

Метод коррекции относительных координатных определений

© Д. О. Медяников, А. И. Яковлев

ВКА им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрены проблемы создания геодезической основы в единой геоцентрической системе координат и возможные пути их решения с использованием мобильной сети референционных станций.

Ключевые слова: единое координатное пространство, мобильные референционные станции, модель формирования, навигационная аппаратура, псевдодальность.

Введение

Проблема создания геодезической основы в единой геоцентрической системе координат является одной из самых актуальных и важных задач геодезического обеспечения широкого круга потребителей в Российской Федерации (РФ).

В настоящее время постоянно действующие сети референционных станций в РФ являются локальными, имеют различные характеристики и не связаны между собой единой системой координат [1]. Для своей работы они используют систему координат WGS-84, а также готовые программные и аппаратные решения с применением зарубежной спутниковой аппаратуры и программного обеспечения. Это делает невозможным использование таких сетей в интересах ряда отечественных потребителей и силовых ведомств.

В табл. 1 указан приблизительный вклад разных источников погрешностей в ошибки местоопределения кодовых систем дифференциальной навигации (СДН). Прочерки в таблице означают, что поправки СДН не компенсируют соответствующие погрешности, и компенсация таких ошибок должна производиться средствами потребителя.

Проблема создания геодезической основы в РФ предполагает развитие геодезических сетей в общеземной геоцентрической системе координат ПЗ-90.11 [2, 3]. Для решения этой задачи необходимо использовать современные и перспективные методы развития и распространения геоцентрической системы координат, одним из которых является метод коррекции относительных координатных определений. Данный метод основан на совмещении

дифференциальной коррекции навигационного параметра и относительного режима определения координат [4, 5, 6]. В нашей работе предлагается использовать этот метод при создании мобильной сети референчных станций.

Таблица 1

Вклад разных источников погрешностей в ошибки местоопределения с помощью СДН

Источник	Потенциальная ошибка, м				
	Абсолютный режим		Локальная дифф. система	Широкозонная дифф. система	Система глобальной дифф. навигации
	L1	L1 & L2			
Ионосфера	1–30	–	0.1–0.2	0,5	–
Тропосфера	1–30	1–30	0.1–0.2	–	–
Шум приемника	0–5	0–5	0–5	0–5	0–5
Ошибки эфемерид	1–5	1–5	< 0.1	0.1–0,2	0.1–0.2
Уход часов спутника	~1.5	~1.5	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Многолучевость	~1	~1	~1	~1	~1
Итог	~5–70	4–40	~1.4–6.6	~1.7–6.8	~1.2–6.3

Математическая модель формирования геодезической основы в единой геоцентрической системе координат с использованием метода коррекции относительных координатных определений на основе мобильных сетей референчных станций представлена на рис. 1. Данная математическая модель относится к классу стохастических моделей, так как её элементы и их связи обладают свойствами случайных величин. Описание математической модели приводится ниже.

Для всех существующих глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) выполняется условие их корректного функционирования — $\forall \exists K: F$. Навигационная аппаратура потребителя (НАП) мобильной сети референчных станций принимает измерительную информацию ГНСС, т. е. входные данные — $V \in K$, которые имеют бюджет погрешностей $P \in V$.

Пункт А с установленной НАП и известными с высокой точностью координатами $X_{исх}, Y_{исх}, Z_{исх}$ выдает следующие данные: вычисленная псевдодальность $\rho_{вычА}$, измеренная псевдодальность $\rho_{измА}$, измеренные координаты $X_{измА}, Y_{измА}, Z_{измА}$, $\Delta\rho = \rho_{измА} - \rho_{вычА}$ — корректирующая информация. Пункт В с установленной НАП является определяемым и выдает следующие данные: измеренная псевдодальность $\rho_{измВ}$, измеренные координаты $X_{измВ}, Y_{измВ}, Z_{измВ}$.

Совместная обработка измерений (М) возможна как на исходном пункте, так и на определяемом (для режима реального времени). Для вычисления координат определяемого пункта сначала необходимо вычислить координаты спутника ($X_{спут}, Y_{спут}, Z_{спут}$) для заданного момента времени. Для определения координат навигационного спутника осуществляется последовательность

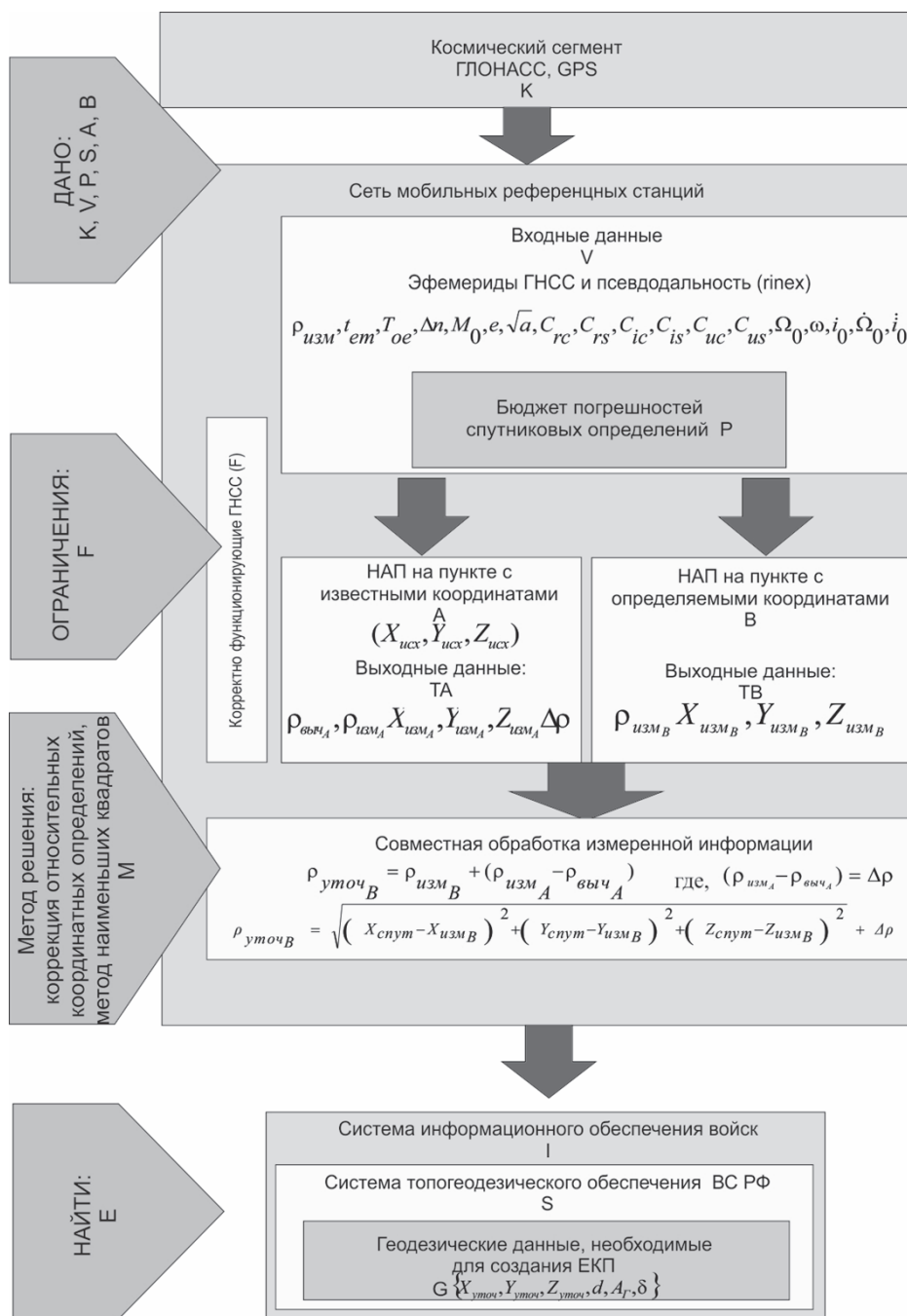


Рис. 1. Математическая модель формирования геодезической основы в единой геоцентрической системе координат с использованием метода коррекции относительных координатных определений на основе мобильной сети референцных станций

вычислений (стандартный алгоритм позиционирования спутника, который дополнен блоком вычисления компонент вектора относительной скорости спутника) [8]. Далее решение навигационной задачи на исходном или определяемом пункте выполняется с использованием полученной корректирующей информации $\Delta\rho$. После получения координат определяемого пункта абсолютным методом [8], выполняется вычисление точных координат относительным методом, описанным в [5].

Для создания геодезической основы в единой геоцентрической системе координат (E) и обеспечения функционирования системы единого информационного пространства необходимы уточненные координаты НАП на определяемых пунктах, т. е. $E \subset \exists I \div A_{(X_{исх}, Y_{исх}, Z_{исх})}, B_{(X_{уточВ}, Y_{уточВ}, Z_{уточВ})} \exists I$.

При совместной обработке спутниковых измерений на заданный момент времени t используется следующая математическая модель:

$$\rho_{измВ}(t) = \sqrt{(X_{спут}(t) - X_{измВ})^2 + (Y_{спут}(t) - Y_{измВ})^2 + (Z_{спут}(t) - Z_{измВ})^2} + \Delta\rho. \quad (1)$$

Координаты пункта В с использованием геометрической дальности $\rho_{измВ}$ (1) вычисляются по формулам, приведенным в [8].

Для подтверждения предложенного метода выполнены натурные экспериментальные исследования. Результаты экспериментальных исследований, подтверждающие обеспечение требуемой точности определения достоверных геодезических данных с использованием разработанного метода, представлены в табл. 2. Выполнено геометрическое нивелирование взлетно-посадочной полосы аэродрома г. Боровичи с шагом 5 м в 254-х точках. Полученные результаты были приняты за эталонные. По точкам геометрического нивелирования выполнены спутниковые наблюдения с использованием

Таблица 2

Фрагмент результатов определения нормальной высоты из геометрического и спутникового нивелирования

Имя точки	h норм. rtk, м	h норм. нив., м	Δh норм, м
1	2	3	4
Порог 1	96.545	96.566	0.021
5	96.685	96.704	0.019
10	96.794	96.835	0.041
15	96.913	96.895	-0.018
20	97.080	97.044	-0.036
...
1255	107.667	107.650	-0.017
1260	107.677	107.660	-0.017
1265	107.624	107.618	-0.006
Порог 2	107.651	107.632	-0.019

ровера Leika GS08plus и контролера GS15 3.5G в режиме RTK. Референцная станция была удалена от места выполнения работ на 5.5 км. Отклонение от эталонных значений высот, полученных из геометрического нивелирования, составило ± 0.046 м. При этом оперативность выполнения всего комплекса работ по геодезической подготовке аэродрома в сравнении с применяемыми методами повышается на 20 %.

Заключение

Таким образом, представленная модель мобильной сети референцных станций и реализованный в ней метод коррекции относительных координатных определений показывают возможность оперативно развить исходную геодезическую основу с необходимой плотностью пунктов и точностью их определения. Предлагаемые технические решения могут использоваться для высокоточного геодезического и навигационного обеспечения в любых природно-географических условиях и на местности, не подготовленной в геодезическом отношении.

Литература

1. *Медяников Д. О.* Модель формирования единого координатного пространства для обеспечения повседневной и боевой деятельности войск [Текст] / Д. О. Медяников, А. В. Прокофьев, В. Ю. Андриевская, А. И. Яковлев, И. В. Банин // Сборник трудов ВНИИ-2016 / под общ. ред. В. Ф. Алексева // — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. — С. 416—419.
2. Постановление Правительства РФ от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».
3. Справочный документ «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11). — М.: ВТУ ГШ ВС РФ, 2014.
4. ГОСТ Р 54459-2011 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы дифференциальной коррекции. Общие технические требования. — М.: Стандартинформ, 2012. — 13 с.
5. *Генике А. А.* Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. — М.: «Картгеоцентр» — «Геодезиздат», 1999. — 272 с.
6. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич и др.: Под ред. В. С. Шебшаевича. — М.: Радио и связь, 1993. — 408 с.
7. *Глушков В. В.* Космическая геодезия: методы и перспективы развития / В. В. Глушков, К. К. Насретдинов, А. А. Шаравин. — М.: Национальная картографическая корпорация, 2002. — 398 с.
8. Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим / Н. Вавилова [и др]. — М.: Механико-математический факультет МГУ, 2001 — 114 с.

Formation of a Single Coordinate Space Using a Mobile Network of Reference Stations

D. O. Medyannikov, A. I. Yakovlev

The article considers the problems of creating a unified coordinate space and possible ways of their solution using the mobile network of reference stations.

Keywords: a single coordinate space, mobile reference station, model of formation, navigation equipment, pseudo range.