

## СОВМЕСТНЫЕ ТЕКУЩИЕ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ХНУРЭ И ГАО НАН УКРАИНЫ В ОБЛАСТИ ТОЧНОГО ГНСС-ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Жалило А.А., Желанов А.А., Шелковенков Д.А., Дицкий И.Е., Бессонов Е.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, НУЦ каф. ОПТ, тел. (057) 700-22-84  
e-mail: [gpsgroup@kture.kharkov.ua](mailto:gpsgroup@kture.kharkov.ua)

The main results of joint creation and researches of new effective methods and algorithms of GNSS data processing for high precision positioning by specialists of KhNURE and MAO NASU in 2010-2011 are presented. There are briefly described the directions of R&D activities, carried out projects, formulated new approach and achievements in dual-/single-frequency static/kinematic positioning developments.

**Введение.** В 2002 г. в Харькове была сформирована научно-исследовательская группа (условно названная «GPS-группа»), целью которой стало создание и развитие отечественных ГНСС-технологий навигации и точного позиционирования. Работа группы была начата в рамках тематики отдела космической геодинамики Главной астрономической обсерватории НАН Украины (ГАО НАНУ) под руководством Академика НАН Украины Яцкива Я.С. С сентября 2004 г. специалисты группы становятся сотрудниками ХНУРЭ и с 2008 г. входят в состав созданной НИЛ "Спутниковые сетевые технологии высокоточного местопределения" НУЦ кафедры ОПТ ХНУРЭ. При этом продолжается активное научно-техническое сотрудничество с ГАО НАНУ, которое позволило выполнить множество совместных разработок и исследований, основные результаты которых кратко представлены в данной работе. В частности, описаны последние результаты разработок (2010-2011 г.г.) по реализации высокоточного статического и кинематического позиционирования с использованием двухчастотного и одночастотного ГНСС-оборудования.

**1. Направления совместной научной деятельности ХНУРЭ и ГАО НАНУ.** В научно-исследовательской деятельности группы можно выделить несколько главных направлений:

- ♦ создание эффективных отечественных сетевых ГНСС-технологий для высокоточного позиционирования - геодезической и кадастровой съемки, землеустройства, аэрофотограмметрии, геодинамики, мониторинга подвижек искусственных сооружений и природных явлений и др.;

- ♦ поддержка и развитие аппаратно-программного комплекса непрерывно действующих базовых станций для наблюдения сигналов GPS/ГНСС, 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;

- ♦ обучение и подготовка высококвалифицированных специалистов – молодых научных кадров, способных разрабатывать и исследовать новые современные технологии точного и надежного позиционирования по сигналам ГНСС.

**2. Основные разработки.** В рамках выполнения ряда проектов (в частности, инновационных проектов (детальнее см. на Web-сайте:

<http://www.innovations.nas.gov.ua/Years/2008/826/Pages/p2.aspx> ,  
<http://www.innovations.nas.gov.ua/Years/2010/1018/Pages/default.aspx> ,  
<http://www.innovations.nas.gov.ua/Years/2010/1018/Pages/p2.aspx> ,  
<http://www.innovations.nas.gov.ua/Years/2010/1018/Pages/p5.aspx> )

в сотрудничестве с ГАО НАНУ и другими организациями Украины, сотрудниками НИЛ были выполнены разработки и тестирование новых отечественных технологий координатных определений высокой точности (дециметровой и сантиметровой точности), которые соответствуют современным концепциям развития дифференциальных сетевых ГНСС-подсистем (FKP/VRS/MAX-типа) для оказания информационных услуг геодезической съемки и

различных ее приложений на основе сетей перманентных референчных станций с централизованной обработкой наблюдений станций и наблюдений приемников потребителей.

При выполнении совместных научно-исследовательских работ (НИР) создано и внедрено (в Центре обработки ГНСС-наблюдений ГАО НАНУ) программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) OSTAВА\_PPA предварительной обработки ГНСС-наблюдений - редактирования, контроля и обеспечения качества, анализа, восстановления непрерывности фазовых наблюдений и т.д. В течение нескольких лет опытной эксплуатации ПАО OSTAВА\_PPA хорошо себя зарекомендовало и позволило выполнить множество новых разработок методов и алгоритмов обработки кодовых и фазовых наблюдений для целей точного позиционирования. Также в период 2005-2008 г.г. 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 (OSTAVA\_DGPS), так и сетевые способы формирования и использования дифференциальных коррекций (OSTAVA\_DGPS/MRD). В период 2006-2008 г.г. в рамках научно-исследовательских работ и инновационного пилот-проекта "Информационно-измерительная GNSS система и сетевая VRS-технология обеспечение геодезических и кадастровых съемок" (руководитель проекта – Я.С. Яцкив, академик НАН Украины) 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 OSTAВА.

В 2008-2010 г.г. разработана и протестирована 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.

В настоящее время сотрудниками НИЛ совместно со специалистами ГАО НАНУ работают над вопросами ввода системы в опытную эксплуатацию.

**3. Текущие разработки и исследования в области ГНСС-позиционирования в 2010-2011 г.г.** Усовершенствование характеристик и расширение функциональных возможностей разработанных технологий обработки ГНСС-наблюдений для решения задач точного сетевого позиционирования предполагается за счет разработки и внедрения альтернативного, более эффективного подхода, основанного на централизованной совместной обработке наблюдений групп потребителей.

Принимая во внимание, что пользовательский парк одночастотной аппаратуры в Украине составляет 80-90% эксплуатируемого геодезического ГНСС оборудования, актуальной и имеющей большую практическую значимость для большинства ГНСС-приложений является задача достижения сантиметрового уровня точности с использованием относительно недорогого одночастотного ГНСС-оборудования. Особенно сложно решить поставленную задачу на территориях с разреженными сетями перманентных референчных ГНСС-станций с межбазовыми расстояниями до 200-250 км. В этих условиях базовые расстояния между потребителем и ближайшей базовой станцией могут достигать ~100-150 км. Поэтому одной из важнейших целей данного этапа разработок НИЛ является реализация новой технологии одночастотного (GPS, GPS+ГЛОНАСС) позиционирования с точностью 1-2 см в плане / 3-5 см по вертикали в кинематическом и статическом режимах съемки на удалении приемников потребителей до 100-150 км от ближайшей станции сети двухчастотных станций с межбазовыми расстояниями 200-250 км. Другими словами, желаемая точность одночастотного позиционирования должна быть близка к точности двухчастотного позиционирования в кинематическом, «stop&go» и статическом режимах съемки при существенно меньшей цене (в 3-5 раз) используемого ГНСС-оборудования.

Значительные шаги для достижения поставленной цели были сделаны в 2010-2011 г.г. Так, в 2010 г. были получены следующие главные результаты.

1) Разработана новая версия усовершенствованного программного обеспечения (ПО) OSTAВА\_PPA\_v.2 ( развитие предшествующей версии - OSTAВА\_PPA v.1 ) с дополнительными функциями для выполнения пре-процессинга, анализа наблюдений и последующего ГНСС- позиционирования сантиметрового уровня точности по сигналам GPS/ГЛОНАСС в режиме послесезонной обработки. Созданы и протестированы на реальной измерительной информации новые алгоритмы и программные модули исключения фазовых циклических/полуциклических скачков кинематических двухчастотных и одночастотных ГНСС-наблюдений с полными или частичными разрывами (пропусками) наблюдений.

2) Разработан и протестирован комплекс алгоритмов и программных модулей разрешения фазовой неоднозначности (РФН) и высокоточного двухчастотного ГНСС-позиционирования (сантиметровой и субдециметровой точности) кинематических и статических объектов с использованием фазовых наблюдений разностной частоты (Wide-Lane).

3) Проведен цикл исследований по оценке пространственно-временных свойств ионосферных задержек ( их одинарных и двойных разностей ) с целью определения возможностей использования одночастотного ГНСС-оборудования для позиционирования с сантиметровой точностью.

4) Предложена новая альтернативная стратегия сетевой обработки фазовых и кодовых ГНСС наблюдений для высокоточного определения местоположения FKP/VRS/MAX-типа в режиме пост-обработки в условиях разреженных сетей ГНСС-станций. Технология базируется на дополнительных возможностях совместной сетевой обработки наблюдений сетей станций и потребителей в специализированных центрах обработки. В процессе обработки определяются (формируются) зональные тропосферные и ионосферные коррекции на основе наблюдений не только референчных станций, но и наблюдений самих потребителей.

5) Выполнено технико-экономическое обоснование проекта развертывания в Украине инфраструктуры коммерческой многофункциональной подсистемы ГНСС для предоставления услуг точного позиционирования и дифференциальной навигации. Предлагаемая к реализации организация предоставления услуг и новая эффективная технология точного позиционирования ориентированы на максимальное удешевление оборудование потребителей, а также предоставление массовых информационных услуг.

В 2011 г. получены следующие новые результаты.

1) Получено надежное разрешение фазовой неоднозначности (РФН) на интервале наблюдений 13-15 мин и достигнута сантиметровая точность позиционирования (2,5 см (RMS) в плане и 5 см (RMS) по вертикали) в следующих условиях:

- ◆ удаление роверного приемника (кинематический режим съемки без статической инициализации) ~97 км от одной из станций сети;

- ◆ для компенсации ионосферной составляющей использовались двухчастотные наблюдения референчных станций; исследовались варианты совместного оценивания координат, уходов часов, параметров целочисленной неоднозначности и параметров моделей ионосферных вариаций ( моделирование с использованием ортогональных полиномов).

2) При реализации статического режима съемки на интервале 15-20 мин. погрешности позиционирования (отклонения от эталонных значений, полученных двухчастотным методом) не превышали 1 см (95%) на удалении ~97 км от ближайшей станции сети. Для компенсации ионосферной составляющей использовался метод совместного оценивания координат, уходов часов, параметров целочисленной неоднозначности и параметров моделей ионосферных вариаций. Погрешности восстановленных ионосферных вариаций при таком способе оценивания не превышали 5 мм (RMS). Остатки МНК- решения не превышали 3 мм (RMS).

В 2010-2011 г.г. сотрудники НИЛ ХНУРЭ и ГАО НАНУ приняли совместное участие в выполнении проекта «EEGS - EGNOS Extension to Eastern Europe» рамочной европейской программы FP7 (грант № 247698).

Сотрудниками НИЛ опубликовано более 50 научных трудов, выполнено более 10 хозяйственных НИР в области высокоточного позиционирования и навигации по сигналам ГНСС. В течение всего периода деятельности осуществляется активное сотрудничество с ГП "Оризон-Навигация" (г. Смела Черкасской обл.), Национальным авиационным университетом (НАУ, г. Киев), Национальным научным центром "Институт метрологии" (г. Харьков), ОАО "АО НИИРИ" (г. Харьков), ООО "Европромсервис" (г. Харьков).