

*В.М. ШОКАЛО, д-р. техн. наук, А.А. ЖАЛИЛО, канд. техн. наук,
Д.А. ШЕЛКОВЕНКОВ, канд. техн. наук, А.А. ЖЕЛАНОВ*

НИЛ "СПУТНИКОВЫЕ СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТОЧНОГО МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ". НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

Введение

Спутниковые технологии навигации и точного определения местоположения (геоинформационные и другие приложения) в настоящее время переживают стремительный прогресс, связанный с предоставлением мировому сообществу странами-владельцами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS, ГЛОНАСС, в ближайшей перспективе – Galileo, Beidou-Compass, и их дифференциальных функциональных дополнений EGNOS/WAAS/-MSAS, GAGAN, GBAS/LAAS и др. Формирование в 2004 г. в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (ХНУРЭ) на базе кафедры «Основы радиотехники» (ОРТ) научно-исследовательской лаборатории "Спутниковые сетевые технологии высокоточного местоопределения" (НИЛ ССТВМ) связано с развертыванием и успешным функционированием в Украине сети референциальных перманентных IGS/EPN GPS-станций [1], работами по созданию национальной Системы космического навигационно-временного обеспечения Украины (СКНОУ) [2] и Государственной сети мониторинга ГНСС. Это обуславливает актуальность создания отечественной учебно-методической базы в области современных спутниковых навигационно-телекоммуникационных технологий.

В данной работе представлены основные направления и результаты научно-исследовательских работ и планы развития лаборатории. Описан созданный аппаратно-программный GPS/EGNOS комплекс – референциальная перманентная станция, которая официально зарегистрирована на международном уровне как составная часть украинской IGS/EPN сети и как провайдер измерительной информации в режиме реального времени.

В рамках ряда проектов в сотрудничестве с другими организациями Украины (ГАО НАНУ и др.) сотрудниками НИЛ выполняются разработки и внедрение отечественных технологий координатных определений высокой точности (дециметровой и сантиметровой точности) по образцу европейской системы EUPOS. Это соответствует современной концепции развития дифференциальных сетевых WAD/VRs (Wide Area Differential/Virtual Reference Station) GPS подсистем оказания информационных услуг геодезической съемки и различных приложений на основе сетей перманентных референциальных станций с централизованной обработкой наблюдений станций и наблюдений приемников потребителей.

1. Главные направления научной деятельности НИЛ ССТВМ

Главными направлениями научной деятельности НИЛ являются:

- создание эффективных отечественных сетевых ГНСС¹-технологий для высокоточного определения местоположения – геодезической и кадастровой съемки, землеустройства, аэрофотограмметрии, геодинамики, мониторинга подвижек искусственных сооружений и природных явлений и др.;

- создание, поддержка и развитие аппаратно-программного комплекса непрерывно действующей базовой станции для наблюдения сигналов GPS/EGNOS, архивирования результатов измерений, их обработки и анализа, предоставления результатов измерений заинтересованным организациям Украины;

- создание методического обеспечения и реализация организационно-технических мероприятий в части осуществления измерений, обработки и анализа (аттестации качества) измерительной информации средств спутниковой навигации и точного позиционирования.

¹ ГНСС - глобальная навигационная спутниковая система

- обучение магистров, аспирантов в данной области техники и подготовка высококвалифицированных специалистов – молодых научных кадров, способных разрабатывать и исследовать новые современные технологии точного и надежного позиционирования по сигналам ГНСС.

2. Основные разработки НИЛ ССТВМ

2.1. Одним из важных достижений НИЛ является создание и ввод в действие (с февраля 2007 г.) непрерывно функционирующей базовой (референцной) GPS/EGNOS- станции "SURE". Станция оборудована приёмником NovAtel ProPak-LBplus и антенной NOV702. Первичная измерительная информация непрерывно накапливается с использованием программного обеспечения SLOG с темпом 1 Гц и сохраняется в RINEX-файлах версии 2.10. Доступ к архиву измерительной информации осуществляется через Интернет. Станция также непрерывно формирует в реальном времени DGPS и RTK дифференциальные коррекции в формате RTCM v.2 (типы сообщений – 1, 3, 18, 19) и RTCM v.3 (типы сообщений – 1003, 1005). При этом организована одновременная передача двух любых типов DGPS/RTK-коррекции через NTRIP-caster станции [3].

Контроль качества наблюдений станции выполняется с использованием программного обеспечения TEQC и OSTAВА_PPA (совместная разработка специалистов ГАО НАНУ² и каф. ОПТ ХНУРЭ). Периодическая привязка координат фазового центра антенны выполняется относительно перманентной референцной сети Украины с использованием программных комплексов GAMIT/GLOBK и GrafNav/GrafNet в системе координат ITRF-2005.

Станция зарегистрирована ГАО НАНУ как международный геодинимический пункт (DOMES 15504M001) (National Geographic Institute, Франция), а также как провайдер измерительной информации в режиме реального времени (Federal Agency of Cartography and Geodesy, Германия).

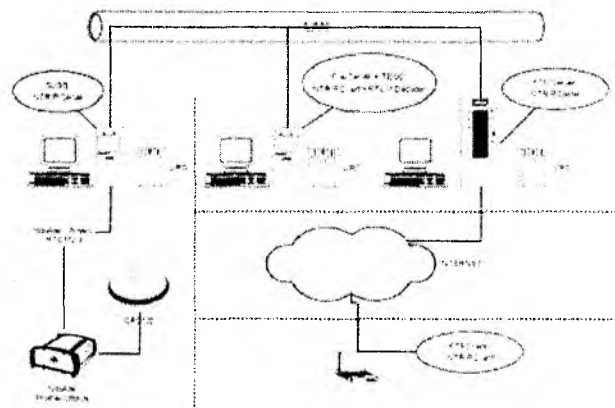
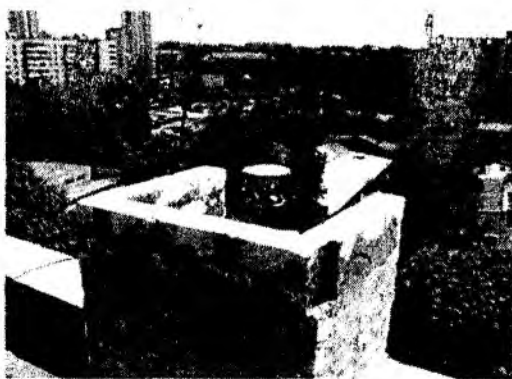


Рис. 1. Антенный пост станции "SURE" и ее архитектура

В ходе исследовательских работ с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса предложена эффективная и простая методика верификации качества фазовых калибровок GPS-антенн геодезического класса [4], которая позволяет осуществить оценку точности фазовых калибровок для конкретных условий эксплуатации ГНСС-антенн.

2.2. При выполнении совместных НИР и инновационного пилот-проекта Национальной академии наук Украины специалистами НИЛ ССТВМ и ГАО НАНУ создано и внедрено в Центре обработки GNSS-наблюдений ГАО НАНУ программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) OSTAВА_PPA [5, 6] для предварительной обработки, редактирования, контроля и обеспечения качества GPS/GNSS-наблюдений. ПАО OSTAВА_PPA функционирует в системе MATLAB и включает в себя составляющие, предназначенные для обработки различных типов наблюдений. Программно-алгоритмическое обеспечение OSTAВА_PPA непрерывно совершен-

² ГАО НАНУ - главная астрономическая обсерватория Национальной Академии наук Украины

ствуется и в настоящее время модернизируется для обработки наблюдений ГЛОНАСС. Запланирована также модернизация ПАО для обработки наблюдений создающихся систем Galileo (ЕС) и Compass/Beidou (Китай). ПАО ОСТАВА_PPA в течение нескольких лет опытной эксплуатации хорошо себя зарекомендовал в качестве инструмента предварительной обработки (pre-processing), редактирования, контроля и обеспечения качества (QC/QA) GPS/GNSS наблюдений с дальнейшим использованием собственных и зарубежных научных и коммерческих программных продуктов получения финальных координатных решений высокой точности.

ПАО ОСТАВА_PPA используется при обработке наблюдений, выполненных в любых известных режимах (SPP, DGPS/NetDGPS, HPP/NetHPP, PPP). Его использование позволяет повысить точности и надежность высокоточного позиционирования, особенно при обработке наблюдений, выполненных в сложных условиях.

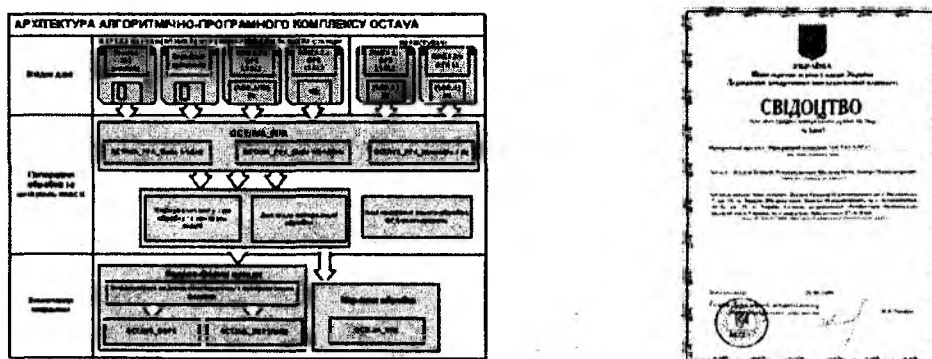


Рис. 2. Архитектура программного комплекса "ОСТАВА_PPA" для пост-обработки ГНСС наблюдений

2.3. В период 2005 – 2008 гг. сотрудниками НИЛ разработаны и реализованы новые методы и алгоритмы определения местоположения статических и движущихся объектов с использованием сглаженных кодово-фазовых наблюдений. При этом реализованы как традиционный дифференциальный метод определений (ОСТАВА_DGPS), так и сетевые способы формирования и использования дифференциальных коррекций (ОСТАВА_DGPS/MRD).

Многочисленные экспериментальные исследования с использованием реальной измерительной информации показали, что при использовании указанных методов достигается субдециметровый (статическая съемка) и дециметровый (кинематическая съемка, аэрофото-съемка) уровни точности при базовых расстояниях до 300 – 500 км [7].

2.4. В период 2006–2008 гг. в рамках НИР и инновационного пилот-проекта "Информационно-измерительная GNSS система и сетевая VRS-технология обеспечение геодезических и кадастровых съемок" [8] (руководитель проекта – Я.С. Яцкив, академик НАНУ) специалистами ГАО НАНУ и ХНУРЭ совместно выполнена разработка программного обеспечения реализации сетевых методов точного позиционирования с сантиметровым уровнем точности. В ходе этого проекта создан специализированный Центр сбора и обработки информационно-измерительной ГНСС системы. Ядром программного обеспечения Центра является расширенный комплекс ОСТАВА. Развернута и экспериментально верифицирована многофункциональная информационно-измерительная система (ИИС) в Киевской, Черниговской и Черкасской обл. Система реализует сетевую (зональную) дифференциальную коррекцию погрешностей наблюдений, предоставление информационных услуг и обеспечивает сантиметровую/субдециметровую точность координатных определений пользователей в режимах автоматизированной пост-обработки и реального времени (RTK) на территории обслуживаемого региона. Результаты экспериментальных исследований координатных RTK- определений реального времени с выполнением накопления данных с использованием двухчастотных GPS приемников показали возможность реализации статической и кинематической/"stop-and-go" RTK-съемки с сантиметровым уровнем точности в радиусе ~20 км относительно ближайшей базовой станции.



Рис. 3. Проведение измерений

В настоящее время сотрудниками НИЛ ССТВМ совместно со специалистами ГАО НАНУ выполняют работы по вводу системы в опытную эксплуатацию. В ближайшей перспективе предполагается расширить сеть референчных перманентных ГНСС станций путем присоединения к существующей сети IGS/EPN станций в г. Полтава (POLV) и в г. Харьков (KHAR, SURE), а также развернуть новые станции в г. Сумы и г. Новгород-Северский (Черниговской обл.), что дает возможность покрыть ~20 % территории Украины. Дальнейшее усовершенствование характеристик и функциональных возможностей информационно-измерительной системы предполагается выполнить путем разработки и внедрение альтернативного, более эффективного подхода для решения задач точного сетевого позиционирования, основанного на централизованной совместной обработке наблюдений групп потребителей. В настоящее время также ведется разработка альтернативного, нового подхода к решению задач сетевого позиционирования сантиметровой точности, основанного на централизованной «кооперативной» оптимизированной оценке и точном моделировании медленноменяющихся погрешностей с использованием ГНСС наблюдений референчных станций сети и наблюдений потребителей. Данный подход позволяет преодолеть принципиальное информационное ограничение существующих зарубежных VRS/FKP и MAX/i-MAX технологий, когда дифференциальное позиционирование каждый потребитель выполняет сам, используя коррекции, сформированные только сетью базовых станций.

3. Текущие и перспективные исследовательские работы НИЛ ССТВМ

В настоящее время выполняются и запланированы разработки НИЛ (самостоятельно и в кооперации с другими организациями Украины) по следующим направлениям:

- совершенствование ПАО OCTAVA в части расширения функциональных возможностей комплекса, реализации многосистемного режима обработки наблюдений (GPS, GLONASS, Galileo, Compas/Beidou), автоматизации обработки, непрерывного функционирования ПАО в составе ИИС и других сетевых дифференциальных систем точного позиционирования;

- участие в выполнении исследований ГАО НАНУ и ОАО «АО НИИРИ» в рамках проекта «EGNOS Extension to Eastern Europe» программы FP7-GALILEO-2008-GSA-1/GALILEO.-2008.4.3.4 EGNOS SERVICE EXTENSION (Collaborative Project) в 2010 - 2011 гг.; проект предполагает проведение экспериментальных работ и оценку качества навигационного обеспечения EGNOS на территории Украины с использованием технологии magiSBAS компании GMV S.A. (Испания); это позволит в дальнейшем обоснованно решить вопрос о развертывании в Украине элементов системы EGNOS;

- создание и усовершенствование методов и процедур надежного разрешения неоднозначности фазовых наблюдений и на этой основе достижения субдециметрового/сантиметрового

вого уровня точности позиционирования статических и кинематических объектов на сверхдлинных базовых линиях ~1000 км и более;

- совершенствование методов моделирования и последующего учета ионосферных и тропосферных погрешностей спутниковых наблюдений;

- реализация и внедрение новых альтернативных, более эффективных технологий решения задач сетевого позиционирования на основе принципов теории зональных коррекций спутниковых наблюдений и принципов совместной ("кооперативной") обработки ГНСС наблюдений сетей референчных станций и всех потребителей в зоне обслуживания.

Полученный опыт и наработки в области обработки ГНСС наблюдений позволили также начать разработку ПАО высокоточных определений параметров движения высокодинамичных объектов, включая низкоорбитальные космические аппараты, микроспутники с установленной ГНСС аппаратурой на борту. В частности, запланированы работы по созданию бортовой GPS подсистемы координатно-временного обеспечения (КВО) микроспутника в рамках проекта "Университетский микроспутник" (координатор и головная организация им. А.М. Макарова, г. Днепропетровск) в кооперации с ведущими университетами Украины.

4. Сотрудничество

Кафедра основ радиотехники ХНУРЭ активно сотрудничает в области технологий точного позиционирования с Главной астрономической обсерваторией НАН Украины (ГАО НАНУ), Национальным авиационным университетом (НАУ, г. Киев), ГП "Оризон-Навигация" (г. Смела Черкасской обл.), Национальным научным центром "Институт метрологии" (г. Харьков), ОАО "АО НИИРИ" (г. Харьков), ООО "Европромсервис" (г. Харьков). Приняты соответствующие решения и положено начало перспективного сотрудничества с Национальным центром аэрокосмического образования молодежи им. А.М. Макарова (НЦАОМ) и университетами Украины – участниками проекта "Университетский микроспутник".

Список литературы: 1. *Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки (Укргеокоосмомережа) / Національна академія наук України, Головна астрономічна обсерваторія. Упорядники та наукові редактори: Я.С. Яцків, О.В. Болотіна, С.Л. Болотін, М.М. Медведський, О.О. Хода, О.Є. Вольвач.К.: ВАІТЕ, 2005. С. 62.* 2. *Верещак А.П., К.Ф. Волох, Малафеев Е.Е., Махонин Е.И., Нестерович А.Г., Лукьянов А.М.* Система космического навигационно-временного обеспечения Украины и ее место среди европейских сетей мониторинга ГНСС // Сб. трудов 2-го Международного радиоэлектронного Форума (МРФ-2005) «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Международная конференция по системам локации и навигации (МКЛСН-2005), г. Харьков, ХНУРЭ, 19-23 сентября, 2005. Т 2. С. 44-53. 3. *Жаліло О.О., Желанов О.О., Шелковенков Д.О., Шокало В.М.* Результати експериментальних досліджень реалізації DGPS/RTK режиму супутникового позиціонування з використанням NTRIP- технології // Зб. наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". 2008. Вип. 1(15). С. 125-132. Львів: Львівська політехніка. 4. *Жаліло А.А., Желанов А.А., Шелковенков Д.А., Шокало В.М.* Оценка точности калибровки положения и вариаций фазовых центров приемных GPS/GNSS антенн // Космічна наука і технології. 2008. Т.14, №4. С. 39-52. Київ. 5. *Zhalilo A., Shelkovenkov D.* Features and service performance of multifunctional software toolkit "OCTAVA" for processing and analysis of GPS/GNSS observations, GEOS 2007 Conference Proceedings, Prague, Czech Republic, 1st – 2nd March 2007, pp. 102-110. 6. *Жаліло А.А., Шелковенков Д.А.* "OCTAVA": многофункциональный программный инструментарий обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений // Тр. XIV-й Санкт-Петербургской междунар. конф.. С. 319-321. 7. *Жаліло А.А., Шелковенков Д.А., Шокало В.М.* Достижение дециметровой точности в режиме мультиреференчной дифференциальной навигации с использованием наблюдений перманентных референчных GPS-станций // Радиотехника. 2006. Вып. 145. С. 76-83. 8. *Яцків Я.С., Харченко В.П., Шокало В.М., Терещук О.І., Жаліло О.О., Кондратюк В.М., Лукьянов О.М., Литвин М.О., Шелковенков Д.О., Куценко О.В., Желанов О.О., Гринченко О.В., Газнюк М.О., Вишнякова Є.В.* Практика створення в Україні інформаційно-вимірювальної GNSS-системи та мережної VRS-технології забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок // Наука та інновації. Т. 5, №2. С. 5-22. Київ: Видавничий дім «Академперіодика», 2009.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 12.01.2010