

Опубликовано в сборнике:

**Аерокосмічні системи моніторингу та керування, Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 26-28 квітня 2004 р. Том 2, с. 21.17 – 21.23**

## **СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОЗОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ WAAS И EGNOS И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЯ С ДРУГИМИ DGPS-СИСТЕМАМИ. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ВЕРИФИКАЦИИ РЕКОМЕНДУЕМЫХ SARPS ТРОПОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ GPS/WAAS/EGNOS (ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ)**

**В.П. Харченко, д.т.н., проф., А.А. Жалило, к.т.н., с.н.с.,**

**В.В. Конин, д.т.н., проф., В.М. Кондратюк**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из важнейших задач на современном этапе развития авиации в Украине является модернизация существующей системы аэронавигационного обеспечения (АНО) на основе внедрения разработанной ICAO новой технологии CNS/ATM организации воздушного движения.

Перспективное навигационно-временное обеспечение (НВО) в соответствии с принятой Международным сообществом концепцией базируется на использовании глобальных спутниковых систем GPS (США) и ГЛОНАСС (РФ) и их наземных, бортовых и космических дополнений, объединенных в международную спутниковую навигационную систему GNSS-1. Развитие GNSS и переход к GNSS-2 связан с развертыванием третьей глобальной спутниковой навигационной системы GALILEO, создаваемой ЕС, а также с модернизацией GPS (GPS-III) и ГЛОНАСС.

В связи с введением в действие в зоне, определенной ЕСАС, требований RNP с апреля 1998 г. в Украине все более остро становятся вопросы внедрения нового оборудования аэропортов и ВС национальных авиакомпаний, что требует принятия соответствующих решений.

Эффективное и относительно низкокзатратное решение проблем АНО в Украине возможно путем активного и широкомасштабного внедрения спутниковых навигационных и телекоммуникационных технологий,

использования сигналов Европейской подсистемы EGNOS. EGNOS имеет возможность расширения обслуживаемой территории, что весьма важно для повсеместного внедрения разработанной ICAO новой технологии CNS/ATM организации воздушного движения. Расширение EGNOS на территорию Украины позволит обеспечить надежное и точное НВО не только для нужд авиации, но и для всех других видов транспорта. Также это позволит обеспечить полеты воздушных судов (ВС) в коридорах и эшелонах, отвечающих требованиям ICAO, и реализовать в Украине новейшую концепцию CNS/ATM.

Развертывание в крупных аэропортах Украины наземных функциональных дополнений GBAS позволит обеспечить заход на посадку и категорированную (I–III категории) инструментальную посадку зарубежных и отечественных (соответствующим образом оборудованных) ВС.

Настоящая обзорная работа рассматривает одно из важнейших направлений реализации спутниковой аэронавигации в Украине и эволюционного внедрения CNS/ATM. Речь идет о создании и внедрении современного инструментария – эталонных средств контроля навигационных характеристик и сертификации бортовых и наземных систем навигации и посадки воздушных судов (включая и средства спутниковой навигации по сигналам GPS/EGNOS и GPS/GBAS).

На ряде конкретных примеров (как это было сделано за рубежом) рассматриваются вопросы методического обеспечения, а также примеры использования тех или иных аппаратных и программных средств для оценивания и анализа навигационных характеристик широкозонных функциональных дополнений GPS/ГЛОНАСС – WAAS и EGNOS в различных региональных условиях и зонах обслуживания потребителей, включая граничные районы рабочих зон этих систем.

Внимание читателя обращается на возможности использования для целей верификации и тестирования параметров навигационных систем мобильных объектов, включая и ВС, и аэронавигационного обеспечения, в том числе и по сигналам WAAS/EGNOS, новейших сетевых длиннобазисных GPS/VRS/High Performance -технологий получения дециметровой точности определения местоположения в реальном времени. Такой высокоточный сервис в настоящее время предоставляют компании OmniSTAR/FUGRO и NavCom Technologies Inc./John Deere. Как пример, здесь приводятся данные о системы StarFire (NavCom Technologies Inc./John Deere) и о её использовании для оценки характеристик WAASи EGNOS.

Также дается краткое описание специализированного программного обеспечения PEGASUS, разработанного для оценки характеристик EGNOS с использованием внешних эталонных координат или эталонной траектории для движущихся объектов.

1. Вопросам экспериментальной оценки и анализа навигационных характеристик широкозонных функциональных дополнений GPS/ГЛОНАСС – WAAS и EGNOS- в различных региональных условиях и зонах обслуживания потребителей посвящены работы [10, 12, 13, 16, 17]. В этих отобранных для рассмотрения работах описываются результаты исследований характеристик широкозонных WADGPS-подсистем спутниковой навигации на границах рабочих зон этих подсистем, что может представлять немалый интерес для потенциальных пользователей сигналами EGNOS в Украине, поскольку территория нашей страны, хотя и соседствует с ЕС, но пока не входит в зону действия EGNOS, определенную ECAC. В то же время, сигналы EGNOS уже доступны на части нашей территории и с точки зрения технической реализуемости не существует принципиальных препятствий для расширения зоны действия EGNOS на территорию Украины. Для этого на первом этапе необходимо провести достоверную экспериментальную оценку доступности и качества сигналов EGNOS на территории и в воздушном пространстве Украины с последующим анализом и рекомендациями по определению мест наилучшего размещения одной или нескольких станций RIMS EGNOS в Украине.

2. В работе [10] представлены результаты выполнения проекта по всесторонней оценке возможности использования WAAS в Исландии и ее воздушном пространстве (в зоне ответственности исландского FIR – Flight Information Region), а также на границах расчетной зоны действия WAAS – на самых высоких широтах вблизи Северного Полюса. Необходимость выполнения этого проекта была обусловлена, в первую очередь, высокой плотностью перелетов (~30%) между Северной Америкой и Европой через Северо-Атлантический летный коридор, проходящий через Исландию.

В ходе этого совместного многоцелевого проекта ICAA (Icelandic Civil Aviation Administration) – FAA (USA) кроме летных испытаний на маршрутах проверялась жизнеспособность WAAS в качестве инструментария для осуществления захода на посадку посредством многочисленных (около 200) летных экспериментов. Кроме того, был проанализирован вклад исландской тестовой референционной станции (в составе прототипа WAAS – National Satellite Test Bed (NSTB)) в результирующую точность оценки параметров орбит GPS-спутников. Данные наблюдений указанной станции были использованы и для определения воздействия свойственных высоким широтам авроральных эффектов на характеристики приема сигналов GPS и WAAS.

Ввиду того, что данный проект представляет значительный методический интерес, остановимся подробнее на узловых моментах и выводах данного проекта.

А) Летные испытания продемонстрировали, что WAAS удовлетворяет требованиям точного захода на посадку в Исландии. Хотя точность навигационных определений была ниже точности, достигнутой на континенте (в США), все же, она удовлетворяла установленным требованиям. Ожидается, что с

внедрением в WAAS улучшенных алгоритмов оценивания ионосферной задержки результирующая точность заметно улучшится.

Б) WAAS обеспечивает требуемые характеристики навигационного обеспечения на маршруте (en-route) на протяжении Северо-Атлантического коридора. Ожидается, что влияние на доступность, точность и целостность навигационного обеспечения по сигналам WAAS при приближении потребителей к северным границам радиовидимости геостационарного спутника (GEO-SBAS) будет незначительным.

В) Испытательные полеты в район Северного полюса продемонстрировали, что сигналы WAAS могут использоваться на более высоких широтах, чем ожидалось.

Г) Уточнение орбит спутников GPS с вводом дополнительной станции WAAS в Исландии не является значительным. В то же время, наблюдения исландской WAAS-станции вносят принципиальный вклад в точность ионосферных коррекций в исландском регионе. В качестве прототипа WAAS станции использовался комплекс из трех приемников (Trimble 4000SSI, Allen Osborn Turbo Rogue, NovAtel MiLLenium), двух рубидиевых стандартов, антенны, профессионального компьютера (рабочей станции) и источника бесперебойного питания.

Анализ ионосферных наблюдений продемонстрировал значительное влияние авроральных эффектов на прием GPS/WAAS сигналов (сцинтилляции, мерцания) в высоких широтах, особенно на частоте L2. В периоды авроральной активности наблюдались частые потери слежения за сигналами, что приводит к невозможности получения точных оценок ионосферной задержки.

Д) Для проведения летных испытаний был использован самолет (Beechcraft King Air B 200) с FIS, дополнительно оснащенный специализированным WAAS/NSTB/GPS-приемником и приемником геодезического класса (Trimble 4000SSI) для определения опорной (эталонной) траектории относительно наземной референцной станции в послеполетном режиме по результатам фазовых наблюдений. После каждого испытательного полета осуществлялась обработка данных с целью определения погрешностей наблюдений и выходных параметров WAAS/NSTB системы путем сравнения с эталонными данными. Обработка проводилась исландскими и американскими специалистами независимо друг от друга с использованием собственных программных комплексов в системе Matlab с последующим сравнением результатов.

В процессе анализа проверялась работоспособность оборудования, оценивались горизонтальные и вертикальные ошибки навигационной системы (Navigation System Errors), горизонтальных и вертикальных защитных уровней и их погрешностей, оценивалась доступность и точность WAAS как функция широты, оценивался вклад исландской WAAS станции в точность определения орбит GPS спутников (с использованием прецизионных IGS орбит) и ионосферных задержек.

3. В статье [12] описываются полученные в 2002 г. результаты экспериментальной оценки точности навигации наземных мобильных объектов (измерительных лабораторий на базе легковых автомобилей) по сигналам GPS/ESTB EGNOS в Польше, Словакии и Италии. Важно отметить, что эти результаты получены на границах зоны высокой точности ESTB (из-за недостаточного количества RIMS в ESTB рабочая зона ESTB заметно меньше, чем у EGNOS при полном развертывании). Эксперименты проходили с использованием GPS/WADGPS-оборудования различных производителей (NovAtel, Ashtech, Magellan), а их результаты сравнивались с оценками координат, полученными тремя другими методами определения местоположения (GPS, DGPS и эталонный L1/L2 Carrier-Phase Kinematic (по фазе несущей в постобработке)) без использования WAD(ESTB EGNOS)-коррекций. На фото (рис. 7 и рис. 8) показаны автомобиль и бортовое измерительное оборудование, участвующее в измерениях в районе г. Trieste (Италия). Один из тестов выполнялся в течение 25 мин с использованием 4-х приемников геодезического класса (Ashtech Z-XII – на опорной позиции, Ashtech Z-XII и два приемника NovAtel OEM4/WADGPS – на движущемся автомобиле) и одного ручного (Magellan/WADGPS). На автомобиле три высокоточных приемника были подключены к одной антенне через сплиттер. Один из приемников NovAtel OEM4/WADGPS был включен в режиме определения местоположения с использованием широкозонных коррекций ESTB, а другой такой же приемник – был включен в режиме оценки координат с использованием прямых двухчастотных наблюдений (т.н. "iono-free solution") с целью оценки качества ионосферных коррекций по сигналам ESTB.

Расхождения между координатами, полученными для каждого из перечисленных режимов измерений, и "истинными" координатами движущегося объекта, полученными в режиме постобработки фазовых наблюдений (OTF – "On-The-Fly"), представлены на рис.9 – рис. 13.



Рис. 7



Рис. 8

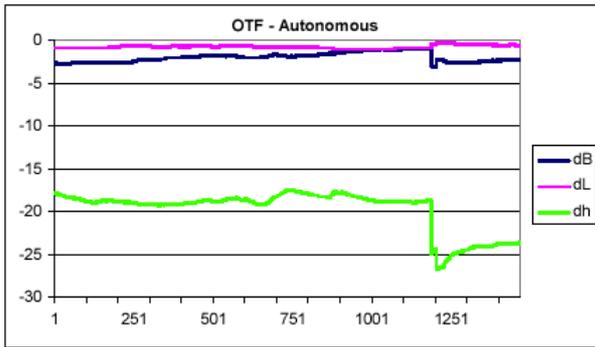


Рис. 9. Погрешности автономных L1 GPS-определений

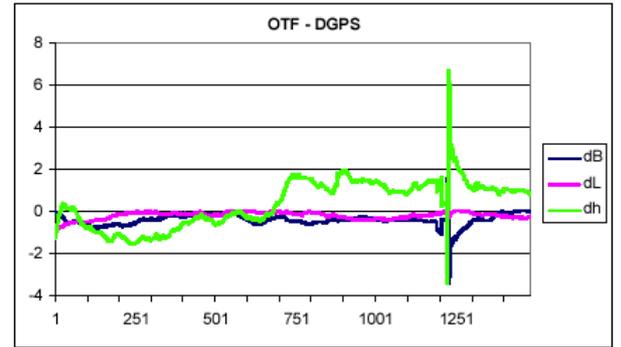


Рис. 10. Погрешности DGPS (не ESTB) определений

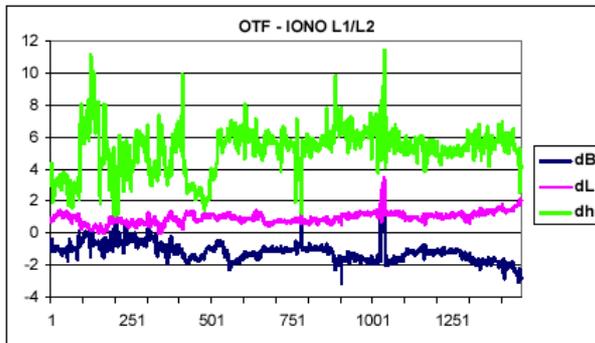


Рис.11. Погрешности автономных L1/L2 GPS определений (NovAtel)

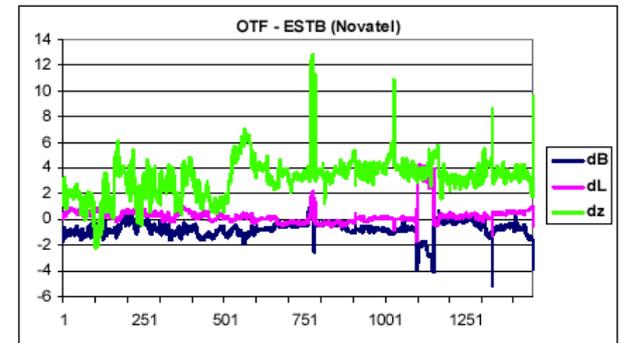


Рис.12. Погрешности ESTB определений (NovAtel)

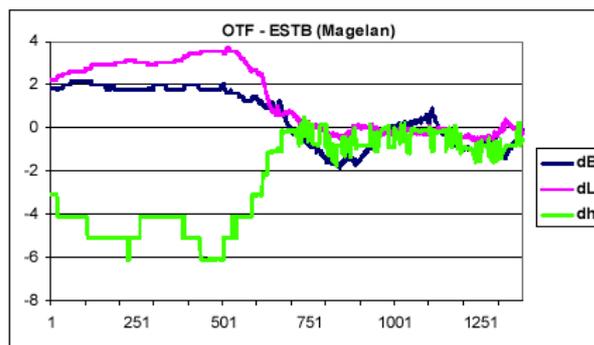


Рис. 13. Погрешности ESTB определений (Magellan)

Перепады и выбросы погрешностей на рисунках относятся к моментам изменения рабочих созвездий из-за затенений спутников GPS препятствиями при движении автомобиля.

Полученные в ходе этих экспериментов средние значения погрешностей определения местоположения (в среднем они составляют 2,5–3,5 м) с использованием сигналов ESTB в зоне пониженной точности позволяют говорить о хороших прогнозах на время полного развертывания EGNOS.

4. Работа [13] представляет значительный интерес с точки зрения использованного методического подхода к оцениванию характеристик широкозонного навигационного обеспечения по сигналам GPS/WAAS на периферии зоны действия WAAS - в восточной части Канады (район г. New Brunswick). Особенность упомянутой работы состоит в том, что авторы поставили перед собой задачу оценить качество не только GPS/WAAS-координатных определений, но и выполнить детальную оценку отдельных составляющих WAAS-коррекций (ионосферных и эфемеридных широкозонных поправок). В этом состоит отличие от [12], где показаны результаты сравнительного анализа только по "выходной" координатной информации, и соответствие направлениям исследований в [10], где, как и в [13], также проводился покомпонентный анализ погрешностей WAAS-коррекций.

Проведенный в [13] на основе обработки больших выборок наблюдений всесторонний анализ качества WAAS-коррекций был проведен в университете New Brunswick в преддверии и в обеспечение работ по созданию широкозонного функционального дополнения GPS Канады (Canadian WAAS) в части определения оптимального размещения референчных станций CWAAS.

В процессе исследований использовались различные источники наблюдений и другой необходимой информации. Для многосуточного сбора GPS/WAAS L1-наблюдений на территории университета был использован 12-канальный приемник Allstar с опцией WAAS компании CMC Electronics с аэроантенной AT-575-70. В течение 37 суток архивировались все выходные данные, включая "сырые" кодовые и фазовые наблюдения с темпом 1 Гц. Часть наблюдений была использована для оценки влияния сильных возмущений в ионосфере (ионосферного "шторма") на точность определения местоположения. В разные периоды наблюдений анализировалась также разница между результатами обработки с использованием "старого" и "нового" WAAS алгоритмов мониторинга ионосферных ошибок GIVE (Grid Ionospheric Vertical Error). Параллельно выполнялась оценка точности координатных определений по сигналам GPS/WAAS с использованием IGS-точных координат положения антенны приемника, определенных с использованием данных IGS (International GPS Service) перманентных станций. Для территории восточной части Канады погрешности (95%) плановых координат составили ~2м.

Детальный и точный анализ "сеточной" (grid) ионосферной модели WAAS был проведен с использованием двухчастотных наблюдений ближайших к университету GPS/IGS перманентных станций сети CORS (Continuously Operating Reference Station System). Оценка точности эфемеридных коррекций WAAS проводилась путем прямого их сравнения с данными прецизионных IGS орбит.

В процессе оценивания точности отдельных составляющих широкозонных (WAAS, EGNOS) коррекций и определения местоположения с использованием этих коррекций в целом немаловажную роль играет такой фактор, как точность привязки антенны "контрольного" GPS/EGNOS приемника в системе координат WGS-84 (или ITRF-xxxx), особенно, если этот приемник удален от ближайших перманентных станций IGS на десятки или даже сотни километров, что имеет место, в частности, в Украине. Эта проблема рассматривается, например, в [17], где обосновываются требования к точности пространственной привязки фазового центра приемной антенны контрольного приемника (погрешности привязки не должны превышать 10 см (95%)) и анализируются различные факторы, такие как эффекты геодинамики, которые следует учитывать в ходе проведения экспериментов.

5. Заслуживающая особого внимания методология сравнительной оценки точностных характеристик трех функционирующих WADGPS-подсистем (WAAS, Global Surveyor, OmniSTAR) изложена в [16], где представлены результаты исследований, выполненных в университете г. Калгари (Британская Колумбия, Канада) в сентябре 2002 г. Эксперименты были проведены в одинаковых условиях для каждой из сравниваемых подсистем, чтобы исключить различия в технологиях приема и обработки сигналов в приемниках разных производителей и исключить влияние многолучевости из результатов сравнения.

Прежде, чем рассмотреть полученные в [16] результаты целесообразно хотя бы кратко рассмотреть особенности и основные отличия ныне существующих и широко используемых в мире технологий и подсистем дифференциальной коррекции GPS(GNSS)–наблюдений.

При традиционном методе дифференциальной навигации каждая референсная (базовая) станция независимо от других станций автономно формирует и распространяет потребителям RTCM SC-104 DGPS-коррекции. При этом станция должна выполнять автономный контроль целостности GPS и передаваемых потребителям сообщений (коррекций). Последние вычисляются для наблюдений каждого спутника в отдельности, за исключением редко используемого т.н. инверсного метода дифференциальной коррекции, когда поправки формируются не к наблюдениям, а к координатам объекта с учетом совместно "видимого" созвездия спутников. При нормальных условиях остаточные после коррекции погрешности местоопределения обусловлены атмосферными эффектами (как ионосферными, так и тропосферными погрешностями), многолучевостью и, в меньшей степени, орбитальными погрешностями. Для погрешностей с сильной пространственно-временной корреляцией (атмосферные и орбитальные эффекты) эффективность их коррекции уменьшается с увеличением расстояния между базовой станцией и потребителем и на больших удалениях (500 – 2000 км) точность DGPS-местоопределения может быть практически сравнимой с точностью автономного местоопределения.

Рост требований в мире к точности и надежности определения местоположения обусловил появление т.н. широкозонных дифференциальных

WADGPS подсистем (функциональных дополнений GPS(GNSS)) и соответствующих информационных услуг. При "широкозонном" подходе наблюдения разреженной сети GPS-станций совместно обрабатываются, чтобы максимально использовать свойства сильной пространственно-временной корреляции атмосферных и орбитальных (эфемеридных) погрешностей путем их моделирования в зоне действия (покрытия) сети референчных станций. Такой WADGPS-подход позволяет значимо повысить уровень точности и надежности местоопределения и обеспечить практически равномерное распределение точности коррекций по всей зоне покрытия сети станций.

Существует несколько различных подходов и алгоритмов, которые используются для формирования WADGPS-коррекций. Можно выделить две главные группы алгоритмов. Первая группа формирует коррекции в пространстве измерений, вторая – в пространстве состояний отдельных моделируемых составляющих погрешностей наблюдений [16].

При реализации первого подхода (первой группы), который в литературе также получил название **Multi-Reference Differential (MRD)**, на каждой станции сети одновременно формируются кодовые DGPS-коррекции, которые затем в центре сбора и обработки (ЦСО) подвергаются контролю качества и целостности и взвешенной обработке так, чтобы ее результаты (в виде коррекций либо их функций) передать потребителям, где формируются текущие, оптимальные для данного местоположения потребителя, сетевые поправки, получившие название коррекций виртуальной референчной (базовой) станции (**Virtual Reference (Base) Station – VRS(VBS)**), как бы находящейся рядом с потребителем даже с изменением его местоположения. Такой подход является относительно простым и для его реализации необходимо относительно небольшое количество референчных станций (например, компания OmniSTAR/FUGRO обеспечивает VBS-коррекциями Северную Америку с использованием только 10 станций).

При реализации второго подхода (второй группы), который получил широко используемое название **Wide Area Differential (WAD)**, по двухчастотным наблюдениям сети референчных станций вычисляются параметры моделей каждого источника погрешностей в отдельности. Обычно это – уходы спутниковых часов, эфемериды и ионосферная задержка. Параметры, описывающие поведение этих погрешностей, передаются потребителям в зоне обслуживания сети (GPS/GNSS-подсистемы). У потребителей вектор параметров коррекций преобразуется в вектор коррекций наблюдений для каждого спутника в отдельности также с учетом текущего местоположения потребителей. Поэтому в широком смысле его также можно назвать VRS-методом. Этот подход положен в основу подсистем **WAAS** (США), **EGNOS** (ЕС), **MSAS** (Япония), **GPS•C** (Канада) и др. Он значительно сложнее подхода MRD и требует адекватного количества референчных станций для его реализации. В то же время, WAD-метод потенциально обладает большими возможностями по ряду характеристик по сравнению с методом MRD.

Как показывает практика, в части точности одночастотных координатных определений по кодовым наблюдениям оба метода в эквивалентных условиях дают близкие результаты. В наиболее современных коммерческих двухчастотных

сетевых системах (High Performance OmniSTAR/FUGRO и StarFire NavCom Technologies/John Deere) высокой (дециметровой и сантиметровой) точности с использованием неоднозначных фазовых наблюдений применяют, как можно видеть из [18], комбинированный подход WAD/MRD. Поэтому для общего обозначения сетевых дифференциальных подсистем спутниковой навигации мы будем использовать устоявшийся в зарубежной литературе термин WADGPS.

Возвращаясь к работе [16], дадим краткие характеристики двух из трех оцениваемых и сравниваемых в статье дифференциальных подсистем – **Global Surveyor** (Канада) и **OmniSTAR VBS** (FUGRO). Подсистема WAAS, ее характеристики и принципы функционирования достаточно подробно описаны в многочисленных источниках.

**Global Surveyor** обеспечивает региональный дифференциальный сервис в Британской Колумбии (Канада) и является переходной к широкозонной подсистеме **Canada-Wide Differential GPS (CDGPS)**, которая будет дополнять WAAS и службу морских радиомаяков береговой охраны (Coast Guard) США в Северной Америке. **CDGPS** базируется на использовании государственной перманентной сети станций Канады **CACS (Canadian Active Control System)**. Прототипом подсистемы является **GPS•C**. Подсистема **Global Surveyor** в настоящее время использует широкозонные коррекции, которые генерирует инфраструктура **GPS•C**, использующая наблюдения всей северной части Северной Америки. Заявленная точность (95%) определения местоположения с использованием коррекций **Global Surveyor** зависит от качества используемого приемника и составляет:

- для приемников класса Low End – лучше 10 м в статике и лучше 20 м в динамике;
- для приемников класса Medium – по плановым координатам - 2-3 м в статике и 4-6 м в динамике, по вертикальным координатам - 5 м в статике и 10 м в динамике;
- для приемников класса High End – по плановым координатам ~1 м в статике и ~2 м в динамике, по вертикальным координатам ~2 м в статике и ~3 м в динамике.

Система **OmniSTAR** в настоящее время имеет в своем составе примерно 100 референчных станций, 3 центра загрузки данных на спутники и 2 центра сбора, обработки и управления (ЦСОУ) глобальной сети референчных GPS-станций (CPC), компания является глобальной DGPS подсистемой реального времени, которая доставляет коррекции от глобальной сети базовых (референчных) станций. Эти данные передаются в ЦСОУ, где они проходят контроль качества и целостности, а затем – через геостационарные спутники – ретранслируются авторизованным потребителям **OmniSTAR** – коррекций. Приемники потребителей обрабатывают данные всех доступных ближайших референчных станций для получения оптимального решения. Оптимальное решение для каждого потребителя получается путем взвешенной обработки данных от референчных станций, где веса являются функциями расстояний между потребителем и станциями. Результатом является одно множество

коррекций (по каждому спутнику), оптимальное для данного текущего положения каждого потребителя, т.е. VBS-решение. Принцип действия системы поясняет Рис.14.

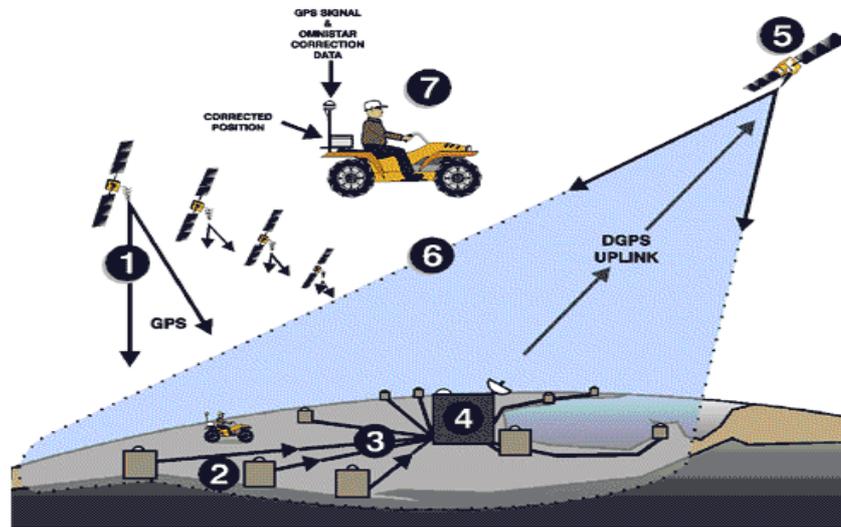


Рис. 14. Принцип действия системы **OmniSTAR**

- 1 - GPS спутники
- 2 – сеть референчных GPS-станций (CPC) OmniSTAR
- 3 – передача GPS-наблюдений в центры сбора, обработки и управления (ЦСОУ) CPC посредством выделенных каналов
- 4 – ЦСОУ - обрабатывают данные, контролируют их качество и осуществляют их запаковку и передачу на геостационарные спутники (GEOs) для передачи в L-диапазоне
- 5 – GEOs – передают данные (дифференциальные коррекции) потребителям (7) в зонах покрытия (6) OmniSTAR для использования в реальном времени

Заявленная точность (95%) определения местоположения с использованием коррекций **OmniSTAR VBS** для коммерческих приемников высокого качества составляет менее 1 м по плановым координатам и 2 – 2,5 м по вертикальным.

Для того, чтобы сравнить характеристики WADGPS корректирующей информации, предоставляемой подсистемами Global Surveyor, OmniSTAR VBS и WAAS, была собрана оригинальная экспериментальная установка, показанная на рис. 15, 16. В экспериментах были использованы следующие приемники: (1) Satloc SLXg3 с опцией WAAS, (2) CSI Wireless DGPS MAX с опцией OmniSTAR VBS и (3) приемник корректирующих RTCM-сигналов Global Surveyor, которые подаются на вход приемника NovAtel OEM4. На рис. 16 буквой "a" в кружке обозначены выходные NMEA-данные с прямым использованием WADGPS-коррекций. Чтобы избежать зависимости результатов сравнительного анализа от типа приемников в схему включены 3 дополнительных L1/L2 приемника NovAtel OEM4. На их дифференциальные входы поданы широкозонные, преобразованные в RTCM формат, коррекции от WAAS и OmniSTAR VBS. "Сырые" наблюдения, коррекции и навигационные определения регистрировались, чтобы обеспечить

полный послесеансный анализ результатов наблюдений. Для избежания фактора многолучевости все приемники NovAtel OEM4 были подключены к одной антенне NovAtel GPS-600 через сплиттер. Положение каждой приемной антенны перед экспериментом было точно определено посредством геодезической GPS-съемки.

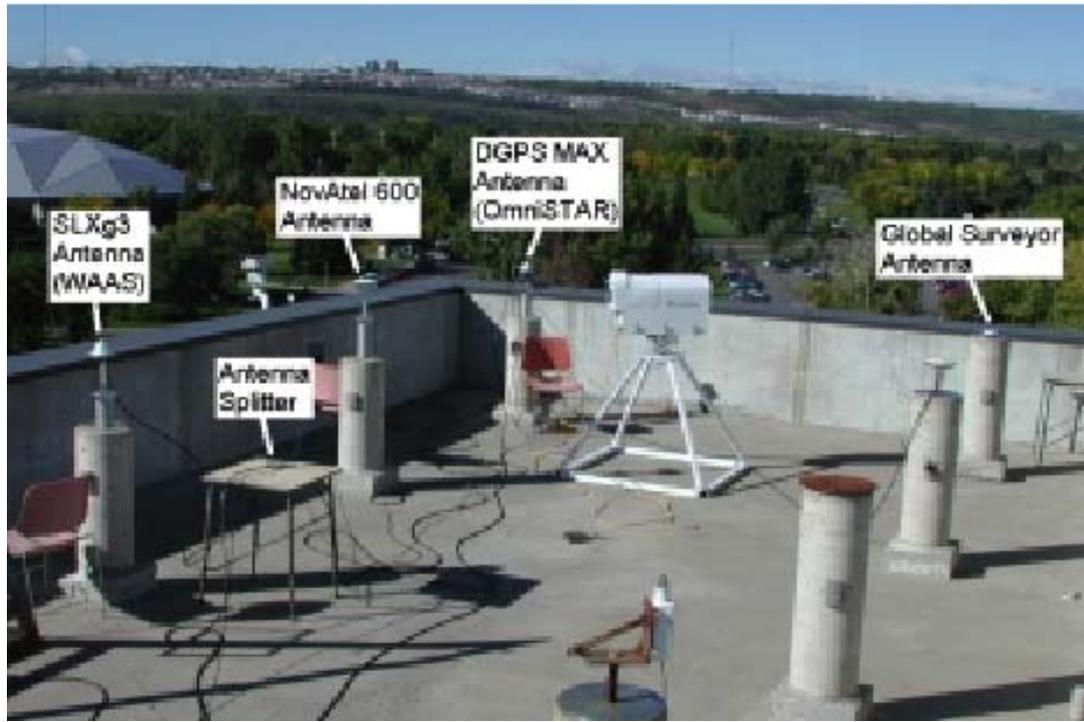


Рис. 15. Экспериментальная установка на крыше инженерного здания

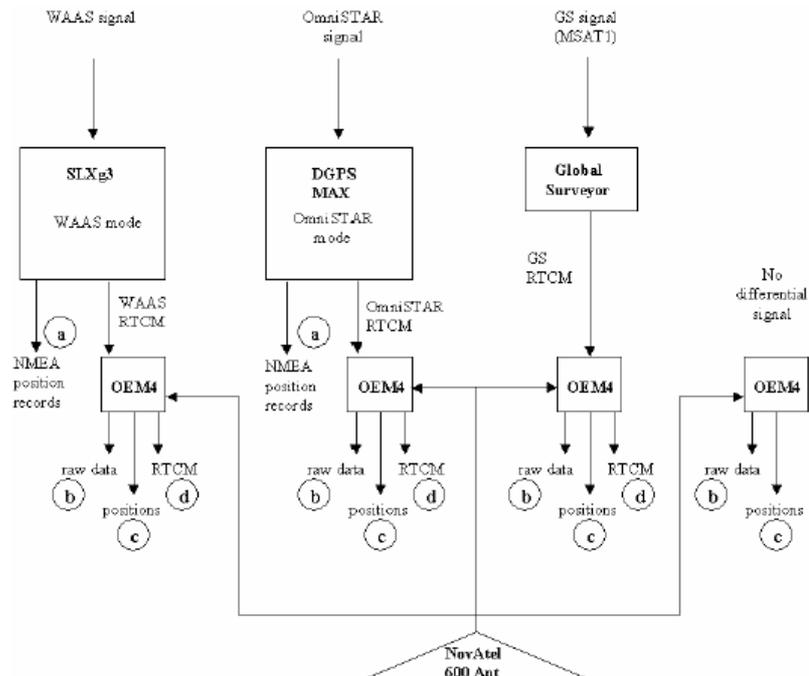


Рис. 16. Конфигурация экспериментальной установки

		OmniSTAR (DGPS-MAX)	WAAS (SLXg3)	OmniSTAR (OEM4)	WAAS (OEM4)	Global (OEM4)	SGPS (OEM4)
MEAN	N	-0.67	0.51	-0.78	0.47	-0.55	-0.01
	E	-0.05	-0.26	0.22	-0.03	2.11	0.30
	U	0.22	0.99	0.27	1.09	0.31	-2.11
RMS	N	1.07	0.93	1.30	0.84	1.86	2.03
	E	0.39	0.58	0.71	0.67	2.63	1.45
	U	1.51	1.51	1.59	1.47	3.23	4.19
MAX	N	1.98	3.13	3.65	3.44	8.44	9.67
	E	1.23	1.12	3.56	1.71	21.45	6.66
	U	3.58	4.29	7.63	4.62	10.17	18.18
MIN	N	-3.20	-1.83	-5.54	-1.70	-11.97	-15.38
	E	-0.97	-1.38	-4.53	-1.90	-1.42	-10.49
	U	-3.88	-2.19	-10.38	-2.47	-27.45	-36.71

		OmniSTAR (RTCM)	WAAS (RTCM)	Global (RTCM)	SGPS
MEAN	North	-0.74	0.45	-0.44	0.37
	East	0.28	0.04	2.07	0.44
	Up	0.27	1.13	0.34	1.33
RMS	North	1.13	0.86	1.64	1.92
	East	0.60	0.63	2.42	2.17
	Up	1.40	1.48	2.77	3.51
MAX	North	2.32	3.63	31.06	7.19
	East	5.00	1.94	20.31	7.74
	Up	7.79	4.08	11.27	25.21
MIN	North	-6.31	-1.79	-8.63	-10.58
	East	-1.40	-1.62	-3.94	-10.17
	Up	-5.89	-1.70	-12.43	-16.46

Рис. 17. Итоговые результаты проведенных экспериментов (все цифры даны в метрах) для реального времени (таблица слева) и для послесеанной обработки наблюдений (таблица справа)

Как видно из анализа и сравнения полученных результатов, СКО (RMS) определения местоположения с использованием дифференциальных коррекций WAAS и OmniSTAR составили ~1м по плановым координатам и ~1,5 м по вертикальным. Для Global Surveyor эти результаты в 2-3 раза хуже. Результаты для реального времени и для послесеанной обработки весьма близки. Как для WAAS, так и для OmniSTAR полученные результаты оценки точности вдвое хуже заявленных, однако следует сделать поправку на то, что эксперимент проводился в месте, расположенном на краю зон расчетного покрытия этих подсистем, там, где не гарантирована заявленная точность определения местоположения. Достаточно сказать, что г. Калгари, где проводились измерения, расположен на значительном удалении от всех станций OmniSTAR, расположенных южнее, так что ближайшая станция расположена на расстоянии ~1000 км. В этом случае можно говорить не об интерполяции коррекций, а об их экстраполяции. Главным образом это касается ионосферных погрешностей наблюдений.

6. В последние несколько лет на мировом рынке передовых GPS/GNSS-технологий определения местоположения высокой точности появились коммерческие продукты и услуги с беспрецедентными точностными характеристиками. Речь идет о таких технологиях и системах, как **OmniSTAR High Precision (HP) Services (OmniSTAR/FUGRO)**, **Racal Genesis (Thales Geosolutions – бывшая RACAL)** и **StarFire (NavCom Technologies/ John Deere)**. Главная особенность этих новейших технологий и систем – достижение дециметровой точности в статическом и кинематическом режимах съемки в реальном времени в зонах покрытия разреженных сетей станций на удалении от референсных станций до 1000 км.

Принципиальные отличия и необычные возможности таких технологий и систем по отношению к традиционным технологиям DGPS состоят в следующих положениях:

- **сетевой принцип** – совместная обработка наблюдений сети референчных двухчастотных GPS станций позволяет отдельно оценить медленноменяющиеся (эфмеридные, ионосферные, тропосферные и частотно-временные) составляющие погрешностей, найти пространственно-временные модели этих погрешностей в рабочей зоне сети станций и точно рассчитать эти погрешности для потребителей; это важнейшее свойство сетевой технологии позволяет во много раз расширить зону действия дифференциального режима, в которой точность уже не будет зависеть от удаления потребителя от той или иной опорной станции;
- **использование фазовых наблюдений** (инструментальные погрешности составляют единицы миллиметров) позволяет достичь на один-два порядка более высокую точности, чем при использовании традиционного кодового DGPS-метода, в том числе и за счет практически полного парирования многолучевости по сравнению с кодовыми наблюдениями; достижения перечисленных компаний состоят в том, что им удалось реализовать робастную обработку (устранение фазовых "слипов" и разрешение неоднозначности) точных, но неоднозначных фазовых наблюдений на измерительных базах ~1000 км в реальном масштабе времени с результирующей точностью координатных определений ~10 см (95%) с доставкой корректирующей информации потребителям через созвездие геостационарных спутников практически в общемировом масштабе;
- **использование двухчастотных приемников у потребителей** – это позволило практически полностью исключать наиболее значимую и наиболее изменчивую ионосферную составляющую погрешностей как в местах расположения референчных станций, так и пользователей; при этом значительно облегчается разрешение неоднозначности фазовых измерений.

Основные приложения новых технологий типа OmniSTAR HP:

- геодезическая съемка и ГИС,
- фотограмметрия,
- картография,
- кадастр,
- прокладка трубопроводов, укладка кабеля или оптоволокна,
- тестирование авионики и аэронавигационных систем
- дистанционно управляемые транспортные средства и сельскохозяйственные машины, управление подъёмными кранами, швартовка судов и др.
- сейсмическая съёмка

В рамках рассматриваемых нами направлений обеспечения траекторного контроля FIS во время инспекционных полетов и проверки (мониторинга)

характеристик аэронавигационного обеспечения (АНО), в том числе с использованием сигналов GPS/EGNOS, рассматриваемые технологии высокой точности как нельзя лучше отвечают требованиям к эталонным системам траекторного контроля и мониторинга точностных характеристик современного АНО.

Нужно сказать, что массовое применение таких высокоточных технологий и систем пока ограничивается более высокой (по отношению к одночастотному DGPS и WADGPS оборудованию) ценой соответствующего двухчастотного оборудования потребителей, способного принимать двухчастотные фазовые коррекции, и подписки на услуги коррекции.

Достаточно детальное описание принципов функционирования, инфраструктуры сети референчных станций, сегментов управления, сбора, обработки наблюдений и передачи коррекций потребителям, а также верификации и мониторинга точностных характеристик системы **StarFire** (NavCom Technologies/John Deere) дано в [18]. Там же приводятся результаты экспериментов по оценке точности GPS-определений с использованием сигналов широкозонных функциональных дополнений WAAS и EGNOS, когда эталоном служили данные GPS/StarFire. На рис.18, 19 приведены взятые из [18] временные зависимости погрешностей (в плане и по вертикали) наблюдений приемника NavCom NCT-2000/StarFire на эталонных точках с заранее известными (на миллиметровом уровне точности) координатами. На рис.20, 21 [18] приведены погрешности определений по сигналам GPS/WAAS (рис. 20) и GPS/EGNOS (рис. 21). В последнем случае за эталон брались координаты, полученные по технологии NavCom/StarFire.

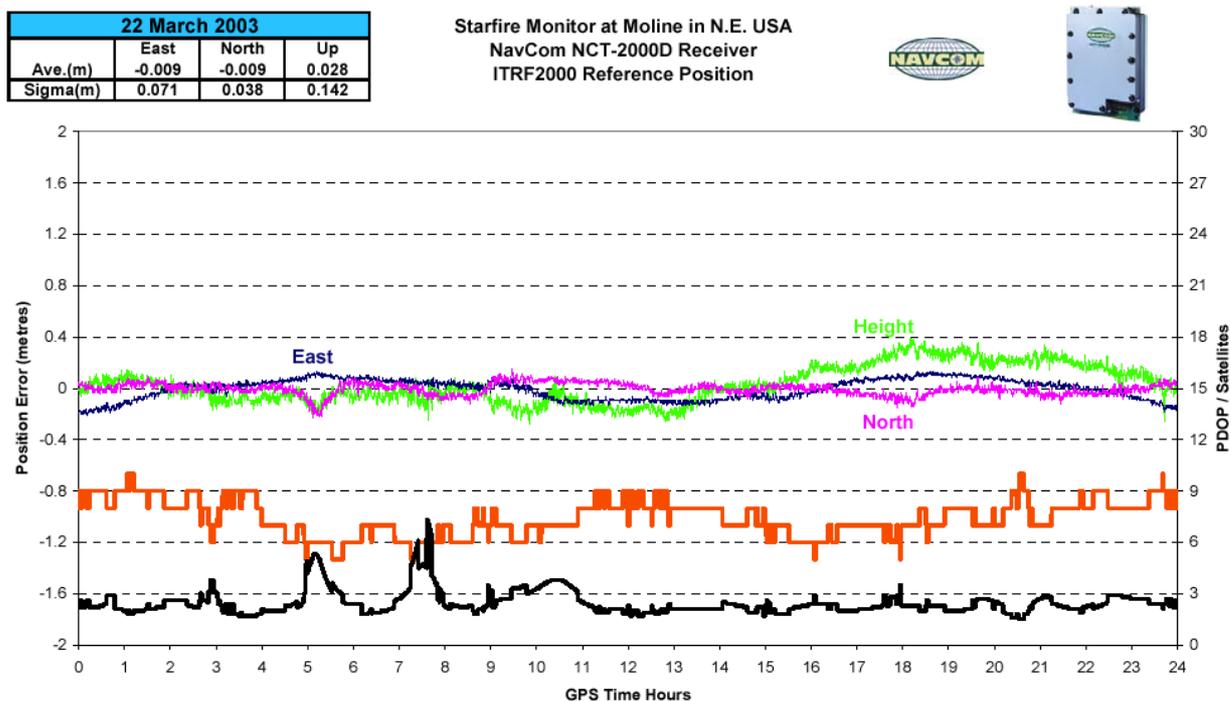


Рис. 18. Точностные характеристики StarFire на территории США

07:30 1st to 07:30 2nd April 2003			
	East	North	Up
Ave.(m)	0.040	0.031	-0.069
Sigma(m)	0.089	0.049	0.103

Starfire Monitor at Zweibrucken in Germany  
 NavCom NCT-2000D Receiver  
 ITRF2000 Reference Position

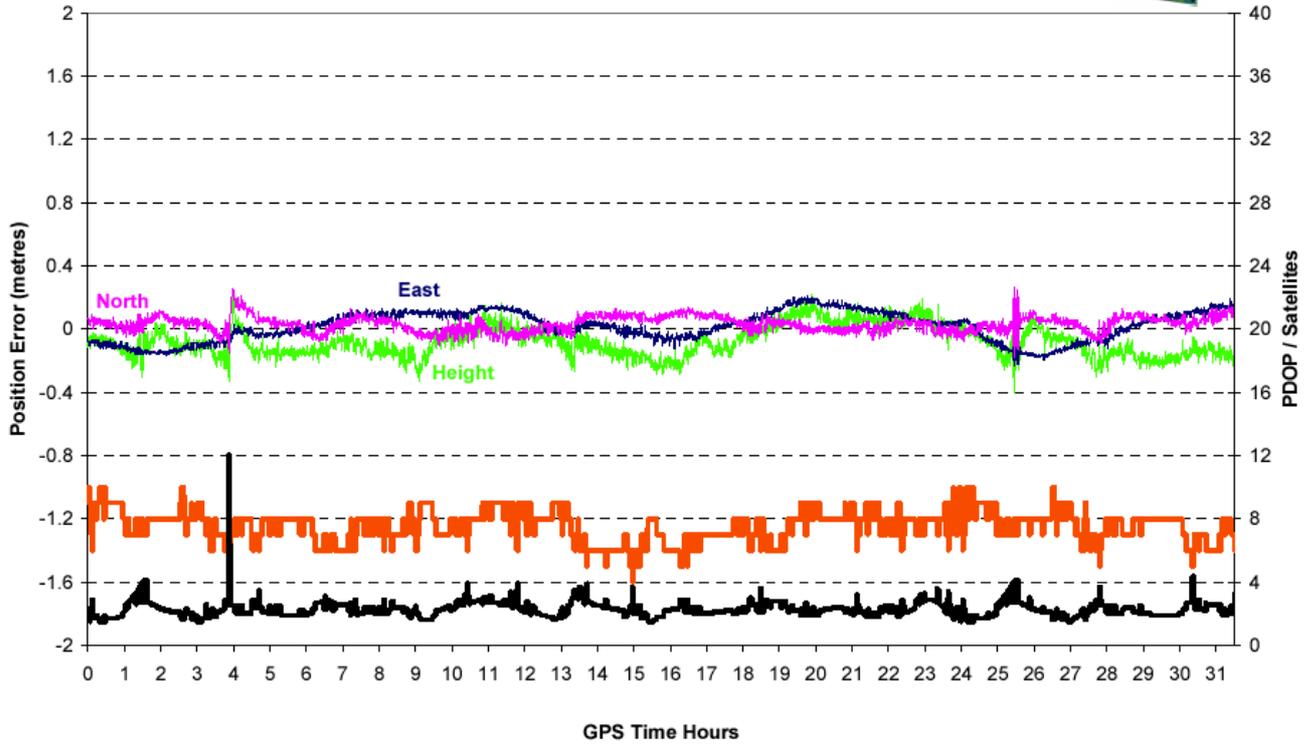


Рис. 19. Точностные характеристики StarFire на территории Европы

22 March 2003			
	East	North	Up
Ave.(m)	-0.007	0.258	0.130
Sigma(m)	0.161	0.296	0.435

WAAS Monitor at Moline in N.E. USA  
 NavCom NCT-2000D Receiver  
 ITRF2000 Reference Position

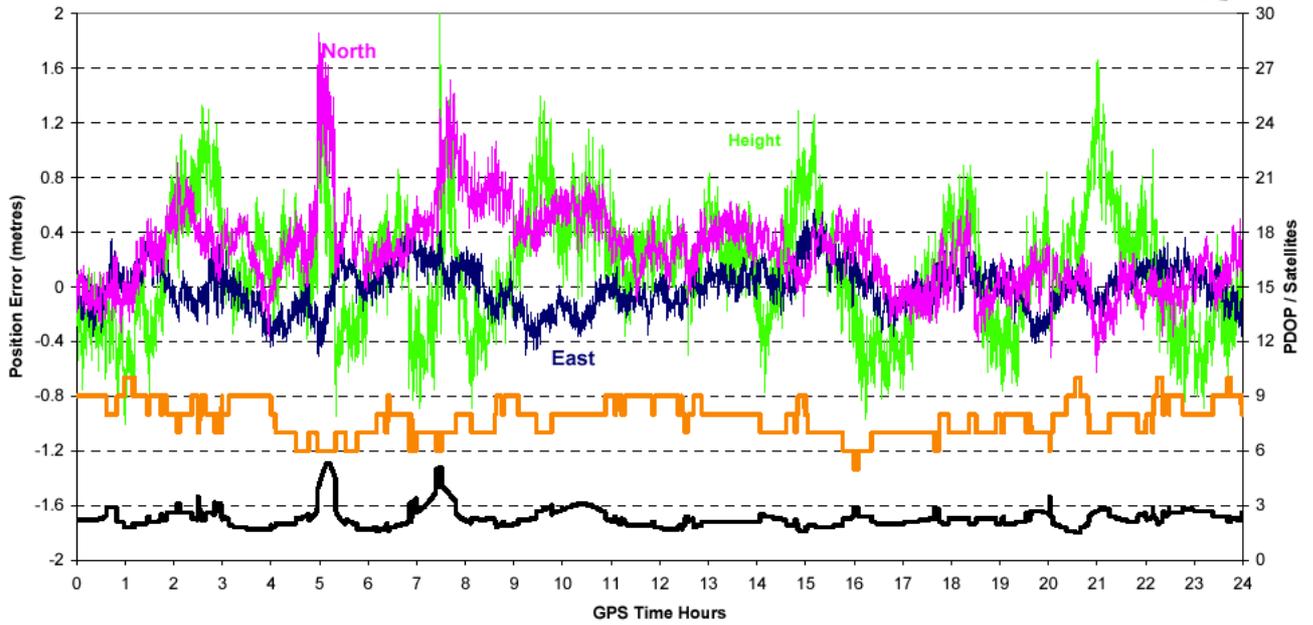


Рис. 20. Точностные характеристики WAAS

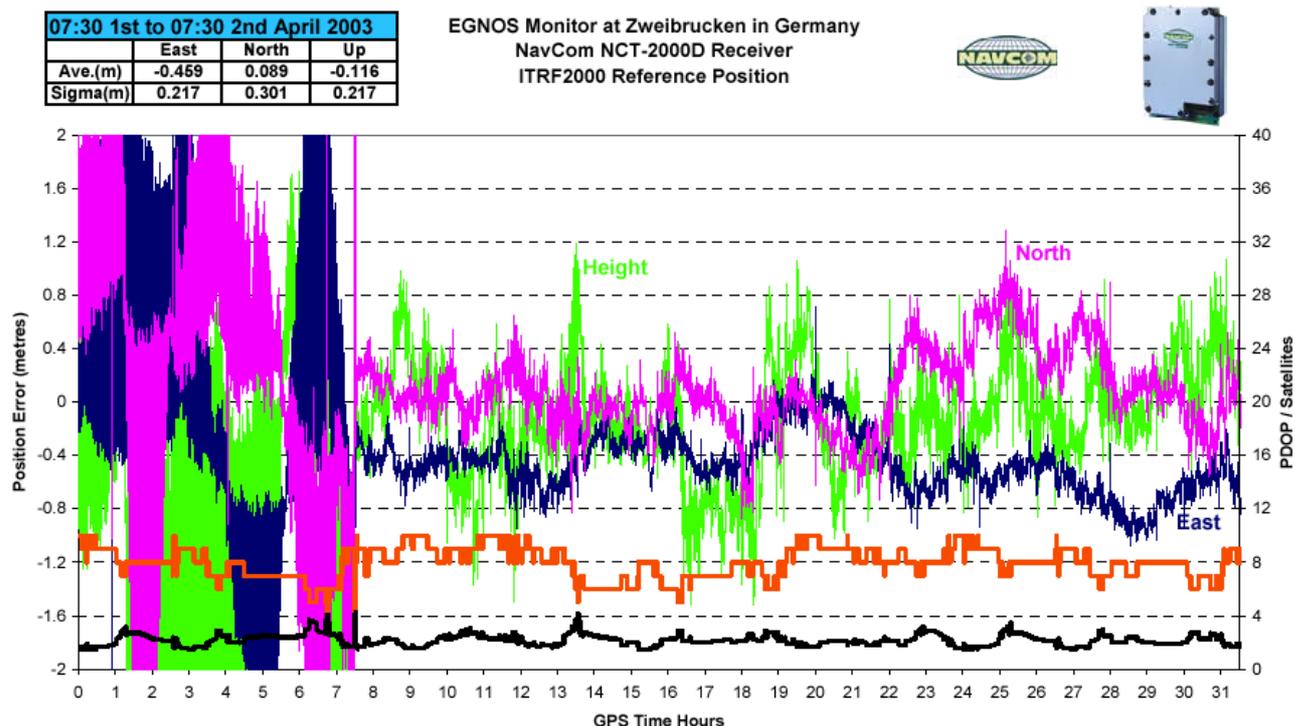


Рис. 21. Точностные характеристики EGNOS. На рисунке четко виден момент перехода в новый, WAAS-подобный, режим коррекции

7. Итоги трехлетнего опыта экспериментальных исследований характеристик ESTB/EGNOS, ближайшие перспективы разработки и развития EGNOS и специально разработанный инструментарий оценки характеристик ESTB/EGNOS – программный комплекс постсеансной обработки PEGASUS достаточно детально изложены в докладах [11, 14, 15].

Обзор результатов экспериментов по комплексному оцениванию всех характеристик такой сложной подсистемы как EGNOS (ESTB) является отдельной довольно объемной задачей. Здесь мы рассмотрим только некоторые вопросы, связанные с направлениями нашего обзора.

Очень интересным представляется описанный в [14] пример разработки французского космического агентства (CNES) специального инструментария (EGNOS Performances Observatory - EPO) для обработки сообщений и "сырых" измерений SBAS/EGNOS и сравнения их с другими (референсными) источниками информации. Такое сравнение проводилось на нескольких уровнях:

- по координатам, полученным по сигналам GPS с использованием SBAS-коррекции, которые сравнивались с эталонными очень точными значениями, определенными по данным IGS- или других базовых станций;
- по ионосферным коррекциям и уровням их погрешностей (GIVD-GIVE), передаваемым SBAS, которые пересчитывались в коррекции псевдодальностей до спутников GPS в соответствии с алгоритмом,

определенном MOPS, и затем сравнивались с ионосферными задержками, полученными из прямых двухчастотных наблюдений;

- по эфемеридным погрешностям и погрешностям коррекции уходов часов спутников GPS (т.е. по так называемым "медленным" (slow) и "быстрым" (fast) коррекциям), которые сравнивались с IGS-данными (IGU, IGR или SP3 типы данных).

EPO содержит в себе и другие виды средств оценки и контроля данных, например, для проверки уходов координат RIMS, качества собранных данных и др. В общем виде архитектура EPO CNES представлена на рис. 22.

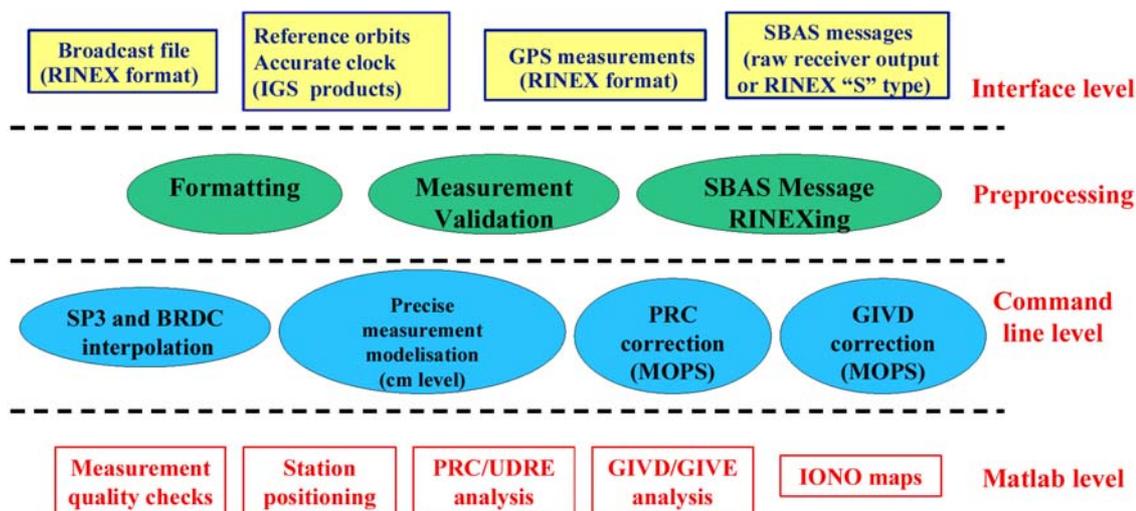


Рис. 22. Архитектура EPO CNES - инструментария для оценки характеристик коррекций "сырых" измерений SBAS/EGNOS и сравнения их с опорными данными

Каждый проведенный цикл обработки с использованием EPO документируется в отдельном отчете, а полученные результаты анализируются и используются для коррекции и усовершенствования алгоритмов EGNOS.

Следует уделить внимание и такому перспективному инструменту контроля характеристик ESTB/EGNOS, как программный комплекс **PEGASUS** (Prototype EGNOS Analysis System Using SAPPHIRE), который был создан по инициативе Евроконтроля в рамках программ GNSS Programme и European Air Traffic Management Programme как прототип штатного комплекса PACF (Performance Assessment and system Check-out Facility) оценки и мониторинга (контроля) характеристик EGNOS. PEGASUS является эволюцией системы SAPPHIRE, в которой ранее уже были внедрены алгоритмы анализа характеристик местоопределения, автономного контроля целостности и доступности сигналов GNSS по накопленным данным бортовых наблюдений на коммерческих ВС.

PEGASUS позволяет обрабатывать данные псевдодальномерных наблюдений, широкозонной корректирующей информации SBAS и данных целостности для GPS и ESTB. Архитектура ПО PEGASUS изображена на рис. 23.

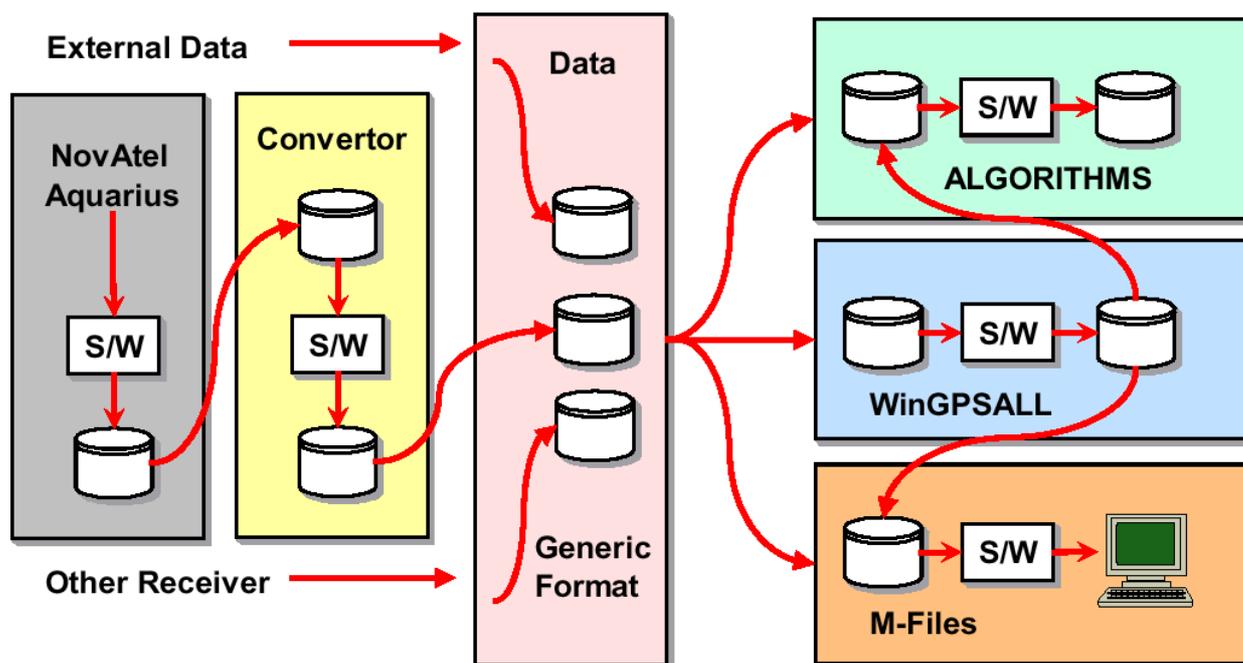


Рис. 23. Архитектура программного обеспечения PEGASUS

ПО PEGASUS состоит из трех главных программных компонентов. Программа CONVERTOR транслирует данные наблюдений GNSS-приемника в специфический формат ПО PEGASUS. Программа WinGPSALL использует выходные данные программы CONVERTOR для получения GNSS-решения, анализа текущего созвездия, предиктивной оценки величин, характеризующих качество мониторинга целостности, и для выполнения самого мониторинга целостности, используя алгоритмы RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) и AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring). Архитектура ПО PEGASUS позволяет иметь доступ ко всем данным на всех стадиях обработки, их отображения и визуализации с использованием возможностей системы MATLAB. Важно отметить, что реальные погрешности местоопределения не могут быть оценены в ПО PEGASUS без высокоточных опорных (референчных) данных извне как при работе в статическом режиме на земле, так и при проведении лётных экспериментов. В то же время, оценка горизонтального и вертикального защитных уровней HPL (Horizontal Protection Level) и VPL (Vertical Protection Level) не требует знания очень точного местоположения.

ПО PEGASUS является доступным (на бесплатной основе) инструментарием и может быть успешно использован для проведения исследовательских работ по оценке характеристик EGNOS на территории и в воздушном пространстве Украины.

8. В заключение этого подраздела следует хотя бы кратко рассмотреть еще один важный аспект оценки точности местоопределений и отдельных составляющих погрешностей наблюдений по сигналам GPS/EGNOS. Речь идет о верификации рекомендуемых SARPS тропосферных моделей для коррекции наблюдений по сигналам GPS/WAAS/EGNOS.

Тропосферная задержка является одним из главных источников погрешностей спутниковых навигационных определений. Величина тропосферной задержки превышает 2 м в зените и 20 м на малых углах места, т.е. менее 10 градусов. Если эта задержка не будет должным образом промоделирована, погрешности местоположения могут достигать 10 м.

Документ SARPS ICAO рекомендует использовать эмпирический алгоритм тропосферной коррекции наблюдений GPS/WAAS/EGNOS, применяющий в качестве входных параметров оценку текущей высоты объекта и усредненные оценки пяти метеорологических параметров, учитывающий средние значения и сезонные вариации этих параметров. Эта модель разработана в университете г. New Brunswick (Канада) на основе обработки многолетних измерений метеоданных, включая наблюдения шаров-зондов на территории Северной Америки. Такая простая модель, хотя и рекомендована ICAO к использованию в глобальном масштабе, не учитывает изменения погоды с высокой точностью и может не отражать характеристики локальных регионов в различных частях мира, например, в Европе. Это потребовало проведения ряда экспериментов для подтверждения возможности использования рекомендованной модели в зоне действия EGNOS. Так, например, в работе английских ученых [19] даны результаты исследований по верификации рекомендуемой SARPS ICAO модели расчета тропосферных коррекций на территории Объединенного Королевства.

В этой статье рекомендуемые для использования в EGNOS тропосферные коррекции, с целью оценки точности модели, сравнивались с оцененными по фазовым GPS-наблюдениям тропосферными задержками. Допустимая погрешность моделирования зенитной тропосферной задержки по рекомендуемой SARPS модели не должна превышать 0,12 м (RMS). Достигнутая точность оценки вертикальных тропосферных задержек по GPS фазовым наблюдениям (периоды усреднения - 15 минут) составила около 1 см, что позволило авторам успешно верифицировать рекомендуемую для использования модель. Для связи зенитной и наклонной задержки авторами была использована эмпирическая функция отображения (Mapping Function) Niell, которая является очень точной и применяется для наблюдений как при высоких, так и при очень низких углах места – даже менее 5 градусов. Наблюдения и соответствующий анализ были проведены в течение года на месячных выборках каждого периода года.

Как показали исследования, максимальная зенитная погрешность тропосферного моделирования составила ~16 см, что близко к требованиям ICAO. Такая погрешность моделирования зенитной тропосферной задержки может привести к погрешности определения местоположения по горизонтальным координатам объекта ~ 43 см и по вертикальной координате ~1,5 м.

Распространение действия EGNOS на территорию Украины требует проведения аналогичных [19] исследований.

## **ВЫВОДЫ**

В настоящей статье на основе анализа современных зарубежных источников рассмотрены вопросы методического обеспечения, а также примеры использования тех или иных аппаратных и программных средств для оценивания и анализа навигационных характеристик широкозонных функциональных дополнений GPS/ГЛОНАСС – WAAS и EGNOS в различных региональных условиях и зонах обслуживания потребителей, включая граничные районы рабочих зон этих систем.

Внимание обращается на возможности использования для целей верификации и тестирования параметров навигационных систем мобильных объектов и аэронавигационного обеспечения, в том числе и по сигналам WAAS/EGNOS, новейших сетевых длиннобазисных GPS/VRS/High Performance - технологий получения дециметровой точности определения местоположения в реальном времени. Такой высокоточный сервис в настоящее время предоставляют компании OmniSTAR/FUGRO и NavCom Technologies Inc./John Deere. Как пример, здесь приводятся данные о системы StarFire (NavCom Technologies Inc./John Deere) и о её использовании для оценки характеристик WAAS и EGNOS.

Дается краткое описание специализированного программного обеспечения PEGASUS, разработанного для оценки характеристик EGNOS с использованием внешних эталонных координат или эталонной траектории для движущихся объектов.

Кратко рассматривается и проблема верификации рекомендуемой SARPS ICAO при GNSS/WAAS/EGNOS навигационных определениях модели тропосферной коррекции наблюдений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cecelia M. Feit, Martin R. Bates. “**Accurate Positioning in a Flight Inspection System Using Differential Global Navigation Satellite Systems**”, Presented at the Satellite Division of the Institute of Navigation 7<sup>th</sup> International Technical Meeting, ION GPS-94, September 20-23, 1994, Salt Lake City, Utah
2. Mohamed M.R. Mostafa and Joseph Hutton. “**Airborne Kinematic Positioning and Attitude Determination Without Base Stations**”, Applanix Corporation, Canada// Proceedings, International Symposium On Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics, and Navigation (KIS 2001), Banff, Alberta, Canada, June 4–8, 2001
3. E. Gonzalez, M. Toledo, L. Andrada, C. Barredo, M. Á. Sagrado, M. Romay, “**ISAGNSS: Spanish GNSS Activities Support Infrastructure**”, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria
4. Y. Hoffmeister-Han, T. Wieneke, “**European GPS Monitoring System for the RVSM Monitoring Program**”, ION GPS 2000, 19-22 September 2000, Salt Lake City, UT
5. R.J. Muellerschoen, W.I. Bertiger, M.L. Whitehead, “**Flight Tests Demonstrate Sub 50 cm RMS Vertical WADGPS Positioning**”, ION GPS’99, 14-17 September 1999, Nashville, TN
6. T. Katanik, I. Gallimore, C. Cusack, T. Helgesen, B. Eriksen, H. Gronseth, B. Narmo, “**Operational Implementation of DGPS Precision Approaches at Regional Airport in Norway**”, ION GPS’99, 14-17 September 1999, Nashville, TN
7. S. Suga, Y. Tsunoda, N. Fujii, S. Fukushima, S. Saitoh, “**Airport Pseudolite Flight Experiments**”, ION GPS 2002, 24-27 September, 2002, Portland, OR
8. Д.А.Кошаев “**Анализ Свойств Ошибок Измерений GPS на Летательном Аппарате**”, (ГНЦ РФ-ЦНИИ “Электроприбор”, С.-Петербург)

9. Axel van den Berg, H. Veerman, E. Breeuwer, R. Farnworth, “**Prevail, a Platform for EGNOS Validation Flight Trials**”
10. **Analyses of WAAS Performance in Iceland and at High Latitudes in the NAT area**, Icelandic Civil Aviation Administration and Innovative Solutions International, December 1999, <http://www.caa.is/gps/waas.htm>
11. S. Basker, G. Solari, J. Ventura-Traveset, C. Motefusco, “**The Transition from ESTB to EGNOS: Managing User Expectation**”, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria
12. S. Oszczak, A. Cieccko, M. Bakula, D. Popielarczyk, J. Balint, G. Manzoni, R. Cefalo, “**Estimation of Accuracy of EGNOS System Test Bed (ESTB) Car Navigation in Central European Countries in 2002**”, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria
13. H. Rho, R.B. Langley, “**Assessment of WAAS Correction Data in Eastern Canada**”, Geodetic Research Laboratory University of New Brunswick
14. N. Suard, H. Secretan, T. Beltan, “**ESTB Operations 3 Years of Experience, Perspectives**”, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria
15. C. Butzmuehlen, R. Stolz, R. Farnworth, E. Breeuwer, “**PEGASUS – Prototype Development for EGNOS Data Evaluation – First User Experiences with the EGNOS System Test-Bed**”
16. M.E. Cannon, S. Skone, Y. Gao, Y. Moon, K. Chen, S. Crawford, G. Lachapelle, “**Performance Evaluation of Several Wide-Area GPS Services**”, ION GPS 2002, 24-27 September 2002, Portland, OR
17. H. Su, J.-Y. Schneider, C. Ruf “**Statistical Analysis on the Influence of User Receiver Antenna Position Errors on EGNOS System Accuracy Assessment**”, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria

18. K. Dixon (NavCom Technology / USA). **“A Global Satellite Based Augmentation System: Starfire – Real time Decimetre Accuracy”**, GNSS 2003 – The European Navigation Conference 22-25 April 2003/Austria
19. A.H.Dodson, W. Chen, H.C.Baker, N.T. Penna, G.W. Roberts, R.J. Jeans, J.Westbrook, **“Assessment of EGNOS Tropospheric Correction Model”**, ION GPS’99, 14-17 September 1999, Nashville, TN

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

<b>АНО</b>	<b>АэроНавигационное Обеспечение</b>
<b>ВС</b>	<b>Воздушное судно</b>
<b>ИНС</b>	<b>Инерциальная навигационная система</b>
<b>ККС</b>	<b>Контрольно-корректирующая станция</b>
<b>НВО</b>	<b>Навигационно-временное обеспечение</b>
<b>ПС</b>	<b>Псевдоспутник</b>
<b>РС</b>	<b>Референсная станция</b>
<b>ПО</b>	<b>Программное обеспечение</b>
<b>ПАО</b>	<b>Программно-алгоритмическое обеспечение</b>
<b>CNS/ATM</b>	<b>Communications, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management</b>
<b>DGPS</b>	<b>Differential Global Positioning System</b>
<b>DGNSS</b>	<b>Differential Global Navigation Satellite System</b>
<b>ECAC</b>	<b>European Civil Aviation Conference</b>
<b>EGNOS</b>	<b>European Geo stationary Navigation Overlay System</b>
<b>FAA</b>	<b>USA Federal Aviation Agency</b>
<b>GBAS</b>	<b>Ground-Based Augmentation System</b>
<b>GALILEO</b>	<b>Satellite Constellation, European contribution to GNSS-2</b>
<b>GNSS</b>	<b>Global Navigation Satellite System</b>
<b>GPS</b>	<b>Global Positioning System</b>
<b>ICAO</b>	<b>International Civil Aviation Organization</b>
<b>IGS</b>	<b>International GPS Service for Geodynamics</b>
<b>ILS</b>	<b>Instrumental Landing System</b>
<b>LAAS</b>	<b>Local Area Augmentation System</b>
<b>LR RTK</b>	<b>Long Range Real Time Kinematic</b>
<b>MLS</b>	<b>Microwave Landing System</b>
<b>RAIM</b>	<b>Receiver Autonomous Integrity Monitoring</b>
<b>RINEX</b>	<b>Receiver Independent Exchange Format</b>
<b>RIMS</b>	<b>Range &amp; Integrity Monitoring Station</b>
<b>RNP</b>	<b>Required Navigation Performance</b>
<b>RTCA</b>	<b>Requirements and Technical Concepts for Aviation</b>
<b>RTCM</b>	<b>Radio Technical Commission for Maritime</b>
<b>RTK</b>	<b>Real Time Kinematic</b>
<b>SARPS</b>	<b>Standards And Recommended Practices</b>
<b>SBAS</b>	<b>Satellite-Based Augmentation System</b>
<b>VRS</b>	<b>Virtual Reference Station</b>
<b>WAAS</b>	<b>Wide Area Augmentation System</b>
<b>WADGNSS</b>	<b>Wide Area Differential GPS/GNSS System</b>