерений текущих навигационных параметров (ИТНП) одной или сети наземных станций сбора измерений.

Дифференциальная система космического базирования SBAS является гораздо более сложной системой, чем GBAS, поскольку разработана для обеспечения потребителя информацией, позволяющей предотвращать использование ГНСС при сбоях в

их работе, не обнаруженных или не исправленных ее собственными средствами в процессе эксплуатации. Если при автономном мониторинге в GBAS решается задача обнаружения сбоя вне зависимости от причины его возникновения, то в основе SBAS лежит принцип раздельной компенсации составляющих погрешности навигационно-временных определений (НВО) в целях уменьшения их значений до приемлемого уровня. Кроме того, SBAS осуществляет оценку потенциальных угроз нарушения целостности и обеспечивает потребителя данными, гарантирующими, что остаточная погрешность НВО не превысит априорно заданного уровня.

В соответствии с работой [7] основными причинами нарушения целостности ГНСС являются сбои в работе НКА ГНСС, космических аппаратов (КА) на геостационарной орбите (ГСО), станций мониторинга, центров управления и средств закладки информации на борт КА на ГСО, а также возмущения среды распространения.

Структурная схема алгоритма контроля целостности SBAS, основанная на проведении анализа корректирующей информации (КИ) в целях обеспечения целостности с учетом перечисленных выше источников угрозы ее нарушения, приведена на рис. 2.

В соответствии с требованиями [8] технические средства мониторинга должны обеспечивать формирование КИ, применение которой совместно с ИЦ обеспечит точность НВО потребителя, удовлетворяющую априорно заданным пороговым значениям. Поскольку для решения задач НВО используется метод наименьших квадратов, то при формировании ИЦ оцениваются значения погрешности эфемеридно-временной информации (ЭВИ) после применения КИ σ_{UDRE} (User Differential Range Error — UDRE) и погрешности компенсации ионосферной погрешности в узлах ионосферной сетки σ_{GIVE} (Grid Ionospheric Vertical Error — GIVE). При этом для формирования КИ и ИЦ используют два подхода — "читай, затем контролируй" и "контролируй, затем считай", которые одинаково приемлемы для



Рис. 2. Структурная схема алгоритма контроля целостности в SBAS

построения системы SBAS. Первый подход предполагает, что на основе вторичной обработки ИТНП формируются КИ и ИЦ, которые затем подвергаются процедуре верификации в целях проверки соответствия достигнутого уровня точности пороговым значениям. Подобная верификация позволяет в случае возникновения сбоя выдать потребителю предупреждение о том, что либо соответствующий НКА нельзя использовать, либо его мониторинг не осуществляется. Второй подход предполагает, что первоначально ИТНП подвергается тщательной проверке на соответствие требованиям к целостности. При таком подходе сформированные КИ и ИЦ больше не подвергаются проверке.

Стоит отметить, что одной из важнейших характеристик услуг функциональных дополнений SBAS является максимально допустимое время предупреждения о нарушении целостности в случае возникновения и обнаружения угрозы такого события, которое определяется временем формирования ИТНП и их доставки в центр обработки, задержками на обработку и формирование КИ и ИЦ, временем формирования сообщения и задержкой на трассе распространения "земная станция — КА на ГСО" и "КА на ГСО — потребитель".

В России к функциональным дополнениям типа SBAS относится система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), которая, как и аналогичные зарубежные системы, предназначена для формирования и доставки потребителям широкозонной корректирующей информации и информации о целостности навигационного поля ГНСС ГЛОНАСС и GPS.

Целостность при высокоточном абсолютном местопределении. Внедрение новых навигационных радиосигналов в нескольких частотных диапазонах, увеличение числа НКА, развертывание новых глобальных и региональных навигационных систем, создание глобальных сетей измерительных станций сделали доступными для большого числа потребителей возможности абсолютных высокоточных навигационных определений.

Метод высокоточного абсолютного местопределения (Precise Point Positioning — PPP) основан на использовании ионосферно-свободных двухчастотных ИТНП НКА, учете детальной физической модели измерений и высокоточной эфемеридно-временной информации.

Добиться высокой точности навигационных определений позволяет однозначная физическая сущность явлений, влияющих на соответствующие составляющие бюджета погрешности ИТНП. Несмотря на то что физическая природа данных явлений хорошо изучена, что позволяет выявлять аномалии в их состоянии, наличие целого ряда внешних условий, необходимых для успешного функционирования алгоритмов PPP, является серьезным огра-

ничением, с которым нельзя не считаться. К этим внешним условиям можно отнести:

- необходимость непрерывного наблюдения и формирования ИТНП по радиосигналам большого числа НКА в течение длительных интервалов времени (5...30 мин);
- необходимость проведения навигационных определений по всем видимым НКА, в том числе входящим в орбитальные группировки различных ГНСС;
- зависимость от точности и оперативности обновления ЭВИ, а также надежности линии передачи данной информации в аппаратуре потребителя.

Опуская детальный анализ технологии PPP, отметим, что методический аппарат оценки целостности навигационного обеспечения, разработанный при создании SBAS, может быть использован для оценки качества высокоточного навигационного обеспечения с целью гарантировать их достоверность.

Поскольку контроль целостности осуществляется в рамках решения конкретных детально описанных задач, то разработка алгоритмов контроля целостности при решении задач высокоточной навигации основывается на тщательном анализе требований, предъявляемых потребителем в каждом конкретном случае. Наиболее сложной задачей является обеспечение целостности при управлении наземным транспортным средством, поскольку остальные типы потребителей (воздушные и морские суда, железнодорожный транспорт) работают в гораздо более благоприятных условиях.

В целом при решении задачи разработки алгоритма контроля целостности при высокоточных навигационных определениях требуется учитывать следующие факторы.

1. Метод PPP определяет абсолютное, а не относительное местоположение аппаратуры потребителя, вследствие чего при наличии ошибок в привязке локальной геодезической системы координат к общеземной могут возникать ошибки в интерпретации полученных результатов навигационных определений.

2. Использование ИТНП, полученных по несущим колебаниям, привносит дополнительные требования к качеству работы схемы слежения за фазой аппаратуры потребителя, особенно при сбоях в работе схемы фазовой автоподстройки частоты в части перескоков из одного устойчивого состояния в другое.

3. Достижение высокой точности возможно только при использовании актуальной высокоточной ЭВИ, что обеспечивается качественной работой центров ее формирования и надежностью каналов передачи данной информации.

4. Соответствующие уровни защиты и тревоги необходимо выбирать с некоторым запасом для снижения вероятности ложной тревоги.

Заключение

Необходимость сохранения за Российской Федерацией лидирующих позиций не только в сфере навигационно-временного обеспечения, но и в сфере обеспечения конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной продукции невозможно без развития услуг на базе радиосигналов системы ГЛОНАСС. Активное использование ГЛОНАСС для решения задач, связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности в условиях высоких требований по точности навигационно-временных определений, требует системной увязки подходов по повышению точности и целостности услуг ГЛОНАСС.

Совершенствование бортового канала контроля целостности и средств самодиагностики, модернизация наземного сегмента контроля и управления системы, внедрение улучшенных алгоритмов автономного контроля целостности и их интеграция с возможностями функциональных дополнений ГНСС, а также развитие методического аппарата оценки целостности при высокоточном навигационном обеспечении позволят в ближайшей перспективе повысить устойчивость функционирова-

ния космической системы ГЛОНАСС, расширить ее функциональные возможности, сферы использования, закрепив тем самым участие России на мировом рынке космических товаров и услуг.

Список литературы

1. **Радионавигационный** план Российской Федерации. М.: Интернавигация, 2010.
2. **ГОСТ Р 54460—2011.**
3. **Карутин С. Н., Власов И. Б., Дворкин В. В.** Дифференциальная коррекция и мониторинг глобальных навигационных спутниковых систем. М.: Изд-во Московского университета, 2014. 464 с.
4. <http://waas.stanford.edu/metrics.html> (дата обращения 20.07.2014).
5. **Перов А. И., Харисов В. Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
6. **Shaw S., Katronick A. J.** GPS III Signal Integrity Improvements // Proc. of the 26th International Technical Meeting of the ION Satellite Division, ION GNSS+ 2013, Nashville, Tennessee, September 16—20, 2013. P. 936—945.
7. **Minimum** Operational Performance Standards for Global Positioning / Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA/DO-229D, Prepared by SC-159. RTCA Inc. Washington, D. C., December 13, 2006.
8. **Software** Consideration in Airborne Systems and Equipment Certification (DO-178C). RTCA. 2011.

A. G. Milkovskiy, PhD., Senior Research Associate, Director General, corp@tsniimash.ru,
A. Y. Danilyuk, PhD., Associate Professor, Senior Deputy Director General, corp@tsniimash.ru,
S. N. Karutin, PhD., Associate Professor, Head of IAC PNT, s.karutin@glonass-iac.ru,
P. B. Glukhov, PhD., Research Associate, p. glukhov@glonass-iac.ru
Central Research Institute for Machine Building, Federal State Unitary Enterprise,
Korolev, Moscow Reg., Russia

Ensuring GLONASS Integrity

Requirements on GLONASS integrity are analyzed; basic integrity parameters are described. Core GLONASS performance monitoring elements are addressed together with the methods for GNSS integrity indicators generation onboard a navigation satellite through the navigation system ground control facilities, in a user receiver and space- and ground based augmentation systems. Trade off analysis on basic techniques for receiver autonomous integrity monitoring (RAIM) is conducted. Structure chart of SBAS integrity monitoring algorithm is provided based on correction information analysis ensuring the GNSS integrity. Main distinctive features of RAIM in high precision navigation solutions are described. Conclusions and recommendations are given as to major improvement directions of GLONASS integrity.

Keywords: global navigation satellite systems, GLONASS, integrity, accuracy, RAIM, ARAIM, SBAS, GBAS, SDCM, precise point positioning, protection level

References

1. **Radionavigatsionnyy plan Rossiyskoy Federatsii.** Moscow, Intemavigatsiya, 2010.
2. **GOST R 54460—2011.**
3. **Karutin S. N., Vlasov I. B., Dvorkin V. V.** *Differentsialnaya korrektsiya i monitoring globalnikh navigatsionnikh sputnikovikh sistem.* Moscow, Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, 2014, 464 p.
4. <http://waas.stanford.edu/metrics.html>
5. **Perov A. I., Kharisov V. N.** *GLONASS. Printsipy postroyeniya i fuktsionirovaniya.* Moscow, Radiotekhnika, 2010, 800 p.
6. **Shaw S., Katronick A. J.** GPS III Signal Integrity Improvements. *Proc. of the 26th International Technical Meeting of the ION Satellite Division, ION GNSS+ 2013, Nashville, Tennessee, September 16—20, 2013.* P. 936—945.
7. **Minimum** Operational Performance Standards for Global Positioning. *Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA/DO-229D, Prepared by SC-159.* RTCA Inc. Washington, D. C., December 13, 2006.
8. **Software** Consideration in Airborne Systems and Equipment Certification (DO-178C) / RTCA. 2011.