

Я.С. ЯЦКИВ, д-р физ.-мат. наук, академик НАНУ, А.А. ЖАЛИЛО, канд. техн. наук

О СОЗДАНИИ В УКРАИНЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ГНСС-СИСТЕМЫ И СЕТЕВОЙ ВРС-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ РАБОТ

Введение

Здесь и далее используются следующие сокращения:

ГНСС (GNSS) – глобальная навигационная спутниковая система

ВРС (VRS) – виртуальная опорная (референцная) станция

GPS – глобальная система определения местоположения (США)

Galileo – глобальная система определения местоположения (ЕС)

ГЛОНАСС – глобальная навигационная система спутников (РФ)

УкрГНСС-сеть – украинская сеть перманентных (постоянно действующих)

ГНСС-станций

IAG –Международная геодезическая ассоциация

IERS – Международная служба вращения Земли и систем отсчета

IGS – Международная GNSS служба

ILRS – Международная служба лазерной локации ИСЗ и Луны

ITRS – Международная земная система координат

ITRF – реализация ITRS

UTC – Всемирное координированное время

ЛЛН – лазерная локация ИСЗ

ПВЗ – параметры вращения Земли

РСДБ – радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами

УЦПВЗ – Украинский центр определения параметров вращения Земли

ИСЗ – искусственный спутник Земли.

Сегодня невозможно представить себе проведение научных исследований Земли и окружающего ее космического пространства, создание земной системы координат и проведение геодезических съемок, навигацию подвижных объектов и другие виды деятельности человека без использования данных ГНСС. Наибольшее развитие получила система GPS. Быстрыми темпами ведется модернизация ГЛОНАСС, создаются ГНСС-системы и их функциональные наземные и космические дополнения в Китае, Индии, Японии и других странах. В Европе усилия направлены на создание общеевропейской системы Galileo. В отличие от ситуации, которая сложилась в Украине в середине 90-х годов прошлого столетия (см. [1]), сегодня наметился определенный прогресс в использовании ГНСС-информации различными потребителями (таблица).

Использование ГНСС-информации может быть эффективным при наличии следующих элементов наземной ГНСС-инфраструктуры:

- ◆ сети перманентных станций наблюдений ГНСС;
- ◆ информационно-измерительных ГНСС-систем для различного рода потребителей (управление всеми видами транспорта, мониторинг окружающей среды и предупреждение техногенных катастроф, прецизионное позиционирование в задачах геодезии, картографии, поддержка ГИС, кадастра и др.);
- ◆ технологий и математического обеспечения использования ГНСС-информации потребителями.

Министерства и ведомства	Возможные области использования
Министерство транспорта и связи	Высокоточная навигация авиа, морского, автомобильного и железнодорожного транспорта. Обеспечение мониторинга транспортных потоков и управления движением. Контроль перевозок небезопасных грузов и безопасность перевозок. Синхронизация шкал времени телекоммуникационных сетей и телепередач
Министерство охраны окружающей среды	Обеспечение единого государственного учета природных ресурсов. Создание высокоточной геодезической основы для выполнения картографических и кадастровых работ. Экологический мониторинг. Разработка полезных ископаемых
Министерство обороны	Повышение эффективности использования средств военного назначения
Министерство агрополитики	Внедрение высокоточного земледелия
Госпотребстандарт	Развитие Государственной службы единого времени и эталонных частот
Академии наук	Решение фундаментальных и прикладных задач наук о Земле и Космосе. Использование навигационных технологий в медицине, туризме, строительстве и т.д.

Ниже приводим некоторые результаты, полученные ГАО НАН Украины в кооперации с другими учреждениями Украины в ходе внедрения ГНСС-технологий.

Украинская сеть перманентных ГНСС-станций

Космическая эра внесла качественно новые изменения в деятельность человека и стимулировала создание сетей станций космической геодезии, а именно станций лазерных локационных наблюдений (ЛЛН) ИСЗ, радиотехнических наблюдений спутников глобальных навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС), а также наблюдений специальных спутников системы DORIS. Благодаря внедрению во второй половине XX столетия радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) особого успеха в высокоточном определении угловых положений внегалактических радиоисточников достигла радиоастрометрия.

Все это обусловило создание в 1987 г. Международной службы вращения Земли (IERS, International Earth Rotation), которая начала функционировать с 1 января 1988 г. В 2003 г. она была переименована в Международную службу вращения Земли и систем отсчета (IERS, International Earth Rotation and Reference Systems Service). IERS объединяет деятельность автономных служб: Международной GNSS- службы (IGS, International GNSS Service, 1994, реорганизована в 2004 г. "<http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/>"), Международной службы радиоинтерфе-

рометрии со сверхдлинными базами: (IVS, International VLBI Service, 1999, "<http://ivscc.gsfc.nasa.gov/>"), Международной службы лазерной локации ИСЗ и Луны (ILRS, International SLR and LLR Service, 1998, "http://ilrs.gsfc.gov/ilrs_home.html"), Международной службы DORIS (IDS, International DORIS Service, 2003, "<http://doris.ooe.qv.at/>"). На сегодня сеть станций космической геодезии, которые входят в состав международных служб, охватывает весь земной шар, а их количество превысило полутысячный рубеж.

В 1962 – 1991 гг. Главная астрономическая обсерватория АН УССР (сегодня ГАО НАН Украины) была главной организацией в АН СССР по проблеме изучения вращения Земли и отвечала за обеспечение участия СССР в международных организациях по этой тематике. С началом космической эры под эгидой Астрономического совета АН СССР на территории Советского Союза начали создаваться станции фотографических (а позднее лазерно-локационных) наблюдений ИСЗ.

По инициативе ГАО АН УССР были начаты работы по созданию в СССР сети станций космической геодезии и геодинамики. Начиная с 1991 г. эта деятельность была сосредоточена в Украине в системах Национальной академии наук, Министерства образования и науки Украины, Госпотребстандарта, Укргеодезкартографии и Национального космического агентства. На сегодня в Украине сформированы и функционируют основные компоненты Украинской сети станций космической геодезии и геодинамики (Укргеокосмосети): сеть перманентных ГНСС-станций, сеть станций лазерной локации ИСЗ, станция РСДБ; центры сбора и анализа геодинимической информации [2].

Украинская сеть перманентных ГНСС-станций (рис. 1), как и большинство национальных сетей других стран, создана общими усилиями нескольких организаций и институтов.

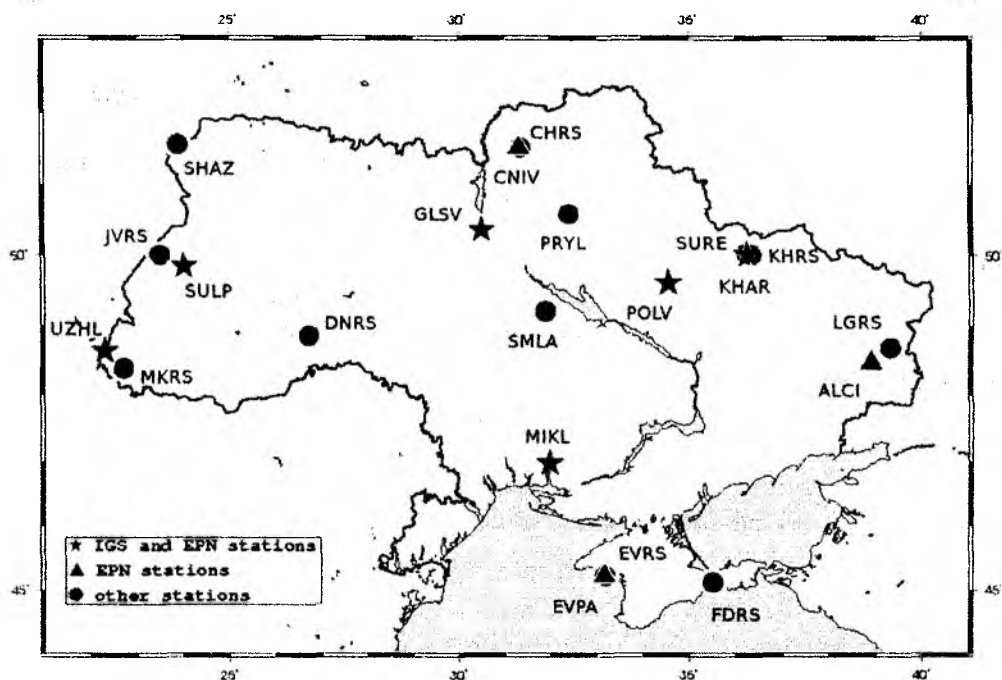


Рис. 1 Украинская сеть перманентных ГНСС-станций

По состоянию на 2009 г. на территории Украины существует 12 перманентных станций, данные которых являются доступными: "Киев/Голосеев", "Ужгород", "Полтава", "Симеиз", "Николаев", "Львов", "Харьков", "Евпатория", "Алчевск", "Шацк", "Чернигов", "Прилуки". Станция "Смела" вводится в эксплуатацию. Большинство украинских перманентных станций входит в сеть Международной ГНСС-службы (IGS) и Европейской перманентной GPS-сети (EPN). Детальная информация об украинской сети перманентных GPS-станций представлена на сайте "<http://www.mao.kiev.ua/EOP/>".

Опыт создания информационно-измерительной ГНСС-системы для геодезических и землеустроительных работ

1. Применение ГНСС-технологий для проведения геодезических, землеустроительных и других работ, которые нуждаются в высокоточном координатном обеспечении, является весьма эффективным. Традиционный подход такого рода работ, который начал внедряться в Украине в начале 90-х годов, имеет ряд недостатков по оперативности и производительности выполнения работ. Мировая практика точного позиционирования в последние 8 – 10 лет обогатилась т. н. *сетевыми* спутниковыми технологиями, которые базируются на использовании специальной наземной инфраструктуры формирования и распространения дополнительной измерительной информации сетей перманентных GPS/ГНСС-станций. Наличие такой инфраструктуры обеспечивает централизованную информационную поддержку геодезических работ пользователей, которые получают возможность достижения сантиметрового уровня точности при использовании минимального комплекта спутникового геодезического оборудования. Оператор сети имеет возможность предоставлять разнообразные информационные и другие услуги пользователям на централизованной авторизованной основе и координировать работы по координатному обеспечению и землеустройству в регионе.

В 2007 – 2008 гг. Главной астрономической обсерваторией (ГАО) НАН Украины был выполнен инновационный пилот-проект (см. [3]) создания экспериментального образца (прототипа) информационно-измерительной ГНСС-системы (ИИС) для обеспечения точного позиционирования. Основой для выполнения проекта послужили результаты исследований, которые были получены в ходе предыдущих разработок ГАО НАНУ. Соисполнители проекта – Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ), Национальный авиационный университет (НАУ, г. Киев), Черниговский государственный институт экономики и управление (ЧГИЭУ). В выполнении проекта также принимало участие ПП «Оризон-Навигация» (г. Смела Черкасской обл.).

Проект направлен на внедрение в Украине современных высокоточных спутниковых технологий VRS/FKP-типа для обеспечения информационной поддержки геодезической съемки, кадастра, управление земельными ресурсами. Отличительная особенность проекта – ориентация на использование недорогого GPS/ГНСС-оборудования пользователей и предоставление массовых информационных услуг – дифференциальных коррекций и услуг по централизованной обработке наблюдений сети перманентных референчных (базовых) GPS/ГНСС-станций и приемников потребителей. Ключевым элементом системы является многоцелевой программный обрабатывающий комплекс. Реализация проекта основывается на использовании локальных/региональных функциональных дополнений ГНСС, в частности, существующей и наращиваемой сети перманентных референчных ГНСС (GPS, GPS+ГЛОНАСС) станций УкрГНСС-сети.

Разработанная технология точного позиционирования основана на возможности соответствующей обработки результатов измерений от множества ГНСС-станций в едином центре обработки, который формирует равноточные дифференциальные коррекции к наблюдениям потребителей всей зоны обслуживания ГНСС-сети. Посредством Internet потребители могут воспользоваться услугами централизованной послесеансной обработки и корректирующими данными, помещаемыми в архив центра сбора и обработки системы. Сетевая ВРС-технология преодолевает ряд ограничений, свойственных традиционной технологии с одной базовой станцией и позволяет значительно уменьшить систематические погрешности измерений, увеличить расстояния между «роверным» (мобильным) приемником и референчной (базовой) станцией. Комбинация относительно дорогостоящих двухчастотных приемников станций разреженной сети и одночастотных приемников потребителей низкой стоимости в значительной степени повысит рентабельность работ.

Упомянутая ГНСС/ВРС технология геодезической съемки и навигационных определений реализует принципы т.н. широкозонной дифференциальной коррекции. Ее главные преимущества:

- ✓ возможность выполнения статических и кинематических съемок с одинаковым качеством (надежность раскрытия фазовой неоднозначности и точность определений) на обширных территориях, с использованием одночастотного ГНСС-оборудования низкой стоимости;
- ✓ обеспечение высокой точности координатных определений в послесеансном режиме обработки для всей обслуживаемой территории (сантиметровая точность);
- ✓ доступная стоимость комплекта приобретаемого оборудования;
- ✓ значительное снижение затрат и сокращение времени выполнения работ и обеспечение высокой точности координатных определений как в режиме пост-обработки, так и в реальном времени (RTK-режим съемки).

Функционирование разработанной ИИС заключается в следующем. Все станции сети непрерывно передают измерительную информацию в центр сбора и обработки наблюдений. (ЦСО). ЦСО формирует необходимую для потребителей измерительную и дифференциальную корректирующую информацию. У потребителей (либо в сервисном центре обработки наблюдений потребителей) реализуется концепция ВРС, которая может быть реализована программными средствами в послесеансном режиме обработки и аппаратными средствами в режимах DGPS/RTK.

Разработанная информационно-измерительная ГНСС-система включает подсистему референчных (базовых) станций, ЦСО – центр сбора, обработки, накопления измерительной информации, подсистему передачи DGPS/RTK коррекций с использованием технологии NTRIP, подсистему аппаратных и программных средств потребителя для обмена информации с центром обработки с использованием технологий GSM/GPRS.

Ввод в действие разработанной системы позволит обеспечивать:

- *прецизионную геодезическую съемку* – услуги послесеансной обработки с использованием измерительной информации и дифференциальных коррекций, доступных через Internet. Эти услуги позволят получить сантиметровую точность позиционирования как в статическом, так и в кинематическом режимах съемки;
- *услуги реального времени* для навигации мобильных объектов, обеспечиваемые путем передачи DGPS и RTK-коррекций посредством технологии NTRIP; эти услуги обеспечат субметровый уровень (DGPS) и сантиметровый уровень (RTK).

Реализация перечисленных возможностей может быть осуществлена как в локальном (например, территория области), так и в национальном масштабах.

2. В ходе проектирования были проведены натурные испытания на территории г. Киева, Киевской, Черниговской и Черкасской областей – см. рис. 2, 3.

Для послесеансной обработки GPS наблюдений был разработан и протестирован комплекс программного обеспечения OCTAVA. Комплекс предназначен для обеспечения *дециметровой, субдециметровой и сантиметровой* точности позиционирования при использовании одно- и двухчастотных приемников потребителей в статическом и кинематическом режимах съемки. В составе программного комплекса реализованы оригинальные новые эффективные алгоритмы обработки фазовых и кодовых GPS наблюдений разреженных сетей перманентных базовых станций (межбазовые расстояния от 70÷200 км до 1000 км).

Программный комплекс выполняет:

- полную предварительную обработку GPS наблюдений, включая контроль и обеспечение качества (QC/QA) на всех стадиях обработки, устранение фазовых циклических/полициклических скачков и др.
- сглаживание кодовых наблюдений с использованием "бескачковых" фазовых наблюдений;
- разрешение фазовой неоднозначности наблюдений;

- оценка и моделирование текущих зональных тропосферных и ионосферных задержек, формирование зональных коррекций VRS/FKP-типа;

- оценка текущих координат мобильных («роверных») приемников потребителей.

3. Как показало тестирование, в зоне действия сети станций с межбазовыми расстояниями ~140-170 км достигается сантиметровая точность координатных определений как для двухчастотного, так и для недорогого одночастотного GPS/ГНСС оборудования в режиме послесекундной обработки наблюдений. Достигается точность (СКП) 1-2 см (план)/2-3 см (высота) для двухчастотных приемников (при измерительных базах ~170 км) и 2,5-4 см (план) / 3-4 см (высота) для одночастотных приемников (при измерительных базах ~70-80 км).

Результаты экспериментальных исследований координатных RTK-определений реального времени с выполнением накопления данных показали возможность уверенной реализации статической и кинематической / "stop-and-go" RTK-съемки с сантиметровым уровнем точности в радиусе ~20 км относительно ближайшей базовой станции. При наличии GPRS/EDGE покрытия можно ожидать достаточной стабильности мобильной связи для обеспечения передачи измерительно-корректирующей информации пользователю от базовых станций.

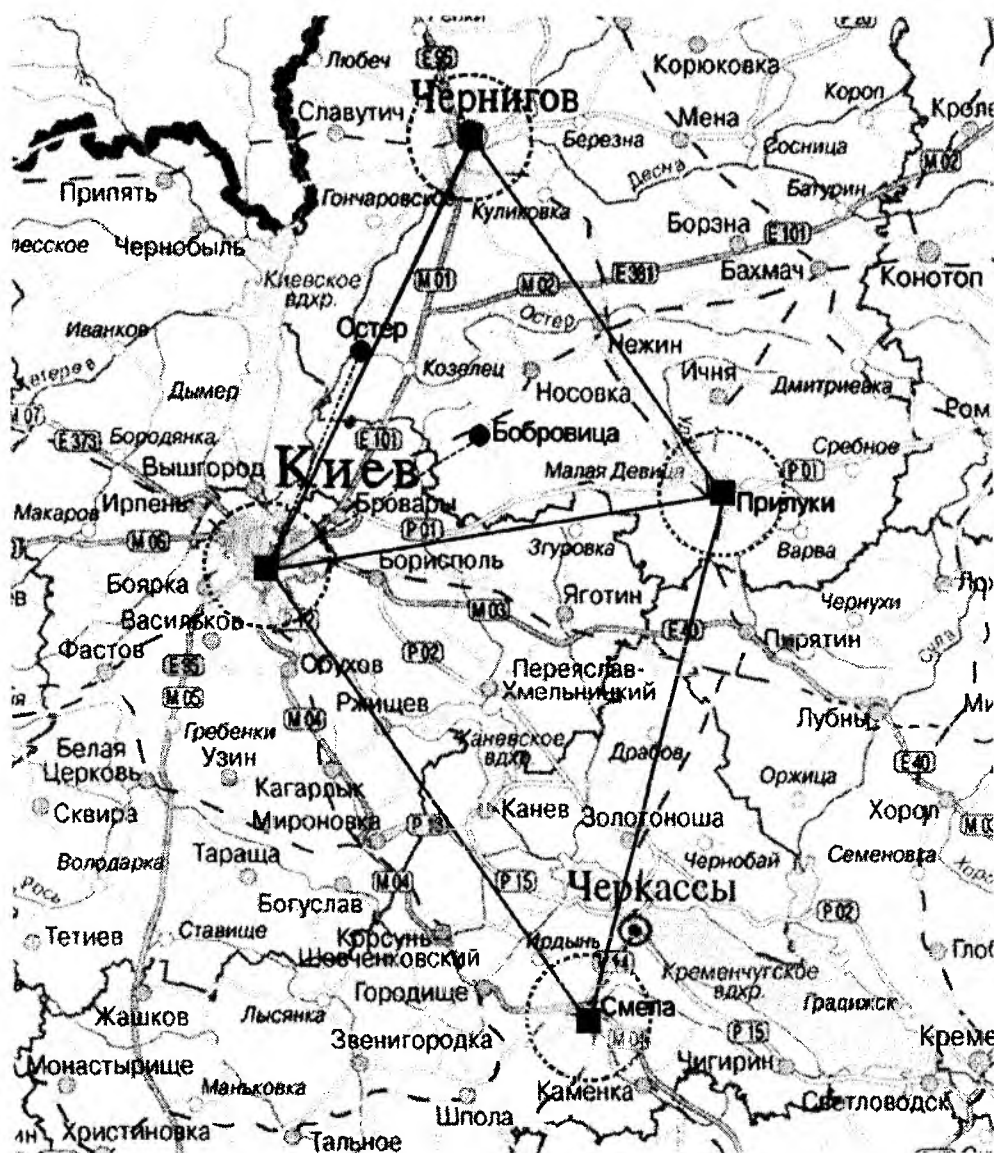


Рис. 2. ■ - базовые станции; ---- - базовые линии; ○ - зоны действия RTK-режима; межбазовые расстояния ~ 140-170 км, расстояния между роверами и базовыми станциями составляли ~70-75 км

Інформаційно-вимірвальна GNSS система (2007-2008 рр.)

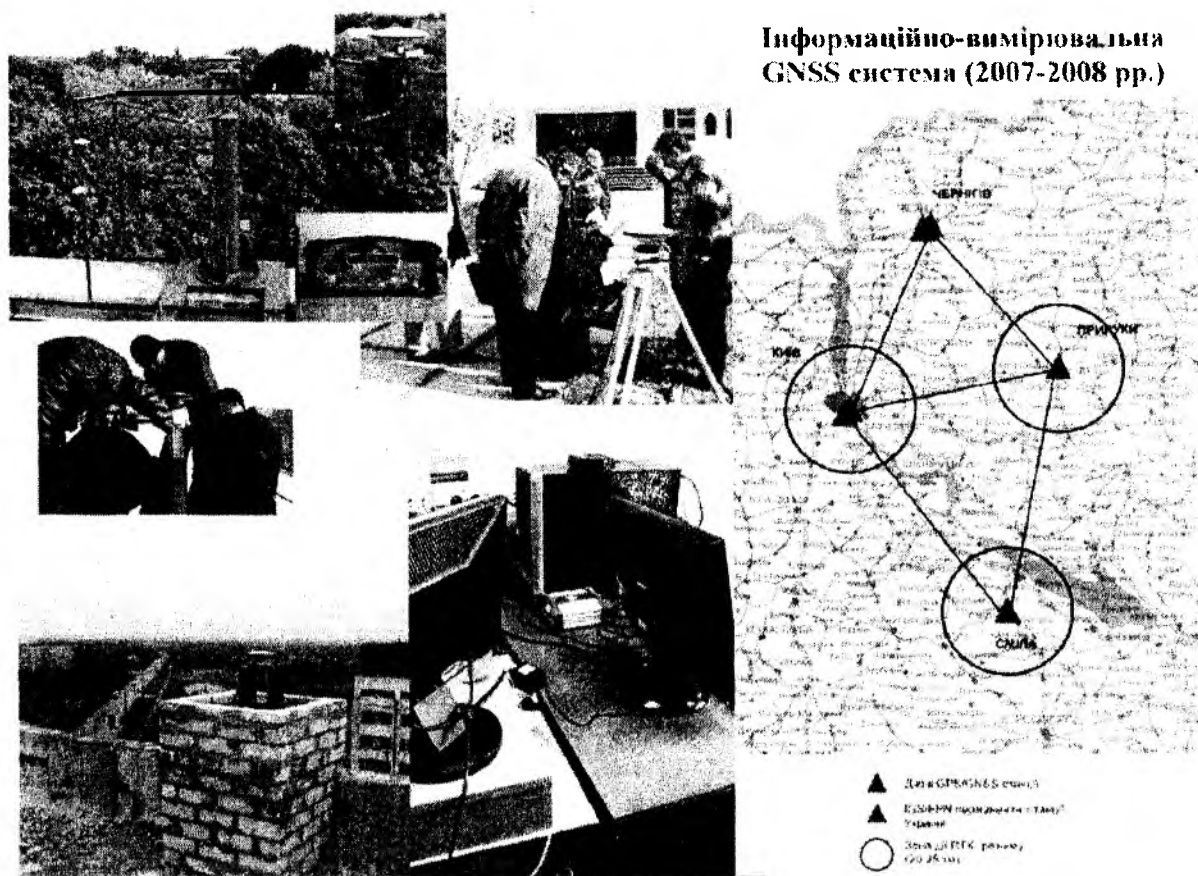


Рис. 3. Установка базовых станций и проведение экспериментов

4. В 2009 – 2010 году выполняются работы по вводу системы в опытную эксплуатацию. При этом предполагается расширить сеть референчных перманентных ГНСС-станций путем присоединения к существующей сети IGS/EPN станций в г. Полтава (POLV) и в г. Харьков (KHAR), а также развернуть новые станции в городах Сумы и Новгород-Северский (Сумска обл.), что дает возможность покрыть ~20 % территории Украины (см. рис. 4).

В настоящее время продолжают работы по совершенствованию программно-математического обеспечения обработки ГНСС-наблюдений.

Это позволит не только увеличить эффективные базовые расстояния в сетях референчных станций (с ~50-70 км до ~150-200 км), но и позволит широко использовать относительно не дорогие одночастотные приемники без сложных и дорогих функций RTK с сохранением точностных характеристик двухчастотного позиционирования. Указанные преимущества являются весьма привлекательными для пользователей тех государств, где современные сетевые ГНСС-технологии пока являются дорогими и для большинства пользователей недоступны.

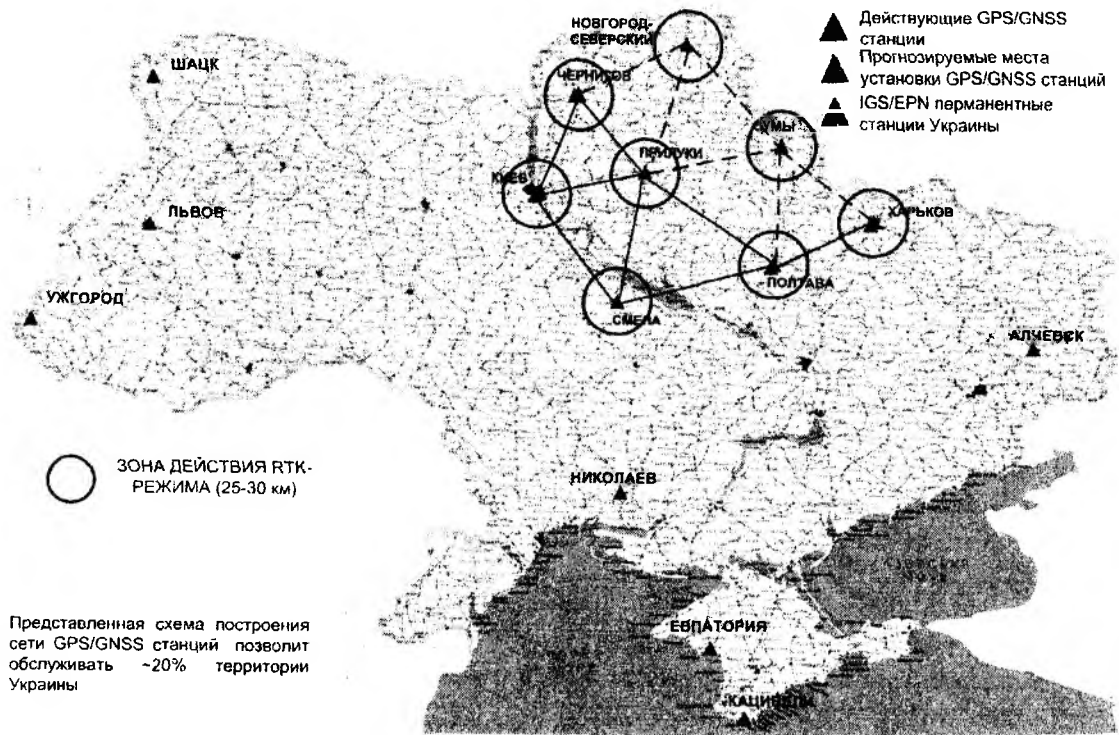


Рис. 4. Развитие сети станций ИИС

Список литературы: 1. Ярослав Яцків (2008) Наукові будні, справа «КЧЗ» (за архівними джерелами). Київ: Видавничий дім Академперіодика, 2008. 56 с. 2. Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки (Укргеокоосмережа) / Національна академія наук України. Головна астрономічна обсерваторія. Упоряд. та наукові редактори: Я.С. Яцків, О.В. Болотіна, С.Л. Болотін, М.М. Медведський, О.О. Хо́да, О.С. Вольвач. К.: ВАІТЕ, 2005. С. 62. 3. Я.С. Яцків, В.П. Харченко, В.М. Шокало, О.І. Терещук, О.О. Жаліло, В.М. Кондратюк, О.М. Лук'янов, М.О. Литвин, Д.О.Шелковенков, О.В. Куценко, О.О.Желанов, О.В. Грінченко, М.О. Газнюк, Є.В. Вишнякова (2009) Практика створення в Україні інформаційно-виміральної GNSS-системи та мережної VRS-технології забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок // Наука та інновації. 2009. Т. 5, №2. С. 5-22. Київ: Видавничий дім Академперіодика, 2009.

Главная Астрономическая обсерватория НАНУ,
 Харьковский национальный
 университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.01.2010