

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДСКОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ Г. ЧЕБОКСАРЫ

**М.А. Костин** (ФГУП «Средневожское АГП», Самара)

В 1996 г. окончил факультет прикладной геодезии Киевского государственного технического университета строительства и архитектуры по специальности «инженер-геодезист». После окончания университета работает в ФГУП «Средневожское АГП», в настоящее время — главный инженер.

**Ю.Б. Грибов** (ФГУП «Средневожское АГП», Самара)

В 1987 г. окончил Ташкентский топографический техникум по специальности «топография». С 1982 г. работал на Предприятии 12 ГУГК (Узэрогеодезия), с 1994 г. — в Верхневожском АГП. С 1999 г. работает в ФГУП «Средневожское АГП», в настоящее время — ведущий геодезист.

При выполнении плановых работ по полевому обследованию пунктов городской геодезической сети г. Чебоксары было установлено, что более 50% пунктов утрачено, координаты ряда пунктов определялись в разное время различными организациями с разными требованиями к точности. Это не позволяло рассматривать существовавшую на момент обследования городскую сеть как однородную и равноточную. Вышеизложенное стало основой для принятия решения и технического обоснования работ по полной реконструкции городской геодезической сети методом спутниковых геодезических измерений. Был заключен муниципальный контракт между Администрацией г. Чебоксары и экспедицией Средневожского АГП на реконструкцию городской геодезической сети спутниковым методом.

До начала полевых работ был подготовлен рабочий проект реконструкции городской геодезической сети, согласно которому предполагалось создать спутниковую городскую геодезическую сеть (СГГС), включающую каркасную и заполняющую сети. В соответствии с разработанным проектом каркасная

сеть должна опираться на пункты астрономо-геодезической сети (АГС) и пункты государственной нивелирной сети (ГНС) высшего класса. Пространственные координаты пунктов заполняющей сети, опирающиеся не менее, чем на три пункта каркасной сети, должны определяться в режиме «быстрой статики» (РТМ 68-14-01. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения. — М.: ЦНИИГАиК, 2001). Высотное положение пунктов сети предполагалось получать из совместного уравнивания результатов геометрического нивелирования, выполненного по центрам вновь заложенных пунктов, и данных прошлых лет, полученных по результатам геометрического нивелирования центров сохранившихся пунктов.

Опорными пунктами плановой основы вновь созданной СГГС (см. рисунок) были выбраны четыре пункта ГГС 1 и 2 класса, а высотной основой для передачи высот спутниковыми методами — пять нивелирных знаков ГНС I и II класса. При выполнении геометрического нивелирования центров вновь заложенных пунктов в качестве опорных были приняты высоты

пунктов высшего класса.

Созданная каркасная сеть включает 21 пункт. Средние значения расстояний между пунктами не превышают 6–7 км, а максимальное значение составляет 17 км. Пункты каркасной сети имеют центры глубокого заложения. В качестве опорного, центрального пункта каркасной сети, был принят пункт СНЕВ в юго-восточной части г. Чебоксары. Центр этого пункта представляет собой тур, установленный на несущей стене на крыше производственного здания экспедиции Средневожского АГП. В верхней части тура расположена марка для принудительного центрирования геодезического оборудования.

Спутниковые измерения на пунктах СГГС выполнялись двухчастотными геодезическими спутниковыми приемниками, которые были исследованы метрологической службой предприятия в установленном порядке и признаны пригодными для выполнения высокоточных работ.

Горизонт обзора спутников вокруг центра пункта СНЕВ открыт, маскирование спутниковых сигналов не превышает 3–4°. На этом пункте выполнялись круглосуточные измерения спутниковым геодезическим

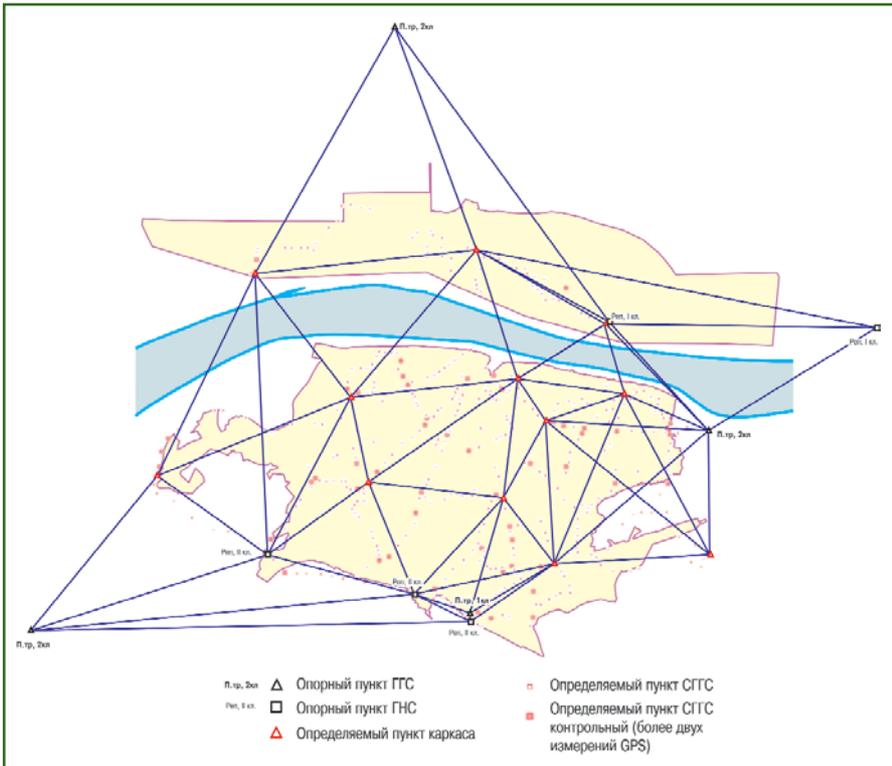


Схема спутниковой городской геодезической сети г. Чебоксары

приемником, работающим в режиме ГЛОНАСС/GPS, в течение периода полевых работ.

Измерения на пунктах каркасной сети выполнялись в статическом режиме отдельными сеансами десятью спутниковыми геодезическими приемниками одновременно. Средняя продолжительность сеанса измерений составляла не менее 6 часов на пункте и 4 часов для вектора, связывающего два ближайших пункта. Интенсивность (продолжительность эпохи) записи спутниковых сигналов составляла 15 с, а маска угла отсечки спутниковых сигналов — 5°. В работах по каркасной сети было задействовано пять бригад, каждая из которых была оснащена двумя спутниковыми приемниками.

Кроме того, для привязки СГТС к пунктам IGS (International GPS Service for Geodynamics) были использованы данные круглосуточных измерений на пункте фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) SAMR (Самара)

и пунктах IGS, расположенных в Москве, Новосибирске, Екатеринбурге и Зеленчуке.

Созданная заполняющая сеть состоит из 439 пунктов, включающих пункты триангуляции 3 и 4 классов и полигонометрии 1 и 2 разрядов существовавшей ранее городской геодезической сети, а также вновь заложенные пункты. Среднее значение расстояний между смежными пунктами составляет 0,3–0,5 км. Пункты заполняющей сети имеют взаимную видимость на один из смежных пунктов.

Полевые работы на пунктах заполняющей сети выполняли две бригады, каждая из которых имела 5 спутниковых приемников. Измерения на пунктах заполняющей сети проводились методом проложения векторных спутниковых ходов при работах спутниковых геодезических приемниках на двух ближайших пунктах каркасной сети и центральном пункте каркасной сети СНЕВ. Сущность этого метода заключалась в следующем. Выбирались пункты запол-

няющей сети, входящие в векторный ход, и два ближайших к ним пункта каркасной сети — узловое пункты. На пунктах векторного хода измерения выполнялись по принципу трехштативной системы. Приемники устанавливались на ближайших друг к другу пунктах хода, и выполнялся установленный программой наблюдений сеанс измерений. Затем «задний» приемник или несколько приемников, исходя из количества задействованных приемников, перемещались вперед по ходу, и выполнялся следующий сеанс измерений; и так до последнего пункта хода. В течение периода измерений на пунктах хода выполнялись непрерывные измерения на узловых пунктах и пункте СНЕВ. Таким образом, наряду с синхронными измерениями на каждом пункте хода и трех пунктах каркасной сети, имелись результаты синхронных измерений на ближайших пунктах хода. В дальнейшем при обработке измерений этот метод позволил более корректно оценить замыкания в полигонах.

Средняя продолжительность сеанса измерений на пунктах заполняющей сети составляла 50 мин для пункта и не менее 20 мин для линии между смежными пунктами. В общем случае продолжительность сеанса измерений на каждом пункте определялась исполнителем, исходя из состояния условий спутниковых измерений на пункте: наличия препятствий для прохождения сигналов от спутника или поверхностей, вызывающих эффект многолучевости; геометрии расположения спутников, их количества; наличия источников радиопомех. При выполнении измерений были приняты следующие системные установки для спутниковой аппаратуры: интенсивность записи спутниковых сигналов — 15 с, угол восхождения спутника для записи в файл — 5°.

В каждый из следующих дней обязательно проводились повторные измерения на пунктах перекрытия, в качестве которых принимались, как правило, пункты, на которых были закончены измерения прошлого дня. Эти пункты являлись контрольными и по разностям двойных измерений, выполненных на них, проводилась оценка качества определения пространственных координат пунктов сети. Кроме того, если от узлового пункта отходило несколько ходов, то обязательно выполнялись синхронные спутниковые измерения на узловом пункте и смежных с ним пунктах.

Полевые работы на 460 пунктах СГГС были выполнены за 20 рабочих дней. В работе было задействовано: пять инженеров, шесть техников, 11 спутниковых геодезических приемников и четыре автотранспортных средства.

При обработке и уравнивании результатов измерений в качестве рабочей, промежуточной системы координат, была выбрана система координат СК-42. Причиной выбора послужило то, что в этой системе координат имеется каталог координат пунктов городской геодезической сети, а выполняемая работа не носила глобальный характер, так как выполнялась на ограниченной территории. Кроме того, в процессе выполнения подготовительных работ было установлено, что ключ перехода из государственной системы координат СК-42 в местную систему координат г. Чебоксары утрачен. В связи с этим, для восстановления зна-

чений ключа перехода, необходимо было иметь координаты сохранившихся пунктов городской геодезической сети в местной системе координат и государственной СК-42.

Дальнейшая камеральная обработка включала предварительную обработку результатов спутниковых измерений, сбор, контроль и отбраковку исходных данных, выбор стратегии уравнивания и уравнивание спутниковой городской геодезической сети.

Предварительная обработка данных спутниковых измерений проводилась с помощью штатного программного обеспечения, применяемого для спутниковой геодезической аппаратуры, и включала следующие работы:

- сверку данных спутниковых измерений с данными обследования;
- сверку типов антенн и высот их установки над центрами пунктов в соответствии с полевыми журналами;
- выбор из Интернет точных орбит спутников GPS и данных об измерениях на постоянно действующих пунктах IGS на период выполнения работ;
- подготовку электронных проектов для обработки и уравнивания пунктов каркасной и заполняющей сетей.

При выборе стратегии уравнивания учитывалось то, что в результате было необходимо получить однородную, равноточную сеть на всю территорию города в системе координат WGS-84, максимально согласованную с государственными системами координат и высот.

Кроме того, необходимо было восстановить ключ перехода из государственной системы координат в местную городскую систему координат, а также уточнить параметры связи геоидов для корректного перехода от геодезических высот к нормальным при работе с GPS-аппаратурой.

Была выбрана стратегия поэтапного уравнивания: первоначально уравнивались координаты пунктов IGS, далее — пунктов каркасной сети, а затем — пунктов заполняющей сети.

На первом этапе вычислялись координаты нескольких пунктов каркасной сети относительно опорных пунктов с известными координатами в WGS-84 и ITRF. В качестве опорных пунктов были выбраны пункт ФАГС SAMR (Самара) и пункты IGS: NVSK (Новосибирск), MDVJ (Менделеево), ZECK (Зеленчук), ARTU (Екатеринбург). Было выполнено совместное уравнивание пунктов как свободной сети, а затем — уравнивание с закрепленными опорными пунктами. Оценка точности, сводные результаты которой приведены в табл. 1, проводилась по разностям двойных измерений.

Полученные в результате уравнивания координаты нескольких пунктов каркасной сети в WGS-84 были приняты в качестве опорных для дальнейшего вычисления координат пунктов каркасной сети. В результате вычисления пространственных векторов были получены следующие средние значения невязок:  $V_x = 6,9$  мм,  $V_y = 7,3$  мм,  $V_n = 11,4$  мм. Коэффициенты

Результаты оценки точности создания каркасной сети на первом этапе

Таблица 1

Параметры	Длина линии, м	Невязки, мм			Высота (U)
		Линия	Широта (N)	Долгота (E)	
Среднее	1700	22,9	19,2	32,9	72,6
Максимальное	3270	46,7	44,9	90,4	118,3
Минимальное	370	5,8	3,0	7,2	27,7

Результаты оценки точности создания каркасной сети на втором этапе

Таблица 2

Длина вектора (S), м	Значения невязок, мм				PPM, мм	S/PPM
	Vs	Vx	Vy	Vh		
5287,3	4,9	7,0	4,2	9,0	2,1	1:2 500 000

корреляции составили:  $XY = 53\%$ ,  $XH = 41\%$ ,  $YH = 49\%$ .

На втором этапе было выполнено вычисление векторов совместных измерений на всех пунктах каркасной сети отдельно по каждому дню измерений. По результатам вычислений были отбракованы «слабые» векторы, и сформирована общая сеть для уравнивания, из которой были исключены векторы, связывающие опорные пункты, а также избыточные и сверхдлинные векторы. Затем было проведено свободное уравнивание пунктов каркасной сети и уравнивание с учетом значений опорных пунктов; выполнена оценка качества измерений по разностям двойных измерений. По результатам значений невязок, абсолютной и относительной погрешностей были получены средние значения, представленные в табл. 2.

На третьем этапе в результате уравнивания были подготовлены окончательные значения координат и высот пунктов каркасной сети в системах координат: WGS-84, СК-42 и СК-95, в зависимости от принятых значений координат и высот опорных пунктов. Координаты опорных пунктов в WGS-84 были взяты из результатов уравнивания, координаты опорных пунктов в СК-42 — из каталога координат пунктов городской геодезической сети, а координаты опорных пунктов в СК-95 — из каталога пунктов ГГС.

Окончательное уравнивание координат пунктов заполняющей сети выполнялось в несколько итераций. Первоначально были вычислены векторы совместных измерений на пунктах заполняющей сети с це-

лью оценки качества и целостности измерений с учетом точных эфемерид спутников GPS отдельно по каждому векторному ходу. По результатам вычислений проводилась отбраковка «слабых» векторов, векторов с коротким перекрытием по времени измерения, и были сформированы сети для уравнивания по каждому блоку, из которых исключались векторы, связывающие между собой опорные пункты, а также избыточные и сверхдлинные векторы.

На следующем этапе была сформирована сеть из пунктов, на которых измерения выполнялись два и более раз. Было выполнено свободное совместное уравнивание пунктов этой сети, а затем уравнивание с закрепленными опорными пунктами каркасной сети. Уравнивание осуществлялось в промежуточной системе координат СК-42. Оценка качества проводилась по разностям двойных измерений, выполненных на ряде пунктов.

Затем для каждого из блоков было выполнено свободное уравнивание пунктов сети и уравнивание итерационным методом с учетом значений опорных пунктов каркасной сети.

Кроме того, была проведена оценка сходимости полученных в результате уравнивания координат пунктов со значениями координат этих же пунктов, определенных ранее. Было исследовано 114 пунктов, и получены следующие систематические смещения:  $Dx = +0,015$  м,  $Dy = +0,021$  м и  $Dh = +0,012$  м. На трех пунктах были обнаружены погрешности в плановом положении, значительно превышающие допустимые. Эти пункты из

сети были исключены.

Для определения ключа перехода в местную систему координат г. Чебоксары было выбрано 110 пунктов ГГС, имеющих координаты в государственной и местной системах координат. Используя программный комплекс Pinnacle ver. 1.00, были рассчитаны параметры преобразования координат. При этом для планового положения использовался метод четырех параметрических преобразований подобия (поворот, масштаб и два параметра переноса начала отсчета), а для вертикальной локализации — метод трех параметрических преобразований (параметр сдвига и два параметра наклона).

Кроме того, по результатам математической обработки значений координат одноименных пунктов в системе координат WGS-84 и в государственной системе координат СК-42 было получено семь элементов параметрического взаимного преобразования координат между этими системами.

Объем работ по камеральной обработке был выполнен двумя исполнителями в течение 60 дней.

**RESUME**

The article presents the background and results of the work to reconstruct the geodetic network of Cheboksary. Reconstruction was conducted within the surveying season of 2006 by the employees of the Srednevolzhskoe aerial and geodetic enterprise. Technical and methodological substantiation is also given for the procedures fulfilled. Criteria used as well as the accuracy assessment results are listed together with the time consumption.