

Обеспечение единого координатного пространства: результаты апробации методики создания ВОГС

DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.1

Гулин В.Н., директор ООО «Индор-Центр» (г. Москва)
Неретин А.А., к.т.н., доцент кафедры геодезии и геоинформатики МАДИ (г. Москва)

Изложены практические аспекты развития сегмента ведомственной опорной геодезической сети (ВОГС) на участке автодороги М-4 «Дон». Описана методика и результаты привязки пунктов ВОГС к мировым, общегосударственным и местным системам координат и высот. Приведён сравнительный анализ точности передачи отметок в Балтийской системе высот 1977 года ГНСС-методами и геометрическим нивелированием II класса.



Данная публикация является продолжением темы формирования единого координатного пространства на объектах дорожной отрасли, затронутой в предыдущих двух номерах журнала «САПР и ГИС автомобильных дорог» [1, 2]. Напомним, что в [1] задачу формирования единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли в целом и для объектов Государственной компании «Российские автомобильные дороги» (далее ГК «Автодор») в частности предлагалось решать путём создания ведомственной опорной геодезической сети (ВОГС).

В конце 2015 года по контракту с ГК «Автодор» на участке автодороги М-4 «Дон» протяжённостью порядка 200 км был реализован проект по развитию плано-высотного обоснования в соответствии с предложенной методикой создания ВОГС. Речь в данной публикации пойдёт о результатах, полученных в ходе реализации этого проекта.

Выбор исходных пунктов, рекогносцировка и закладка пунктов ВОГС

Район работ расположен на территории Московской и Тульской областей. Для привязки новых пунктов ВОГС

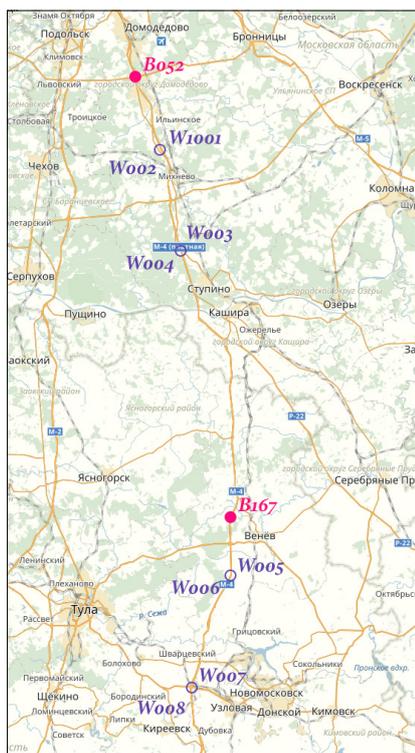


Рис. 1. Общая схема расположения пунктов ВОГС

к местным системам координат этих регионов и Балтийской системе высот необходимо было выбрать исходные пункты государственной геодезической сети (ГГС) и главной высотной основы (ГВО), пригодные для ГНСС-наблюдений.

В обследование были включены пункты ГГС, расположенные поблизости от участка работ с возможностью непосредственного подъезда к пункту на автотранспорте. Всего было обследовано 29 пунктов ГГС, из них сохранными было обнаружено 13 (45%), а пригодными для ГНСС-наблюдений — всего 9 (31%). Цифры весьма показательные.

Для привязки новых пунктов ВОГС к Балтийской системе высот 1977 года (Балтика 77) необходимо было выбрать два нивелирных репера ГВО, максимально близко расположенных к автодороге М-4 «Дон» вдоль участка работ. Ситуация с выбором пунктов ГВО в рамках данного проекта уже была рассмотрена в предыдущей публикации [2].

По результатам обследования для ГНСС-наблюдений было выбрано по 5 исходных пунктов ГГС и по одному пункту ГВО в Московской и Тульской областях соответственно.

Местоположение выбранных пунктов ГВО накладывало ограничения на места закладки новых пар реперов ВОГС, поскольку расстояние от репера ГВО до пары новых рабочих реперов ВОГС не должно было превышать 4 км [2]. Техническое задание проекта предусматривало закладку двух пунктов каркасной сети и четырёх пар рабочих реперов, по две пары (четыре репера) в каждом регионе. Расстояние между парами реперов в одном регионе не должно превышать 30 км. Общая схема расположения пунктов ВОГС показана на рисунке 1.

Один пункт каркасной сети расположен в Московской области на 52-м километре Каширского шоссе (B052), второй — в Тульской области на 167-м километре автодороги М-4 «Дон» (B167). Конструкция марок пунктов каркаса предусматривает возможность принудительного центрирования спутниковой антенны.

Для закладки рабочих реперов ВОГС подбирались элементы дорог с бетонными основаниями (путепроводы и оголовки водопропускных труб). Рабочие реперы (W001–W008) закла-

дывались парами при условии соблюдения прямой видимости между реперами в паре. Для закрепления центров рабочих реперов использовались специальные стальные марки, которые фиксировались в отверстиях с помощью химического анкера (рис. 2).

Выполнение ГНСС-наблюдений

ГНСС-наблюдения выполнялись с целью привязки всех новых пунктов ВОГС к государственным и общегосударственным системам координат и высот. Программа ГНСС-измерений была составлена таким образом, чтобы обеспечивалась синхронность наблюдений между пунктами каркасной сети

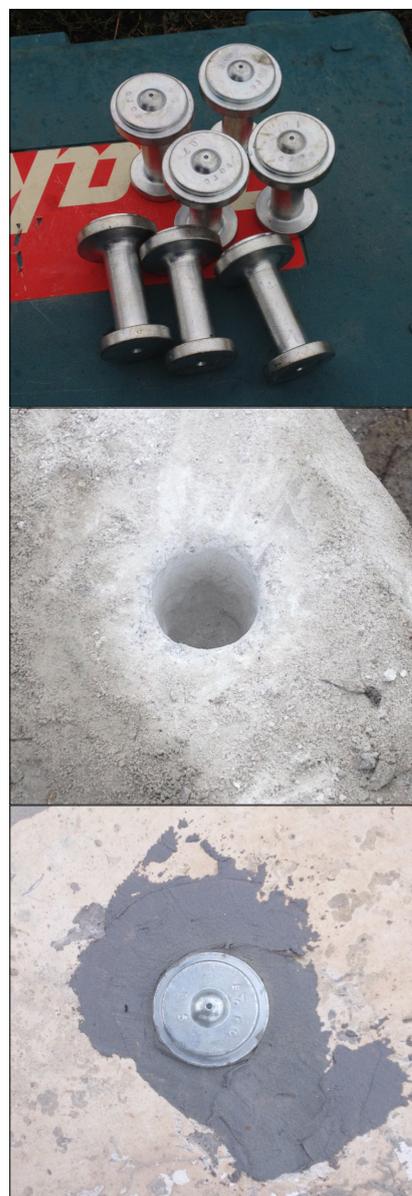


Рис. 2. Закрепление центров рабочих реперов ВОГС



Рис. 3. Различные способы установки GNSS-антенны

и всеми остальными пунктами ВОГС, ГТС и реперами ГВО.

При GNSS-наблюдениях спутниковые антенны устанавливались либо стационарно на резьбовые марки (на пунктах каркасной сети), либо на штативы с помощью трегеров с оптическими центрирами, либо на вехи. Примеры различных способов установки оборудования показаны на рисунке 3.

Основным предназначением пунктов каркасной сети ВОГС является высокоточная привязка этих пунктов к государственным и общемировым системам координат и высот для последующей передачи координат и высотных отметок на остальные пункты (рабочие реперы) ВОГС.

Поскольку в Российской Федерации государственная основа требуемой точности представляет собой весьма разреженную сеть пунктов ФАГС с векторами между соседними пунктами по 500 и более километров, для обеспечения высокоточных решений на пунктах каркаса потребовались многосуточные GNSS-наблюдения. При обработке длительных сессий GNSS-наблюдений (не менее 5 суток) и учёте циклических вариаций приливных эффектов земной коры (tide corrections) удаётся выйти на субсантиметровый уровень точности определения векторов длиной в несколько сотен километров.



Рис. 4. Стенной репер II класса Вельяминово, заложенный в 1924 г.

Для достижения максимальной точности GNSS-определений пунктов каркасной сети на них были стационарно установлены комплекты GNSS-оборудования для выполнения синхронных измерений. Продолжительность синхронных GNSS-измерений на пунктах каркасной сети в общей сложности составила порядка 7 суток с интервалом записи 15 секунд. Приёмники выполняли непрерывные и синхронные GNSS-наблюдения на пунктах каркаса до тех пор, пока не были завершены GNSS-наблюдения на всех пунктах ВОГС, ГТС и нивелирных реперах ГВО.

GNSS-наблюдения на рабочих реперах ВОГС выполнялись парами приёмников. Интервал записи данных 1 секунда, продолжительность каждой сессии GNSS-наблюдений на пунктах составила не менее 3 часов. Синхронность наблюдений обеспечивалась в каждой паре реперов ВОГС.

Целью GNSS-наблюдений на реперах ГВО являлась высокоточная передача высотных отметок на все новые пункты ВОГС. GNSS-наблюдения на нивелирных реперах ГВО выполнялись синхронно с ближайшей парой рабочих реперов ВОГС. Интервал записи 15 секунд, продолжительность измерений составляла не менее 2,5 часов.

При выполнении GNSS-наблюдений на стенном нивелирном репере Вельяминово в Московской области (рис. 4) потребовалось осуществить вынос отметки стенного репера на временный репер в 15 метрах от здания, поскольку GNSS-наблюдения нежелательны вблизи стен зданий, экранирующих часть небесной сферы и создающих паразитные многолучевые отражения сигналов от спутников. В дальнейших вычислениях и сравнениях нивелирования и GNSS используется отметка временного репера.

Тип и расположение нивелирного репера Александровка в Тульской области позволили выполнить GNSS-измерения путём непосредственного центрирования спутниковой антенны над репером без выполнения промежуточных мероприятий, как в случае со стенным репером.

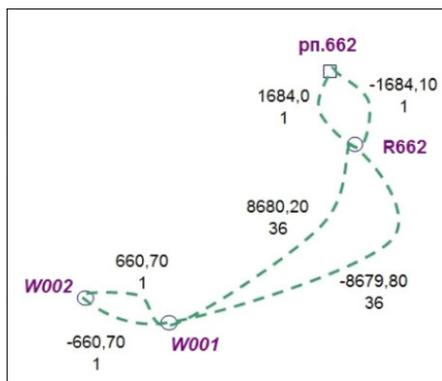


Рис. 5. Схема ходов нивелирования II класса в Московской области

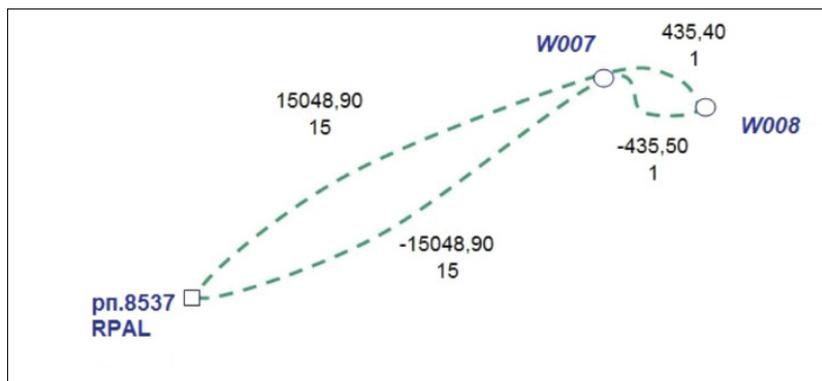


Рис. 6. Схема ходов нивелирования II класса в Тульской области

Спутниковые наблюдения на нивелирных реперах ГВО выполнялись с использованием вехи для установки спутниковой антенны. Это позволяет максимально точно измерить высоту спутниковой антенны относительно репера, что крайне важно для точной передачи высотных отметок ГНСС-методами.

ГНСС-наблюдения на пунктах ГГС выполнялись с целью привязки новых пунктов ВОГС к местным системам координат Московской и Тульской областей. Продолжительность ГНСС-наблюдений на пунктах ГГС составляла не менее 1,5 часов с интервалом записи данных 15 секунд. При этих измерениях требовалось обеспечить синхронность наблюдений только с пунктами каркаса, от которых впоследствии осуществлялась привязка всех остальных пунктов ВОГС в ходе совместной обработки данных измерений.

Выполнение работ по геометрическому нивелированию II класса

Геометрическое нивелирование II класса использовалось в качестве альтернативного метода передачи отметок в Балтийской системе высот 1977 года с нивелирных реперов ГВО на пункты ВОГС. Для выполнения измерений использовался электронный нивелир Trimble Dini 03 с комплектом инварных кодовых реек.

Ходы нивелирования II класса были проложены в прямом и обратном направлениях от репера Вельяминово (rp.662) до пунктов ВОГС W001 и W002 в Московской области и от репера Александровка (rp.8537) до пунктов ВОГС W007 и W008 в Тульской обла-

сти. Работы выполнялись в соответствии с требованиями нормативов на прокладку нивелирных ходов [3]. Схемы ходов нивелирования II класса в Московской и Тульской областях приведены на рисунках 5, 6.

Цифрами на схемах показаны превышения в каждом сегменте хода в направлении прямо и обратно, ниже которых указано общее число штативов в каждом сегменте. Именем R662 на рисунке 5 обозначен временный репер, вынесенный для выполнения ГНСС-наблюдений, как описано выше.

Обработка результатов нивелирования выполнялась в программе CREDO. Результаты оценки точности нивелирования II класса приведены в таблицах 1, 2.

Обработка данных ГНСС-наблюдений

Постобработка результатов ГНСС-наблюдений выполнялась программой Pinnacle. Помимо результатов ГНСС-наблюдений, выполненных на пунктах ВОГС, ГГС и ГВО, для постобработки были использованы сырые данные ГНСС-наблюдений на пунктах IGS [4], ФАГС (получены в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД») и двух постоянно действующих станциях в Московской и Тульской областях, доступ к которым был получен через сервис NIVE3 [5].

Важно отметить тот факт, что для достижения максимальной точности высотных определений с помощью ГНСС-методов необходимо учитывать

Таблица 1. Результаты нивелирования II класса, Московская область

Разность высот исходных пунктов	$H_k - H_n =$	-11,0247	м
Полученная невязка	$V_{\text{пол}} =$	-0,0	мм
Допустимая невязка	$V_{\text{доп}} = \pm 5 \text{ мм} \sqrt{L} =$	8,9	мм
Поправка на 1 км хода	$-V/L =$	0,00	мм
Средние квадратические ошибки нивелирования на 1 км хода:			
- случайная	$\eta = \pm$	0,2	мм
- систематическая	$\sigma = \pm$	0,06	мм

Таблица 2. Результаты нивелирования II класса, Тульская область

Разность высот исходных пунктов	$H_k - H_n =$	15,4840	м
Полученная невязка	$V_{\text{пол}} =$	-0,1	мм
Допустимая невязка	$V_{\text{доп}} = \pm 5 \text{ мм} \sqrt{L} =$	5,7	мм
Поправка на 1 км хода	$-V/L =$	0,04	мм
Средние квадратические ошибки нивелирования на 1 км хода:			
- случайная	$\eta = \pm$	0,3	мм
- систематическая	$\sigma = \pm$	0,27	мм

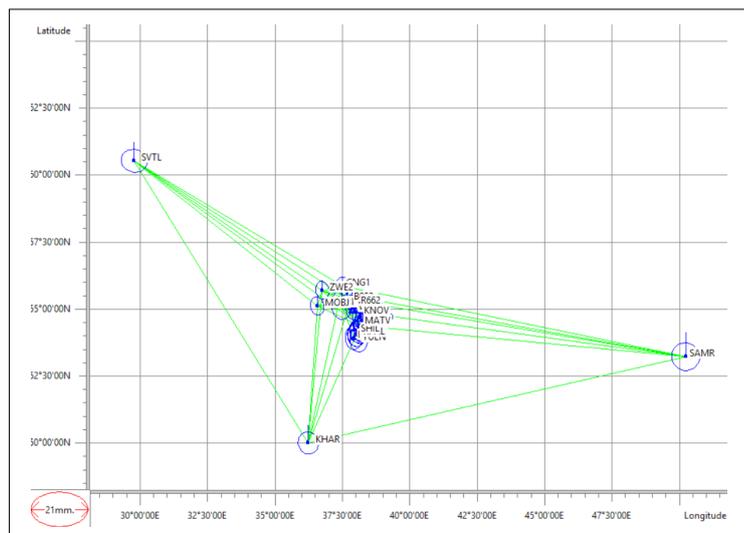


Рис. 7. Результат свободного уравнивания сети ГНСС-векторов

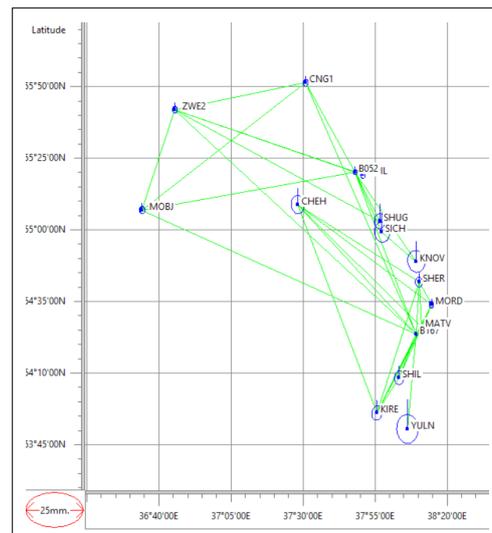


Рис. 8. Результат свободного уравнивания сети для привязки к МСК

точные параметры калибровок применявшихся спутниковых антенн, которые можно найти на сайте геодезической службы США [6].

Обработка данных ГНСС наблюдений выполнялась в несколько этапов:

- свободное уравнивание сети векторов ГНСС-измерений;
- привязка пунктов ВОГС к системе координат ITRF2008;
- привязка пунктов ВОГС к системе координат ГСК-2011;
- привязка пунктов ВОГС к местным системам координат (МСК) регионов.

Свободное уравнивание позволяет оценить точность геометрического построения ГНСС-векторов по внутренней сходимости без фиксирования координат или высот каких-либо пунктов, что позволяет исключить влияние возможных ошибок в исходных координатах (рис. 7).

Оценка результатов свободного уравнивания свидетельствует о точности определения местоположения всех пунктов ВОГС на уровне 6 мм в плане и 8 мм по высоте.

Привязка к системе координат ITRF2008 осуществлялась в результате уравнивания сети из совокупности всех измерений проекта, включая определяемые пункты ВОГС новой закладки, базовые станции каркаса ВОГС, пункты ГГС, реперы ГВО, станции международного мониторинга IGS, пункты ФАГС.

Важно отметить, что международная система земной относимости ITRF2008, в отличие от привычных каталогов ГГС и ГВО, не является стабильной во времени системой учёта координат и высот, приведённых к неизменным величинам. Пункты IGS, являющиеся носителями координат и высот системы ITRF2008, описывают смещения относительно принятого центра масс Земли и положения осей мировой геоцентрической де-

картовой системы. Представление векторов этих смещений пунктов ведётся в двух системах:

- геоцентрической декартовой системе ITRF2008 в виде ежегодных линейных вращений по каждой из осей;
- геодезической системе на эллипсоиде WGS-84 в виде ориентированных по широтам, долготам и высотам смещений, эквивалентных геоцентрическим.

Первый метод более прост в линейной оценке масштабов смещений, тогда как второй является более наглядным для картографического представления векторов смещений.

Таким образом, решение задачи определения геоцентрических (геодезических) координат в системе ITRF2008 возможно путём приведения каталогов решений на некоторую дату. Поскольку в ходе выполнения проекта было целесообразно сопоставить две высокоточные системы координат ITRF2008 и ГСК-2011, в качестве одной из дат было выбрано 1 января 2011 года как дата начала отсчёта системы ГСК-2011 [7]. В качестве второй даты была выбрана одна из дат выполнения ГНСС-измерений при реализации проекта. Приведение каталогов решений на указанные даты выполнялось с использованием открытой информации с интернет-ресурса SOPAC [4].

Максимальные значения ошибок определения координат пунктов в системе ITRF2008 по результатам уравнивания сети с одним исходным пунктом IGS не превышают 1 см.

Привязка к системе координат ГСК-2011 осуществлялась в результате уравнивания сети в той же конфигурации, что и при выполнении привязки к системе ITRF2008. Координаты пунктов ФАГС в системе ГСК-2011 были получены в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». При уравнивании сети в качестве плановой основы были зафиксированы значения координат

одного пункта ФАГС, приведённые на дату 1 января 2011 года. В качестве высотной основы приведения отметок от эллипсоидальных к нормальным высотам (Балтика 77) были приняты отметки реперов ГВО, на которых выполнялись ГНСС-измерения. При уравнивании использовалась модель геоида EGM 2008. Уравнивание сети с вышеописанными исходными данными позволило получить каталог всех пунктов сети в системе ГСК-2011 на исходную дату 1 января 2011 года.

По результатам уравнивания сети максимальные значения ошибок определения координат пунктов в системе ГСК-2011 также не превышают 1 см.

Привязка пунктов ВОГС к МСК регионов выполнялась в несколько шагов. Сначала была выполнена оценка точности сети из всех пунктов ГГС по внутренней сходимости. Для этого все пункты ГГС Московской и Тульской областей были объединены в единый сегмент подсети и уравнены вместе с каркасом ВОГС и пунктами IGS и ФАГС. Такой подход позволил получить большее число связей для контроля качества ГНСС-измерений (рис. 8).

Масштаб эллипсов ошибок на рисунке 7 свидетельствует о точности полученных взаимных положений пунктов каркаса ВОГС в пределах нескольких миллиметров. Об этом же свидетельствуют и численные оценки точности

результатов свободного уравнивания пунктов ГГС и пунктов каркасной сети. Максимальная погрешность независимых ГНСС-определений пунктов ГГС составила 13,4 мм по высоте для пункта ГГС Юлинка в Тульской области, все остальные решения точнее сантиметра.

После получения оценки качества каркаса ВОГС относительно ГГС по внутренней сходимости в эту сеть были добавлены все рабочие реперы ВОГС, а также нивелирные реперы высотной основы для обеспечения единства высотных определений всей конструкции сети.

Для получения каталогов определяемых реперов и пунктов каркасной сети ВОГС в местных системах координат было выполнено фиксирование исходных координат по пунктам ГГС с наилучшей надёжностью данных по измерениям ГНСС. Для фиксирования высотной основы за исходные были приняты реперы ГВО. Для перехода в системы МСК в качестве исходных были приняты пункты Ситне-Щелканово (МСК 50) и Мордвес (МСК 71.1).

Параметры оценки точности результатов привязки пунктов ВОГС к местным системам координат демонстрируют максимальную погрешность на уровне 5,3 мм в плане и 7,3 мм по высоте.

Определение параметров пространственных связей между различными системами координат

В процессе рассмотренных выше процедур уравнивания пунктов сети были получены их координаты в различных системах, причём в процессе уравнивания была достигнута очень высокая точность взаимного положения пунктов сети по внутренней сходимости. Это позволяет рассчитать параметры преобразований между различными системами координат, и эти параметры будут наиболее полно обеспечивать целостность координатного описания нашего объекта в различных системах. Отдельно следует отметить, что результаты привязки наших пунктов к системам ITRF2008 и ГСК-2011 продемонстрировали полную идентичность этих систем в пределах точности измерений.

Наш объект исследования имеет протяжённость порядка 200 км и про-

ходит по территории двух регионов со своими местными системами координат. Однако благодаря проведённым измерениям и уравниванию исходных пунктов ГГС в различных системах координат мы имеем возможность получить точные параметры связи между геоцентрическими (ITRF2008, ГСК-2011) и местными (МСК-50, МСК-71.1) системами. Более того, эти параметры преобразований позволят обеспечить единство координатных описаний объекта в любой из упомянутых выше систем координат, избежав при этом каких-либо скачкообразных изменений в координатах при переходе между регионами.

Сравнительный анализ точности передачи нормальных высот ГНСС-методами и геометрическим нивелированием II класса

Корректное сравнение методов ГНСС-наблюдений и нивелирования по точности становится возможным при такой схеме наблюдений, которая обеспечивает множественные варианты независимых решений ГНСС из различных комбинаций векторов.

В качестве исходной высотной основы в нашем проекте использовались два высокоточных репера ГВО II класса, погрешность определения которых (в соответствии с данными из каталогов ГВО) не превышает 2 мм. Эти реперы расположены на расстоянии более 130 км друг относительно друга, и на них, как уже отмечалось, также выполнялись ГНСС-измерения.

Рисунок 9 иллюстрирует схему расположения пунктов каркасной сети B052 и B167, рабочих реперов ВОГС W001-W002, W007-W008 и реперов II класса нивелирной сети RPAL и R662.

Для обеспечения независимости определений высот методами ГНСС показанные выше сегменты определялись в разные даты. Вектор, соединяющий пункты каркаса B052 и B167, был определён из обработки наблюдений за 7 суток.

В представленных сегментах связей пространственными векторами ГНСС возникает несколько условий контроля при комбинировании измерений разными полигонами.

При уравнивании векторов с базы B052 на пункты W001-W002 и векторов связей этих пунктов с R662 воз-

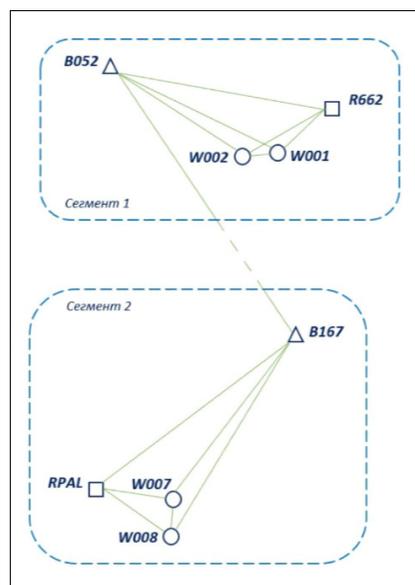


Рис. 9. Схема связей между реперами ГВО и пунктами ВОГС

Таблица 3. Результаты обработки ГНСС-измерений для сегмента 1

№	Пункт	Высотная отметка из уравнивания ГНСС измерений (м)			
		Полигон 1	Полигон 2	Полигон 3	Полигон 4
1	B052	181,4124	181,4115		181,4127
2	W001	186,6019		186,6023	186,6022
3	W002		185,9421	185,9419	185,9419

Таблица 4. Сравнение отметок для пунктов W001–W002

Пункт	Отметка нив. (м)	Отметка ГНСС (м)	Разности (м)	Допуск II класса (м)
W001	186,6019	186,6022	0,0003	0,0089
W002	185,9413	185,9419	0,0006	

Таблица 5. Результаты обработки ГНСС измерений для сегмента 2

№	Пункт	Высотная отметка из уравнивания ГНСС измерений (м)			
		Полигон 1	Полигон 2	Полигон 3	Полигон 4
1	B167	211,3089	211,3078		211,3115
2	W007	259,9727		259,9722	259,9722
3	W008		260,4074	260,4080	260,4080

Таблица 6. Сравнение отметок для пунктов W007–W008

Пункт	Отметка нив. (м)	Отметка ГНСС (м)	Разности (м)	Допуск II класса (м)
W007	259,9740	259,9722	0,0018	0,0057
W008	260,4100	260,4080	0,0020	

Таблица 7. Сравнение отметок, полученных из геометрического нивелирования и ГНСС-методами

Пункт	Отметка ГНСС (м)	Отметка нив. (м)	Разности (мм)
B052	181,4135	181,4127	0,8
B167	211,3078	211,3115	-3,7
R662	195,2811	195,2820	-0,9
RPAL	244,9260	244,9260	0
W001	186,6016	186,6019	-0,3
W002	185,9412	185,9413	-0,1
W007	259,9722	259,9740	-1,8
W008	260,4080	260,4100	-2,0

никает условие четырёх полигонов высотных определений:

- 1) R662–W001–B052–R662 (L=33км);
- 2) R662–W002–B052–R662 (L=33км);
- 3) R662–W002–W001–R662 (L=3.2км);
- 4) R662–B052–W001–W002–R662 (L=33км).

Значения нормальных высот пунктов ВОГС, полученные из обработки ГНСС-измерений для сегмента 1, приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, разности высотных определений пунктов

W001 и W002 из разных конфигураций полигонов (коротких и длинных векторов) составили -0,4 мм и +0,2 мм соответственно. Разности высотных определений пунктов W001 и W002 между 3 и 4 вариантом решений не превысили 0,1 мм.

Поскольку 4 вариант решения содержит все пункты ВОГС, включая пункт каркаса, будем его использовать для сравнения результатов высотных определений, полученных из ГНСС-измерений и методом геометрического

нивелирования II класса. Результаты сравнения приведены в таблице 4.

Аналогичная работа была проделана по сегменту 2. При уравнивании векторов с базы B167 на пункты ВОГС W007–W008 и векторов связей этих пунктов с RPAL возникает условие четырёх полигонов высотных определений:

- 1) RPAL–W007–B167–RPAL (L=85 км);
- 2) RPAL–W008–B167–RPAL (L=85 км);
- 3) RPAL–W007–W008–RPAL (L=2 км);
- 4) RPAL–B167–W007–W008–RPAL (L=85 км).

Значения нормальных высот пунктов ВОГС, полученные из обработки ГНСС-измерений для сегмента 2, приведены в таблице 5.

Как видно из таблицы 5, разности высотных определений пунктов W007 и W008 из разных конфигураций полигонов (коротких и длинных векторов) составили +0,5 мм и -0,6 мм соответственно.

Поскольку 4 вариант решения содержит все пункты ВОГС, включая пункт каркаса, будем его использовать для сравнения результатов высотных определений, полученных из ГНСС-измерений и методом геометрического нивелирования II класса. Результаты сравнения приведены в таблице 6.

Представленные в таблицах 4 и 6 данные контрольных вычислений свидетельствуют о полученной точности ГНСС-измерений в допуске нивелирования II класса во всех комбинациях векторов для обоих локальных сегментов при векторах длиной до 85 км.

Для проверки пригодности ГНСС-метода при передаче отметок на большие расстояния было выполнено совместное уравнивание обоих сегментов и вектора связи базовых станций B052–B167. Конфигурация сети показана на рисунке 9. В качестве исходного был зафиксирован высотный репер RPAL. При уравнивании была использована модель мирового геоида EGM 2008.

Оценка точности уравнивания сети по внутренней сходимости свидетельствует о погрешности определения высот в пределах 1 см для всех пунктов сети общей протяжённостью порядка 130 км.

Высотные отметки, полученные в результате уравнивания этой сети, были сравнены с отметками из геометрического нивелирования с одной оговоркой — для пунктов каркаса

В052 и В167 (расположенных на крышах зданий) определение отметок геометрическим нивелированием не производилось, а в качестве отметок нивелирования были приняты высотные отметки, полученные из решения полигонов №4 (таблицы 3, 5). Результаты сравнения приведены в таблице 7.

Выводы

В результате проведённых исследований апробирована новая методика закладки пунктов ведомственной опорной геодезической сети. Установка металлических марок в качестве центров рабочих реперов ВОГС в бетонные основания элементов дорог позволила значительно снизить затраты на закладку пунктов и одновременно многократно повысить вероятность сохранности этих пунктов на протяжении длительного времени.

Сеансы ГНСС-наблюдений и последующая обработка данных позволили получить высокую точность взаимного положения пунктов ВОГС на уровне нескольких миллиметров как в плане, так и по высоте. Подтверждено, что заложенные в техническое задание для данного проекта требования по длительности и составу ГНСС-наблюдений на пунктах различного назначения являются разумно-достаточными для достижения уровня точности взаимного положения пунктов ВОГС в пределах 1 см.

Выполненная привязка ВОГС к общемировой системе ITRF2008 и государственной единой системе координат ГСК-2011 обеспечила целостность координатного описания линейно-протяжённого объекта. Привязка пунктов ВОГС к местным системам координат Московской области (МСК-50) и Тульской области (МСК-71.1) позволила рассчитать параметры связи между ITRF2008, ГСК-2011 и МСК этих регионов, что обеспечивает возможность осуществления перехода на локальных участках из одной системы в другую и обратно без потери целостности координатного описания всего объекта.

Проложенные ходы геометрического нивелирования II класса между исходными реперами ГВО и вновь заложенными пунктами ВОГС предоставили качественный материал для оценки точности передачи нормальных высот ГНСС-методами. Используемая при уравнивании модель мирового геоида EGM 2008 является достаточной в данных физико-географических условиях местности для редуцирования спутниковых измерений в систему нормальных высот Балтика 77, принятой в Российской Федерации. ГНСС методы способны обеспечить передачу отметок нормальных высот для векторов длиной в десятки и даже сотни километров с точностью, превосходящей возможности геометрического нивелирования высших классов.

Выполненная работа продемонстрировала возможность и целесообразность практиче-

ского применения апробированных методик для создания и развития ВОГС на объектах Государственной компании «Автодор» в целях качественного повышения точности координатного и высотного обеспечения работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, что особенно важно в контексте реализации концепции BIM (информационного моделирования) [8–13]. ■

Литература:

1. Гулин В.Н., Миронов С.А., Неретин А.А. Проблема обеспечения единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 75–83. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.10
2. Гулин В.Н., Миронов С.А. Обеспечение единого координатного пространства: привязка к государственной системе высот // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 48–53. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.8
3. ГКИНП (ГНТА)–03–010–03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Утверждена приказом Роскартографии 25.12.2003 г. № 181-пр.
4. Scripps Orbit and Permanent Array Center. SECTOR: Scripps Epoch Coordinate Tool and Online Resource. URL: <http://sopac.ucsd.edu/sector.shtml> (дата обращения 27.05.2016).
5. Система HIVE3. Все базовые станции через единый интерфейс. URL: <http://hive.geosystems.aero/> (дата обращения 27.05.2016).
6. NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. National Geodetic Survey. Antenna Calibrations. URL: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> (дата обращения 27.05.2016).
7. Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90.11). Справочный документ. Военно-топографическое управление Генерального штаба вооружённых сил Российской Федерации. М., 2014.
8. Попов В.А., Бойков В.Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 8–11. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.2
9. Скворцов А.В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12–21. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.3
10. Скворцов А.В. Нормативно-техническое обеспечение BIM автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 22–32. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.4
11. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1
12. Скворцов А.В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 4–12. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1
13. Бойков В.Н., Неретин А.А., Скворцов А.В. Апробирование информационных моделей дорог на стадии реализации проектов // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 30–36. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.5