

# ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

**Б.Б. Серапинас** (МГУ им. М.В. Ломоносова)

В 1958 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженерная геодезия». После окончания института работал в Якутском АГП. С 1963 г., после окончания аспирантуры, преподавал в МИИГАиК. С 1973 г. работает в МГУ им. М.В. Ломоносова, в настоящее время — профессор кафедры картографии и геоинформатики географического факультета. Доктор географических наук.

Число систем навигации и позиционирования в мире постоянно растет. Кроме действующих глобальных систем GPS и ГЛОНАСС, разрабатываемых Galileo и Compass, работает региональная Beidou (КНР) и подготавливаются системы регионального назначения QZSS (Япония) и IRNSS (Индия). Функционируют и развиваются спутниковые уточняющие подсистемы SBAS. В наличии имеется множество публикаций с описанием этих систем, используемых приборов и программ. Ими заполнен Интернет. В связи с этим обратил внимание на некоторые принципиальные моменты, касающиеся описания систем навигации и позиционирования.

**Терминология.** Навигация и позиционирование — основные термины для данного случая. Часто их применяют как синонимы. В действительности они родственны, но не тождественны. Термин «навигация» происходит от латинского слова *navigatio*, где *navigo* означает «плыть на судне». Задачами навигации являются: управление движением аппарата в данном пространстве, включая выбор оптимального пути (траектории) перемещения, определение местоположения, направления, скорости и других параметров движения [1]. Навигация отвечает на вопросы типа: «Где я сейчас нахожусь?» и «Как добраться из пункта А в пункт В?» [2].

Термин «позиционирование» связан со словом «позиция», происходящим от латинского *positio* — «положение» [1]. В русском языке это слово применяется в математике, искусстве, политике, военном деле и др. В картографо-геодезическую практику термин «позиционирование» вошел благодаря широкому распространению спутниковых приемников GPS. О важности этого термина можно судить по частоте его упоминания в Интернет. В начале 2010 г. поисковая система Google нашла 1,2 млн статей, в которых использовалось данное слово, и 32,6 млн статей, в которых встречался его английский эквивалент *positioning*. Это свидетельствует о значительном распространении термина во многих научных и прикладных сферах человеческой деятельности.

В картографо-геодезическом понимании термин «позиционирование» связан с процессом определения координат. Он отвечает на вопрос: «Каковы координаты объекта на данный момент измерений?». Понятие «позиционирование» характеризует как процесс определения координат отдельного пункта, так и процесс определения вектора между двумя пунктами. Система таких векторов, соединяющих пункты, образует геодезическую сеть. Координаты ее пунктов получают лишь после уравнивания измерений. Ана-

логами таких понятий в классической геодезии являются, например, засечка и триангуляция. Засечкой находят координаты отдельного пункта. Триангуляция — метод определения координат системы пунктов, основанный на построении на местности сети треугольников или других замкнутых геометрических фигур и уравнивании по способу наименьших квадратов совокупности выполненных в этой сети угловых, линейных и астрономических измерений.

Несмотря на широкое использование термина «позиционирование», все же иногда предлагается отказаться от него и заменить словами «определение координат». Вряд ли это правильно. Термин «определение координат» является обобщающим, применимым к любым способам их установления, в то время как слово «позиционирование» указывает на специфику применения конкретных средств и процессов при решении этих задач.

Недостатком термина «позиционирование» является его широкое использование во многих сферах, не имеющих отношения к спутниковым системам; прежде всего, это сферы экономики, маркетинга, финансового дела, психологии и др. Возможно, по этим причинам появился новый термин — «геопозиционирование». Он пока распространен меньше своего предшественника. Поисковой системой

Google в Интернет это слово обнаружено в 8 тыс. статей. Его английский эквивалент geopositioning встречается чаще — в 392 тыс. статей. Термин толкуют по-разному: от любого метода определения координат точек, привязки набора данных к наземным контрольным пунктам до определения координат объектов лишь по данным дистанционного зондирования.

Термин «геопозиционирование» активно используется в системах лазерной локации земли и леса, где введено еще одно понятие — «прямое геопозиционирование», полностью свободное от необходимости проведения каких-либо наземных геодезических работ и затратных процедур по камеральной обработке данных [2].

Представляется, что термин «геопозиционирование» должен отражать те же свойства, что и его предшественник «позиционирование». Он должен обращать внимание на специфику средств и методов определения координат. Поэтому под геопозиционированием следовало бы понимать определение координат географических объектов в фиксированное время в заданной земной системе отсчета именно посредством применения глобальных систем навигации и спутниковых методов позиционирования.

Этот новый термин уже нашел отражение в учебных программах. Например, в Уральском государственном горном университете за кафедрой «Геоинформатика» закреплена учебная дисциплина «Геопозиционирование». Целью дисциплины является знакомство с теоретическими, методическими и технологическими основами современных систем позиционирования, а также изучение различных типов спутниковых приемников и возможностей их применения в геолого-геофизических работах [3].

Другой пример. В Университете Нового Южного Уэльса (Сидней, Австралия) в учебной программе подготовки магистров и дипломированных специалистов по геоинформатике предусмотрен обязательный курс «Основы геопозиционирования» (Fundamentals of Geopositioning). В рамках курса изучаются геодезические и спутниковые основы позиционирования. Наряду с этим обязательным курсом предусмотрен еще ряд дисциплин на выбор по желанию студентов для более детального изучения высокоточных GPS-технологий [4].

В рассматриваемом случае существенно то, что термины «позиционирование» или «геопозиционирование» указывают на специфические способ и средства определения пространственно-временного положения объектов в заданной земной системе отсчета координат и известной системе счета времени.

Иногда встречаются высказывания, свидетельствующие о невосприятии такого специфического термина, как «псевдодальность». Предлагается заменить его, например, словосочетанием «длина линии». Это не одно и то же. Под термином «псевдодальность» понимается результат измерения расстояния беззапросным методом при помощи электромагнитных волн, когда шкала времени приемника строго не синхронизирована с аналогичной шкалой передатчика. Следовательно, псевдодальность — это еще не длина линии. Для того, чтобы получить длину линии, нужны дополнительные усилия. Например, при реализации линейной пространственной засечки с этой целью минимальное число наблюдаемых спутников увеличивается с трех до четырех. В Интернет поисковая система Google нашла 2,3 тыс. статей на русском языке со словом «псев-

додальность» и 147 тыс. с его английским эквивалентом pseudorange.

**Функциональная схема спутниковых систем.** Обратим внимание на некоторые особенности описания принципов работы спутниковых систем. Так, при изучении систем ГЛОНАСС и GPS отмечают три главных сегмента: наземный комплекс управления (НКУ), сегмент созвездия космических аппаратов (КА) и сегмент аппаратуры пользователей. Сегмент НКУ включает главную станцию с вычислительным центром, станции слежения за спутниками и загрузки данных на борт каждого КА. Станции слежения собирают траекторную информацию о спутниках, данные о состоянии атмосферы и др. Собранная информация пересылается на главную станцию для анализа и обработки. В дальнейшем для каждого спутника формируется пакет данных, позволяющих определять в интервале нескольких часов его точные текущие координаты (эфемериды) и данные о состоянии его «здоровья». В пакет включается такая же, но менее точная, информация обо всех спутниках (альманах). Все это с главной станции пересылается в наземные станции для загрузки на борт каждого КА. Со спутников информация, в виде навигационного послания, передается в приемники пользователей. Приемник пользователя и передатчик спутника образуют беззапросный радиодальномер. На основе измерений этим радиодальномером кодовым или фазовым методами псевдодальностей вычисляются координаты приемника.

Все правильно, только не совсем ясно, на какой основе формируются эфемериды и альманах. Представляется, что современная функциональная схема, объясняющая принципы работы спутниковой системы,

должна быть более содержательной и полной, отражающей сущности как радиотехнической, так и геодезической составляющих. В данном описании геодезическая часть отсутствует. Функциональная схема должна включать еще ряд блоков, вскрывающих сущность координатно-временного обеспечения работы системы. К тому же, чтобы система могла решать не только навигационные задачи, но и задачи высокоточного позиционирования, должен быть учтен мировой опыт эксплуатации GPS и непрерывные изменения отсчетной координатной основы. Предлагается возможный вариант новой функциональной схемы, изображенной на рис. 1.

**Координатно-временная система отсчета.** В схеме не лишним будет выделить блок, объясняющий сущность служб времени и геодезических служб. Наземная служба точного времени обеспечивает синхронизацию аппаратуры всей системы. Не менее важна геодезическая служба. Станции НКУ распределены по огромным просторам земного шара. Так, главная станция GPS находится на базе ВВС США в Колорадо

Спрингс. Станции контроля расположены на Гавайях, атолле Кваджалейн в Тихом океане, на острове Диего-Гарсия в Индийском океане, острове Вознесения в Атлантическом океане и в Колорадо Спрингс. Иногда в качестве резервной станции используется станция на мысе Канавел во Флориде.

С целью дальнейшего увеличения точности GPS в 2005 г. в сеть НКУ добавлено шесть станций Национального агентства геопространственной разведки США (NGA). Они установлены в Англии, США, Эквадоре, Аргентине, Бахрейне и Австралии (рис. 2). Их более широкая сеть позволяет с большей точностью определять орбиты спутников и готовить точные эфемеридные данные. Теперь каждый спутник будет виден, по крайней мере, с двух станций сегмента НКУ. Планируется добавить еще пять станций NGA, после чего каждый спутник будет наблюдаться уже с трех наземных пунктов [5].

Станции разбросаны по всему миру. Несмотря на это, они должны иметь единое координатно-временное обеспечение в единой земной системе отсчета. Для этого усилиями мировой

общественности созданы и надежно закреплены на местности высокоточные геодезические сети.

Правда, в описаниях чаще всего указывается система отсчета (reference system) и координатная основа (reference frame) GPS, ГЛОНАСС, Galileo или Compass. Однако объяснение, даваемое в отрыве от функциональной схемы, порой приводит к недоразумениям и неверным суждениям. Например, можно услышать высказывания типа: «зачем строить геодезические сети, тратить на это средства и время, если координаты достаточно точно определяют по спутникам ГЛОНАСС/GPS?». Увы, сначала надо развить геодезическую сеть, привязать к ее пунктам станции наземного комплекса, на основе данных слежения спрогнозировать эфемериды спутников, обеспечить ими космические аппараты, и только после этого можно определять координаты приемников. Кроме того, точные кодовые методы и высокоточные относительные фазовые методы позиционирования предполагают, что на местности уже существует сеть пунктов с известными координатами.

**Высокоточное позиционирование.** Подключение сегмента «Координатно-временная система отсчета» (рис. 1) уже объясняет возможность решения навигационных задач. Чтобы можно было решать задачи позиционирования, необходимо учесть еще два принципиально важных момента. Они обусловлены тем, что в задачах позиционирования требуемая точность на несколько порядков выше, чем в навигации.

Во-первых, это различия в требуемой точности определения координат спутников. При решении высокоточных задач геодезии, а также некоторых задач географии (метеорологии, русловедения) точность транс-



Рис. 1

Функциональная схема глобальной системы навигации и позиционирования

лируемых спутниками координат оказывается недостаточной. Нужны более точные эфемериды. Для их уточнения создана сеть постоянно действующих станций службы IGS [6].

Служба IGS включает станции непрерывного слежения и разного уровня центры сбора и анализа данных [7]. Она собирает, архивирует и распространяет уточненные эфемериды спутников GPS и ГЛОНАСС, параметры вращения Земли, координаты и скорости смещения наземных станций, поправки в шкалы времени, оценки ионосферной и тропосферной задержек сигналов и др. На 16 февраля 2010 г. имелось 420 станций, из них активно работали 371 [8]. Карта этих станций, совмещенная с картой расположения станций НКУ, приведена на рис. 2 [5, 9].

Пользователь в режиме реального времени получает для спутников GPS точные эфемеридные данные (средняя квадратичная погрешность орбит 5 см, времени 3 нс), еще более точные с задержкой на 3–9 часов (3 см, 0,15 нс) и с задержкой 17–41 часов (2,5 см, 0,075 нс); окончательные данные с задержкой на 12–18 дней для спутников GPS (2,5 см, 0,075 нс) и для спутников ГЛОНАСС (5 см) [10]. Результаты службы IGS имеются в свободном доступе, в том числе в Интернет. Благодаря этому пользователь располагает эфемеридными данными, точность которых с метрового уровня повышена до сантиметрового уровня. И эта возможность отражена на функциональной схеме (рис. 1).

Во-вторых, необходимо подчеркнуть, что станции НКУ и пункты геодезической основы закреплены в поверхностном слое земной коры. В силу движения тектонических плит и других причин координаты станций НКУ со временем изменяются, обособливаясь и отры-



Рис. 2  
Сети станций НКУ GPS и службы IGS

ваясь от общеземной геодезической основы. В итоге, определяемые приемниками координаты перестают соответствовать заданным требованиям точности. Поэтому геодезическая основа и координаты станций НКУ периодически уточняются.

**Международная земная система отсчета (ITRS).** Эта система отсчета занимает особое положение в мире, являясь основной и эталонной. Она рекомендована международными организациями для научного и технического применения, для определения позиций и движений объектов на Земле и в околоземном пространстве. На основе ITRS проводится унификация систем отсчета GPS, ГЛОНАСС, Galileo и возможных других.

ITRS поддерживается Международной службой вращения Земли и систем отсчета (IERS) [11]. С целью поддержания на современном уровне небесной и земной систем отсчета, определения параметров ориентации Земли и решения других глобальных задач применяются технологии наблюдения внегалактических точечных радиосточников методом РСДБ (VLBI), позиционирования системами ГЛОНАСС и GPS, лазерной локации Луны (LLR) и искусственных спутников Земли (SLR) и измерения доплеровской спутниковой системы DORIS.

Решением Международного астрономического союза (IAU) с 1 января 2003 г. для взаимосвязи земной ITRS с новой Геоцентрической небесной системой отсчета (GCRS) введена новая Небесная промежуточная система отсчета (CIRS) с Небесным промежуточным полюсом (CIP) [12]. С его введением отменяется ранее применявшийся Небесный эфемеридный полюс (СЕР). Новый полюс более точно соответствует современной теории и практике определения прецессии, нутации и движений истинного полюса.

С целью повышения точности и стабильности единой отсчетной основы Земли, а также изучения ее гравитационного и магнитного полей, атмосферы, деформаций поверхности суши, изменений уровня Мирового океана и др. в 2003 г. на XXIII Генеральной ассамблее Международного союза по геодезии и геофизике (IUGG) было принято решение о создании Глобальной геодезической системы наблюдений (GGOS) [13]. Завершение работ по ее созданию планируется к 2020 г. В состав космического сегмента системы войдет свыше 100 спутников глобальных систем навигации и позиционирования. Наземный сегмент будет включать не менее 40 станций с приемной спутниковой аппаратурой, лазерными дальномерами, приборами для измерения силы тя-

жести и другими геодезическими средствами измерений.

Практической реализацией ITRS является Международная земная отсчетная основа (ITRF). Координаты и скорости перемещения ее пунктов определены с высокой точностью. С 1988 по 2005 гг. реализовано 11 ее вариантов (ITRF-88 — ITRF-05). Во всех вариантах использован Опорный полюс (IRP) и начальный Опорный меридиан (IRM) Международного бюро времени (BIH) эпохи 1984.

Геодезическая основа Galileo (GTRF) изначально строится тождественной отсчетной основе ITRF. Координаты пунктов отсчетной основы WGS-84 уточнялись неоднократно с ориентацией на ITRF: известны ее варианты G-730, G-873 и G-1150, где числа обозначают номера GPS-неделей\*. В настоящее время ITRF и GPS геодезические основы тождественны на сантиметровом уровне точности.

Проведены уточнения координатной основы ГЛОНАСС. Как известно, в 2007 г. спутники ГЛОНАСС были переведены на новую систему отсчета ПЗ-90.02 [14]. Версия ПЗ-90.02 стала довольно близкой к Международной земной системе координат ITRF-2000 и к Мировой геодезической системе WGS-84. Она отличается от них лишь сдвигом начала координат примерно на 0,4 м. Отсчетная основа ГЛОНАСС может строиться на базе международных станций глобального слежения и пунктах сетей РФ КГС и ФАГС.

Важные для точного позиционирования обстоятельства постоянного уточнения координат станций НКУ также отражены на схеме (рис. 1).

**Методы DGPS и RTK.** Иногда возникает недоумение из-за того, что в описаниях нет четкого различия упомянутых методов.

Внешне они схожи. В обоих случаях один из двух приемников устанавливается на стационарной станции с известными координатами и служит для формирования поправок для второго приемника, перемещаемого по определяемым пунктам. Создается впечатление, что суть методов DGPS и RTK одинакова. Однако в случае DGPS используется кодовый метод. На контрольно-корректирующих станциях формируются поправки для исправления определяемых на мобильной станции псевдодальностей или координат. На этой основе работают спутниковые уточняющие дифференциальные подсистемы (EGNOS, WAAS, MSAS).

Для метода RTK нужны референционные станции, сети которых развиты во многих странах мира. По фазовым измерениям на референционных станциях формируются поправки. На подвижной станции, на основе поправок или по сырым данным, составляются вторые разности, разрешается неоднозначность, определяется пространственный вектор до референционной станции и только после этого вычисляются координаты определяемого пункта. К тому же в методе RTK приемники на референционной и подвижной станциях должны одновременно принимать сигналы, по крайней мере, от четырех одних и тех же спутников. Описания методов, как правило, даются без поясняющих формул, и по мере усложнения технологий формирования сетевых дифференциальных поправок ситуация все больше запутывается.

**Классификация способов позиционирования.** Обычно выделяются абсолютный (автономный) и относительные (дифференциальные) способы. В первом случае работает один приемник, во втором, по край-

ней мере, — два. К дифференциальным относят все способы, где формируются поправки или разности результатов измерений. В этой классификации совокупность способов разбита на две неравноценные группы; в первую включен один способ, во вторую — все остальные. Возможен и иной подход, когда выделяются способы определения координат отдельного пункта (автономный и дифференциальный режимы) и способы определения векторов (разновидности кинематики и статики).

**Аббревиатура.** Очень важно иметь единую, обобщающую все системы, аббревиатуру. В ходу было несколько ее русскоязычных вариантов. Они ориентировали пользователя на навигацию (КНС, НСС, СНС, СРНС, ГНС — космические, навигационные, спутниковые, спутниковые радионавигационные, глобальные навигационные спутниковые системы), геодезию (СГС — спутниковые геодезические системы), геодезию и навигацию (КСНГН, СНГС — космические системы навигационно-геодезические или спутниковые навигационно-геодезические системы), позиционирование (ГПС, ГСП, ССП — глобальные или спутниковые системы позиционирования).

Аббревиатура ГСП не может служить обобщающей, ибо, как показывают статьи в Интернет, она уже используется в сферах, не имеющих отношения к спутниковым системам. К тому же в ГОСТ Р 51794-2001 через ГСП (глобальная система позиционирования) обозначена конкретная система GPS. Не воспринимается также в качестве обобщающей и аббревиатура ГПС. Например, в Интернет она интерпретируется как перевод на русский язык аббревиатуры GPS.

\* GPS 730 неделя — с 2 по 8 января 1994 г.; 873 — с 29 сентября по 5 октября 1996 г.; 1150 — с 20 по 26 января 2002 г.

Из перечисленных выше обобщающих аббревиатур сохранилась и повсеместно применяется лишь ГНСС — глобальные навигационные спутниковые системы (73,8 тыс. статей в Интернет). В зарубежной практике ГНСС соответствует аббревиатура GNSS (864 тыс. статей в Интернет). Она включена в название службы IGS (International GNSS Service). В этих аббревиатурах упор сделан не на позиционирование, а на навигацию.

В свое время директор космического отдела Пентагона генерал Hank Stehling, обосновывая название GPS, говорил, что эта система больше, чем навигационная, она способна выполнять позиционирование по всему земному шару и поэтому должна называться Глобальная система позиционирования [15]. В настоящее время часто параллельно с сокращением GPS используется броское, указывающее и на навигацию название NAVSTAR. На этом примере видно, что обобщающую аббревиатуру следовало бы строить исходя из того, что глобальные спутниковые системы способны решать не только навигационные задачи, но и задачи позиционирования. Фактически мы имеем дело с глобальными

системами навигации и позиционирования — ГСНП.

#### ▼ Список литературы

1. Большой энциклопедический словарь. — 2-е изд. — М.: Большая Российская энциклопедия; СПб.: Норинт, 2001. — 1456 с.
2. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. Учебное пособие. — 2-е изд. — М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. — 229 с.
3. Шилина Г.В. Рабочая программа дисциплины ОПД.Р.02 — Геопозиционирование. 2008. [http://www.distcom.ru/content/catalogories/30/program\\_kurs\\_geopozitionir.doc](http://www.distcom.ru/content/catalogories/30/program_kurs_geopozitionir.doc).
4. School of Surveying and Spatial Information Systems. Postgraduate Coursework Program Outlines. [www.gmat.unsw.edu.au/futurestudents/pgc/pg\\_progs.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/futurestudents/pgc/pg_progs.pdf).
5. GPS-System Control Segment (Monitor Stations). 2009-04-19. [www.kowoma.de/en/gps/control\\_segment.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm).
6. International GNSS Service. <http://igsb.jpl.nasa.gov>.
7. IGS organization. <http://igsb.jpl.nasa.gov/organization/centers.html>.
8. IGS Tracking Network. <http://igsb.jpl.nasa.gov/network/list.html>.
9. IGS Tracking Network. <http://igsb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>.
10. IGS Data & Products. <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.

<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.

11. International Earth Rotation and Reference Systems Service. [www.iers.org](http://www.iers.org).

12. IAU Resolutions adopted the 24th General Assembly (Manchester, August 2000). [http://syrtel.obspm.fr/IAU\\_resolutions/Resol-UAI.htm](http://syrtel.obspm.fr/IAU_resolutions/Resol-UAI.htm).

13. Hermann Drewes, Christoph Reigber. IAG's Global Geodetic Observing System (GGOS) in its initial phase. [http://cddis.nasa.gov/lw14/docs/papers/sci1a\\_hdm.pdf](http://cddis.nasa.gov/lw14/docs/papers/sci1a_hdm.pdf).

14. Законы России. [http://lawrussia.ru/texts/legal\\_790/doc790a255x136.htm](http://lawrussia.ru/texts/legal_790/doc790a255x136.htm).

15. IEEE Global History Network. Brad Parkinson. Oral-History. 13 January 2010. [www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Brad\\_Parkinson\\_Oral\\_History](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Brad_Parkinson_Oral_History).

#### RESUME

The author dwells on some principle aspects relating to the description of navigation and positioning systems. In particular, they are as follows: the terminology used, the orbit configurations of the satellite systems, the coordinate and clock reference system, high-precision positioning, the International Terrestrial Reference System ITRS, the DGPS and RTK methods, and classification of the positioning techniques and the abbreviations used.

## СТАЛКЕР 75-04

цифровой трассоискатель



РАДИО-СЕРВИС

научно-производственная фирма

#### Генератор:

- Максимальная мощность 75 Вт (непрерывный и импульсный режим генерации)
- 4 частоты (возможны частоты на заказ)
- Измерение тока, подаваемого в линию

#### Приемник:

- Высокая помехоустойчивость
- Автоматическое измерение глубины и силы тока
- Определение направления тока
- Поиск мест повреждения изоляции
- Навигация влево/вправо

- ✓ Стабильная работа при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$
- ✓ Влагозащищенное и ударопрочное исполнение (IP)



трассоискатель "Сталкер 75-04" - прибор для поиска скрытых коммуникаций на глубине до 10 м и дальности до 10 км от места подключения генератора

426033, г.Ижевск, а/я 4579  
ул.Пушкинская, 268  
тел.: (3412) 43-91-44  
факс: (3412) 43-92-63  
e-mail: office@radio-service.ru  
[www.radio-service.ru](http://www.radio-service.ru)