

удк 629. 072

В. В. Конин, д. т. н.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ GNSS В УКРАИНЕ

Национальный авиационный университет, vkonin@mail.ru, cnsatm@nau.edu.ua

Дается современное состояние GNSS. Приводятся данные о развитии GNSS в мире до 2023 года. Прогнозируется спрос на специалистов в области спутниковых навигационных технологий. Иллюстрируется процесс подготовки студентов национального авиационного университета в сфере спутниковой навигации.

Ключевые слова: радионавигационное поле, геометрический фактор, GNSS, мониторинг, внедрение, космический мусор, точное земледелие.

Введение.

Глобальная навигационная спутниковая система определения координат и времени (GNSS) в полномасштабной интерпретации состоит из созвездий спутников GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, COMPASS, аппаратуры потребителя, систем контроля целостности, точности, эксплуатационной готовности, непрерывности обслуживания посредством SBAS, GBAS, GRAS. О возможностях применения GNSS технологий в различных хозяйственных отраслях Украины заявлялось еще на рубеже XX-XXI веков [1- 3]. Практически весь выпуск журнала «Космічна наука і технологія» (т.7, № 4, 2000 р., главный редактор академик Я. С. Яцкив) был посвящен GNSS. В настоящее время техника и технологии GNSS в Украине применяются в основном в геодезии, строительстве, сельском хозяйстве, наземном и морском транспорте, бытовой аппаратуре. Статистика по количеству навигационных приемников, экономическим аспектам отсутствует. С большой осторожностью к GNSS технологиям относятся авиационные службы, не смотря на то, что в интересах авиации в Европе создана система EGNOS [4] и разрабатывается система GALILEO.

Сдерживающими факторами внедрения GNSS в авиацию Украины являются отсутствие мониторинга навигационного поля и ограничение зоны действия EGNOS.

Мониторинг радионавигационного поля предполагает, что государство, внедряющее спутниковую навигацию, берет на себя ответственность за контроль спутникового сигнала в своем воздушном пространстве. Это одна из рекомендаций ICAO. Следует подчеркнуть также, что авиационные пользователи GNSS предъявляют жесткие требования к качеству сигнала в пространстве. Некоторые из этих требования приведены в табл.1 [5].

Требования к сигналу в пространстве

Таблица 1

Типовая операция	Точность в горизонтальной плоскости 95%	Точность по вертикали 95%	Целостность	Время до предупреждения	Непрерывность	Эксплуатационная готовность
На маршруте	3,7 км (2,0 м. мили)	Не назначена	$1 - 1 \times 10^{-7}/ч$	5 мин	$1 - 1 \times 10^{-4}/ч -$ $1 - 1 \times 10^{-8}/ч$	0,99– 0,99999
На маршруте, в зоне аэродрома	0,74 км (0,4 м. мили)	Не назначена	$1 - 1 \times 10^{-7}/ч$	15 с	$1 - 1 \times 10^{-4}/ч -$ $1 - 1 \times 10^{-8}/ч$	0,99– 0,99999
Начальный / промежуточный / неточный заход (NPA)/ вылет	220 м (720 фут)	Не назначена	$1 - 1 \times 10^{-7}/ч$	10 с	$1 - 1 \times 10^{-4}/ч -$ $1 - 1 \times 10^{-8}/ч$	0,99– 0,99999
Заход на посадку с управлением по вертикали (APV-I)	16,0 м (52 фут)	20 м (66 фут)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ за один любой заход	10 с	$1 - 8 \times 10^{-6}$ в 15 с	0,99– 0,99999
Заход на посадку с управлением по вертикали (APV-II)	16,0 м (52 фут)	8,0 м (26 фут)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ за один любой заход	6 с	$1 - 8 \times 10^{-6}$ в 15 с	0,99– 0,99999
Точный заход на посадку по категории I	16,0 м (52 фут)	6,0–4,0 м (20–13 фут)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ за один любой заход	6 с	$1 - 8 \times 10^{-6}$ в 15 с	0,99– 0,99999

13

Зона действия EGNOS может быть расширена на Украину при установке на территории Украины RIMS – станций [6].

Состояние вопроса.

Состав GNSS изображен на рис. 1.

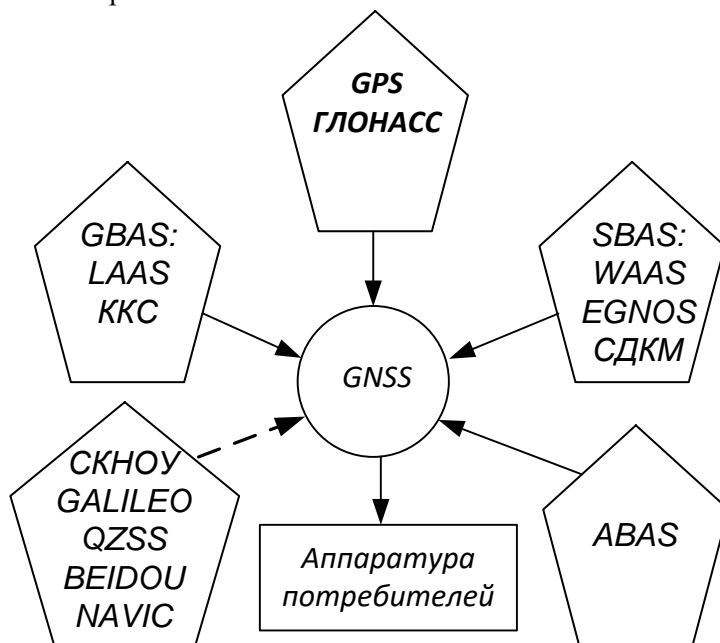


Рис. 1 – Современный состав GNSS

В эксплуатацию введены GPS, WAAS, LAAS. Эти системы находятся под управлением США. В государствах ЕС с 2011 года эксплуатируется EGNOS. Завершается ввод в эксплуатацию ГЛОНАСС (Россия). В стадии разработки и экспериментальной эксплуатации находятся СКНОУ (Украина), GALILEO (Европейский союз), QZSS (Япония), BEIDOU (Китай), СДКМ (Россия), NAVIC (Индия). Система ABAS есть интеграция GPS/ГЛОНАСС с другими бортовыми навигационными системами воздушного судна. Под SBAS понимаются космические функциональные дополнения, обеспечивающие потребителей корректирующими данными и информацией о точности, целостности, непрерывности и эксплуатационной готовности системы при выполнении воздушным судном запланированной операции. Под GBAS ICAO определяет наземное функциональное дополнение с ограниченной зоной действия вблизи аэродрома, обеспечивающей потребителя дифференциальными коррекциями и данными для оценки точности и целостности при заходе на посадку вплоть до первой категории метеоминимума. В США это система LAAS, в России создаются сети ККС (контрольно-корректирующие станции).

Зоны действия космических функциональных дополнений показаны на рис. 2.

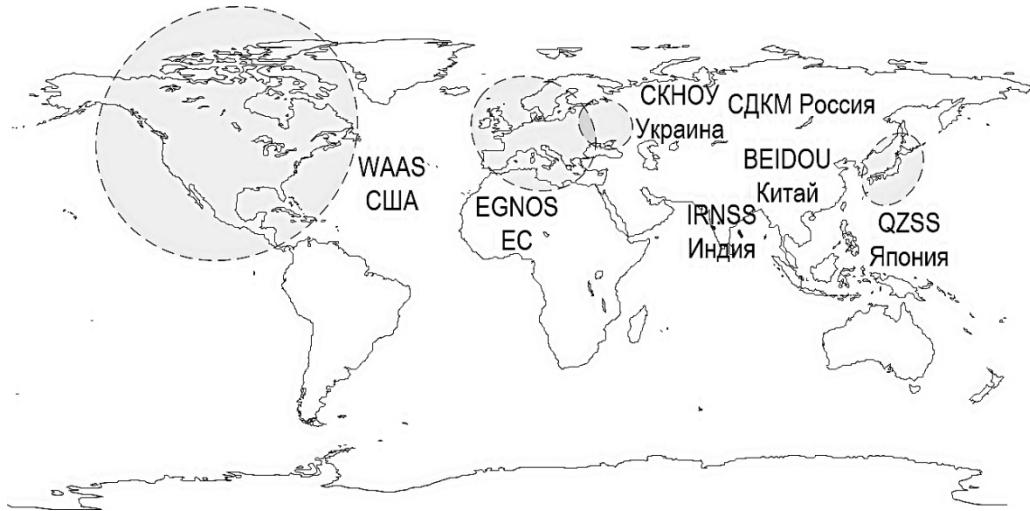


Рис. 2- Зоны действия космических функциональных дополнений (SBAS)

Не смотря на большое количество действующих и проектируемых систем, их характеристики унифицированы. Аппаратура потребителей может принимать и обрабатывать одновременно сигналы всех видимых спутников. На рис. 3 показан мгновенный снимок видимых навигационных и геостационарных спутников, полученный с помощью приемника фирмы Novatel. Наблюдаются спугники GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, EGNOS, IRNS, СДКМ.

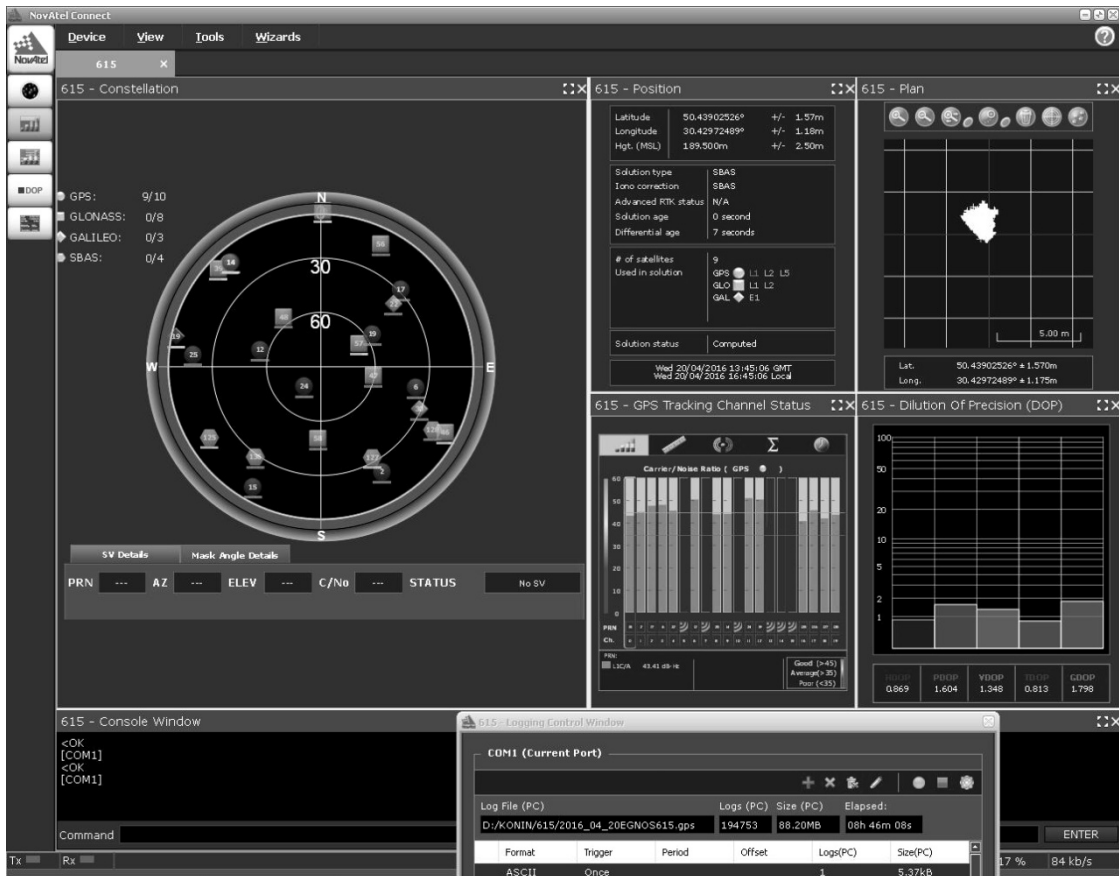


Рис.3 – Мгновенная видимость 25 спутников

Постановка задачи и цель работы.

Задача работы – показать основные направления внедрения GNSS технологий в Украине. Цель работы – на практических примерах проиллюстрировать перспективность применения спутниковой навигации.

Результаты исследования.

О темпах развития GNSS до 2023 года убедительно показывает, опубликованный в 2015 году Европейским агентством по GNSS прогноз [7]. К 2023 предполагается распределение услуг GNSS между пользователями в мире согласно диаграммы рис.4.

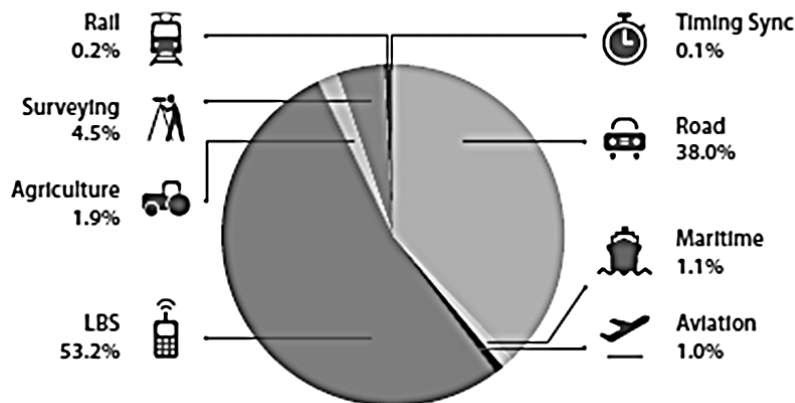


Рис.4- Распределение услуг GNSS между различными категориями пользователей [7]

Как видно из диаграммы основными потребителями GNSS технологий будут транспортные отрасли (наземный, морской, авиационный, железнодорожный, агротехнологии) и информационно развлекательные (LBS).

Динамика доходов от GNSS технологий изображена на рис. 5 [7]. Как видно из рис. 5 приращение полного дохода от GNSS в мире к 2023 достигнет 50 миллиардов евро. Естественно, что этот доход будет распределяться между государствами, эффективно использующими GNSS. Значительная часть доходов идет на создание новых рабочих мест. Украина занимает выгодное географическое положение, имеет разветвленную транспортную сеть, огромный потенциал по развитию точного земледелия, является космической державой.

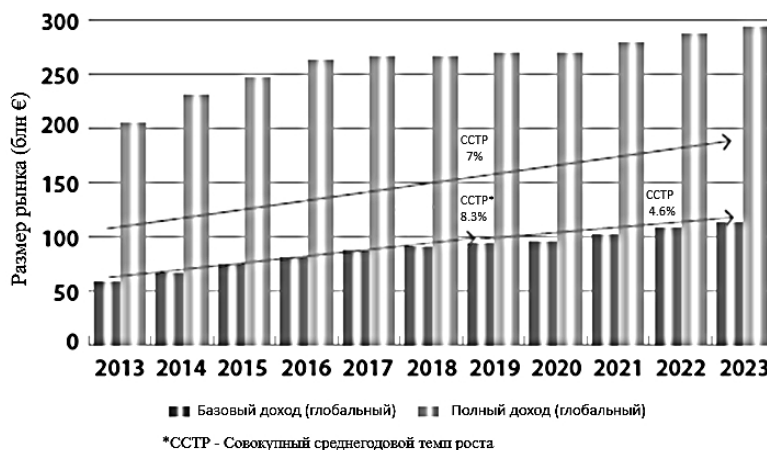


Рис. 5- Динамика доходов от GNSS в мире

Можно допустить, что один процент услуг GNSS от общемировых доходов может создаваться в Украине. С учетом изложенного рассчитаем количество рабочих мест ($K_{PM}^{(GNSS)}$) в Украине для создания GNSS технологий по эмпирической формуле

$$K_{PM}^{(GNSS)} = ПД \cdot \sum_{i=1}^4 k_i, \tag{1}$$

где $ПД = 50 \cdot 10^9$ э – полный доход между 2023 и 2015 годами,

$k_1 = 0.01$ - коэффициент, учитывающий предположительную долю дохода Украины,

$k_2 = 0.4$ – коэффициент, учитывающий средства, идущие на развитие (40%),

$k_3 = 1 / (20 \cdot 10^3)$ - коэффициент обратно пропорциональный стоимости одного рабочего места (стоимость одного рабочего места $20 \cdot 10^3$ евро),

$k_4 = 0.01$ - коэффициент, учитывающий пропорцию между квалифицированными рабочими и инженерами (на 100 рабочих один инженер).

В результате расчета по (1) получаем $K_{PM}^{(GNSS)} = 2000$. Как следует из полученного результата, подготовка специалистов в области GNSS технологий является приоритетной. Такая подготовка в Национальном авиационном университете для различных специальностей идет по следующим дисциплинам: «Глобальные спутниковые навигационные системы», «Аэрокосмические информационные технологи», «Спутниковые системы связи, навигации, наблюдения», «Моделирование аэронавигационных систем», «Спутниковые навигационные системы», «Основы спутниковых авиационно-навигационных систем», «Перспективные навигационные системы».

При изучении дисциплин большее внимание уделяется моделированию характеристик спутниковых навигационных систем и проведению экспериментов с применением современной профессиональной навигационной аппаратуры.

Для примеров приведем некоторые результаты моделирования характеристик навигационных спутников (рис. 6). Моделирование выполнено в среде MATLAB в полном соответствии с интерфейсом контрольным документом.

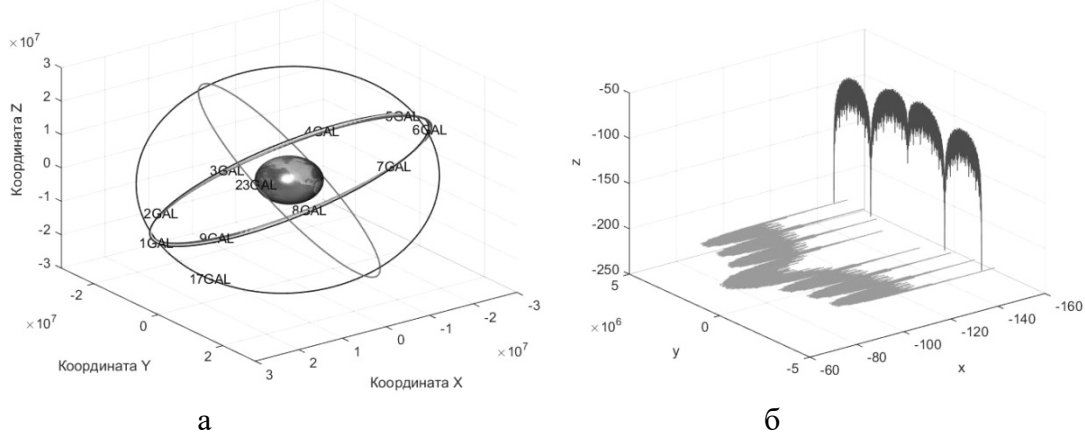


Рис. 6 – Характеристики GALILEO: а – орбиты спутников, б – спектр сигнала

Один из экспериментальных стендов изображен на рис. 7.

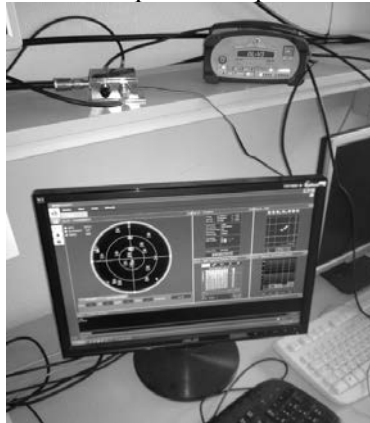


Рис.7 – Стенд для экспериментальных исследований спутниковых навигационных систем

На рис. 8 показаны некоторые результаты эксперимента и моделирования ГЛОНАСС

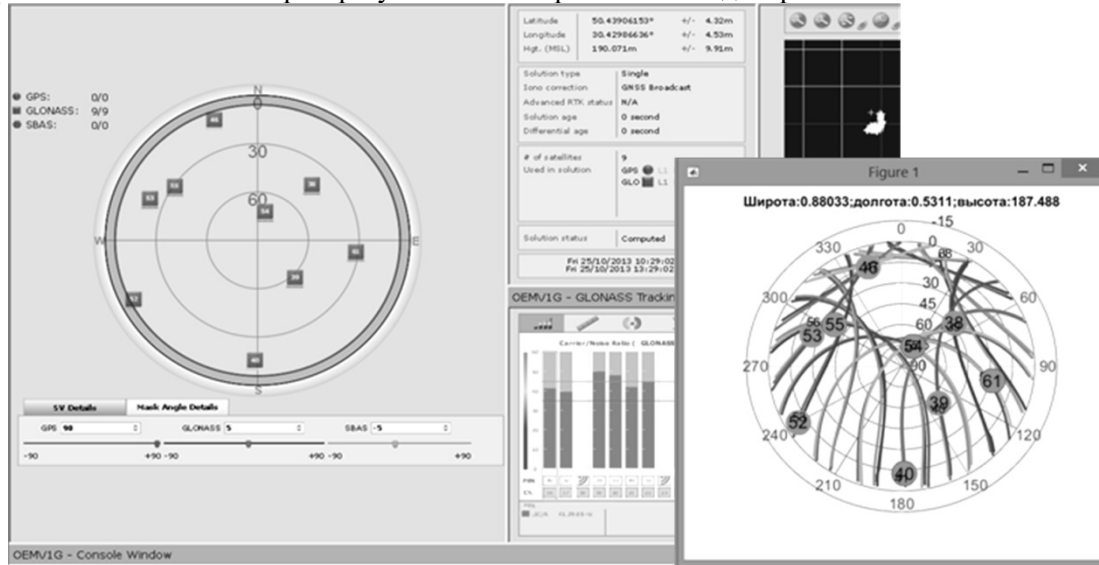


Рис. 8- Экспериментальные и расчетные характеристики ГЛОНАСС

Развитию технологий GNSS способствует участие представителей НАУ в международном проекте «Gorizont 2020» в части расширения зоны действия EGNOS на территорию Украины. На сайте Научно-учебного центра «Аэрокосмический центр» НАУ приводятся результаты обработки данных EGNOS [8] программным комплексом PEGASUS [9]. Типичные, наиболее значимые результаты, полученные в 2015-2016 г.г. изображены на рис. 9.

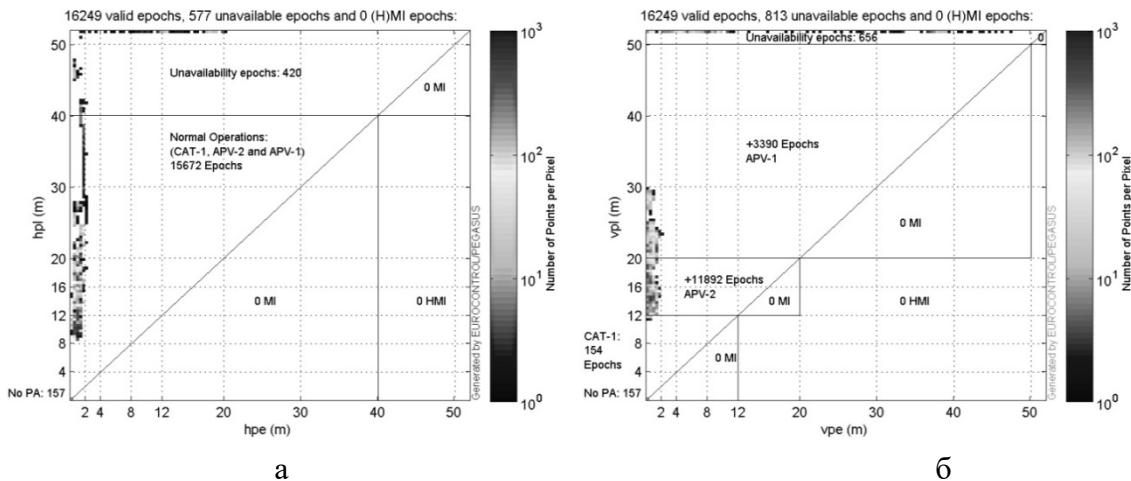


Рис.9 – Данные EGNOS в Киеве: а – стейфордская диаграмма для горизонтальной плоскости, б – стейфордская диаграмма для вертикальной плоскости с геостационарного спутника PRN 136

Данные рис. 9 получены в условиях отсутствия RIMS станций в Украине. Стейфордская диаграмма (рис. 9, а) показывает, что из 16249 измерений только 15672 соответствовали бы заходу на посадку с вертикальным наведением (APV). Стейфордская диаграмма (рис. 9, б) показывает, что из 16249 измерений положительные для категории 1- 154, для APV 1 – 3390, для APV 2- 11892, 812 измерений выходят за допустимые пределы. Исправить подобные ситуации возможно установкой в Украине нескольких RIMS станций.

Одним из перспективных направлений применения GNSS технологий является обслуживание космических аппаратов (КА). В настоящее время в космическом пространстве находится большое количество действующих искусственных спутников и аппаратов выработавших ресурс (космический «мусор»). Высота орбит многих аппаратов достигает 36000 км. Для их обслуживания, например, увода с орбиты могут применяться сервисные КА, для которых требуется автономная навигация. Такая навигация может осуществляться по сигналам GNSS. Обслуживание КА на геостационарной орбите (высота 36000 км) возможно при

получении электромагнитных сигналов от навигационных спутников, находящихся с противоположной стороны земли (рис.10) [10]. Это связано с тем, что высота орбит навигационных спутников около 20000 км, а диаграммы направленности антенн ориентированы в сторону земли. Модель, изображенная на рис. 10 рассчитана из допущения, что для навигации на геостационарной орбите используются три навигационных созвездия GPS (31 спутник), GLONASS (24 спутника), GALILEO (27 спутников), а прием сигналов спутников производится по основным и боковым лепесткам антенн.

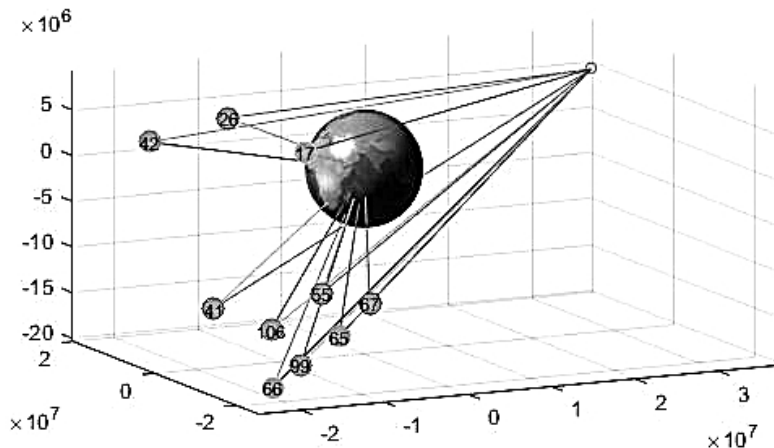


Рис. 10 – Пример автономной навигации на геостационарной орбите

Заключение.

В мире идет процесс интенсивного развития и внедрения систем спутниковой навигации. Для Украины внедрение технологий GNSS имеет исключительно приоритетное значение, поскольку позволяет максимально использовать интеллектуальный научный потенциал космической отрасли, создавать десятки тысяч наукоемких рабочих мест и подготовить кадры для работы в транспортной сфере, точном земледелии и отраслях, применяющих координатно-временное обеспечение.

Часть исследования, представленного в данной статье была выполнена в рамках проекта Украины. Этот проект получил финансирование от Европейского агентства по GNSS в рамках научно-исследовательской и инновационной программы Европейского Союза Горизонт-2020 в соответствии с соглашением (грант № 641517).

Список литературных источников

1. Конин В. В., Ситак В. А. Концепция создания и развития подсистемы спутникового радионавигационного обеспечения в системе единой спутниковой системы передачи информации//Радиоэлектроника, 1999.- № 12.- с. 34- 39 (Изв. высш.учебн. заведений).
2. Конин В. В., Загоруйко В. В. Спутниковые навигационные системы//Деньги и технологии, 2000.- № 4. – с. 60 – 63.
3. Радіонавігаційний план України. Проект/Під загальною редакцією д.т.н. Кошового А. А.- Київ, вид. «КВІЦ», 2002.- 77 с.
4. Konin V., Shyshkov F. Extending the Reach of SBAS Some Aspects of EGNOS Performance in Ukraine/ InsideGNSS. – January– February 2015. – P.50 – 54.
5. Авиационная электросвязь. Радионавигационные средства.- ICAO, 2006.- Т.1.-598 с.
6. Konin V., Shyshkov F. European geostationary navigation overlay service in Ukraine/ Proceedings of the National Aviation University. – Kyiv: NAU, 2015. – V. 2. – P. 23-26.
7. GNSS Market Report, Issue 4/ European GNSS Agency, 2015.- p. 84.
8. www.asc.nau.edu.ua.
9. PEGASUS. PEG-ICD-02/Eurocontrol, 16/06/2015.- 305 p.
10. Конин В.В., Погурельский А.С., Шишков Ф.О. Доступность ГНСС на геостационарной орбите // 5-я Международная конференция «Космические технологии: настоящее и будущее», Днепропетровск 19-21 мая 2015г. – С.82.