

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИЕМНИКОВ

Дмитрий Анатольевич Примаков

АО «Российский институт радионавигации и времени», 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120, лит. ЕЦ, руководитель проектного направления, тел. (911)770-39-37, e-mail: d-primakov@yandex.ru

Станислав Олегович Шевчук

АО «Российский институт радионавигации и времени», 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120, лит. ЕЦ, кандидат технических наук, главный научный сотрудник, тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Елена Сергеевна Черемисина

АО «Российский институт радионавигации и времени», 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120, лит. ЕЦ, начальник отдела, тел. (911)255-65-58, e-mail: lenushk@mail.ru

В статье рассмотрены современные проблемы и перспективы применения отечественной ГНСС-аппаратуры в рамках сложных систем позиционирования и мониторинга. На базе существующей проблематики предложены обновленные концепции таких систем, рассмотрена потенциальная аппаратура и программное обеспечение для решения данных задач, предложены системы на их основе.

Сделаны выводы о возможных характеристиках потенциальной аппаратуры, ее факторе и функционале. Приведены четыре варианта модельной реализации пользовательских ГНСС-приемников на основе опытно-конструкторских разработок, выполненных в Российском институте радионавигации и времени (АО «РИРВ»). Кроме того, рассмотрены перспективные разработки ПО для создания ГНСС-сетей различного назначения.

Указанные предложения просуммированы в виде концептуальных систем – местной автономной геодезической сети и системы контроля планово-высотного положения. Рассмотрена их структура и функционал.

Сделаны выводы по выполненной работе и предстоящему продолжению разработки.

Ключевые слова: геодезия, ГНСС, НАП, мониторинг деформаций, геодезические сети, базовые станции

GEODETIC SOFT- AND HARDWARE SYSTEMS BASED ON PERSPECTIVE DOMESTIC GNSS RECEIVERS

Dmitriy A. Primakov

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120, EC, Prospect Obukhovskoy Oborony, Saint Petersburg, 192012, Russia, Project manager, phone: (911)770-39-37, e-mail: d-primakov@yandex.ru

Stanislav O. Shevchuk

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120, EC, Prospect Obukhovskoy Oborony, Saint Petersburg, 192012, Russia, Ph. D., Leading Scientific Worker, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Elena S. Cheremisina

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120, EC, prospect Obukhovskoy Oborony, Saint Petersburg, 192012, Russia, Leading Engineer, phone: (911)255-65-58, e-mail: escheremisina@gmail.com

In the article the current problems and the perspectives of compound monitoring and positioning systems based on domestic Russian GNSS receivers are considered. Modernized concepts of those systems are proposed for the issues solving by the perspective GNSS receivers and geodetic net software. The systems based on those technologies are also overviewed.

The conclusions on specifications, form-factors and the features of potential receivers are made. Four models of potential GNSS receivers are given based on earlier research and experimental design developments of Russian Institute of Radio-navigation and Time (RIRT). The perspective software modifications for various-purpose GNSS networks are also overviewed.

The propositions are summarized with conceptual systems of local automatized geodetic network and the system of plan-height position control. The structure and features of the systems are overviewed.

The conclusions of the works were made and the future continuation of the works are given.

Keywords: geodesy, GNSS, navigation receivers, deformations monitoring, geodetic networks, base stations

Введение

Аппаратура потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяет решать широкий круг инженерных, изыскательских, научно-исследовательских и прикладных задач [1–3].

Основными функциями такой аппаратуры является определение пространственных координат и точного времени (включая задачи синхронизации различных систем).

Решение указанных задач (в частности, связанных с позиционированием пользователя) зачастую решается сложными системами, включающими несколько ГНСС-приемников, зачастую выполняющих различные функции при выполнении местоположения (самое распространенное разделение функционала – на базовые и мобильные приемники при реализации дифференциального и относительного методов позиционирования).

С ростом точности ГНСС-технологий появились новые задачи, решаемые с их применением, требующие усложнения систем, базирующихся на их использовании.

Уже более двух десятилетий развиваются сети активных базовых станций [4–7], позволяющие получать пользователям мобильных приемников координаты (в том числе, в режиме реального времени) с точностью первых сантиметров и выше относительным или дифференциальным методом [1, 2, 4, 5]. Такие системы широко используются при выполнении различных изысканий, строительных работах, при картографировании и межевании земель, исследованиях недр, топографическом обеспечении театра военных действий и пр.

Кроме того, такие высокие точности позиционирования позволяют выполнять не только съемку, но и постоянный мониторинг смещений природных и ан-

тропогенных объектов (чаще всего – задний и сооружений [8–10] и продуктопроводов [10, 11]).

Решение указанных задач зачастую выполняется на базе зарубежных программно-аппаратных решений в силу отставания аппаратуры, разработанной на отечественной элементной базе [12].

Не смотря на существующие проблемы, существует тенденция к сокращению данного отставания, а отечественные разработчики всё чаще предлагают аппаратуру нового поколения (зачастую на комбинированной элементной базе) [12–14].

На базе АО «РИРВ» в настоящее время ведется разработка нового поколения программно-аппаратных комплексов, применение которых может решить вопросы импортозамещения и вывести применение аппаратуры на качественно новый уровень.

Концепция систем высокоточного позиционирования

Наиболее высокие точности достигаются относительным методом позиционирования фазовой спутниковой аппаратурой в постобработке [1, 2, 3], однако, в последние годы, точности первых сантиметров стали достижимы и дифференциальным методом, в том числе, в реальном масштабе времени (в режиме РТК) [4,15,16].

Для реализации указанных методов позиционирования необходимо наличие по крайней мере одной базовой станции (ГНСС-приемника на пункте с известными координатами) на удалении не более 30-50 км от подвижного ГНСС-приемника пользователя [1, 4] (в случае использования двухчастотного ГНСС-приемника; для одночастотной аппаратуры требования в 2-3 раза жёстче). Для получения решений в масштабе реального времени, также необходимо наличие средств приема и передачи корректирующей информации (КИ) от базовых станций к мобильной станции пользователя (как правило, используются UHF-радиомодемы или GSM-связь). При этом, применение сетей базовых станций и технологий сетевого решения (FKP, MAX, i-MAX, VRS) позволяет увеличить доступную площадь измерений и, в некоторых случаях, повысить точность позиционирования [4].

Как уже было отмечено выше, такие точности позволяют решать сложные инженерные задачи – от позиционирования при межевании, выполнении изыскательных работ, при мониторинге смещения отдельных элементов конструкций, сооружений и природных объектов (как правило, для предотвращения аварийных ситуаций).

Сети активных базовых станций отличаются тем, что ГНСС-приемники, входящие в их состав ведут постоянную запись измерений и их передачу на специальный сервер и/или непосредственно пользователям. Такие сети часто развиваются на муниципальном уровне [17, 18] и распространяют корректирующую информацию на коммерческой основе или свободно.

Существуют однако организации и объекты, на которых существует необходимость создания местных автоматизированных геодезических сетей с досту-

пом ограниченного количества пользователей. Это, как правило, сырьевые и ведомственные режимные предприятия.

Концепция создания такой сети была предложена ранее в [11] на базе аппаратуры и ПО предыдущего поколения. В настоящее время необходимо дополнительное развитие данной концепции с учетом возросших требований к безопасности и надежности (например, на случай зашумления GPS и территориального возвращения селективного доступа), а также с учетом полного развертывания новых ГНСС BeiDou и Galileo.

Кроме того, появление новых технологий повышения точности также требует обязательных испытаний и внедрения.

Один из инновационных методов, получивших развитие в последние два десятилетия – Precise Point Positioning (PPP) – позволяет выполнять высокоточное позиционирование (на уровне первых дециметров) без наличия базовых станций в непосредственной близости к пользователю [18–21]. Вместо КИ, пользователю необходима ассистирующая информация в виде апостериорных или предсказанных точных орбит спутников и поправок к спутниковым часам, которые, в свою очередь, вычисляются на станциях ГНСС с известными координатами и высокостабильными источниками частот (например, сети IGS [22]).

В случае оперативного вычисления и передачи указанных данных возможна реализация метода PPP в реальном времени (RTPPP) и комбинация его с режимом RTK [23], рис. 1.

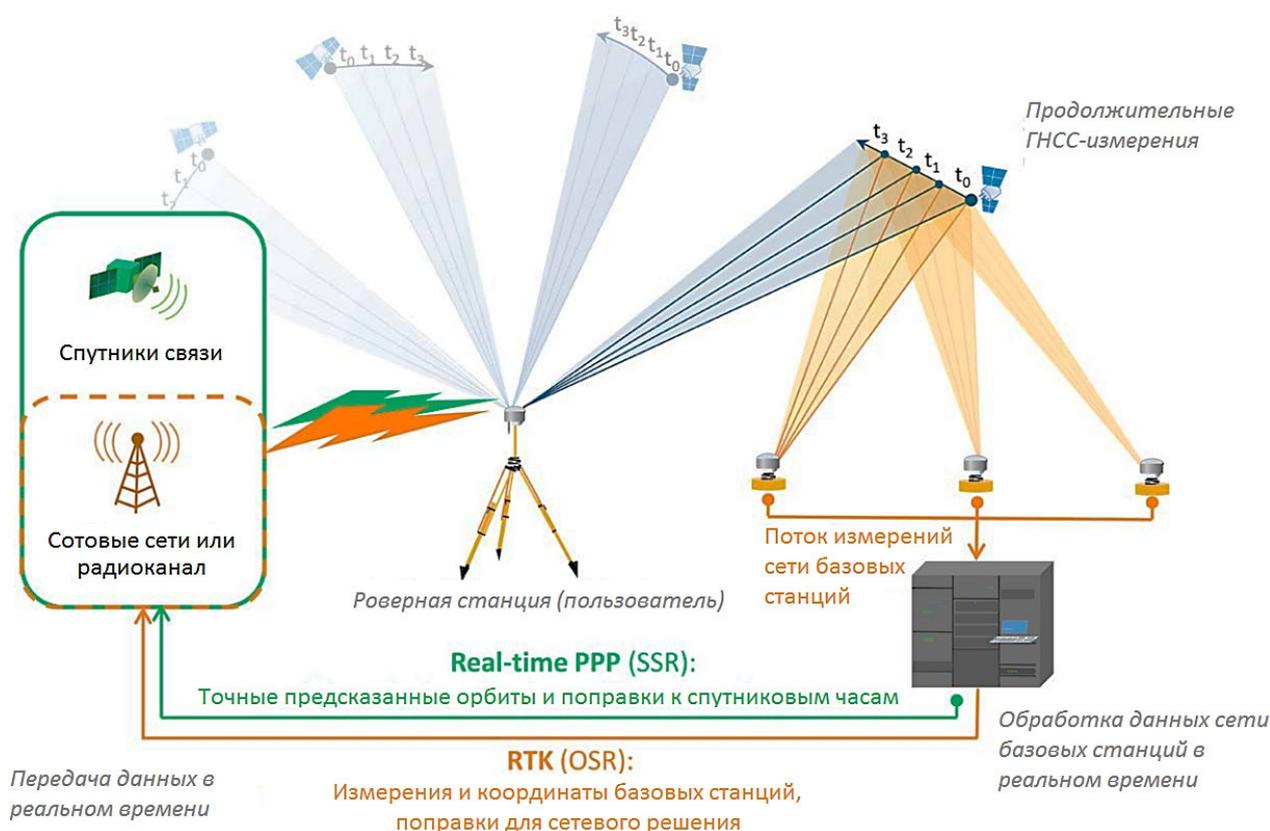


Рис. 1. Комбинация RTK и RTPPP [23]

Создание системы, комбинирующей указанные решения, могло бы в значительной мере повысить качество позиционирования. При этом, ассистирующая информация, необходимая для реализации PPP могла бы получаться, через Интернет от различных сторонних сервисов (например, IGS, magicGNSS, OmniStar и др. [23, 24]).

Также для уточнения решений могут применяться алгоритмы применения ассистирующей информации отечественной дифференциальной подсистемы космического базирования СДКМ [25, 26].

Кроме того, помимо сетей базовых станций, предлагается разработать более продвинутую систему мониторинга пространственных смещений/деформаций объектов, основанную на применении автономных датчиков с низким энергопотреблением.

Такая система должна обеспечить перманентную съемку или съемку по заданному расписанию без участия оператора. Основой такой системы должно стать продвинутое специализированное ПО.

Для реализации указанных идей в АО «РИРВ» были разработаны концепты аппаратуры на основе последних реализованных опытно-конструкторских разработок.

Перспективные разработки ГНСС-аппаратуры производства АО «РИРВ»

С учетом архитектуры предлагаемых систем, а также последних разработок АО «РИРВ», выдвинуты следующие концептуальные модели ГНСС-аппаратуры нового поколения:

- приемник навигационный геодезический (ПНГ-М);
- контрольно-корректирующая станция полевая (ГККС-П);
- контрольно-корректирующая станция стационарная (ГККС-СТ);
- датчик системы определения планово-высотного положения (датчик ПВП).

Внешний вид предлагаемых приемников показан на рис. 2.

Вся предложенная аппаратура должна принимать сигналы всех современных ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou) с возможностью как совместного, так и отдельного (индивидуального) применения сигналов каждой системы при обработке измерений и получении координатного решения (по крайней мере, для ГЛОНАСС, что принципиально при существующей политической обстановке).

Аппаратура ПНГ-М предназначена для выполнения полевых геодезических работ, высокоточного определения координат в реальном времени и в постобработке, в статическом и кинематическом режимах, решения различных инженерных задач. Выполняет функции мобильного приемника, что наиболее удобно с учетом моноблочного форм-фактора, однако может использоваться и в качестве полевой базовой станции.

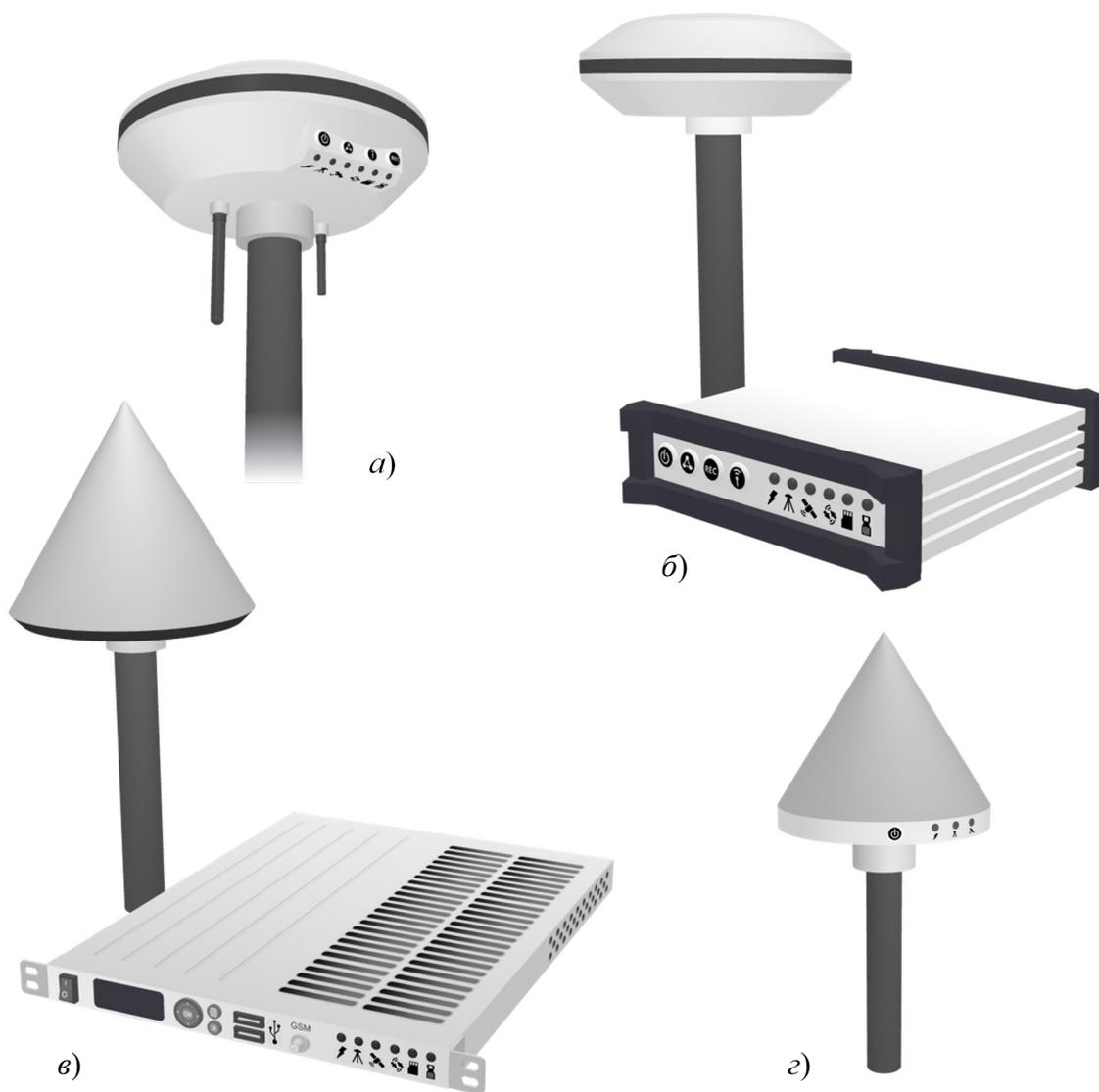


Рис. 2. Концепты форм-факторов перспективных ГНСС-приемников:
 а) ПНГ-М; б) ГККС-П; в) ГККС-СТ; г) датчик ПВП

Аппаратура ГККС-П предназначена для формирования корректирующей информации и записи ГНСС-измерений, применяемых для высокоточных координатных определений приемной ГНСС-аппаратурой потребителей в условиях реального времени и в постобработке. Может использоваться в полевых условиях в качестве временной или постоянной базовой станции, а также выполнять функции мобильного приемника. Аппаратура имеет блочное строение с выносной антенной. Имеет возможность автономной работы по заданному расписанию.

Аппаратура ГККС-СТ предназначена для обеспечения пользователей корректирующей информацией, необходимой для высокоточных координатных решений. Имеет блочную архитектуру с выносной антенной, подходящую для размещения на пунктах постоянного базирования. Наиболее эффективна для ра-

боты в составе сети референчных станций под управлением специализированного ПО.

Датчики ПВП предназначены для автономных наблюдений и передачи измерений и координатных решений в составе системы мониторинга инженерных сооружений, инфраструктурных, природных и иных объектов. Функционирование датчиков должно осуществляться в составе сети, под управлением специализированного ПО контроля ПВП. Имеет моноблочную структуру и низкое энергопотребление (с возможностью питания через Ethernet-интерфейс).

В таблице приведены основные характеристики предлагаемой аппаратуры.

Сводная таблица характеристик

Наименование	ПНГ-М	ГККС-П	ГККС-СТ	Датчик ПВП
Исполнение	Моноблок	Модульная	Модульная	Моноблок
Принимаемые ГНСС	ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou			
Принимаемые SBAS	WAAS, EGNOS, СДКМ			
Диапазон рабочих температур	Блок приемника: от минус 40°C до 60°C	Блок приемника: от минус 40°C до 60°C Антенна ГНСС: от минус 60°C до 60°C	Блок приемника: от минус 5°C до 60°C Антенна ГНСС: от минус 60°C до 60°C	Блок приемника: от минус 40°C до 60°C
Степень защиты от пыли и влаги	IP67	IP67	Блок приемника: IP20 Антенна ГНСС: IP67	IP67
Интерфейсы обмена данными	RS-232, USB, Ethernet, MicroSD			RS-485, USB, Ethernet
Форматы формируемой/ обрабатываемой КИ	RTCM SC-104 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2; CMR, CMR+			-
Форматы записи измерений	BINEX, RINEX 2.11, 3.2	BINEX, RINEX 2.11, 3.2	BINEX, RINEX 2.11, 3.2	BINEX
Встроенные радиомодемы	GSM, WiFi, Bluetooth		GSM, Bluetooth	-
Время непрерывной автономной работы, не менее	12 часов	12 часов	6 часов	4 часа
Объем памяти для регистрации данных, не менее	32 Гб	32 Гб	350 Гб	2 Гб
Возможность работы по сигналам внешнего опорного генератора	-	-	Подключение опорного сигнала 5МГц и/или 10 МГц	-
Режимы геодезической съемки	Статика, Быстрая статика, Кинематика, Stop-And-Go		Статика	
Режимы координатных определений в реальном времени	автономный режим, дифференциальный режим, RTK, reverse-RTK, RTPPP		-	автономный режим

Указанные приемники могут объединяться в сложные измерительные системы посредством специализированного сетевого ПО.

Перспективные разработки ПО для ГНСС-сетей различного назначения

В рамках совершенствования существующей базы навигационных услуг, на базе АО «РИРВ» идет разработка и усовершенствование следующего сетевого ПО:

- ПО местных автоматических геодезических сетей (ПО МАГС);
- ПО контроля планово-высотного положения (ПО контроля ПВП).

ПО МАГС предназначено для реализации автоматизированного взаимодействия базовых и мобильных приемников в составе единой измерительной системы (автоматизированной геодезической сети).

Усовершенствованная версия ПО МАГС (более ранняя рассмотрена в [11]) должна обеспечивать следующий функционал:

- информационное взаимодействие с сетью референчных станций;
- реализация функций настройки, контроля функционирования и управления референчными станциями;
- осуществление протоколирования измерений референчных станций;
- формирование корректирующей информации и передача ее потребителям;
- мониторинг состояния референчных станций, диагностика предаварийных состояний;
- мониторинг взаимного положения референчных станций, контроль неизменности графа сети референчных станций;
- отображение информации на электронной картографической основе;
- решение сервисных задач.

ПО контроля ПВП предназначено для контроля планово-высотного положения элементов зданий и сооружений и иных инфраструктурных объектов посредством обработки информации от аппаратуры датчиков ПВП.

ПО контроля ПВП должно иметь следующие функции:

- информационное взаимодействие с аппаратурой датчиков ПВП;
- построение модели деформаций объекта в местах установки датчиков ПВП для выявления предаварийных состояний по их измерениям.
- возможность протоколирования измерений датчиков ПВП в заданном формате.
- отображение на электронной схеме объекта данных о динамике его деформаций, мест расположения аппаратуры датчиков ПВП, другой сервисной информации.

Системы высокоточного позиционирования на основе предложенной аппаратуры и ПО

На основе предложенной аппаратуры и ПО предлагается реализовать новые поколения местной автономной геодезической сети (МАГС) и системы контроля планово-высотного положения (ПВП).

Система МАГС реализует:

- обеспечение высокоточных координатных определений по сигналам ГНСС, как в режиме реального времени, так и в режиме постобработки;
- создание единой координатной основы;
- сокращение времени координатных определений, при сохранении их точности;
- решение задач геомониторинга и геодинамики.

В состав МАГС входят:

- серверное программное обеспечение (ПО МАГС);
- стационарные базовые станции (аппаратура ГККС-СТ);
- полевые базовые станции (аппаратура ГККС-П);
- мобильные геодезические приемники (аппаратуры ПНГ-М);
- телематическая и серверная аппаратура.

Учитывая современные достижения в реализации подобных сетей, а также фактом ограниченного количества пользователей, МАГС должна реализовывать передачу ККИ пользователю от ближайшей станции (или предоставлять сетевое решение), а также иметь возможность работы в режиме Reverse-RTK [27, 28]. Формирование ККИ должно опционально формироваться на сервере и/или на каждой станции, в зависимости от заданной программы работы.

Система МАГС должна также предоставлять пользователям доступ к файлам спутниковых измерений базовых станций в формате RINEX по протоколу FTP, в частности, для их применения постобработке.

Схема функционирования МАГС приведена на рис. 3.

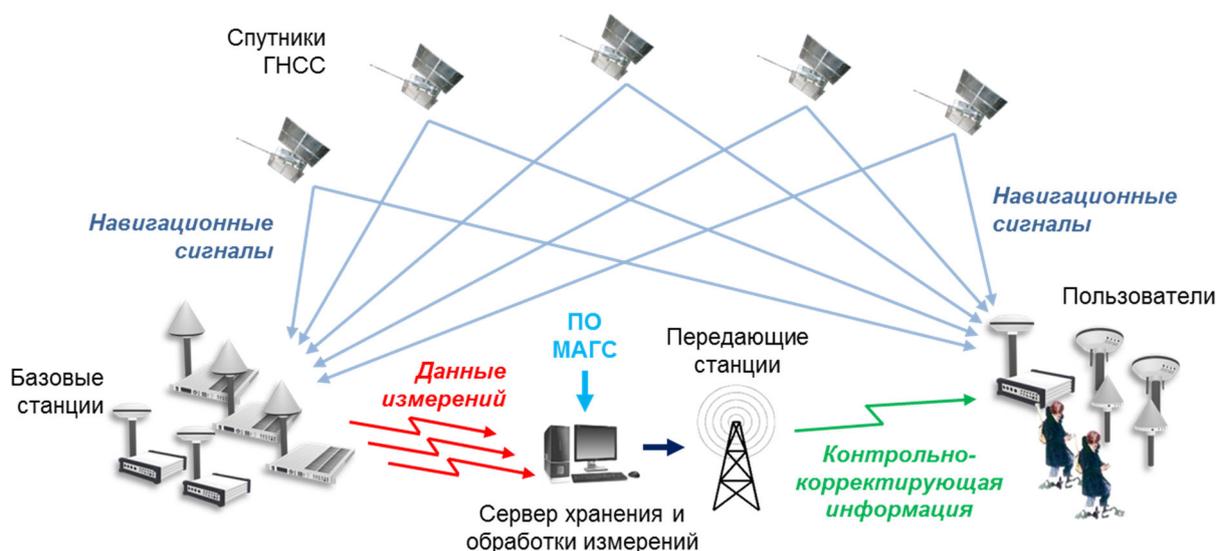


Рис. 3. Концепция местной автоматизированной геодезической сети (МАГС)

Система контроля ПВП предназначена для решения следующих задач:

- контроль плано-высотного положения контрольных точек инфраструктурных объектов;

– предотвращение аварийных ситуаций путем прогноза изменения ПВП контрольных точек.

В состав системы входят стационарная базовая станция (одна или несколько; возможна обработка методом PPP без базовых станций), датчики ПВП, сетевое оборудование и специализированное ПО.



Рис. 4. Концепция системы контроля плано-высотного положения (ПВП)

Обработка информации от датчиков ПВП должна выполняться как в реальном масштабе времени (оперативная оценка значения ПВП), так и в режиме автоматической постобработки (окончательная оценка значений ПВП).

Выводы

Сложные системы на основе навигационной аппаратуры потребителя ГНСС в настоящее время продолжают совершенствоваться и расширяют сферы своего применения. Внедрение таких систем в различные отрасли повышает их эффективность, надежность и аварийную безопасность.

Интеграция отечественных разработок в данную сферу позволит не только утвердить импортонезависимость, и, как следствие повысить безопасность и устойчивость таких систем, но и внести ощутимый вклад в экономику и развитие цифровых и радиотехнологий страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] в 2 т. Т.-2. Монография / К.М. Антонович; - М.: Картгеоцентр, 2006. – 360 с.: ил.
2. Hofmann-Wellenhof, B. GNSS - Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more [Текст] / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle – Wien, New-York: Springer. – 2008. – 516 p. – Англ.
3. Прихода А.Г., Лапко А.П., Мальцев Г.И., Бунцев И.А. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ : метод. рекомендации. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.

4. Евстафьев, О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования [Текст] / Под ред. В.В. Грошева. — М.: ООО «Издательство «Проспект», 2009. — 48 с.
5. Журавлева, Е.В. Преимущества использования постоянно действующих базовых станций [Текст] Геопрофи. — 2008. — № 4. — С. 43–45.
6. Вдовин, В.С. проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF // В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов / Вестник СГУГиТ.— Новосибирск : СГУГиТ. - 2018.- № 1 (23).- С. 6-27.
7. Schwieger V., Lilje M., Sarib R. GNSS CORS-Reference Frames and Services / 7th FIG Regional Conference Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment – Building the Capacity Hanoi, Vietnam, 19-22 October 2009. TS 4B - GNSS CORS Infrastructure and Standards.- 2009. - 22 p. - Англ. Карпик, А.П. Определение координат пунктов сети базовой станций Новосибирской области [Текст] / А. П. Карпик, А. П. Решетов, А. А. Струков // ГЕО-Сибирь-2011: Междунар. науч. конгр., 19–29 апр., Новосибирск.– Новосибирск, 2011.– Т.1, ч.1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия.– С. 9-15.
8. Ягер Р. Математические модели и техническая реализация GOCA – онлайн-системы геодезического мониторинга и оповещения о деформациях природных и техногенных объектов, основанная на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS/LS) [Текст]: материалы VIII междунар. науч. конгр., 10-20 апреля 2012 г. Новосибирск / редкол.: Р. Ягер, П. Шпон, Т. Шайхутдинов, Т. И. Горохова, А. Ю. Янкуш — Новосибирск: СГГА, 2012. — С. 9–32.
9. Иодис, В.Я. Использование аппаратуры JAVAD GNSS для оценки пространственных смещений здания «ТРИУМФ ПАЛАС» / В. Я. Иодис, А.В. Бойков, А.А. Конева // Геопрофи. — 2016. - №2. — С.10–13.
10. Jager, R. Modell- und Sensorintegration zum integrierten 3D Geomonitoring in moderner Daten kommunikationsstruktur mit Anwendung auf den Stuttgarter Fernsehturm / R. Jager, L. Gorokhova, E. Messmer // Ingenieurvermessung 17: Beitrage zum 18. Internationalen Ingenieurvermessungskurs Graz. - 2017. - Wichmann-Verlag. - S.23-251. — Нем.
11. Шевчук, С. О. Опыт практического применения местной автоматизированной геодезической сети на базе отечественной ГНСС-аппаратуры [Текст] С. О. Шевчук, В. Н. Пономарев, Е. С. Черемисина, С. Н. Иванов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 28 – 35.
12. Шевчук, С. О. Высокоточная ГНСС-аппаратура отечественного производства [Текст] С. О. Шевчук, К. В. Петров, Е. С. Черемисина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск: сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с международным участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 2.- С. 119-127.
13. Сохранов, А. С. Фаза 2 – новый российский бюджетный базовый многосистемный ГНСС-приемник [Текст] // Геопрофи. – 2018. – №5. – С. 16-18.
14. Лисовой, И. Модуль СН 7700 как основа для создания отечественных решений в области высокоточной навигации [Текст] Вестник ГЛОНАСС. – 2018.- №7. – С. 14-21.
15. Бородко, Е.А. Решение Trimble — от одиночной референцной станции ГНСС до сервиса VRS / Геопрофи.- 2008.- №6. - С. 32-34.
16. Горб А. Экспериментальные исследования точности местоопределения пользователей в сетевом RTK-режиме // А. Горб, Р. Федоренко, К. Шатохина / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.- 2014.- № 1 (27).- С.42-45.
17. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF [Текст] /В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, и др. // Вестник СГУГиТ. -2018. - Т. 23, № 1. - С. 6-27.

18. Bisnath, S. Precise Point Positioning – A Powerful Technique with a Promising Future [Text] / S. Bisnath, Y. Gao – Англ. – GPS World. – 2009. – No. 4. – P. 43-50. – Англ.
19. Антонович, К.М. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС-измерений (PPP) [Текст] / К. М. Антонович, Л. А. Липатников // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 44-47.
20. Chesagne, O. One centimeter accuracy with PPP [Text] // Inside GNSS – 2012. – No 2. – P. 49-54.
21. Yu, X. Kinematic Precise Point Positioning Using Multi-Constellation Global Navigation Satellite System (GNSS) Observations [Text] / X. Yu, J. Gao // ISPRS Int. J. Geo-Inf.- 2017.- № 6, 6
22. IGS Data & Products [Electronic resource] / IGS Tracking Network . – Режим доступа: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> – Англ.
23. Lipatnikov L. A., Shevchuk S. O. Cost effective precise positioning with GNSS. FIG Report, 2019 [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub74/Figpub74.pdf>
24. Ocalan T., Erdogan B., Tunalioglu N. Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques // Boletim de ciencias geodesicas. – 2013. – 19 (2). – P. 191–207.
25. Карпик, П.А. Система дифференциальной коррекции и мониторинга как основа перспективной национальной инфраструктуры навигации и позиционирования с повышенной точностью // П.А. Карпик, В.Г. Сернов, В.С. Вдовин / Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 9 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019.- № 2. – С. 3-9.
26. Исаев, В.Ю. Калибровка измерений псевдодальностей ГЛОНАСС совмещенного GPS/ГЛОНАСС-приемника для работы с поправками СДКМ // Ю. В. Исаев, А. Н. Подкорытов / Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы.- 2019.- Т. 6, Вып. 3, С. 3–14.
27. Rizos., C (2007) Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations [Text] / C. Rizos, J. von Cranenbronek // GPS Solutions. 2007. - 11(3). – P. 151–158. – Англ.
28. Eyo, E.E. Reverse RTK Data Streaming for Low-Cost Landslide Monitoring [Text] / E. E. Eyo, T. A. Musa, Kh. M. Idris, Yu. D. Opaluwa // Geoinformation for Informed Decisions, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. P. 19 - 33. – Англ.

© Д. А. Примаков, С. О. Шевчук, Е. С. Черемисина, 2021