

УДК 502 5:504 61 (574)

Б.Ж. Бекмурзаев*, Х.М. Касымканова,
Г.К. Джангулова, Д.Ж. Бастаубаева, Г.К. Байдаулетова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы
*E-mail: batyrkhan53@mail.ru

Основы спутниковых технологий в геодезии

Планируемое создание государственной спутниковой геодезической сети, установление государственной системы координат и недостаток информации по данному направлению делают необходимым уделить внимание основам спутниковых технологий в геодезии.

Ключевые слова: геодезия, геоинформатика, спутниковая геодезическая сеть, государственная система координат.

B.Zh. Bekmurzaev, Kh.M. Kassymkanova,
G.K. Jangulova, D.Zh. Bastaubaeva, G.K. Baidauletova
Bases of satellite technologies are in a geodesy

Planned creation of state satellite geodesic network, establishment of the state system of coordinates and lack of information, to this direction does a necessity to pay attention to bases of satellite technologies in a geodesy.

Key words: geodesy, geoinformatics, satellite geodesic network, state system of coordinates.

Б.Ж. Бекмурзаев, Х.М. Касымканова,
Г.К. Джангулова, Д.Ж. Бастаубаева, Г.К. Байдаулетова
Геодезиядағы серіктік технологиялардың негіздері

Жоспарланып отырған мемлекеттік геодезиялық серіктік торды құрастыру, координаталар жүйелерін анықтаудағы ақпараттың жеткіліксіздігі геодезиядағы серіктік технологиялардың негіздеріне аса үлкен назар аударуды талап етеді.

Түйін сөздер: геодезия, геоинформатика, серіктік геодезиялық тор, мемлекеттік геодезиялық тор жүйелері.

Введение

Постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 года № 1463 в качестве государственных систем координат введены ГСК-2-11 и ПЗ-90.11, что создает благоприятные условия для развития и широкого применения спутниковых систем позиционирования [1]. Аналогичный проект создания государственной спутниковой геодезической сети и установления государственной системы координат был предоставлен на заседании Правительства РК [2]. Большинство высокоразвитых стран в значительной сте-

пени уже сформировало национальные (государственные) системы координат, оптимально ориентированные на сохранение и развитие геодезического потенциала, и принимают активное участие в международных проектах по созданию общеземной геоцентрической системы координат.

В настоящее время в Республике Казахстан установлена единая государственная система координат 1942 года (СК-42). В 1991 году она была уравнена с использованием последних достижений науки и технологий. Было выявлено, что по мере удаления от исходного пункта Пул-

ково поправки к координатам возрастают. На территории Казахстана поправки достигают от 3 до 7 метров, а современное геодезическое оборудование предназначено для работы на основе спутниковых технологий с точностью 2 см [2]. Ск-42 имеет гриф «секретно», что затрудняет получение геодезических и картографических материалов в различных отраслях экономики и промышленности, ограничивает доступ негосударственных структур, юридических и физических лиц, в том числе иностранных инвесторов.

Задачей науки является разработка методических основ оптимального создания государственной спутниковой геодезической сети и установления государственной системы координат с сохранением потенциала существующих геодезических сетей с использованием опыта построения геодезических сетей в наиболее информационно развитых странах мира.

Объект исследования

При определении длин свето- и радиодальномерными наземными приборами распространен двусторонний метод измерения расстояния, при котором сигналы, несущие информацию, проходят искомое расстояние дважды [3]. При этом обычно используется оптический диапазон электромагнитных волн.

Но при спутниковых технологиях выбран односторонний дальномерный принцип, дающий возможность одновременного выполнения измерения расстояний между спутником и неограниченным количеством приемников на земной поверхности. При этом для потребителя создается массовая, портативная, экономичная аппаратура без наличия радиопередающей аппаратуры. Причем используется обычно ультракоротковолновый (в частности дециметровый) диапазон радиоволн, сводящий к минимуму влияние атмосферы и охватывающий всю видимую со спутника часть земной поверхности. При этом информационный сигнал проходит искомое расстояние ρ только в одном направлении. Если при этом моменты излучения и приема данного сигнала зафиксированы точно синхронизированными часами, расположенными на спутнике и на приемнике, и которые реализуются на базе высокостабильных опорных генераторов, то расстояние определяется по формуле:

$$\rho = v_* t$$

Так как электромагнитные волны проходят за одну наносекунду ($1 \text{ нс} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ с}$) расстояние около 30 см, то для получения необходимого для современной геодезии сантиметрового уровня точности нужна синхронизация часов с погрешностью сотых долей наносекунды. Но пока это невозможно, поэтому применяют понятие «псевдодальность», значение которой вычисляется по формуле:

$$R = \rho + v_* \delta t, \quad (1)$$

где ρ – искомое расстояние, $v_* \delta t$ – поправочный член.

Исходные данные и методы исследования

При реализации спутниковых систем позиционирования на основе односторонних методов измерения расстояний выделяются две основные части: передающее устройство на спутнике и приемно-вычислительный комплекс потребителя. Но для поддержания постоянной работоспособности такой спутниковой системы необходима служебная подсистема управления и контроля. Поэтому современные спутниковые системы позиционирования состоят из трех основных секторов (рисунок 1):

- 1) космический сектор;
- 2) сектор управления и контроля;
- 3) сектор потребления.

Космический сектор состоит из системы спутников позиционирования (созвездие). Передающая аппаратура спутников излучает радиосигналы, в том числе содержащие навигационные сообщения, в которых содержится информация об эфемеридах спутников, о поправках к показаниям его часов, о так называемом альманахе, несущем усеченную информацию о всех входящих в «созвездие» спутниках и т.п. На каждом спутнике установлены солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, атомные эталоны частоты – времени.

Сектор управления и контроля включает главную станцию управления, альтернативную главную станцию управления, 12 командных станций управления и 16 станций мониторинга [4]. Спутники проходят над станциями два раза в сутки. Собранный на станциях информацию об орбитах используют для прогнозирования координат спутников.

Сектор потребления объединяет в себе аппаратуру всех многочисленных пользователей,

с помощью которой осуществляется прием радиосигналов от спутников и вычисление на их основе позиционных характеристик.

Наиболее полными глобальными системами позиционирования на сегодняшний день являются американская система Global Positioning

System (GPS) и российская Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС). Высота орбит их спутников – около 20 000 км, период обращения – примерно 12 часов, на орбите для обеспечения постоянной видимости 4-х спутников их должно быть не менее 24.

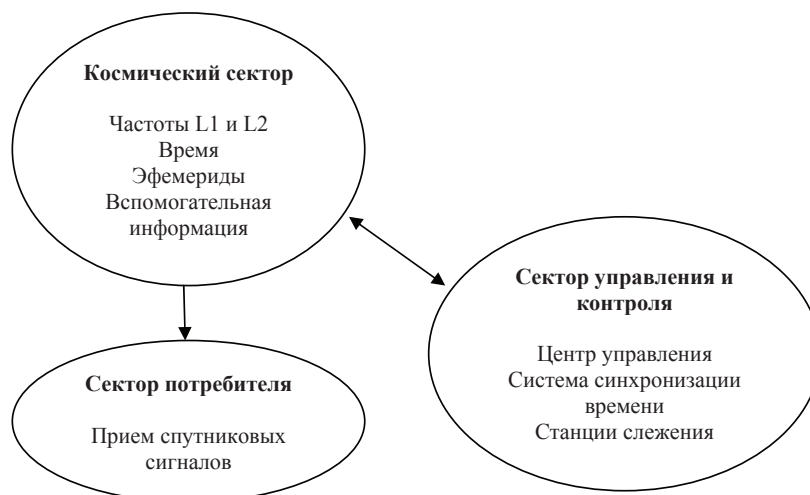


Рисунок 1 – Схема взаимодействия трех основных секторов глобальных систем позиционирования

Проектирование системы GPS было начато в 1973 году. С момента запуска первого спутника в 1978 году спутники постоянно модифицировались. С 1978 г. по 1985 г. было запущено 11 спутников, входящих в группу модификации Блок-I, масса которых была 525 кг [6]. За период с 1989 г. по 1997 г. на орбиты было выведено 28 спутников, входящих в Блок-II. Основные отличительные особенности этого блока следующие:

- расчетный срок активного существования спутника – 5 лет, масса – 844 кг;
- введена дополнительная защита кодированных сигналов от несанкционированных пользователей.

С 1998 г. на орбиту выводились спутники, входящие в Блок-II R. Их отличительные особенности:

- расчетный срок активного существования спутника – 10 лет, масса – 1044 кг;
- спутники могут передавать пользователям качественную информацию без контакта с сектором контроля и управления в течение 14 суток.

Запуск спутников системы ГЛОНАСС был начат в 1982 г. До 1998 года их было запущено 74, большинство из которых к настоящему времени выведены из эксплуатации. На 10 февраля

2000 г. оставалось 8 активных спутников. Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система» предусматривается не только укомплектование орбитальной группировки, но также упрощение доступа к информации о ГЛОНАСС для гражданских пользователей.

Спутники излучают радиосигналы на двух частотах, обозначаемых L1 и L2, для того чтобы исключить из измерений существенные временные задержки, возникающие при прохождении ионосферы. В GPS все спутники работают на одинаковых частотах, при этом частоте L1 соответствует длина волны 19.0 см, а частоте L2 – длина волны 24.4 см. В ГЛОНАСС значения частот L1 и L2 у каждого спутника свои, близкие к 19 и 24 см.

Аппаратура пользователей достигла также высокого уровня. Они могут быть ориентированы как на использование спутников одной системы, так и на одновременное использование спутников обеих систем GPS и ГЛОНАСС.

Результаты

Все современные спутниковые приемники являются многоканальными, с числом кана-

лов 6 и более. Каждый канал следит за своим спутником. При позиционировании проблемой являются искажения радиосигнала из-за таких препятствий, как рельеф, деревья, здания и т.д. Чем больше каналов, тем легче найти необходимое количество видимых спутников.

Дальности определяют двумя методами: кодовым (стандартная точность) и фазовым (более точные измерения).

По конструктивным особенностям приемники различают [5]:

- односистемные, ориентированные на прием сигналов одной системы – либо GPS либо ГЛОНАСС;

- двухсистемные, принимающие сигналы как со спутников GPS, так и ГЛОНАСС;

- одночастотные, работающие только на частоте L1;

- двухчастотные, выполняющие измерения на частотах L1 и L2;

- кодовые приемники, работающие только с дальномерными кодами;

- фазово-кодовые приемники, применяющие дальномерные коды и фазовые измерения.

При кодовом методе определения позиции используются дальномерные коды, представляющие собой определенную последовательность импульсов. Обычно их обозначают символами 0 и 1. Код должен иметь значительную продолжительность и случайное распределение 0 и 1, тогда два кода коррелируют лишь тогда, когда они полностью совмещены друг с другом. На спутнике и приемнике синхронно генерируются одинаковые коды. Код в приемнике представляет собой копию кода видимого спутника. Принятый в приемнике код спутника запаздывает по отношению к коду приемника на время, пропорциональное пройденному им расстоянию. Время распространения сигнала, следовательно и дальность его распространения от спутника до приемника, определяют задержкой местного кода до обнаружения сильной его корреляции с кодом, принятым со спутника.

Если отсчеты по всем каналам приемника, принимающим сигналы от разных спутников, одновременны, то отличия псевдодальностей (1) от дальностей до любого спутника будут одинаковыми. Это отличие может быть исключено введением его в качестве дополнительного неизвестного в уравнение позиционирования.

Генерируют коды двух типов: стандартной и высокой точности. Стандартной точности код GPS обозначают C/A – код. Инструмен-

тальная погрешность может составлять несколько метров.

Код высокой точности вернее, сложнее, имеет значительную продолжительность, хорошо защищен от несанкционированного вмешательства и используется в военных целях. В GPS он обозначается как P-код. Инструментальная погрешность определения псевдодальностей составляет несколько дециметров.

Коды высокой точности передаются на обеих несущих частотах: L1 и L2. Гражданские – только на L1.

Фазовый метод определения дальностей наиболее точный. Инструментальная погрешность метода не превышает 1-2 мм. При фазовом методе измерений возникает сложная проблема разрешения неоднозначности, обусловленная тем, что отсутствует возможность счета целого числа (N) уложений длины волны в измеряемом расстоянии.

Спутниковое позиционирование – определение с помощью спутников параметров пространственно-временного состояния объектов, таких, как координаты, вектор скорости его движения, разности координат двух объектов, точное время наблюдения.

Существуют два способа позиционирования: автономный и дифференциальный.

При автономном способе пользователь работает с одним приемником, дальность измеряется кодовым методом. Точность определения координат оценивается погрешностью около 30 м. Можно повысить точность автономного способа продолжительными наблюдениями [5].

В отличие от автономного способа, дифференциальный способ требует выполнения измерений одновременно двумя приемниками. Один приемник располагают на пункте с известными координатами. Его называют контрольно-корректирующей станцией (ККС). Способ тем точнее, чем меньше расстояние от подвижного приемника до ККС.

Точность дифференциального способа при кодовом методе измерения дальностей колеблется в диапазоне от дециметров до нескольких метров. При фазовом методе точность повышается до 1-5 см.

Основными функциями приемно-вычислительного комплекса являются:

- 1) прием радиосигналов от наблюдаемых спутников [3];

- 2) организация определений регистрируемых величин;

3) выполнение предварительных обработок.

Вспомогательными задачами аппаратуры потребителя с прилагаемым к ней программным обеспечением являются:

1) селекция, т.е. отделение принимаемых радиосигналов конкретного спутника от сигналов других спутников, захват данного сигнала и последующее его отслеживание на протяжении всего сеанса связи;

2) демодуляция и декодирование принятых сигналов с целью их подготовки к выполнению измерений интересующих пользователя величин;

3) расшифровка передаваемого со спутника навигационного сообщения;

4) текущее управление всем процессом наблюдений и выполняемых аппаратурой измерениями;

5) предварительная обработка результатов измерений и организация их хранения с использованием устройств памяти.

Все перечисленные выше функции реализуются на основе использования обобщенной структурной схемы приемной аппаратуры потребителя (рисунок 2).

Геодезические сети, создаваемые спутниковыми технологиями, разделяют на глобальные, континентальные, национальные, региональные и локальные. Применительно к США это: совокупность федеральной опорной сети, объединенной опорной сети и пользовательской сети сгущения. В Российской Федерации предусмотрено построение на основе спутниковых технологий фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), высокоточная геодезическая сеть (ВГС) и спутниковая сеть 1 класса СГС-1.

Возможности современных спутниковых технологий, проявляющиеся в точном и оперативном определении координат пунктов, расположенных в пределах земного шара, были использованы для создания глобальной опорной геодезической сети [3].

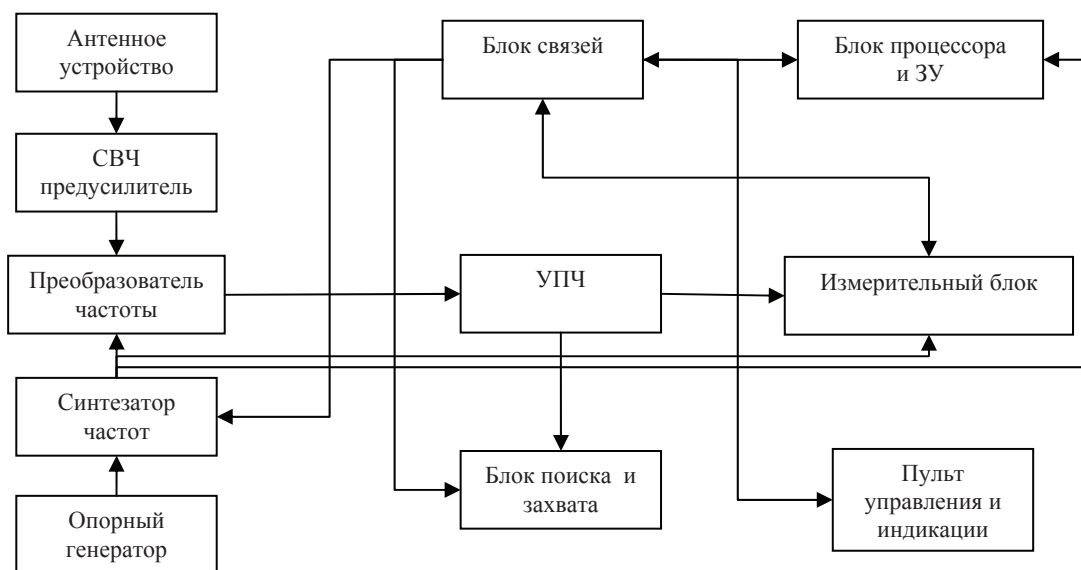


Рисунок 2 – Упрощенная обобщенная структурная схема GPS приемника

Выводы

Мониторинг, проводимый на пунктах глобальной геодезической сети, позволяет периодически уточнять координаты этих пунктов, вычислять точные значения эфемерид спутников систем позиционирования. Спутниковые наблюдения позволяют изучать геодинамические явления, происходящие в земной коре, ио-

носфере, тропосфере и т.д. Ведутся работы по построению и эксплуатации глобальной сети постоянных GPS пунктов. В число постоянных пунктов Международной службы GPS для геодинамики (IGS) на территории Республики Казахстан включены Петропавловск и Чимкент.

Необходимость учета характерных для конкретных континентов факторов (тектонические движения Австралийской плиты составляют

примерно 70 мм в год [7]), оказывающих влияние на изменения с течением времени значений определяемых координат, обусловило целесообразность построения континентальных опорных геодезических сетей. Примером континентальной сети служит Европейская геодезическая сеть (EUREF), созданная на базе при участии 16-ти европейских стран, где наряду с GPS предусматриваются измерения с помощью спутниковых лазерных дальномерных систем (SLR) и радиointерферометров со сверхдлинной базой (VLBI).

Наряду с глобальной и континентальными геодезическими сетями, создаваемыми на основе спутниковых технологий, аналогичные подходы используются и при построении национальных опорных геодезических сетей, обеспечивающих наиболее рациональное и эффективное практическое определение координат и высот пунктов на всей территории страны с точностями, требуемыми для решения возможно более широкого круга научно-технических и производственных задач.

Литература

- 1 Постановление правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат»
- 2 18 июня 2012 г. – В Казахстане будет создана государственная спутниковая геодезическая сеть. <http://www.nomad.su/?a=3-201406180011>
- 3 Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Картоцентр, 2004. – 355 с.
- 4 Control Segment. /<http://www.gps.gov/systems/gps/control>.
- 5 Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с. (Классический университетский учебник).
- 6 Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 200. – 267 с.
- 7 Методические вопросы построения глобальных и региональных геодезических сетей. <http://www.credo-dialogue.com/getattachment/9f031f06-18a0-4332-b1f9-419c2c122c1f/Global--i-regional-seti.aspx>

References

- 1 Postanovlenie pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 dekabrja 2012 g. № 1463 «O edinyh gosudarstvennyh sistemah koordinat»
- 2 18 ijunja 2012 g. – V Kazahstane budet sozdana gosudarstvennaja sputnikovaja geodezicheskaja set'. <http://www.nomad.su/?a=3-201406180011>
- 3 Genike A.A., Pobedinskij G.G. Global'nye sputnikovyje sistemy opredelenija mestopolozhenija i ih primenenie v geodezii. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – M.: Kartocentr, 2004. – 355 s.
- 4 Control Segment. /<http://www.gps.gov/systems/gps/control>.
- 5 Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. i dr. Geoinformatika: ucheb. dlja stud. vuzov / pod red. V.S. Tikunova. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2005. – 480 s. (Klassicheskij universitetskij uchebnyk).
- 6 Solov'ev Ju.A. Sistemy sputnikovoj navigacii. – M.: Jeko-Trendz, 200. – 267 s.
- 7 Metodicheskie voprosy postroenija global'nyh i regional'nyh geodezicheskijh setej. <http://www.credo-dialogue.com/getattachment/9f031f06-18a0-4332-b1f9-419c2c122c1f/Global--i-regional-seti.aspx>