

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ СЕТИ ПДБС НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В ГСК–2011

Н.К. Шендрик (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск)

В 1971 г. окончил аэрофотогеодезический факультет Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК, в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий, СГУГиТ) по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал на Предприятии № 8 ГУГК при СМ СССР. С 1979 г. работал в НИС кафедры астрономии и гравиметрии НИИГАиК, с 1993 г. — заведующий лабораторией космической геодезии кафедры астрономии и гравиметрии. С 2013 г. по настоящее время — заведующий лабораторией кафедры космической и физической геодезии СГУГиТ.

П.К. Шитиков (АО «ПО Инжгеодезия», Новосибирск)

В 1972 г. окончил аэрофотогеодезический факультет Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий) по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института до 1991 г. работал на Предприятии № 8 ГУГК при СМ СССР. С 2018 г. работает в АО «ПО Инжгеодезия», в настоящее время — главный технолог.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.11.2016 г. № 1240 [1] в России вводится государственная система координат при выполнении геодезических и картографических работ — геодезическая система координат 2011 года (ГСК–2011), устанавливаемая и распространяемая с использованием государственной геодезической сети. В ГСК–2011, в отличие от предшествовавших ей референцных геодезических систем координат СК–42 и СК–95, в качестве отсчетного эллипсоида принят общеземной эллипсоид, ось вращения которого совпадает с осью Z геодезической системы координат, а началом системы координат является центр масс Земли. Точность ГСК–2011 сопоставима с точностью всемирной геоцентрической системы координат WGS–84 и Международной общеземной пространственной отсчетной основы

ITRF (International Terrestrial Reference Frame). В этой связи актуальным становится апробирование методик и практической реализации определения координат геодезических пунктов в ГСК–2011 [2]. В настоящее время данная система координат закреплена на территории РФ пунктами ФАГС, ВГС и СГС–1.

Целью исследований, представленных в данной статье, является отработка методики определения положения пунктов сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области (ПДБС НСО) в ГСК–2011 от постоянно действующих пунктов ФАГС с помощью программного обеспечения Trimble Business Center.

На первом этапе была выполнена геодезическая привязка семи пунктов, расположенных по периферии и в центральной части первой очереди сети ПДБС НСО, состоящей из 19 пунктов [3]. Положение каждо-

го пункта определялось от трех пунктов ФАГС — ЕКТР (Екатеринбург), NOYA (Ноябрьск) и NSK1 (Новосибирск) — независимо друг от друга, по однотипной схеме, показанной на рис. 1.

Для определений были использованы суточные GPS-измерения на интервале с 1 по 5 января 2011 г. (эпоха 2011.0),

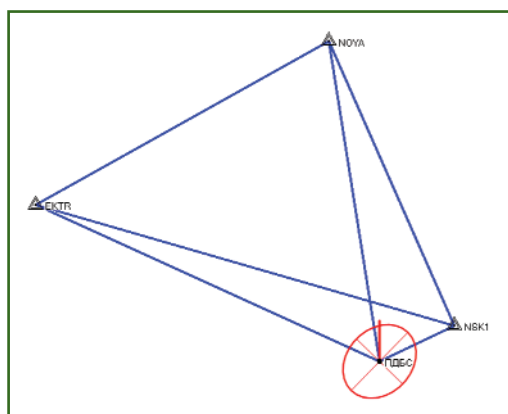


Рис. 1
Типовая схема геодезической привязки для семи пунктов сети ПДБС НСО

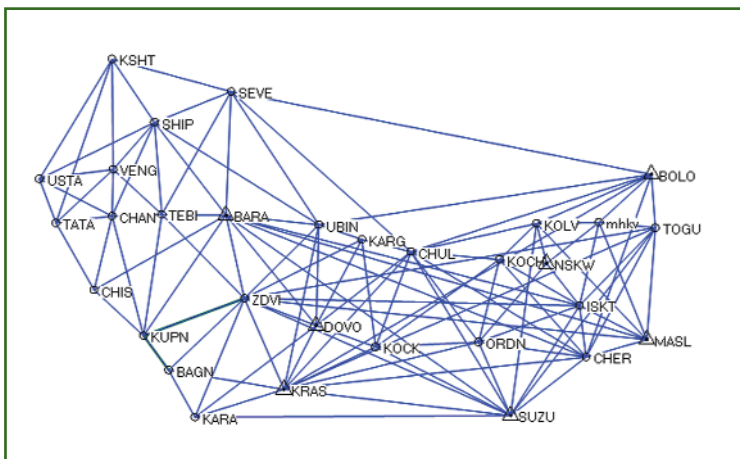


Рис. 2
Схема объединенной сети пунктов ПДБС НСО

как на пунктах ФАГС, так и на семи пунктах сети ПДБС НСО. Данный период был выбран с учетом того, что он характеризуется спокойным состоянием магнитного поля Земли. Каждая базовая линия тщательно редактировалась для исключения прерываний и обеспечения синхронности измерений по обеим частотам L1 и L2 практически по всем прохождениям спутников над горизонтом. Для вычисления базовых линий применялись точные эфемериды. Длины базовых линий между пунктами ФАГС и между пунктами ФАГС и сети ПДБС НСО варьируются в интервале 890–1500 км, а в пределах Новосибирской области от 9 до 300 км. В результате обработки были получены максимальные невязки в замкнутых фигурах (треугольниках), которые из совокупности для семи пунктов не превысили по модулю 26 мм в плане и 43 мм по высоте. Средние квадратические погрешности (СКП) определений координат каждого из семи пунктов из уравнивания по внутренней сходимости составили: в плане ± 1 мм, а по высоте ± 3 –4 мм.

На втором этапе выполнялось совместное уравнивание первой и второй очереди сети ПДБС НСО, включающей 31 пункт, для определения поло-

жения каждого пункта в ГСК–2011 [4]. Исходными пунктами для уравнивания служили семь пунктов, координаты которых были определены на первом этапе. Расположение исходных и определяемых пунктов в объединенной сети ПДБС НСО показано на рис. 2.

Исходными пунктами являлись: BOLO (Болотное), NSKW (Новосибирск), MASL (Маслянино), SUZU (Сузун), KRAS (Краснозерское), DOVO (Довольное) и VARA (Барабинск), а определяемыми — остальные. Объединенная сеть пунктов ПДБС НСО включала данные спутниковых измерений: для первой очереди за 2010 г., для второй очереди за 2013 г. и для связующих базовых линий за

2016 г. Максимальные невязки в треугольниках для объединенной сети не превышали в плане 11 мм, по высоте 19 мм. СКП пунктов из уравнивания по внутренней сходимости составили: в плане ± 1 –3 мм, по высоте ± 4 –9 мм. Таким образом, в результате были определены положения 31 пункта сети ПДБС НСО в ГСК–2011 на эпоху 2011.0 практически с субсантиметровой точностью.

С целью внешнего контроля положения пунктов сети ПДБС НСО в ГСК–2011 была создана совместная спутниковая сеть из 47 пунктов, включающая 17 исходных пунктов сети ПДБС НСО, 5 пунктов ВГС (в том числе пункт ТОРК (Топки) на территории Кемеровской области), 24 пункта СГС-1 и 1 вспомогательный пункт KOLV (Кольвань) из числа пунктов сети ПДБС НСО. Спутниковые измерения на пунктах ВГС и СГС-1 выполнялись сотрудниками АО «ПО Инжгеодезия» в ходе построения государственной спутниковой сети — на пунктах ВГС в разные годы, начиная с 2001 г., отдельными фрагментами и от разных пунктов ФАГС, а на пунктах СГС-1 — в 2016 г. Измерения на пунктах сети ПДБС НСО совместной спутниковой сети также относятся к 2016 г. Пункт KOLV отнесен к вспомогательному, поскольку не выяснена при-

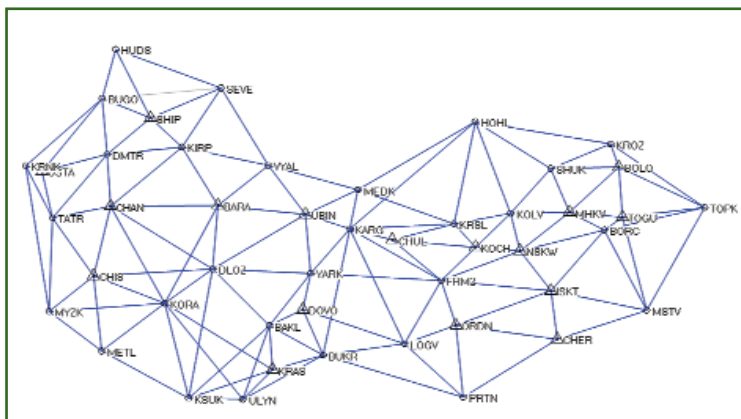


Рис. 3
Схема совместной спутниковой сети из пунктов ВГС, СГС-1 и сети ПДБС НСО

чина локального смещения его положения в системе плоских прямоугольных координат (+2,9 см и +1,5 см) и нормальных высот (–4,69 см) в 2013–2016 гг. Схема совместной спутниковой сети, включающей пункты ВГС, СГС-1 и исходные пункты ПДБС НСО, приведена на рис. 3.

Значения невязок в треугольниках не превысили как в плане, так и по высоте 22 мм. СКП положения пунктов из уравнивания по внутренней сходимости определены в интервале значений: в плане ± 2 –4 мм, по высоте ± 5 –9 мм. Полученные результаты, касающиеся точности положения пунктов как для объединенной сети пунктов ПДБС НСО, так и для совместной спутниковой сети, включающей пункты ВГС, СГС-1 и ПДБС НСО, для которых были использованы спутниковые измерения с 2010 г. по 2016 г., указывают на геологическую стабильность территории Новосибирской области в пределах данного временного интервала.

Контроль осуществлялся по пяти пунктам ВГС, координаты которых в ГСК–2011 были взяты из результатов предварительного уравнивания, выполненного в АО «ПО Инжгеодезия». Оценка точности проводилась по разностям прямоугольных пространственных координат ΔX , ΔY и ΔZ , по которым затем были вычислены средние квадратические погрешности для данной выборки пунктов. Из табл. 1 видно, что с учетом условий определения координат пунктов ВГС, выполненных в АО «ПО Инжгеодезия», разности координат для пяти пунктов ВГС показывают достаточно хорошее согласование результатов из независимых вариантов уравнивания в ГСК–2011, а средние квадратические погрешности находятся практически на уровне субсантиметровой точности.

Контрольные разности пространственных прямоугольных координат для пунктов ВГС **Таблица 1**

Название пункта	Разности координат, мм		
	ΔX	ΔY	ΔZ
KARG	–3	–36	–17
KSUK	–1	–35	–12
SEVE	–11	–18	–28
TATR	+1	–12	–4
TOPK	+1	–43	–3
СКП	± 5	± 13	± 10

По разностям или СКП невозможно объективно оценить точность положения пунктов ВГС, полученных из уравнивания по исходным пунктам сети ПДБС НСО и по данным из предварительного уравнивания в АО «ПО Инжгеодезия». Для решения была предложена методика сравнения результатов из трех вариантов уравнивания спутниковой сети:

— вариант 1 — полностью ограниченное уравнивание сети с пятью исходными пунктами ВГС, полученными от сети ПДБС НСО;

— вариант 2 — полностью ограниченное уравнивание сети с пятью исходными пунктами ВГС из предварительного уравнивания АО «ПО Инжгеодезия»;

— вариант 3 — минимально ограниченное уравнивание с одним исходным пунктом и осредненными для него значениями координат из вариантов 1 и 2.

В качестве исходного пункта для варианта 3 был принят пункт сети ПДБС НСО CHUL

(Чулым), находящийся вблизи геометрического центра сети. Результаты минимально ограниченного уравнивания позволяют наиболее корректно оценить качество спутниковых измерений и сети в целом и служат своеобразным эталоном для исследования влияния на точность исходных пунктов спутниковой сети, используемых в полностью ограниченном уравнивании [5]. Сравнительная оценка выполнялась по разностям координат между вариантами 3 и 1 (3-1) и между вариантами 3 и 2 (3-2) для всех пунктов совместной спутниковой сети. Анализ разностей координат, для удобства интерпретации результатов, проводился в проекции Гаусса-Крюгера в системе плоских прямоугольных координат (x , y) и высот (H). Для каждой выборки разностей Δx , Δy и ΔH по 47 пунктам сети были вычислены статистические характеристики — минимальные, максимальные, средние значения и СКП (табл. 2). По каждому из шести рядов разностей были построены

Статистические характеристики разностей координат и высот пунктов сети для 3-1 и 3-2 **Таблица 2**

Статистические характеристики разностей	3-1, мм			3-2, мм		
	Δx	Δy	ΔH	Δx	Δy	ΔH
Минимум	–15	–1	–3	–12	–7	–32
Максимум	–10	+3	+10	+23	+8	0
Среднее	–12	+1	+4	+7	–2	–15
СКП	± 1	± 1	± 4	± 9	± 3	± 6



Рис. 4
Графики разностей по оси абсцисс



Рис. 5
Графики разностей по оси ординат

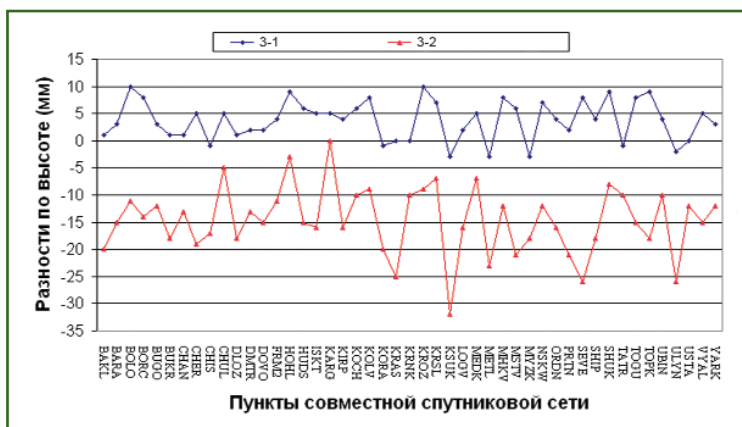


Рис. 6
Графики разностей по высоте

ны соответствующие графики, изображенные на рис. 4–6. Из данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 4–6, видно, что амплитуда разностей по оси абсцисс для 3-1 в 7 раз меньше, чем для 3-2, по оси ординат — более,

чем в 3,5 раза меньше, а по высоте — в 2,5 раза меньше. На графиках заметно проявляется корреляционная зависимость для разностей по оси абсцисс (коэффициент корреляции $\rho = 0,90$), для разностей по

высоте ($\rho = 0,48$) и для разностей по оси ординат ($\rho = -0,18$).

Полученные результаты сравнительного анализа точности положения пунктов спутниковой сети для вариантов 1 и 2 относительно варианта 3 дают основания полагать, что более точным является вариант 1.

В заключение, можно сделать вывод, что опыт определения положения пунктов сети ПДБС НСО с использованием программного обеспечения Trimble Business Center оказался успешным. Точность геодезической привязки пунктов сети ПДБС НСО от пунктов ФАГС в ГСК–2011 может быть оценена на субсантиметровом уровне, что подтверждено результатами внешнего контроля с данными из предварительного уравнивания АО «ПО Инжгеодезия». Следует также отметить высокую точность взаимного положения использованных при исследованиях пунктов ФАГС в системе координат ГСК–2011.

▼ **Список литературы**

1. Постановление Правительства РФ от 24.11.2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».
2. Лагутина Е.К. Аprobация методики включения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области в государственную геодезическую сеть // Вестник СГУГиТ. — 2016. — Вып. 3 (35). — С. 35–40.
3. Шендик Н.К. Исследование точности геодезической сети активных базовых станций Новосибирской области в государственной системе координат и высот // Геодезия и картография. — 2014. — № 1. — С. 2–7.
4. Шендик Н.К. О совместном уравнивании первой и второй очереди сети ПДБС Новосибирской области // Геопрофи. — 2018. — № 1. — С. 20–23.
5. Руководство пользователя программы уравнивания сетей Network Adjustment. Версия 1.00. № 39328-00. В-т А. Ноябрь 1999 // Trimble Navigation Ltd. U.S.A. — С. 18–48.