

ОБРАБОТКА ФРАГМЕНТА СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ 1-ГО КЛАССА В ПРОГРАММЕ GIODIS

В.П. Горбец (ЦНИИГАиК)

В 1976 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». После окончания института работал в ЦНИИГАиК и 29-м НИИ МО РФ. В настоящее время — заведующий координационно-методическим и информационно-вычислительным центром ФГУП «ЦНИИГАиК».

А.Н. Майоров (ЦНИИГАиК)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в полевых подразделениях аэрогеодезических предприятий ГУГК СССР. В 1993 г. окончил аспирантуру ЦНИИГАиК. В настоящее время — старший научный сотрудник геодезического отдела ФГУП «ЦНИИГАиК». Кандидат технических наук.

В настоящее время в Российской Федерации ведутся работы по развитию государственной геодезической сети (ГГС) и обновлению опорных геодезических сетей. С одной стороны, многие пункты ГГС оказались утрачены, а с другой — государственная система координат СК-95, созданная на основе традиционных наземных геодезических методов измерений, уже не может в полной мере удовлетворять многочисленных потребителей. Необходима государственная система пространственных координат, опирающаяся на пункты новых геодезических сетей, измерения на которых должны выполняться с помощью геодезических технологий, основанных на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС).

Согласно [1], создаваемая ГГС должна состоять из трех уровней:

- фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);

- высокоточной геодезической сети (ВГС);

- спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1).

Несколько десятков пунктов ФАГС с расстояниями между ними в 650–1000 км, а также несколько сотен пунктов ВГС с расстояниями между смежными пунктами от 150 до 300 км уже созданы и являются фундаментом государственной геоцентрической системы координат. На основе ФАГС и ВГС создаются фрагменты более плотной сети геодезических пунктов — СГС-1. Расстояния между смежными пунктами СГС-1 должны составлять 20–30 км. Поэтому пункты именно этой сети формируют каркас, на который смогут опираться геодезические сети для различных приложений — от опорных межевых сетей до геодезических сетей, предназначенных для строительства и эксплуатационного содержания гражданских и промышленных объектов.

Развитие СГС-1 является масштабной государственной задачей. Ожидается, что количество пунктов, включенных в нее, составит несколько тысяч. Отдельные фрагменты СГС-1 могут покрывать территорию субъекта Российской Федерации и иметь

протяженность в несколько сотен километров, а с учетом необходимой привязки к пунктам ФАГС и ВГС, даже превышать тысячу километров. При этом к точности определения координат пунктов СГС-1 предъявляются высокие требования. Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения положения пунктов СГС-1 относительно ближайших пунктов ВГС и ФАГС не должна превышать 1–2 см в районах с сейсмической активностью 7 и более баллов и 2–3 см в остальных регионах страны.

Очевидно, что для достижения столь высоких характеристик точности измерения на пунктах СГС-1 должны выполняться только двухчастотными геодезическими приемниками ГНСС (GPS/ГЛОНАСС). Но, кроме того, особое внимание необходимо уделять программному обеспечению, используемому для обработки измеренных данных.

В этой статье представлен опыт обработки измерений, проведенных на пунктах фрагмента СГС-1, расположенного на территории Владимирской и Ивановской областей, в прог-

рамме GIODIS компании JAVAD GNSS [2].

▼ Программа GIODIS

GIODIS является многофункциональной программой, предназначенной для высокоточной обработки геодезических измерений, выполняемых с помощью аппаратуры ГНСС [2]. Можно назвать несколько причин, по которым данная программа была выбрана в качестве инструмента для определения координат пунктов СГС–1.

Во-первых, по сравнению с большинством коммерческих программ GIODIS позволяет получать более строгое решение. В частности, при обработке спутниковых измерений в ней используется метод вычисления векторов между всеми пунктами, наблюдавшимися одновременно, в едином решении. Нет необходимости выбирать минимальный граф векторов, исключая так называемые «тривиальные» векторы. Известно, что если выполнять обработку каждого отдельного вектора, как это принято в других программах, то часть важной измерительной информации теряется.

Во-вторых, в программе GIODIS можно совместно обрабатывать измерения, выполненные на пунктах, удаленных друг от друга на расстояния 1000 и более километров. Как показал опыт, точность результатов в этом случае не уступает решениям, получаемым программами, созданными ведущими университетами мира для решения научных задач. Но при этом она обладает наглядным пользовательским интерфейсом, присущим коммерческим программам. А при необходимости массовой обработки измерений, выполненных на десятках пунктов, что характерно для обработки фрагментов СГС–1, удобство манипуляции данными является немаловажным свойством.

В-третьих, результаты оценки точности решений, получаемых в

программе GIODIS при обработке спутниковых измерений, близки их реальным значениям. Это очень важно. Пользователи многочисленных программ, распространяемых ведущими компаниями — производителями спутниковой геодезической аппаратуры, уже привыкли к тому, что после обработки спутниковых измерений в этих программах, СКО координат векторов могут составлять доли миллиметра, тогда как расхождения между результатами повторных определений координат или их сравнение с независимыми данными составляют сантиметры. Сопоставление результатов вычислений, выполненных в GIODIS, с информацией из независимых источников, например с координатами постоянно действующих пунктов, опубликованными в каталогах, показали, что оценки точности векторов практически всегда подтверждаются разностями вычисленных и контрольных координат.

При выполнении столь ответственной работы, какой является создание государственной геодезической сети, требования к строгости процедуры оценки точности должны быть не меньше, чем при вычислении самих координат.

▼ Краткое описание измерений, выполненных на пунктах фрагмента СГС–1

Фрагмент СГС–1, взятый для обработки, расположен на севере Владимирской области и в южной части Ивановской области и состоит из 19 геодезических пунктов с расстояниями между смежными пунктами от 15 до 35 км (рис. 1). В качестве опорных использовались два пункта ВГС: «Владимир» (VLAD) и «Кинешма» (KINE). Максимальное расстояние между пунктами сети СГС–1 составило 115 км, а между опорным пунктом и пунктом СГС–1 — 175 км.

Спутниковые наблюдения на пунктах сети проводились в течение двух сеансов по 4 часа каждый, как указано в [3]. Между сеансами высоты антенн, установленных на штативах, изменялись на величину не менее 10 см. Это обеспечивало контроль измеренных значений высот антенн.

Поскольку все измерения выполнялись шестью приемниками ГНСС, то они были разбиты на сеансы одновременных наблюдений на шести пунктах. Два приемника из шести были установлены на опорных пунктах ВГС, а остальные — на пунктах СГС–1. После окончания сеанса

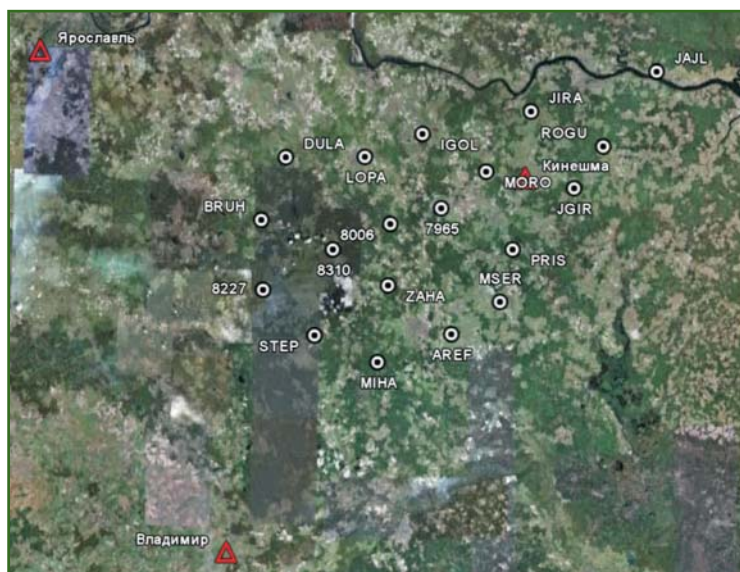


Рис. 1
Схема расположения пунктов фрагмента СГС–1

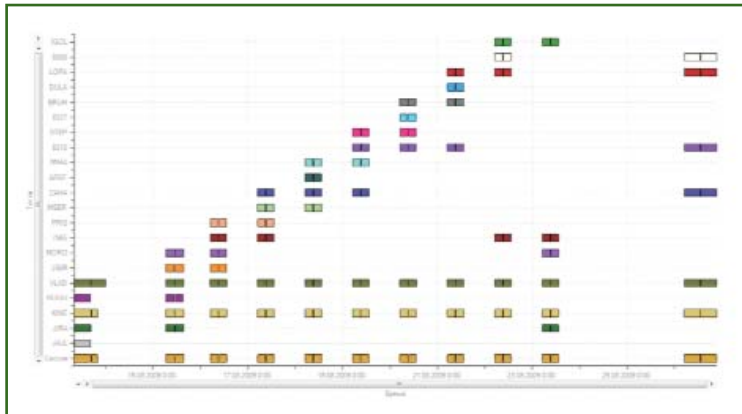


Рис. 2
Графическая схема сеансов спутниковых наблюдений на пунктах фрагмента СГС-1

измерений два приемника из четырех перевозили на новые пункты СГС-1, а двумя оставшимися повторяли измерения на тех же пунктах. Таким образом, каждый сеанс одновременных наблюдений на четырех пунктах из шести перекрывался наблюдениями предыдущего сеанса, а также наблюдениями последующего. Графическое представление схемы наблюдений показано на рис. 2, где по горизонтальной оси отложено время наблюдений, а вдоль вертикальной оси нанесены пункты сети. В результате хорошо видно, как изменялся состав пунктов в отдельных сеансах одновременных наблюдений.

Следует подчеркнуть, что приведенная схема организации измерений не удовлетворяет требованиям [3], согласно которым одновременно с наблюдениями на определяемых пунктах СГС-1 должны выполняться наблюдения на трех близлежащих пунктах ВГС или на двух пунктах ВГС и одном близлежащем пункте ФАГС. В рассматриваемом фрагменте СГС-1 привязка пунктов сети проводилась только к двум опорным пунктам ВГС.

Подобная ошибка в организации спутниковых измерений допускалась и на некоторых других объектах при развитии СГС-1. Очевидно, что выполнение длительных одновременных наблюдений на трех пунктах

ФАГС/ВГС, удаленных от объекта работ иногда на сотни километров, является достаточно сложной и дорогостоящей задачей. Поэтому наряду с положительным опытом обработки наблюдений на пунктах СГС-1 важно рассмотреть и пути преодоления ошибок, возникающих при планировании измерений.

▼ Обработка спутниковых измерений в программе GIODIS и анализ полученных результатов

Процесс обработки спутниковых измерений состоял из нескольких этапов.

На первом этапе проводилась обработка сеансов одновременных наблюдений. Весь период измерений составил 22 сеанса. После обработки сеансов были получены векторные подсети, объединенные ковариационными матрицами, характеризующими точность результатов. Анализ

качества каждого сеанса выполнялся как для псевдодальностей, так и фазовых измерений. Для этих целей строились диаграммы распределения невязок измерений для каждого сеанса наблюдений (рис. 3). Диаграммы невязок анализировались, и, при необходимости, участки некачественных измерений отбраковывались. После этого обработка сеанса выполнялась повторно.

Таким образом были получены координаты всех векторных подсетей и проведена их оценка точности в плане и по высоте. Были построены диаграммы распределения СКО плановых координат и высот векторов (рис. 4 и 5). На обеих диаграммах по горизонтальной оси отложены значения СКО в метрах, а по вертикальной — частота их появления в процентах.

Из приведенных диаграмм видно, что СКО плановых координат от 0 до 0,005 м были получены для почти 40% векторов. Причем, почти для 90% векторов они не превысили величины 0,01 м. Максимальное значение СКО плановых координат составило менее 0,03 м.

СКО высот более чем 90% векторов не превысили 0,05 м, а максимальное значение СКО высоты составило 0,076 м.

На втором этапе обработки векторные подсети были уравнены совместно. В результате была получена объединенная векторная сеть с единой ковариационной матрицей. Величи-

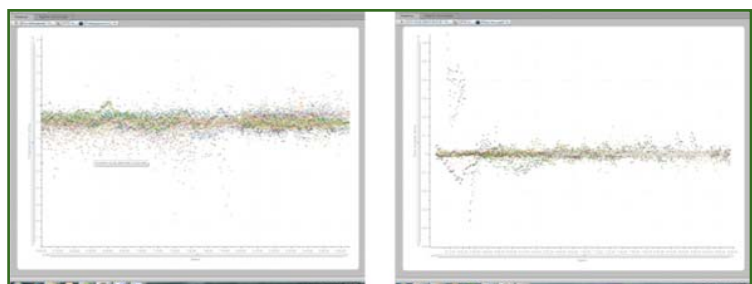


Рис. 3
Диаграммы распределения невязок, полученных по результатам обработки одного из сеансов измерений: псевдодальности (слева); фазовые измерения (справа)

на ошибки единицы веса составила 1,28, что указывает на хорошее согласие оценки точности, полученной после обработки спутниковых измерений, и невязок, возникающих при объединении подсетей. Благодаря большому количеству связей между подсетями и наличию общих пунктов для всех подсетей, разность количества принятых для уравнивания измерений и определяемых величин (степень свободы) составила 647. В результате, для плановых координат уравненных векторов СКО не превысили 0,008 м, а для высот — 0,026 м. Диаграммы распределения СКО плановых координат и высот уравненных векторов представлены на рис. 6 и 7.

Значения СКО, полученные в результате свободного уравнивания фрагмента сети, полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к точности определения координат пунктов СГС–1.

▼ **Определение координат пунктов СГС–1**

Для определения координат пунктов СГС–1 векторного фрагмента в государственной геоцентрической системе необходимо уравнивать векторы относительно пунктов ФАГС и ВГС. Пункты ВГС «Владимир» и «Кинешма» уже включены в векторный фрагмент. Все определяемые пункты СГС–1 имеют с ними непосредственную связь. Поэтому формально процедура распространения координат не представляет сложности.

Но, как уже отмечалось, для выполнения уравнивания и уверенного вычисления координат в государственной геоцентрической системе необходимо, чтобы опорных пунктов было три или больше. Это требование, отраженное в [3], имеет серьезное обоснование.

Во-первых, вставка векторной сети, жестко увязанной между собой, в существующий фрагмент ВГС позволяет контролировать согласие полученных

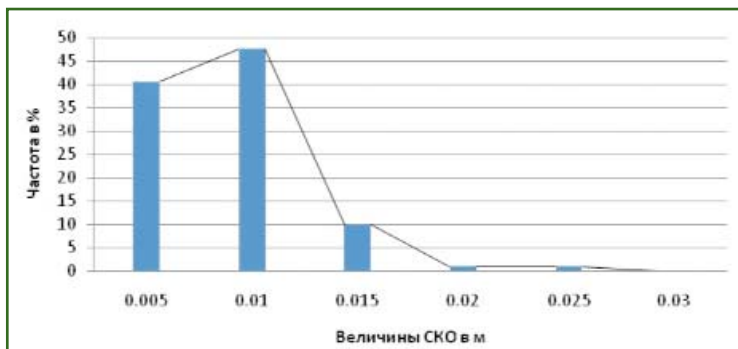


Рис. 4
Диаграмма распределения СКО плановых координат векторов

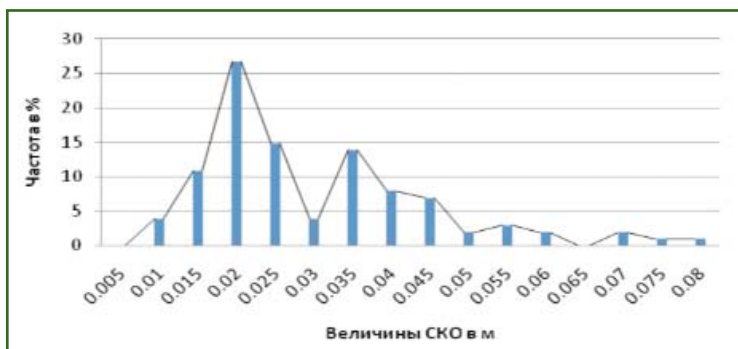


Рис. 5
Диаграмма распределения СКО высот векторов

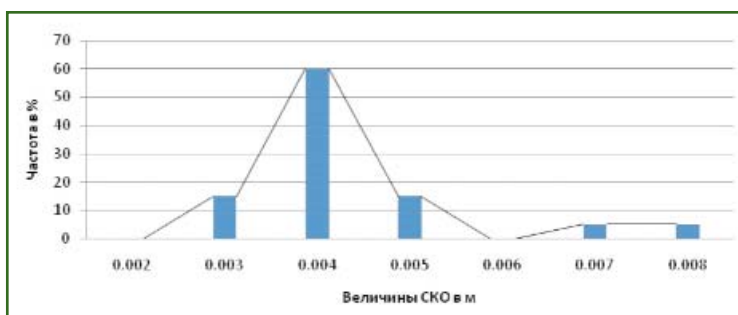


Рис. 6
Диаграмма распределения СКО плановых координат уравненных векторов

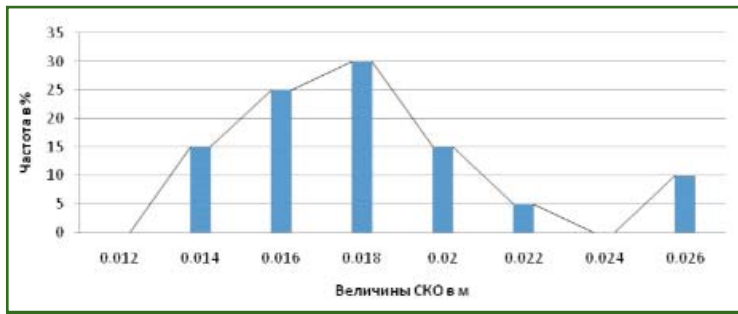


Рис. 7
Диаграмма распределения СКО высот уравненных векторов

результатов. При вписывании СГС–1 в ВГС должна выполняться проверка правильности прове-

денной ранее оценки точности, что очень важно. При наличии двух опорных пунктов проверка,

по существу, распространяется только на область между этими пунктами. Кроме того, можно ожидать возникновения грубых ошибок, которые проявляются только при уравнивании с внешними ограничениями. Например, на практике встречались случаи, когда на пунктах ВГС исполнители полевых работ неправильно измеряли высоты антенн. Подобные ошибки не могут быть исключены по результатам обработки только спутниковых измерений. Необходимы дополнительные данные. Но даже успешное выявление грубой ошибки при недостаточном количестве опорных пунктов не позволяет корректно обработать фрагмент сети. Требуется повторные полевые измерения. А это приводит к нарушению графика сдачи работ.

Во-вторых, к спутниковым государственным геодезическим сетям предъявляются высокие требования по точности и однородности. И равномерная привязка создаваемых фрагментов ко всем смежным опорным пунктам — одно из средств обеспечения этого требования.

Таким образом, для завершения полноценной обработки рассмотренного фрагмента СГС–1 он должен быть привязан, как минимум, к еще одному опорному пункту. Ближайший к фрагменту сети и смежный к пунктам «Владимир» и «Кинешма» пункт ВГС расположен в Ярославле. Если выполнить одновременные спутниковые измерения на пункте в Ярославле и на пунктах фрагмента СГС–1, то почти весь фрагмент окажется внутри полигона, образуемого названными пунктами ВГС. Тем самым задача обеспечения необходимого количества связей с опорными пунктами, а также задача привязки к смежным опорным пунктам будут решены.

Программа спутниковых измерений должна включать привязку двух или трех пунктов СГС–1 к пункту ВГС «Ярославль».

Желательно, чтобы выбранные для привязки пункты СГС–1 располагались как можно ближе к опорному пункту. Длительность непрерывных спутниковых наблюдений при выполнении привязки должна составлять не менее 24 часов. Осуществление данных предложений позволит, с одной стороны, проконтролировать выводы относительно точности СГС–1 по невязкам повторных определений векторов и по результатам вычислений координат пунктов в государственной геоцентрической системе. С другой стороны, оно исключит «провисание» СГС–1 вблизи пункта ВГС «Ярославль». Если в будущем развитие СГС–1 продолжится в сторону Ярославской области, то на стыке нынешнего и вновь построенного фрагментов не возникнет противоречий, недопустимых с точки зрения декларируемой точности государственной геодезической сети.

▼ Основные результаты

Приведенный пример обработки спутниковых измерений дает основания для уверенности в том, что работы по развитию СГС–1, начатые в стране, будут успешно выполнены. Несмотря на высокие требования, предъявляемые к точности координат пунктов в государственной геоцентрической системе, полученные результаты показывают реальность достижения поставленных целей.

Этап обработки спутниковых измерений занимает особое место в процессе создания СГС–1. На этом этапе важно иметь простой и точный инструмент, обеспечивающий получение надежных результатов в условиях проведения масштабных работ на обширной территории. Программа GIODIS показала полное соответствие таким требованиям. Благодаря строгости вычислений, простоте в использовании, наглядности и полноте отчетности на всех этапах обработки, стало возможным в сжа-

тые сроки получить координаты пунктов СГС–1 необходимого качества.

В настоящее время технология развития СГС–1 не полностью освоена полевыми подразделениями, выполняющими эти работы. При достаточно точных измерениях допускаются досадные ошибки при планировании и осуществлении полевых работ. В частности, на нескольких объектах не была реализована полноценная привязка созданных фрагментов СГС–1 к пунктам ФАГС/ВГС. Рассмотренный фрагмент выбран в качестве типичного примера качественной, но не доведенной до завершения, работы. Сделанные предложения о дополнительных спутниковых измерениях, необходимых для исправления ситуации, могут быть полезны при проектировании будущих объектов по развитию СГС–1.

▼ Список литературы

1. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНП (ГНТА)-01-006-03. — М.: ЦНИИГАиК, 2004.
2. Бойков А.В. GIODIS — новая программа обработки спутниковых измерений // Геопрофи. — 2010. — № 3. — С. 45–47.
3. Технические требования на выполнение работ по построению государственной спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС–1). — М.: ЦНИИГАиК, 2006.

RESUME

Processing a fragment of satellite geodetic network of Class 1 (SGN-1) with the use of the GIODIS (JAVAD GNSS) program made it possible to draw a conclusion about the feasibility of using the program for these purposes. It is noted that while planning field works for the SGN-1 creation it is necessary to provide referencing network's fragments with three or more stations of the Fundamental astrogeodetic network or High-precision geodetic network in order to ensure the regulatory requirements for the accuracy and uniformity of such networks.