

прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 12. С. 126–127.

26. Соловьев И.В. Применение модели информационной ситуации в геоинформатике // Науки о Земле. 2012. № 01. С. 54–58.

27. Tsvetkov V.Ya. Spatial Information Models // European Researcher. 2013. Vol. (60). № 10-1. P. 2386–2392.

28. Павлов А.И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 4(12). С. 96–100.

29. Бондур В.Г., Аржененко Н.И., Линник В.Н., Тумова И.Л. Моделирование многоспектральных аэрокосмических изображений динамических полей яркости // Исследование Земли из космоса. 2003. № 2. С. 3–17.

30. Аржененко Н.И., Бондур В.Г. Классификация облачных форм по пространственным спектрам изображений // Оптика атмосферы и океана. 1988. № 11. С. 38–45.

Algorithms and methods for processing of information received nonmetric chambers

Roman Alexfndrovich Gursky, Senior Lecturer. Chair geodesy, geoinformatics, navigation, Moscow State University of Railway Engineering

The article analyzes the state and development of non-metric cameras. The article analyzes the methods processing images obtained with non-metric cameras. The article shows the difference between photogrammetric processing methods and projective methods of image processing. The article shows that projective techniques are the basis of treatment is not metric images. The article shows the emergence of a new scientific direction image processing with unconventional geometry. Processing methods are not metric pictures are included in this area. The article shows the transition from the point of spatial models to the information structures and complex spatial models. The article shows that geodata are the basis of the information processing obtained with no metric pictures.

Keywords: *Applied geoinformatics, spatial information, images, photographs are not metric, geodata*

УДК 528.2/.5 528.8 528.02

ПРИМЕНЕНИЕ ГНСС В ПРИКЛАДНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКЕ

*Андрей Олегович Куприянов, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой прикладной геодезии,
e-mail: miigaiknir@yandex.ru,*

*Московский государственный университет геодезии и картографии,
<http://www.miigaik.ru>,*

*Виктор Яковлевич Цветков, профессор, доктор технических наук,
Заместитель руководителя центра фундаментальных и перспективных исследований,
e-mail: cvj2@mail.ru,*

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации,
автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (ОАО «НИИАС»),
<http://www.vniias.ru>*

Статья описывает особенности применения глобальных навигационных спутниковых систем в прикладной геоинформатике. Описаны концепции и технические принципы работы этой системы. Показано, что глобальные навигационные спутниковые системы создают искусственное информационное поле. Это информационное поле служит основой измерений координат. Статья описывает множество факторов, которые влияют на точность определения координат. Статья доказывает необходимость экспериментального исследования влияния факторов на точность позиционирования. Приводятся результаты эксперимента.

Ключевые слова: прикладная геоинформатика, глобальные навигационные спутниковые системы, информационная ситуация, измерения координат

Введение

Развитие и применение глобальных навигационных спутниковых систем – ГНСС (ГЛОНАСС, GPS, Galileo) в различных областях деятельности привели к изменениям в методах и технологических решениях многих задач современной науки, техники и производства [1]. Использование спутниковых методов позволило значительно повысить эффективность проведения топографо-геодезических работ, но вместе с этим здесь появились некоторые вопросы, которые необходимо решить. Во-первых, это создание локальной геодезической сети, а во-вторых, вычисление параметров перехода для местной системы координат [2]. Спутниковые навигационные системы изменяются и модернизируются. К положительным изменениям



В.Я. Цветков



А.О. Куприянов

в технологии этих систем относится добавление общедоступного C/A кода на частоте L2, а также третьего гражданского сигнала в диапазоне L5 для системы GPS. Технологии ГНСС позволяют производить геодезические работы в реальном времени с точностями на уровне сантиметров в режиме RTK (real-time kinematics – кинематика в реальном времени) [3]. Повышает эффективность работы концепция виртуальных базовых станций VRS (Virtual Reference Station). Все это делает актуальным исследование и обобщение применения ГНСС в прикладных областях [4].

Концептуальные аспекты применения навигационных систем. Концептуально ГНСС создает информационное поле [5, 6]. Это информационное поле является искусственным [7]. Следует подчеркнуть разницу между информационным полем и информационным [8]. Информационное пространство задает возможность измерения в этом пространстве. Информационное поле задает полевую переменную, которая существует в каждой точке поля. Отсутствие полевой переменной говорит об отсутствии поля. Таким образом, информационное поле физически вложено в информационное пространство [9]. Технологии ГНСС основаны на измерениях с использованием искусственных спутников Земли (ИСЗ). Выделяют четыре основные области их применения: глобальное позиционирование, навигация наземных и воздушных транспортных средств, точное сельское хозяйство (специальная технология), измерения координат, включая геодезию. По назначению всю приемную аппаратуру можно разделить на три класса: навигационная, геодезическая и аппаратура, предназначенная для сверки шкал времени.

Геодезическая аппаратура выделяется в особый класс. Для точных геодезических определений используются фазовые приемники. Фазовые измерения несущей частоты сигнала ИСЗ обеспечивают более высокую разрешающую способность по сравнению с кодовыми измерениями. Поэтому фазы являются основными измеряемыми величинами при высокоточных определениях. Фазовые измерения, в отличие от кодовых, не позволяют получить абсолютные координаты в момент измерений. Поэтому сигналы от навигационных искусственных спутников Земли (ИСЗ) накапливаются в запоминающем устройстве, а затем данные, полученные на опорной станции и определяемых пунктах, подвергаются дополнительной совместной обработке на компьютере.

Навигационное сообщение содержит:

- метки времени; информацию о состоянии спутника, передающего сигнал;
- параметры, характеризующие работу его бортовых часов, позволяющие определить поправку этих часов;
- коэффициенты модели ионосферы (эта информация используется только при работе с одночастотными приемниками для определения задержки сигналов в ионосфере);

– параметры согласования шкалы системного времени с UTC;
– эфемериды спутников, полученные из наблюдений с наземных станций слежения и последующего прогнозирования их орбит.

Эфемеридная информация подразделяется на оперативные данные и альманах. *Оперативные данные* характеризуют орбиту только одного передающего спутника на некотором относительно коротком интервале времени. Они используются при обработке результатов наблюдений, на их основе вычисляют местоположения спутников на моменты измерений в общеземной системе координат WGS-84.

Абсолютные определения местоположения в системе GPS осуществляется следующим образом. Радиосигналы, непрерывно излучаемые в эфир НИСЗ, создают навигационное поле и позволяют определять местоположение приемников беззапросным методом.

Сигнал на частоте L1 закодирован C/A (Clear/Acquisition или Coarse/Acquisition) [10, 11] легко распознаваемым грубым кодом «свободного доступа», а на частотах L1 и L2 – P (Protected или Precision) «защищенным» точным кодом. Войти в слежение за сигналом точного P-кода (имеющего недельную длительность) можно лишь с помощью пароля (ключевого слова), передаваемого грубым C/A-кодом (с длительностью 1 мс) и доступного для расшифровки только ограниченному кругу так называемых авторизованных потребителей [12]. Коды, грубый и точный, отличаются друг от друга по уровню сложности, длительности и периодичности повторения кодовой последовательности в сигналах НИСЗ. Для обоих кодов вероятность случайного совпадения всех импульсов кодовой посылки с шумовыми импульсами настолько мала, что такое событие практически исключено.

Применение псевдослучайного кодирования позволяет всем спутникам одновременно передавать сообщения на одних и тех же несущих частотах без взаимных помех. В GPS каждый НИСЗ имеет два собственных уникальных псевдослучайных кода, благодаря этому выделение сигналов данного спутника сводится просто к выбору соответствующих кодов.

Кодированные псевдослучайные сигналы НИСЗ несут метки времени, информацию о поправке бортовых часов, параметрах движения спутника и его состоянии, а также данные о движении других спутников системы и т. д. в виде кадров навигационного сообщения.

Аппаратура потребителя осуществляет автоматический поиск и выбор рабочего созвездия НИСЗ, захват и сопровождение радиосигналов спутников и выполнение их обработки. В процессе обработки, переданный с НИСЗ, кодовый сигнал сравнивается с аналогичным сигналом, генерированным в приемнике. Если известна дальность R и координаты спутника X_{S1} , Y_{S1} , Z_{S1} , то наличие измерения от трех (на практике от 4-х) спутников дает систему уравнений, позволяющую найти неизвестные координаты приемника X_P , Y_P , Z_P [13, 14]. Однако такие расчеты предполагают одновременность измерения всех геометрических параметров. На практике дальность R до соответствующего спутника определяется по времени задержки кодового сигнала с НИСЗ. Величина этой дальности, определяемой в приемнике потребителя, отличается от истинной дальности до спутника по следующим причинам:

- ошибка синхронизации часов НИСЗ и приемника с системным временем;
- влияние ионосферы и тропосферы на распространение сигнала;
- уход генераторов частоты НИСЗ и приемника потребителя;
- ошибки определения параметров орбиты спутников;
- ошибки измерений и т.д.

Поэтому дальность, определяемую в приемнике потребителя, называют псевдодальностью. Для ослабления влияния атмосферы на точность измерения псевдодальностей используются двухчастотные измерения, а также модели ионосферы и тропосферы. Большинство видов аппаратуры потребителя способно одновременно принимать сигналы 4-х и более спутников, что позволяет решать навигационную задачу по

методу наименьших квадратов. Линеаризованное решение уточняется с помощью системы уравнений поправок для координат определяемого пункта и часов приемника. С геометрической точки зрения это означает, что засечка несколькими сферами сводится к пространственной засечке плоскостями. Координаты, получаемые в результате решения навигационной задачи, определяют в общеземной системе координат.

В навигационной аппаратуре потребителей абсолютные и относительные определения осуществляются по кодовым сигналам. В геодезических приемниках для реализации высокоточных фазовых определений ведется измерение фазы несущей частоты сигнала и запись ее в память приемника для последующей обработки на компьютере.

Фазовые измерения несущей частоты сигнала имеют более высокую разрешающую способность по сравнению с другими видами измерений. Поэтому фазы являются основными измеряемыми величинами при решении задач позиционирования. Линии между точками наблюдений, для которых с помощью фазовой геодезической аппаратуры определяются приращения координат, называют «базисными линиями». Длина базисной линии значительно меньше, чем расстояние до любого из спутников. Поэтому можно считать, что искажения сигналов НИСЗ, приобретаемые за время прохождения в атмосфере, на концах базисной линии в один момент времени имеют одинаковые или очень близкие значения. По измерениям на концах линии местоположение пунктов определяется с некоторой ошибкой. Имея информацию об истинном положении одного из пунктов (опорные координаты), мы можем определить величину этой ошибки, учесть ее в обработке измерений на другом пункте и таким образом найти точное местоположение неизвестного пункта.

Для выполнения относительных определений в реальном масштабе времени используют дифференциальный режим, при котором полученные на опорных пунктах поправки поступают на определяемые пункты по радиоканалам. Применяются два основных способа дифференциальной коррекции: коррекция координат и коррекция навигационных параметров.

Достижимая точность определений зависит от многих факторов: от длины базисной линии, типа приемника и способа обработки результатов измерений. Это обуславливает проведение экспериментальных исследований по уточнению и оценке точности измерения с помощью ГНСС.

Особенности ГЛОНАС [15]. Контрольные станции (КС) осуществляют траекторные и временные измерения, собирают телеметрическую информацию о состоянии бортовых систем, передают на борт спутников служебную информацию. При планировании работы КС на сутки определяются основные и резервные станции для проведения сеансов измерений, а также закладывается избыточность в измерения. КС имеют тройное резервирование по аппаратуре (один комплект рабочий, второй в резерве, а на третьем проводится профилактика). Коэффициент готовности средств в сеансе измерений и закладки информации на борт спутника близок к единице.

Станции лазерной локации (СЛЛ) предназначены для калибровки радиотехнических каналов измерения дальности контрольных станций. Они размещаются вместе с контрольными станциями и работают в ночное время в условиях хорошей видимости. Калибровка осуществляется периодически по мере необходимости. Центральный синхронизатор (ЦС) в составе группы водородных стандартов частоты формирует системную шкалу времени. Аппаратура контроля поля (АКП) – высокоточная аппаратура потребителя, расположенная на контрольных станциях, имеющих высокоточную привязку, обеспечивает непрерывный контроль характеристик навигационного обеспечения. Система контроля фаз (СКФ) обеспечивает контроль сигнала, излучаемого спутником, с целью измерения фазового и частотного сдвига бортовых эталонов времени и частоты относительно ЦУС.

Время в системе ГЛОНАСС устанавливается системой управления и привязано к шкале универсального координируемого времени UTC (SU), формируемой

Государственным эталоном времени и частоты. Шкала времени ГЛОНАСС формируется шкалой времени ЦС системы, входящего в состав наземного комплекса. Эти шкалы периодически сверяются и вычисляются поправки. Поправки дважды в сутки закладываются на борт каждого спутника. Максимальная погрешность сверки шкал не превышает 15 нс на момент проведения измерений. Шкалы времени ГЛОНАСС и UTS (SU) для согласования со шкалой всемирного времени UT1 подвергаются периодическим коррекциям, проводимым службой времени. Шкала времени каждого спутника ГЛОНАСС может эпизодически подвергаться коррекции с целью недопущения превышения отличия этой шкалы от шкалы времени ЦС более 1 нс. В период сверки шкалы времени спутника со шкалой времени системы и формирования поправок к его шкале, в навигационном сообщении передаются признаки, запрещающие использование этого спутника для целей навигации. Шкала времени системы ГЛОНАСС может отличаться от шкалы времени UTS (SU) не более чем на 1 мс, а погрешность, с которой это отличие передается в навигационном сообщении, не превышает 1 мкс.

Навигационной аппаратурой потребителей системы ГЛОНАСС выполняются беззапросные измерения псевдодальности и радиальной псевдоскорости до четырех (трех) спутников ГЛОНАСС, а также прием и обработка навигационных сообщений, содержащихся в составе спутниковых навигационных радиосигналов. В навигационном сообщении описывается положение спутника в пространстве и времени. В результате обработки полученных измерений и принятых навигационных сообщений определяются три (две) координаты потребителя, три (две) составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется «привязка» шкалы времени потребителя к шкале Госэталона Координированного Всемирного времени UTC(SU). Данные, обеспечивающие планирование сеансов навигационных определений, выбор рабочего «созвездия» навигационных космических аппаратов и обнаружение передаваемых ими радиосигналов, передаются в составе навигационного сообщения.

Сигнал стандартной точности с тактовой частотой 0,511 МГц предназначен для использования отечественными и зарубежными гражданскими потребителями. Сигнал высокой точности с тактовой частотой 5,11 МГц модулирован специальным кодом и не рекомендуется к использованию без согласования с Министерством обороны Российской Федерации. Сигнал стандартной точности является доступным для всех потребителей, которые оснащены соответствующей НАП и в зоне видимости которых находятся спутники ГЛОНАСС. В системе ГЛОНАСС не используется режим преднамеренного ухудшения характеристик навигационного сигнала стандартной точности.

Структура навигационного радиосигнала. Навигационный радиосигнал, передаваемый каждым НКА системы ГЛОНАСС на собственной несущей частоте в поддиапазонах L1 и L2, является многокомпонентным фазоманипулированным сигналом. Фазовая манипуляция несущей осуществляется на π радиан с максимальной погрешностью не более 0,2 радиана. Несущая частота поддиапазона L1 модулируется двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю два псевдослучайного (ПС) дальномерного кода, цифровой информации навигационного сообщения и вспомогательного колебания типа меандр.

Несущая частота поддиапазона L2 модулируется двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю два ПС дальномерного кода и вспомогательного колебания типа меандр. Основой для формирования всех перечисленных компонентов сигнала является бортовой стандарт частоты. Псевдослучайный дальномерный код представляет собой последовательность максимальной длины регистра сдвига (M-последовательность) с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с.

Цифровая информация. Цифровая информация навигационного сообщения подразделяется на оперативную и неоперативную информацию. Оперативная информация относится к тому НКА, с борта которого передается данный навигационный радиосигнал. Неоперативная информация (альманах системы) относится ко всем НКА, входящим в

состав ПКА. Цифровая информация передается со скоростью 50 бит/с.

Система координат Передаваемые каждым НКА системы ГЛОНАСС в составе оперативной информации эфемериды описывают положение фазового центра передающей антенны данного НКА в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90 [11, 10], определяемой следующим образом: Начало координат расположено в центре масс Земли; Ось Z направлена на Условный полюс Земли, как определено в рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS); Ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и нулевого меридиана, определенного Международным бюро времени (ВН); Ось Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой. Геодезическая широта В точки определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора. Геодезическая долгота L точки определяется как угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку. Положительное направление счета долгот – от нулевого меридиана к востоку. Геодезическая высота Н определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки.

Экспериментальная оценка точности. Как уже отмечалось, наличие многих факторов, влияющих на точность спутниковых определений требует проведения экспериментальной проверки [1–3, 16] для выявления влияния этих факторов на точность спутниковых определений. При этом работы должны выполняться в рамках существующего регламента [17].

Одним из перспективных направлений спутникового определения координат является использование режима RTK. Для определения точных относительных координат переносной приемник (ровер) использует первые и вторые разности фазовых измерений [2]. В настоящее время используются специальные протоколы передачи дифференциальных данных (RTCM, CMR, CMR+), алгоритмы обработки фазовых измерений (RTK), глобальные и локальные системы сбора и распределения данных (NTRIP и др.). Многие задачи, в силу своей специфики, могут решаться только с использованием этого режима. К преимуществу кинематики в режиме реального времени можно отнести более высокую производительность и контроль измерений в полевых условиях, а также упрощенную методику обработки и представления результатов измерений.

Выделяют три диапазона работы для RTK систем:

- до 5–10 км – используются более дешевые L1 приемники и менее скоростные протоколы передачи данных;
- до 70 км – возникает необходимость использовать двухчастотные приемники;
- до 1000 км – необходимо создание сети ГНСС-приемников, расположенных на расстоянии не меньшем, чем 70 км друг от друга, и организация совместной обработки данных, т.е. для покрытия зоны в 1 млн км² понадобится $(1000/70)^2 \sim 200$ двухчастотных приемников.

Информацию в цифровом виде имеет определенный формат. Для количественных и числовых данных наиболее распространенные форматы ASCII (текстовый) и бинарный. Режим поддерживается протоколами RTCM V2.3: сообщения 18, 19, 20, 21, RTCM V3: сообщения 1001-1012; CMR: сообщения 0-3; CMR+: сообщения 0,3; DBEN и ATOM (частные протоколы компании Ashtech).

При проведении эксперимента важно исследовать работу RTK режима спутниковых приемников в статике и в динамике. Это необходимо сделать для: получения и анализа статистической информации о RTK измерениях спутниковых приемников, находящихся в одинаковых условиях; анализа влияния движения подвижного приемника на результаты измерений; оценки эффективности применения режима RTK для решения геодезических задач.

Программа выполнения эксперимента включала [3, 16] несколько этапов:

- определение точных координат L1 фазового центра рабочей антенны (ANT1) с

использованием в качестве опорных пунктов – пункты IGS (International GPS Service – Международная GPS-служба);

– оценка стабильности работы и определение расхождений между точными координатами рабочей антенны и выдаваемого положения приемников, работающих в режиме RTK (статика);

– оценка стабильности работы и выдаваемого положения подвижных приемников, подключенных к одной антенне, работающих в режиме RTK в движении (динамика); статистическая оценка результатов; анализ полученных результатов. В рамках данного исследования целые числа градусов изменены.

Для определения координат L1 фазового центра антенны применялся метод фазовых измерений. В качестве опорных пунктов были выбраны два пункта IGS сети, находящиеся в ближайшем Подмосковье. Таким образом, для выполнения задачи по определению координат L1 фазового центра рабочей антенны были использованы два пункта IGS службы, которые являются ближайшими к Москве, опорные пункты ZWE2 (г. Звенигород, МО) и MDVJ (г. Менделеево, МО). Решение данной задачи подразумевает следующие этапы работ:

- сбор «сырых» данных в течение 72 ч на стационарном пункте с интервалом регистрации данных 1 с. При этом используется двухчастотный ГЛОНАСС/GPS-приемник ProFlex500 компании Ashtech;

- получение «сырых» данных и точных координат базовых станций ZWE2 и MDVJ путем запроса через каналы Интернет с сайта [http:// igsb.jpl.nasa.gov/](http://igsb.jpl.nasa.gov/);

- обработка «сырых» данных, полученных со станций ZWE2, MDVJ и ANT1 (рабочая антенна) с помощью программы для постобработки;

- анализ полученных данных; представление полученного результата. После проведения описанных выше этапов были получены координаты для ANT1 с использованием программы постобработки GNSS Solutions V.3.50.01 (таблицы 1, 2). Эксперименты показали [3] почти одинаковый результат (плановое расхождение оценивается на уровне миллиметров, высотное – сантиметров). Для последующего использования применяют уравненные координаты.

Интерес представлял эксперимент с подвижным объектом [3, 16]. Были проведены два полевых эксперимента с различным типом спутникового оборудования. В ходе эксперимента базовый приемник (ProFlex 500) был подключен к рабочей антенне. Антенна была расположена в Москве (приблизительные координаты: $B = 50^{\circ}39'N$, $L = 32^{\circ}37'E$, $H = 268$ м).

Подвижные приемники через сплиттер были подключены к одной антенне, которая при помощи магнитного трегера была установлена на крыше автомобиля. Для передачи RTK коррекций с базового приемника подвижному использовался пакетный протокол передачи данных TCP/IP. Для этого эксперимента в качестве подвижных приемников были выбраны платы MB500 и BD 960.

Подвижные приемники были настроены для работы в режиме RTK rover и имели одинаковые начальные настройки: угол возвышения 5° , FST, ON, динамика – адаптивная, интервал выдачи ASCII данных в формате NMEA 0183 (сообщения GGA, GSV+»сырые» данные в бинарном виде) равен 1 с (1 Гц). Базовый приемник находился на расстоянии приблизительно 2 км и передавал дифференциальные коррекции в протоколе RTCM V3.0 сообщения 1004; 1012; 1006; 1033. Динамика движения автомобиля включала движение с примерной скоростью 3–5 км/ч на открытой местности (рисунок 1).

При этом моделировались разные информационные ситуации [19, 20] по проверке сигнала и оценке точности. Для информационной ситуации, характеризующей хорошие условия (рисунок 1 а) наблюдения на открытом пространстве, сходимости вычисленных плановых координат приемника MB500 не превышает величины 0,010 м, однако присутствует один скачок позиции на 0,020 м. Тип решения – fixed RTK. Сходимость вычисленных плановых координат приемника BD960 на этом интервале исследования

оценить невозможно из-за частых разовых скачков (до 1,4 м) координат. Тип решения также изменяется с fixed RTK на float RTK и на DGPS.

Данная часть эксперимента была повторена, сходимость вычисленных плановых координат приемника BD960 не превышает величины 0,010 м, присутствует разовый скачок координат на 0,035 м. Тип решения – fixed RTK

Для информационной ситуации, характеризующейся частично ограниченной видимостью спутников (под деревом, рисунок 1 б) наблюдается возросший уровень шумов (в сравнении с вариантом а).



Рисунок 1 – Различные информационные ситуации при проверке кинематического режима

Сходимость вычисленных плановых координат не превышает величины 0,020 м у приемника MB500 и 0,030 м у приемника BD960. Тип решения – fixed RTK

Для информационной ситуации, характеризующейся сильно ограниченной видимостью спутников, сходимость вычисленных плановых координат приемников MB500 и BD960, в целом, не превышает величины 0,020 м, хотя и присутствуют скачки до 0,065 м, вызванные сильным затенением спутников и возможным эффектом многолучевости. Эта ситуация показана на рисунке 1 в (нижняя точка заезда на подземную стоянку).

Информационная ситуация на рисунке 1 г характеризует идеальные условия и служит эталоном.

В результате исследований подтверждено, что средняя квадратическая ошибка пространственного положения наземного пункта сильно зависит от затенения спутниковых созвездий, динамики движения и длины базисной линии. Результаты и полученный диапазон точностей свидетельствуют о высокой эффективности применения режима RTK для решения широкого спектра навигационно-геодезических задач и необходимости рассмотрения вопроса создания. Погрешности лежат в пределах 0,01–0,03 м, при наличии скачков измерений до 0,08 м.

В этом эксперименте скорость подвижного объекта с ровером лежала в пределах 3–5 км/ч. Результаты эксперимента опровергают ряд публикаций Матвеева С.И., Железнова М.М. о возможности получения в режиме RTK погрешности 0,001 м (в десять раз меньшей) не соответствуют действительности. При этом в их теоретическом эксперименте применялась более вибрационная железнодорожная платформа, которая перемещалась со

скоростью 40 км/час и выше. То есть скорость движения в 10–15 раз больше. Дополнительный фактор – повышение скорости движения приводит к уменьшению времени получения координат, что еще больше увеличивает погрешность. Это делает недостоверными результаты публикаций С.И. Матвеева и М.М. Железнова.

Заключение

Совет международной организации гражданской авиации (ИКАО) принял ряд решений, существенно повышающих требования к картографо-геодезическому обеспечению авиации. Основными из них являются: точность определения координат элементов инфраструктуры аэропортов; наличие систем раннего предупреждения о потенциально опасной близости земной поверхности с соответствующей базой данных; переход в сфере обмена картографо-геодезической информацией на международные стандарты (ISO); создание на районы аэропортов целого ряда специальных карт и геоинформационных систем. Данные решения могут быть реализованы на основе использования комплекса методов, включающих спутниковые системы. Это говорит о значении и преимуществе подхода, использующего спутниковые технологии. Преимущества использования спутниковых систем следующие.

1 При использовании традиционных наземных геодезических методов неизбежно возникала потребность обеспечения прямой видимости между смежными определяемыми пунктами при ограничении длин измеряемых линий. Современные технологии спутниковых измерений дают возможность проведения высокоточных геодезических измерений при отсутствии прямой видимости. При этом длина измеряемых линий не лимитируется и может превышать сотни и даже тысячи километров.

2 При производстве традиционных геодезических измерений требуется прямая и оптическая видимость между пунктами. Это требует выбора хороших условий видимости и времени суток.

3 Спутниковые методы определения координат являются всепогодными и могут использоваться в любое время суток и в любое время года. При этом возрастает производительность труда полевых бригад и увеличивается экономическая окупаемость аппаратуры.

4 Большинство традиционных геодезических методов приспособлено для выполнения измерений между неподвижными пунктами, что негативно сказывается на развитии динамических методов, ставящих целью определение координат подвижного объекта. Спутниковые методы позволяют определять координаты подвижного объекта.

5 При мониторинге и изучении деформаций инженерных сооружений появляется необходимость частых или непрерывных во времени, измерений. Традиционные геодезические методы не пригодны для организации таких наблюдений, а для спутниковых методов такой проблемы не возникает.

6 Долгое время геодезические методы были ориентированы на раздельное создание двух видов сетей плановых и высотных. Это обусловлено недостаточной универсальностью традиционных приборов и методов, не позволяющих с нужной точностью определить все три координаты пунктов. В результате имела место взаимная изолированность высотных и плановых сетей. Спутниковые технологии дают такую возможность связывать воедино три измерения.

7 Традиционные методы характеризуются сравнительно низким уровнем автоматизации измерений и последующей обработки. Это сильно снижает производительность труда. При спутниковых измерениях практически все процессы измерений и последующих вычислений автоматизированы.

Перечисленные позитивные характеристики спутниковых технологий служат основой перспективности их применения в прикладной геоинформатике.

Литература

1. *Куприянов А.О., Пичугина Т.А.* Исследование интегрированной картографо-геодезической спутниковой аппаратуры для инвентаризации земель и недвижимости // Кадастровый вестник. 2006.

№ 3. С. 41–43.

2. *Куприянов А.О., Кузнецов С.П.* Локальные преобразования систем координат, реализованные в программных пакетах по обработке спутниковых измерений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 3. С. 3–9.

3. *Куприянов А.О., Климовский А.М.* Экспериментальная оценка эффективности применения режима кинематики в реальном времени для решения навигационно-геодезических задач // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 1. С. 3–10.

4. *Куприянов В.В., Девяткин А.В.* Калибровка углоизмерительных инструментов по ПЗС-наблюдениям звездных площадок // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 4. С. 8–12.

5. *Tsvetkov V.Ya.* Information field // Life Science Journal. 2014. № 11(5). Pp. 551–554.

6. *Бондур В.Г.* Информационные поля в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 2(10). С. 107–113.

7. *Цветков В.Я.* Естественное и искусственное информационное поле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 5. Ч. 2. С. 178–180.

8. *Ожерельева Т.А.* Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10. С. 21–24.

9. *Tsvetkov V.Ya.* Information Space, Information Field, Information Environment // European Researcher. 2014. Vol. (80). № 8-1. Pp. 1416–1422. DOI: 10.13187/issn.2219-8229

10. *Генике А.А., Побединский Г.Г.* Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. М.: Картоцентр, 2004. 355 с.

11. *Соловьев М.Д.* Системы спутниковой навигации. М.: ЭКОТРЕНДЗ, 2000. 268 с.

12. *Розенберг И.Н., Альтшулер Б.Ш., Самратов У.Д.* О концепции создания инфраструктуры пространственных данных с использованием спутникового позиционирования // Автоматика, связь, информатика. 2005. № 10. С. 19–23.

13. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2001. 224 с.

14. *Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я.* Прикладная геоинформатика. М.: МаксПресс, 2005. 360 с.

15. *Розенберг И.Н., Савиных В.П., Цветков В.Я.* Практическое применение ГЛОНАСС // Российский космос. 2009. № 2. С. 24–27.

16. *Куприянов А.О., Климовский А.М.* Экспериментальные исследования динамического режима кинематики в реальном времени относительно движущейся базовой станции // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 2. С. 17–19.

17. РТМ 68–14–01. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения. М.: ЦНИИГАиК, 2001. 28 с.

18. *Richard B. Langley.* RTK GPS. GPS World. January. 1999.

19. *Розенберг И.Н., Цветков В.Я.* Информационная ситуация // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 12. С. 126–127.

20. *Соловьев И.В.* Применение модели информационной ситуации в геоинформатике // Науки о Земле. 2012. № 01. С. 54–58.

Use gnss in aplaid geoinformatics

Andrey Olegovich Kupriyanov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Applied Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography

Viktor Yakovlevich Tsvetkov, Professor, Doctor of Technical Sciences. Center fundamental and advanced research, the deputy head. Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, JSC NIIAS – HEAD OFFICE

This article describes the features of the use of global navigation satellite systems in applied geoinformatics. The article argues that global navigation satellite systems create an artificial information field. This information field is the basis of measurements of coordinates. The article describes the concept and the technical principles of this system. This article describes a number of factors that influence the positioning accuracy. The article proves the necessity of an experimental study of the influence of factors on the accuracy of positioning. The article describes the results of an experimen.

Keywords: *applied computer science, global navigation satellite systems, the information situation, coordinate measuring*