

◆ ИНФОРМАЦИЯ ◆

Б. С. РИВКИН

ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НАВИГАЦИИ ENC-2018

Статья содержит обзор докладов, представленных на Европейской конференции по навигации ENC-2018.

Ключевые слова: ГНСС, Galileo, GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, позиционирование, двухчастотный прием, мультисистемные ГНСС-сервисы.

Введение



14–17 мая в Гетеборге (Швеция) состоялась 26-я Европейская конференция по навигации ENC-2018, проводимая под патронатом Европейской группы институтов навигации (European Group of Institutes of Navigation – EUGIN). Представленные на ней доклады по большей

части группировались по следующим направлениям:

- обработка сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- определение параметров орбит космических аппаратов (КА) ГНСС;
- борьба с помехами сигналам ГНСС;
- инновационное развитие ГНСС Galileo;
- мультисистемные ГНСС-сервисы;
- частотно-временное обеспечение с использованием сигналов ГНСС;
- ГНСС-системы дифференциальной коррекции и мониторинга;
- беспилотные транспортные системы и их безопасность;
- мультисенсорные интегрированные системы;
- морская навигация.

Из сказанного следует, что ENC прежде всего является крупнейшей европейской конференцией по ГНСС-технологиям. Заметим также, что в этом году, откликаясь на вызовы времени, EUGIN впервые уделила определенное внимание беспилотным системам.

Ривкин Борис Самуилович. Кандидат технических наук, начальник Центра компетенции в области навигации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением». Член правления IAIN – Международной ассоциации институтов навигации.

Существует примета: «как ты лодку назовешь – так она и поплывет». То же и с конференциями, где многое определяет то, как проходит первое ее пленарное заседание. В последние годы на ENC оно традиционно предполагает выступление с докладами основных игроков в ГНСС-театре, излагающих результаты, достигнутые в предыдущем конференции году. После этого следует так называемая GNSS panel, в процессе которой обсуждаются перспективы развития ГНСС-систем и высказываются мнения их разработчиков по ключевым вопросам их проектирования. На ENC-2018 случилось необъяснимое – не состоялись заявленные доклады по системам GPS и ГЛОНАСС (было заявлено сообщение РИРВ), лидерам ГНСС-движения. Доклады же по ГНСС-системам BeiDou (Китай), Galileo (Евросоюз) и региональным QZSS (Япония) и NAVIC (Индия) не содержали ничего, что читатель не может найти в вышедшем еще до начала конференции обзоре [1].

Малоинформативной оказалась и GNSS panel, где наиболее ценные мысли высказал лишь ее модератор – известный австралийский специалист по ГНСС-технологиям профессор Крис Ризос (Chris Rizos). Тем не менее на конференции был представлен ряд интересных докладов, соответствующих тематике журнала «Гироскопия и навигация», на которых и остановимся.

1. Прежде всего, следует выделить доклад [2], посвященный создаваемой Китайской корпорацией аэрокосмической науки и техники (China Aerospace Science and Technology Corporation) глобальной спутниковой системе Hongyan. Система эта строится на базе 60-ти малых космических аппаратов (КА), размещаемых на низких околоземных орбитах (LEO*), и предназначена в первую очередь для обеспечения глобальной связи и снабжения глобальных потребителей рядом информационных сервисов. Ввод системы в строй ожидается в 2020 г.

Авторы доклада предлагают использовать Hongyan для решения задач, традиционно возлагаемых на спутниковые системы дифференциальной коррекции (SBAS), предназначенные для повышения эффективности функционирования ГНСС (GNSS). При этом интересы потребителей ГНСС существенным образом разнятся. Так, гражданских потребителей, выполняющих те или иные виды съемок на земной поверхности, главным образом волнует точность позиционирования, тогда как в авиационных приложениях, связанных с посадкой самолетов, на первый план выходит целостность навигационного сигнала. Легко понять, что при переходе к беспилотным технологиям обе эти характеристики оказываются практически равнозначными. Наконец, военные, как никто другой, озабочены доступностью сигнала ГНСС в условиях пересеченной местности и сложной помеховой обстановки.

С целью повышения качества использования сигналов ГНСС и был создан целый ряд региональных SBAS, таких как WAAS (США), EGNOS (Евросоюз), DBDS (Китай) и СДКМ (Россия), обеспечивающих прежде всего прецизионное позиционирование на территории стран – разработчиков этих SBAS. Указанные SBAS опираются на КА, размещаемые на высоких геостационарных орбитах (GEO), в силу чего потребитель имеет дело со слабым сигналом, подверженным разного рода интервенциям, а прецизионное позиционирование обеспечивается при достаточно длинном интервале обработки SBAS-сигналов. Вместе с тем КА, выводимые на LEO-орбиты, обеспечивают потребителей при той же мощности излучаемого сигнала более комфортными условиями для его использования.

*Здесь и далее вместе с русскими приводятся и соответствующие широко употребляемые английские аббревиатуры, традиционно не расшифровываемые в англоязычной литературе. В ряде случаев, чтобы не перегружать текст аббревиатурами, именно они далее и используются в статье.

Именно поэтому еще в 2009 г. компания Boeing (США) и Стэндфордский университет (Stanford University), а также ряд других организаций при поддержке Военно-морской лаборатории США (Naval Research Laboratory) начали вести работы по проекту iGPS (интегрированный GPS), предполагающему использование сигналов повышенной мощности КА LEO спутниковой системы IRIDIUM следующего поколения. Предполагалось, что iGPS обеспечит более высокие характеристики доступности, точности и целостности навигационного сигнала, чем стандартные SBAS.

60 КА системы Hongyan выводятся на пять равномерно размещенных относительно Земли круговых орбит высотой 900 км, на каждой из которых также эквидистантно позиционируются 10 рабочих КА и 2 резервных (см. рис. 1). Наземный сектор системы состоит из контрольных и процессинговых станций, а также сети станций передачи данных.

Принцип действия системы в обеспечение решения задач, возлагаемых на SBAS, таков. Установленные на КА Hongyan приемники осуществляют мониторинг сигналов КА ГНСС, передавая соответствующие данные через межспутниковые линии связи на центральную процессинговую станцию. Последняя с использованием этих данных и информации, поставляемой наземными контрольными станциями, вырабатывает поправки часов и уточняет параметры орбит КА ГНСС, которые в конечном счете транслируются потребителям. Предполагается, что с опорой на эти данные и стандартные фазовые измерения ГНСС удастся обеспечить прецизионное позиционирование (PPP) потребителя в динамике с погрешностью в субдециметровом диапазоне и в статике – в субсантиметровом. При этом время PPP-решения не превысит 5 мин (в случае использования существующих SBAS это время составляет от 30 мин до часа).

С целью оценки эффективности предлагаемого варианта использования КА Hongyan в докладе приведены результаты моделирования, когда в качестве ГНСС рассматривалась система BeiDou (Китай), базирующаяся на пяти КА типа GEO, трех КА, расположенных на наклонных геосинхронных орбитах (ISGO), и 27-ми КА на средних околоземных орбитах (MEO). При этом привлекались измерения восьми контрольных станций, установленных на территории Китая, и последовательно трех и десяти КА Hongyan.

Результаты моделирования показали, например, следующее:

- 1) применительно к КА GEO:
 - при использовании только наземных станций радиальная погрешность определения параметров орбиты составляет 73,48 см, привлечение данных трех LEO снижает ее до 1,02 см и десяти – до 0,98 см;
- 2) применительно к IGSO мы в этом случае имеем соответственно 6,33 см, 0,40 см и 0,27 см;
- 3) применительно к MEO – 7,96 см, 1,65 см и 0,66 см.

Изучался и геометрический фактор снижения точности позиционирования (PDOP). Так, в Сиане (Xian), где PDOP для системы BeiDou в среднем за сутки равен 2,32, привлечение LEO-данных снижает эту величину до 2,09.

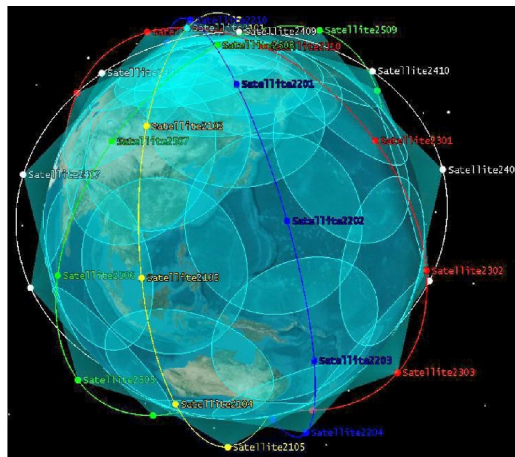


Рис. 1

Наибольший выигрыш от использования КА Hongyan в части PDOP наблюдается в приполярных районах.

Наконец, в докладе подчеркивается, что на базе данных КА Hongyan для военных применений будут созданы специальные сервисы, обеспечивающие повышение эффективности использования ГНСС в условиях пересеченной местности и сложной помеховой обстановки.

2. Если доклад [2] был посвящен оценке эффективности лишь разрабатываемой системы Hongyan, то в [3*] излагаются результаты тестирования сервиса EDAS, предоставляемого ESSP (European Satellite Services Provider) с использованием сигналов ранее упомянутой SBAS EGNOS. Тестирование это выполнялось применительно к процессу проведения посевных работ, когда в режиме реального времени требуется обеспечить относительное местоопределение положения, например, трактора «от прохода к проходу» (pass-to-pass) с погрешностью порядка 20 см ($P = 0,95$).

EDAS аккумулирует принимаемые приемниками всех контрольных станций EGNOS, расположенных в Европе и северной Африке, сырые данные от КА систем GPS и GLONASS, а также от КА SBAS EGNOS, размещенных на GEO-орбитах. После их обработки соответствующие ГНСС-данные транслируются потребителям в режиме реального времени через интернет, обеспечивая субметровую погрешность позиционирования.

Тексты докладов 3, 5, 6, приведенных в списке литературы, могут быть найдены по ссылке: https://enc2018.eu/wp-content/uploads/2018/05/ENC2018_Proceedings_Abstracts_Technical_Papers_Final.pdf.

Упомянутое ранее тестирование проводилось совместно ESSP и фирмой Topcon Agriculture. Собственно передача ГНСС-данных производилась с использованием Ntrip-сервиса, представляющего собой составную часть EDAS и обеспечивающего передачу данных в стандартном формате RTCM. Транслируемые Ntrip данные содержат как стандартные кодовые ГНСС-измерения и дифференциальные поправки к ним, так и фазовые измерения и специальные сообщения для реализации RTK-позиционирования. Номинально доступность EDAS превышает 99,5%, а задержка в передаче сообщения не превышает 0,7 с.

Испытания проводились на ферме в районе Севильи (Испания). При этом трактор был оснащен двумя спутниковыми приемниками AGI-4 фирмы Topcon, один из которых реализовывал прецизионное RTK-позиционирование, а второй – DGPS-позиционирование с использованием данных Ntrip-сервиса, поставлявшего дифпоправки с опорой на контрольную станцию EGNOS, расположенную в Малаге в 110 км от фермы.

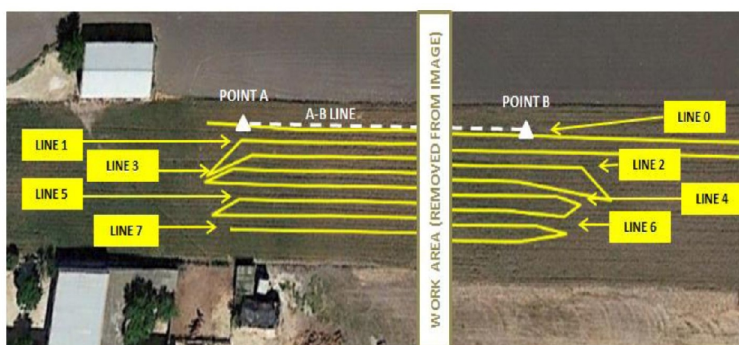


Рис. 2

по 8 линиям (пронумерованным от 0 до 7), помеченным на рис. 2 желтым цветом и отстоящим друг от друга на 3 м.

Схема испытаний приведена на рис. 2, где А и В – некоторые контрольные точки, разнесенные на 200 м и расположенные на воображаемой линии №0, параллельной одной из кромок поля. При этом предполагалось движение трактора

Всего было выполнено три прохождения трассы с управлением трактором в автоматическом режиме (лишь развороты выполнялись вручную). На первых двух позиционирование осуществлялось с опорой на RTK-решение, а на последнем – на EDAS DGPS. Для оценки погрешности pass-to-pass использовалось два подхода:

- по завершении испытаний проводилась постобработка результатов с определением поперечного расхождения между данными, поставляемыми RTK-решением, принятого за эталон (его погрешность не превышает 1 см), и EDAS DGPS;
- в процессе полевых испытаний на прогоне №3 замеры выполнялись вручную.

На прогоне №1 pass-to-pass между линиями 1–2, 2–3, 3–4, 4–5 и 5–6 составила соответственно 20 см, 14 см, 16 см, 28 см и 22 см. На прогоне №2, отличающегося от №1 порядком прохождения линий, были получены аналогичные результаты. Наконец, на прогоне №3, где управление трактором велось по данным EDAS DGPS, pass-to-pass между линиями 0–1, 2–3, 3–4, 4–5 и 6–7 оказалась равной соответственно 3–4 см, 10–12 см, 1–3 см и 7–8 см, что существенно меньше требуемых 20 см, подтвердив тем самым возможность использования обсуждаемой технологии при проведении посевных работ.

Вместе с тем следует понимать, что при реальных посевных работах на этих результатах скажется влияние соответствующих навесных устройств, размещаемых на тракторе, и отстояние от контрольной станции системы, влияющее на погрешность вырабатываемых сервисом EDAS дифпоправок.

3. Перспективам использования ГНСС-информации в интересах воздушного сообщения был посвящен доклад [4]. В настоящее время документом «Стандарты и рекомендованные практики» (SARPs) Международной организации гражданской авиации (ICAO) в обеспечение полетов допускается использование лишь сигналов L1 ГНСС GPS и ГЛОНАСС. Однако как модернизация этих систем, так и развитие ГНСС Galileo и BeiDou в ближайшее время приведут к появлению воздушной навигации, опирающейся на двухчастотный мультисистемный (DFMC – Dual-Frequency Multi-Constellation) прием сигналов ГНСС.

DFMS-прием приведет к появлению навигационных сервисов, которые повысят точность и робастность позиционирования за счет совершенствования структуры навигационных сигналов, парирования ионосферной задержки и уменьшения величины геометрического фактора за счет резкого увеличения числа используемых в обработке КА. При этом практика показывает, что в гражданской авиации совместно с сигналами базовых ГНСС (сегодня это GPS и ГЛОНАСС) всегда используются сигналы SBAS-систем. Ожидается, что и они будут развиваться, чтобы также функционировать в DFMS-конфигурации. Первой ласточкой, очевидно, будет новая версия EGNOS, ожидаемая в DFMS-варианте в 2027 г. – через 2 года после полного развертывания GPS L1/L5.

Существенным моментом при появлении SBAS DFMS является наличие соответствующего стандарта, регламентирующего порядок их разработки. В обеспечение работ по стандартизации и был разработан специальный программный продукт DSVP (DFMS Service Volume Prototype), предназначенный в том числе для:

- генерации последовательности SBAS DFMS-сообщений;
- выработки данных, необходимых для вычисления потребителем при посадке самолета так называемых «уровня защиты по горизонтали» (HPL) и «уровня защиты по вертикали» (VPL), которые должны быть меньше соответствующих регламентированных величин HAL и VAL;

- формирования данных для вычисления погрешности определения дальности потребителем при двухчастотном приеме (DFRE – Dual Frequency Range Error).

Программа DSVP в итоге позволяет с высокой степенью достоверности оценивать структуру и характеристики различных SBAS DFMS-систем, включая формирование соответствующего созвездия и сети наземных станций, перечень необходимых сообщений и их характеристики, деградацию параметров системы и т.д. Наконец, она позволяет архивировать транслируемые сообщения в бинарных файлах формата RINEX, которые могут подаваться на вход прототипов приемников SBAS DFMS-сигналов при их тестировании.

В докладе рассмотрено влияние на характеристики гипотетической SBAS DFMS следующих факторов:

- времени, необходимого для сглаживания данных, принимаемых контрольными станциями по каждому из КА, прежде чем они могут быть использованы для вычисления DFRE. На этом интервале данные SBAS DFMS потребителям недоступны;
- числа используемых созвездий;
- исключения из состава сети самой удаленной контрольной станции.

При этом были следующие допущения:

- 1) контролируются ГНСС GPS (27 КА) и Galileo (24 КА), где все КА находятся на номинальных орбитах;
- 2) SBAS формируется с использованием двух КА GEO, размещенных в точках с долготами 5° и $31,5^\circ$;
- 3) используются сигналы КА с углами возвышения над горизонтом более 5° для потребителей и 10° для контрольных станций;
- 4) сеть контрольных станций располагается в тех же точках, что и станции RIMS системы EGNOS;
- 5) для оценки DFRE требуется, чтобы КА был наблюдаем как минимум пятью контрольными станциями;
- 6) HAL = 40 м и VAL = 10 м, что соответствует посадке самолета согласно требованиям Cat-I ICAO.

На первом этапе исследовалось влияние времени сглаживания, принятого равным 1000 с. Это приводит к эквивалентной потере в обработке данных одного КА. При заданной величине HAL требуемая при посадке погрешность навигации в горизонте на территории всей Европы и значительной части Азии и Африки обеспечивается в 100% случаев. Что касается навигации по вертикали при VAL = 10 м, то она обеспечивается в 99% случаев в широтах ниже 65° и лишь в центре Европы достигает величины 99,99%.

Если же мы увеличим число созвездий до четырех, то требуемая погрешность по вертикали обеспечивается уже со 100% вероятностью на территории всей Европы и в северных районах Африки. В этом случае при принятых ограничениях по углам возвышения возможно использование данных от 92 КА, причем в каждый момент времени каждая наземная контрольная станция может обрабатывать данные 33–48 КА.

Исключение из состава сети самой удаленной для потребителя контрольной станции незначительно влияет при HAL = 40 м на доступность корректирующих поправок при посадке с требуемой погрешностью навигации в горизонте лишь в северной полусфере. На территории Европы и северной Африки доступность этих поправок составляет 100%. На навигацию по вертикали этот факт влияет

существеннее – 99,9-процентная доступность поправок при VAL = 10 м обеспечивается лишь на территории Франции. Тем не менее в широтах до 60° на территории Европы она не снижается ниже 99%.

4. Еще один пример использования DFMS-измерений, но уже в практической плоскости, приведен в докладе [5], где рассматривается их использование в приполярных районах, что чрезвычайно важно при освоении богатств Севера. Использование стандартных SBAS-систем, опирающихся на КА GEO, в этом регионе затруднено в силу того, что такие КА в высоких широтах видны под малыми углами возвышения над горизонтом.

Вследствие этого авторами доклада было предложено использовать КА IGSO, которые даже в приполярных районах видны под приемлемыми углами. В этой роли выступил КА японской системы QZSS, транслирующий SBAS-сигнал L5S. В роли SBAS DFMS выступил ее прототип ENRI L5 SBAS, разработанный Научно-исследовательским институтом электроники (Electronic Navigation Research Institute) Японии и предназначенный для обработки сигналов ГНСС GPS, Galileo и ГЛОНАСС.

Эксперимент был поставлен следующим образом. На первом этапе навигационные данные ГНСС GPS, Galileo и ГЛОНАСС, полученные с помощью наземных станций сети GeoNet, обрабатывались с помощью пакета ENRI L5 SBAS, формировавшего в режиме реального времени L5 SBAS-сообщение, которое центральной контрольной станцией системы QZSS транслировалось на КА системы QZS-2, размещенный на IGSO. Тот в свою очередь передавал это сообщение на приемник потребителя, с использованием которого и решалась задача местопределения.

Результаты такого эксперимента, длившегося 6 часов, приведены на рис. 3, где по горизонтали отложена погрешность определения места в восточном направлении, по вертикали – в северном (обе в метрах). Синим цветом помечены точки без использования SBAS-коррекций (95% погрешностей определения места в горизонтальной плоскости не превышают 2,8 м) и красным – с их учетом (предыдущая цифра снижается до 0,82 м), что демонстрирует высокую эффективность SBAS DFMS, опирающейся на КА IGSO.

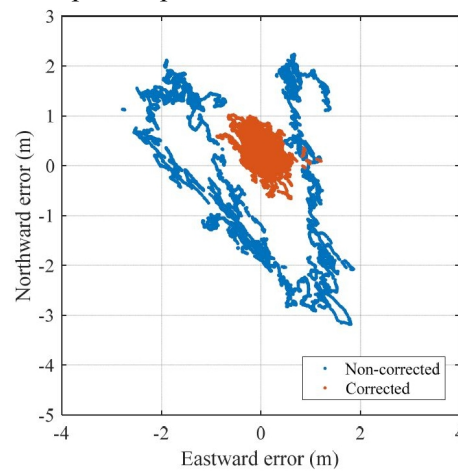


Рис. 3

5. Специфике использования многочастотного приема сигналов мультисистемной ГНСС в интегрированной навигационной системе был посвящен доклад [6]. На первом этапе приводится базовый алгоритм тесно связанного комплексирования данных бесплатформенного инерциального блока (IMU), построенного на микроэлектромеханических датчиках (MEMS), и одночастотных измерений GPS L1 C/A с использованием расширенного фильтра Калмана (Extended Kalman Filter – EKF).

В этом случае размерность вектора состояния была равной 17, включая по три компоненты погрешностей выработки углов, скоростей, координат, смещений нулей гироскопов и акселерометров, а также смещение шкалы времени приемника GPS и ее уход.

Говоря о спутниковых измерениях, следует иметь в виду, что в целом они характеризуется так называемой погрешностью измерения дальности потреби-

телем UERE, которая при исходном одночастотном приеме сигнала GPS оценивается величиной порядка 7,2 м, а при двухчастотном – 2,0 м, то есть при многочастотном приеме точность местоопределения существенно возрастает. В настоящий момент, кроме сигнала L1 C/A 19 КА GPS (7 из блока IIR-M и 12 из блока IIF), транслируют сигнал L2C и 12 КА из блока IIF передают сигнал L5. Что касается ГНСС Galileo, то все ее КА передают данные на частотах E1, E5a и E5b.

При переходе к многочастотному приему авторы доклада рассматривали следующие варианты:

- 1) считать новые измерения по сути дела старыми, то есть предполагать, что они не коррелированы, и характеризовать измерения псевдодальностей дисперсиями того же уровня;
- 2) характеризовать новые измерения псевдодальностей дисперсиями того же уровня, но считать, что псевдоизмерения на разных частотах, поставляемые одним и тем же КА, сильно коррелированы;
- 3) расширить вектор состояния ЕКФ, чтобы оценивать ионосферную погрешность. В простейшем случае это приводит к введению еще одной составляющей. В более сложном варианте требуется вводить такую компоненту индивидуально для каждого КА, что в общем случае приводит к переменному составу вектора состояния;
- 4) работать с линейной комбинацией псевдодальностей, свободной от ионосферной погрешности.

В статье приводятся все «за» и «против» по каждому из вариантов, в результате чего авторы остановились на идее 4. Она отражает главное преимущество мультимчастотного приема – практически полную компенсацию ионосферной задержки, не требуя изменения состава вектора состояния и структуры ЕКФ в целом, а предполагая лишь соответствующую предобработку сигналов GPS. Результирующий алгоритм оказался способным одновременно обрабатывать сигнал L1 C/A и комбинации сигналов L2C–L1 C/A, L5–L1 C/A и L5Q–L1 C/A.

В третьем варианте алгоритма предполагается использовать дополнительно информацию ГНСС Galileo, которая является идеальным дополнением GPS. Во-первых, в ней используется, как и в GPS, кодовое разделение сигналов (CDMA), причем два из них передаются на идентичных GPS частотах: E1/L1 – на частоте 1575,42 МГц и E5a/L5 – на 1176,45 МГц. Во-вторых, как отмечалось ранее, все КА Galileo передают данные на частотах E1, E5a и E5b. В этом случае в состав вектора состояния системы были введены две компоненты, описывающие смещение шкалы времени приемника Galileo и ее уход, а также несколько модернизирован ЕКФ.

Наконец, в докладе приводятся результаты испытаний интегрированной системы с использованием всех трех вариантов алгоритма. Всего было пройдено три следующих маршрута:

- 1) в течение двух часов было преодолено расстояние порядка 100 км, включая зону городской застройки с многоэтажными зданиями, пригороды и открытое шоссе;
- 2) 13-километровая часовая поездка по центру Дармштадта (Германия), включая два тоннеля, прохождение каждого из которых занимало 30 с;
- 3) аналогичная предыдущей трасса длиной 8 км.

В составе системы использовался приемник JAVAD TRIUMPH-LS, выходные данные которого (использовались лишь КА с углами возвышения более 5°) снимались с частотой 10 Гц, в то время как выходные данные IMU – с частотой 100 Гц. Эталонирование осуществлялось с использованием RTK-программы Waypoint-Inertial Explorer фирмы Novatel, данные для которой поставляли два

приемника JAVAD TRIUMPH-LS, один из которых устанавливался на ровере, а второй – на контрольной станции, и IMU навигационного класса iNAV-PQH-1003 фирмы iMAR. Погрешность позиционирования с использованием RTK-решения не превышала при этом 10 см ($P = 0,95$).

В процессе испытаний было выявлено следующее. Одночастотные измерения псевдодальностей GPS L1 C/A от минимум четырех КА были доступны в 95% случаев в любой момент времени и восьми КА – в 60% (максимум наблюдалось 11 КА). В то время как для двухчастотной комбинации L5–L1 C/A прием псевдодальностей от минимум четырех КА был доступен лишь в 15% случаев. Когда же учитывались аналогичные данные для комбинации Galileo E5a–E1, ситуация резко улучшалась: необходимые в этом случае для инициализации решения задачи данные по пяти КА имели место в 65% случаев.

Как при этом изменялась величина PDOP? При одночастотной обработке она была менее 3 в 85% случаев, при двухчастотной обработке данных GPS и Galileo это имело место в 40% случаев и лишь в 10% случаев при данных GPS L5–L1 C/A.

В завершение в докладе приводятся данные по погрешностям позиционирования, полученным при испытаниях с использованием различных версий алгоритма: GPS L1 C/A, многочастотная GPS и многочастотная/мультисистемная ГНСС. Начнем с того, что среднеквадратическая погрешность (СКП) трехмерного позиционирования при использовании любого из алгоритмов была меньше на трассе 1, что связано как с тем фактом, что на ней в целом был меньше уровень различных затенений сигнала, так и с протяженностью маршрута. Аналогично величина СКП падает при переходе от первой версии алгоритма к третьей. Такой же эффект наблюдается и в отношении самой погрешности позиционирования, который больше всего сказывается на трассе 3. Так, если величина 95% квантиля погрешности позиционирования в горизонтальной плоскости при использовании алгоритма GPS L1 C/A составила 6,3 м, то при переходе ко второй его версии уменьшилась до 4,8 м и к третьей – до 4,0 м.

Резюмируя сказанное, можно отметить следующее:

- 1) несмотря на все проблемы, связанные с приемом сигналов ГНСС, именно на них (при наличии доступа) базируется решение задачи позиционирования подвижных объектов, определяя итоговую точность их местоопределения;
- 2) при полном развертывании ГНСС BeiDou и Galileo не только повысится точность местоопределения, но и такие характеристики ГНСС как доступность и целостность;
- 3) разрабатываемые ГНСС-технологии уже сегодня ориентированы не только на мультисистемный прием сигналов, но и многочастотный, включая и сигналы SBAS-систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аналитический обзор** состояния исследований и разработок в области навигации за рубежом. Вып. 2. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018.
2. **Meng, Y., et al.**, A Global Navigation Augmentation System Based on LEO Communication Constellation. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8433242>.
3. **Vazques, J., et al.**, EDAS (EGNOS Data Access Service): Differential GPS Corrections Performance Test with State-of-the-art Precision Agriculture System.
4. **Salos, D., et al.**, Up-to-date SBAS DFMS Service Volume Prototype (DSVP) to Support DFMC Performance Characterization Activities. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8433237>.
5. **Sakai, T., et al.**, The ISGO SBAS: Signal Availability in the Polar Regions.
6. **Reuper, B., et al.**, Performance Evaluation of a Tightly Coupled GNSS/IMU Integration Algorithm with Multi-Constellation/ Multi-Frequency GNSS.