

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГОРОДСКИХ ВЫСОТНЫХ СЕТЕЙ

Ю.Е. ФЕДОСЕЕВ, к.т.н.,

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

В специальной литературе сегодня достаточно много публикаций по использованию спутникового нивелирования взамен геометрического. Мнения по этому поводу самые различные: одни полагают, что можно забыть классическое геометрическое нивелирование и все работы выполнить с помощью спутников, а другие – что такое нивелирование в лучшем случае обеспечит точность топографической съемки. Однако классическое геометрическое нивелирование чрезвычайно трудоемко, и сил Государственной геодезической службы едва достаточно для обновления данных через 15–20 лет, хотя имеется необходимость в более оперативном их обновлении. Особенно остро стоит проблема обновления городских нивелирных сетей, которые на основании Основных положений [1] нужно рассматривать как геодезические сети специального назначения.

Для понимания ситуации с городскими территориями обратимся к табл.1, где представлены общие характеристики поселений и рекомендованные действующими инструкциями классы нивелирования.

Таблица 1

Категории населенных пунктов	Характеристики поселений			Класс нивелирования при создании опорной сети
	системы	площадь в черте города (км ²)	пригородная зона (от черты города), км	
Мегаполисы	общероссийские конурбации	500 и более	150 и более	I, II классы
Крупные города	региональные конурбации	400 – 500	120 – 150	I, II, III классы
Большие города	национальные конурбации	300 – 400	80 – 120	II, III классы
Средние города	городские агломерации	200 – 300	40 – 80	II, III, IV классы
Малые города	районные, межрайонные агломерации	100 – 200	10 – 50	II, III, IV классы
Мелкие поселения	села, станицы, аулы и др.	50 – 100	2 – 10	III, IV классы
Временные поселения	сезонные, вахтовые, садовые, дачные и др.	1 – 50	1 – 2	IV класс, техническое нив.

Большая часть населения Российской Федерации проживает в больших, средних, малых городах и мелких поселениях. В настоящей работе исследования сосредоточены именно на удовлетворении их нужд. Мегаполисы и крупные города лучше обустроены в смысле геодезического обеспечения, а сами сети, как правило, строятся по специальным программам.

Размеры городской территории с зонами притяжения являются достаточно внушительными, поэтому перспективы использования спутникового нивелирования являются весьма привлекательными.

В Российской Федерации, как и во всем бывшем СССР, принята нормальная система высот. Известно, что нормальные высоты определяются общеизвестной классической формулой

$$H_m^\gamma = \frac{1}{\gamma_m} \sum gh. \quad (1)$$

На практике используется формула Еремеева, учитывающая поправку в измеренные превышения

$$\delta = -\frac{1}{\gamma_m} (\gamma_{0k} - \gamma_{0i}) H_m + \frac{1}{\gamma_m} (g - \gamma)_m h_{ik}. \quad (2)$$

Спутниковые измерения позволяют непосредственно определить геодезическую высоту H , которая связана с нормальной высотой соотношением

$$H = H^\gamma + \zeta. \quad (3)$$

Камнем преткновения является аномалия высоты ζ , которая в общем случае известна довольно грубо. Можно попытаться для ограниченного района увеличить точность определения аномалии высоты до нескольких сантиметров за счет высокой плотности высокоточных нивелирных сетей, созданных за многие десятилетия по классическим технологиям. Только в этом случае спутниковое нивелирование сможет на территории города конкурировать с классическим геометрическим нивелированием.

На рис. 1 представлены графики зависимости ошибок нивелирования в зависимости от дальности, показывающие возможности применения спутникового нивелирования. Эти данные показывают, что если информация об аномалиях высот будет известна с точностью порядка 40 мм (горизонтальная линия a), то спутниковое нивелирование может заменить техническое на дальностях более 4 км, нивелирование IV класса – на дальностях свыше 34 км, но не сможет заменить нивелирование ни III, ни тем более II класса.

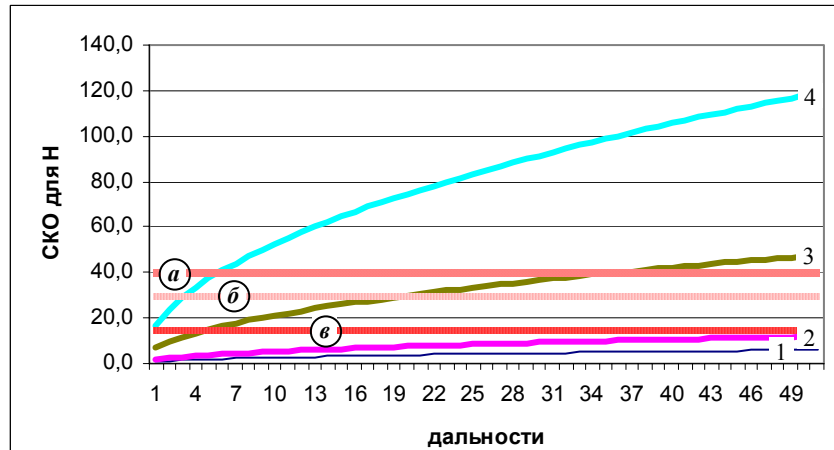


Рис. 1. Зависимость ошибок определения высот (мм) от дальности (км) при нивелировании 1 – II класса; 2 – III класса; 3 – IV класса; 4 – техническом

Если же точность определения аномалий высот будет каким-то образом повышена до 16 мм (горизонтальная линия в), то спутниковое нивелирование сможет полностью заменить нивелирование IV класса на дальностях свыше 5 км, но не сможет заменить нивелирование ни III, ни II класса.

Это полностью совпадает с мнением некоторых западных геодезистов. Так, финские специалисты полагают, что спутниковое нивелирование чрезвычайно эффективно при дальностях более 50 км. В наших условиях это означает, что спутниковое нивелирование наиболее эффективно где-то за Уралом, в горно-таежной области, где сети государственного нивелирования чрезвычайно разрежены.

В условиях городов, на небольших участках можно попытаться повысить точность спутникового нивелирования. В настоящей статье рассмотрены конкретные предложения по этому поводу, но сначала необходимо рассмотреть сами городские нивелирные сети в контексте создания спутниковых сетей.

При рассмотрении спутникового нивелирования в городах нужно иметь в виду две группы проблем, заключающиеся в следующем.

Первая проблема связана с тем, что формально в городах используется Балтийская система высот, однако фактически это не совсем так, поскольку выполняемые через 15–20 лет повторные нивелировки I класса дают иные, значительно отличающиеся от первоначальных, отметки точек. Получается, что в городе нет начала счета высот, а есть меняющаяся во времени система высот, и это создает целый ряд проблем.

Вторая проблема связана с тем, что действующие инструкции оговаривают не точность определения высот, а лишь методику измерений. В связи с этим возникает необходимость регламентации точностных параметров городских высотных сетей и их аттестация.

Негативное влияние первой проблемы может быть ослаблено, если в каждом городе использовать частную (квазинормальную) систему высот, отнесенную к некоторой декларативно назначенной точке O (рис. 2), приняв ее за начало счета высот и полагая, что в этой точке эквипотенциальная и физическая поверхности совмещены. При этом система высот города окажется измененной (приподнятой или опущенной) на постоянную величину Δ , но зато счет высот будет отнесен к конкретной точке, к которой должно быть такое же отношение, как и к нулю Кронштадтского футштока, т.е. как к номиналу. Причем, это может быть конкретный репер, средняя высота города и т.п. Желательно, чтобы эта точка была устойчива, удобно расположена и так далее, но, в конце концов, это не столь важно, так как «держать» систему высот города все равно будет система реперов.

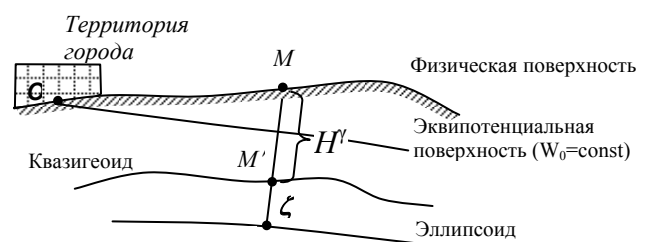


Рис. 2. Квазинормальная система высот города

По отношению к этой декларативно назначенной точке должны быть определены все точностные характеристики городской высотной сети.

Для случая использования квазинормальной системы высот формула (1) примет вид:

$$H_i^\gamma = (H_0^\gamma + \Delta) + \sum \frac{g}{\gamma_m} h,$$

где Δ – величина, учитывающая погрешности высоты декларативно назначенной отметки начальной точки, а поправочный член учитывает приращение измеренных превышений с учетом гравиметрических данных.

Тогда формула для определения квазинормальной высоты по результатам традиционного нивелирования с учетом поправки Еремеева примет вид:

$$H_i^\gamma = (H_0^\gamma + \Delta) + \sum (h_{\text{изм}} + \delta). \quad (4)$$

Заметим, что поправка Еремеева рассчитывается от эллипсоида (а не от введенной ранее условной поверхности), а нужные для ее расчета высоты пунктов могут быть известны достаточно грубо (с ошибкой порядка 100 м), и они всегда имеются.

Формула для определения нормальной высоты по значению геодезической высоты H , определенной из спутникового нивелирования, примет вид:

$$H^\gamma = (H + \Delta + \zeta). \quad (5)$$

Для конкретной точки с именем i нормальную высоту в квазинормальной системе высот можно вычислить по отношению к исходной отметке H_0^γ

$$H_i^\gamma = H_0^\gamma + (H_0 + H_i) + \Delta\zeta_{0i}, \quad (6)$$

где (H_0+H_i) – определенная из спутникового нивелирования, а $\Delta\zeta_{0i}$ – разность аномалий высот, определенная по некоторой модели путем интерполирования.

Использование предложения по введению квазинормальных систем высот сулит целый ряд преимуществ по сравнению с существующим положением:

- нет накопления ошибок, приводящих к появлению и изменению Δ ;
- величины $\Delta\zeta_{0i}$ можно определить значительно точнее, нежели ζ , которые вычислены по различным глобальным моделям для близких точек и сильно коррелированы;
- можно повысить точность определения величин ζ по локальным моделям за счет совместного использования классического нивелирования и спутникового нивелирования.

Необходимо отметить, что неоспоримые преимущества порождают и целый ряд проблем. Их взаимосвязь схематично представлена на рис. 3.

Каждая из перечисленных проблем заслуживает отдельного тщательного рассмотрения и изучения; в данной работе остановимся только на некоторых из них.

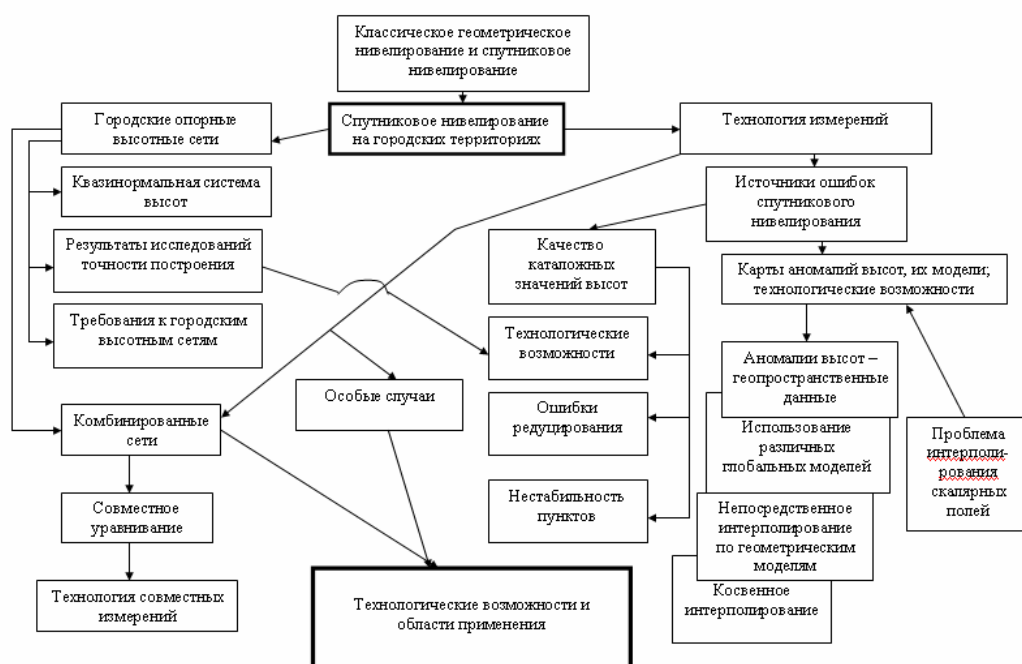


Рис. 3. Схема взаимосвязей

Возможность создания локальных моделей аномалий высот за счет определения нормальных и геодезических высот достаточного количества одноименных пунктов с последующим интерполированием приводит к необходимости оценки точности метода и характера влияния различных источников ошибок на конечный результат.

Очевидным следствием соотношения (3) является формула:

$$K_H = K_{H^\gamma} + K_\zeta, \quad (7)$$

где K_H – корреляционная матрица геодезических отметок, вычисленных по значениям нормальных высот и аномалий высот; K_{H^γ} – корреляционная матрица отметок пунктов в нормальной системе высот; K_ζ , – корреляционная матрица аномалий высот.

Если в некоторых опорных точках, где определены нормальные высоты (например, из каталога или непосредственно по результатам нивелирования, выполненного в процессе сгущения) и геодезические высоты тех же пунктов, полученные из спутникового нивелирования, то аномалия высоты может быть определена как их разность. Точность определения упомянутых аномалий высот может быть описана следующим соотношением:

$$K_{\zeta_0} = K_{H_0^{\zeta}} + K_{H_0} \cdot \quad (8)$$

Точность аномалии высоты, полученной в произвольной точке, будет зависеть от:

- точности определения отметок пунктов городской сети, принятых в качестве базовых;
- точности определения геодезических высот базовых точек, т.е. точности спутниковых определений;
- величины методических ошибок построения модели по величинам ζ_0 , что в свою очередь зависит от плотности расположения и числа исходных точек;
- технологии интерполирования.

Нивелирные сети на территориях городов, городских агломераций и конурбаций развиваются, в основном, по оговоренной методике [2]. Схема и плотность создания городских нивелирных сетей существенно отличаются от нормативных и зависят от категории населенных пунктов и их площади. Основные характеристики точности измерений в сетях нивелирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Точность измерения в сетях нивелирования				
	I класс	II класс	III класс	IV класс	Техн. нивелир.
Длина луча визирования, м	50	65	75	100	125
Число ходов (прямо или обратно)	2	2	2	1	1
Допустимая невязка между превышениями, полученными из хода прямо и обратно	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$50\sqrt{L}$
СКО суммы превышений на 1 км хода, (мм)	0,50	0,84	1,68	6,68	16,68
СКО измерения превышения на станции, (мм)	0,15	0,30	0,65	3,0	8,3

Схемы сети в зависимости от назначения, размера обслуживаемой территории, сроков производства работ, а также от заданной точности конечных результатов, стремятся создавать по возможности с меньшим числом ступеней развития. Соотношение точности элементов схем разных ступеней развития устанавливают в зависимости от того, как будут уравниваться и оцениваться результаты измерений общей схемы: совместно или раздельно (по ступеням). Нивелирные сети в городах строятся по своеобразным схемам, отличным от предписанных [2].

Отметим еще раз, что в каталогах высот данные о точности определения высот пунктов отсутствуют. Их приходится моделировать. Процесс оценки точностных характеристик численных значений можно проводить с двух позиций:

- максимального оптимизма, считая, что все теоретические предположения соответствуют действительному положению вещей;
- здравого пессимизма, считаясь с возможными реальными отступлениями от расчетных теоретических схем.

В нормативных документах отсутствуют требования к точности определения отметок городских нивелирных сетей. Это объясняется тем, что городские сети рассматриваются как фрагменты государственных нивелирных сетей, не оговариваются реперы, принимаемые за начало локальных построений. Если перейти к принципу квазинормальных нивелирных геодезических сетей, то в декларативном порядке необходимо назначить исходный репер и его нормальную отметку, в качестве которого можно использовать пункт АГС. Таким образом, окажется, что фрагмент будет рассматриваться в некоторой локальной системе высот. В качестве примера приведем нивелирную сеть Москвы, которая смещена по высоте на 91 мм по отношению к Балтийской системе высот.

Представляется, что в нормативные документы, регламентирующие создание и поддержание в рабочем состоянии городских нивелирных сетей, необходимо ввести табл. 2, являющуюся специфическим толкованием требований [2]. Таким образом будет закреплено единство методик создания государственных и городских нивелирных сетей.

Предлагается оговорить нормативное значение средней квадратической ошибки определения отметок реперов городской нивелирной сети в самом слабом месте по отношению к принятому началу счета. Предлагаемые значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Класс	Ожидаемые M_H , (мм)	Фактические результаты исследований, Δ_H (мм)
II	10	6
III	20	10
IV	30	20
Техническое	50	50

Ожидаемые численные значения параметров M_H , приведенных в этой таблице, назначены исходя из следующего:

1. Требования к точности определения отметок реперов II класса взяты из требований определения взаимного положения сетей СГС-1 и АГС [1, п. 3.3.5.].
2. Требования к средней квадратической ошибке реперов IV класса взяты из Инструкции [2]. Таким образом, предлагается интерпретировать для данного случая требования к точности взаимного положения двух наиболее удаленных реперов, характеризуемое величиной ошибки в 30 мм.
3. Требования к точности реперов технического нивелирования оговорено, исходя из возможности сооружения самотечных систем без построения магистральных ходов непосредственно от реперов городской нивелирной сети.
4. Требования к точности определения отметок пунктов III класса назначены в два раза ниже соответствующих требований, предъявляемых к сетям II класса. Это сделано исходя из соотношения требований, предъявляемых к точности измерения превышений (см. табл. 2).

Для проверки установленных таким образом критериев были выполнены исследования на моделях городских нивелирных сетей двух больших городов (рис. 4, 5). С этой целью в наиболее слабые нивелирные построения II класса этих городов были вставлены сети сгущения III и IV классов и технического нивелирования. На основе этих исследований были установлены фактические значения предельных ошибок Δ_H , свидетельствующие, что ни в одном случае ошибки положения пунктов по высоте не выходили из пределов, установленных в табл. 2 и 3, причем фактически точность определения отметок оказалась значительно выше ожидаемой.

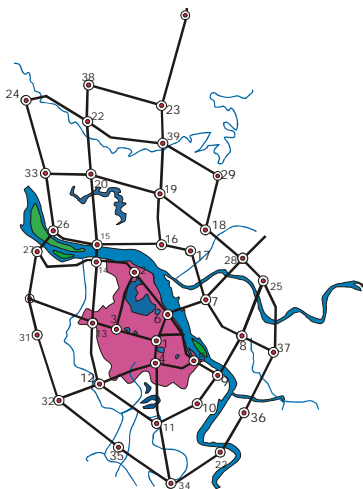


Рис. 4.

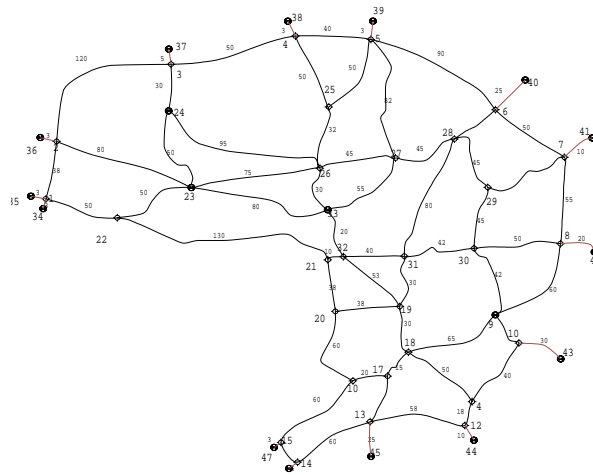


Рис. 5.

Учитывая изложенное, желательно данные табл. 2 и 3 внести в некие документы, регламентирующие построение высотных геодезических сетей в городах, и потребовать от местных властей удержания точностных параметров этих сетей в установленных допусках.

Если при повторных измерениях превышение между реперами изменится на величину большую допустимой невязки (см. табл. 2), то статус этих реперов должен быть понижен.

Рассмотрим схему измерения превышений при спутниковом нивелировании (рис. 6), где показаны два репера с установленными на них рейками, нивелиры и спутниковые антенны.

Известно, что антенна спутникового приемника имеет две важные точки, одна из которых – реальная, указанная в инструкции по эксплуатации и паспорте прибора и до которой измеряется высота инструмента. Вторая точка – это фазовый центр, меняющий свое положение в зависимости от частоты, на которой работает приемник, угла возвышения спутника над горизонтом, и, вполне вероятно, от температуры прибора.

При спутниковом нивелировании антенна устанавливается над вспомогательной точкой, превышение которой, относительно исходного репера с известной нормальной отметкой, получают геометрическим нивелированием.

Высота антенны над этой точкой определяется методом геометрического нивелирования с ошибкой, не превышающей 1 мм.

Аналогичные операции выполняются и со второй антенной.

Превышение, измеренное между реперами, будет содержать погрешность, зависящую от разностей высот фазовых центров. Устранение этой погрешности выполняется, как это принято в геодезии, путем перестановки антенн. Это обстоятельство должно учитываться организацией работ и взаимодействием полевых бригад, одна из которых выполняет геометрическое нивелирование, а другая – спутниковое.

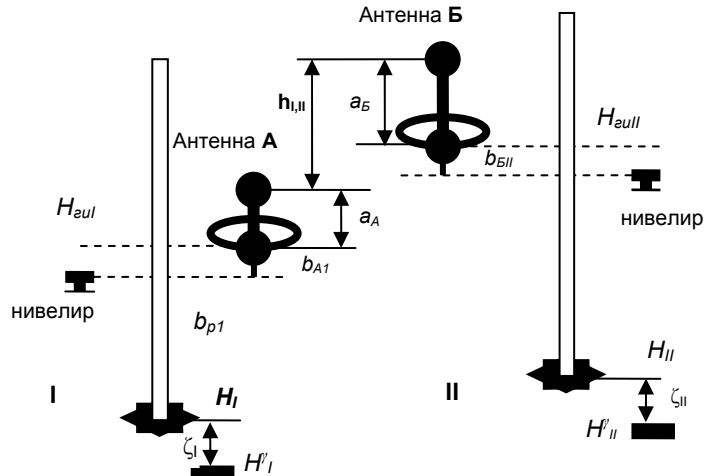


Рис. 6. Схема передачи высот при спутниковом нивелировании

Спутниковое нивелирование можно отнести к новому виду геодезических построений. Многие вопросы, решаемые на основании традиционных геодезических принципов, в данном случае нуждаются в осмыслении и поиске аналогий. Возникают проблемы:

- построения сетей, состоящих из традиционных и новых элементов;
- оценки точности определения отметок, как в той, так и в другой системе высот;
- совместной математической обработки результатов измерений.

Рассмотрим частично оговоренные выше проблемы на модели комбинированной нивелирной сети. На рис. 7 двойными линиями показаны секции нивелирной сети, по которым выполнено как геометрическое, так и спутниковое нивелирование. Пункты 2, 3, 4 и 5 имеют аномалию высоты ζ отличную от нуля. По секциям, показанным пунктиром (1-а, 2-а, 3-б, 4-б, 4-в, 5-в), выполнено только спутниковое нивелирование. Секции а-д, б-д и в-д определены только геометрическим нивелированием. Пункт 1 принят за начало счета, и, следовательно, на нем:

- местная аномалия высоты принята равной нулю,
- квазинормальная высота принята равной геодезической высоте.

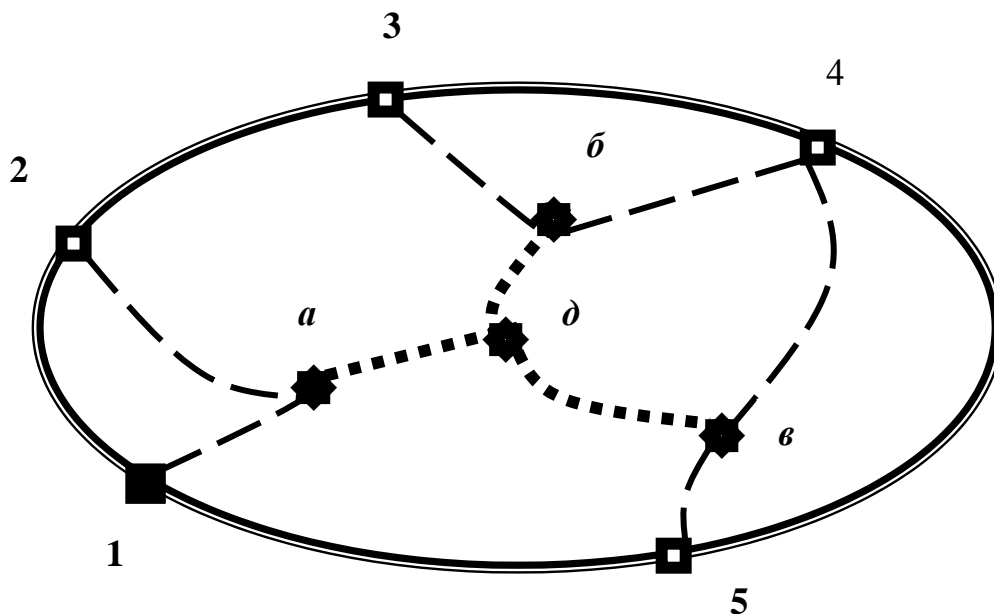


Рис.7. Схема комбинированной нивелирной сети

Предполагается, что имеются корреляционные матрицы измеренных величин K_h , $K_{h'}$. Для любого пункта можно вычислить значение ζ по плановым координатам пунктов и оценить K_ζ .

Необходимо определить отметки пунктов а, б, в и д в квазинормальной городской системе высот.

Рассмотрим все типы секций, встречающиеся в нашей схеме.

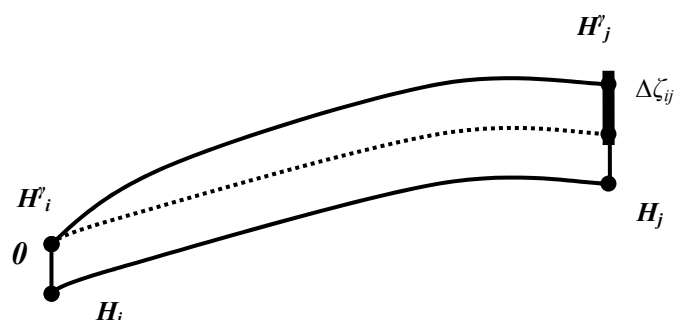


Рис. 8. Секция комбинированного хода

На рис. 8 изображена секция $I - J$, для которой определены:

- превышение h_{ij}^γ из геометрического нивелирования, при этом будем считать по малости протяженности секций, что

$$h_{ij}^\gamma = H_j^\gamma - H_i^\gamma ;$$

- аномалии высот ζ_i и ζ_j найдены по модели квазигеоида, построенной для данной территории.

Предположим, что между точками i и j проложен ход геометрического нивелирования. Измерено превышение h_{ij}^γ . Нормальную высоту точки j определим как

$$H_j^\gamma = H_i^\gamma + h_{ij}^\gamma . \quad (9)$$

Геодезическую высоту пункта j можно определить как

$$H_j = H_j^\gamma + \zeta_j . \quad (10)$$

По аналогии для пункта i

$$H_i = H_i^\gamma + \zeta_i . \quad (11)$$

Перепишем (10) с учетом (9)

$$H_j = H_i^\gamma + h_{ij}^\gamma + \zeta_j \quad (12)$$

И выразим нормальную высоту H_i^γ из соотношений (11) и (12)

$$H_i^\gamma = H_i - \zeta_i , \quad (13)$$

$$H_i^\gamma = H_j - h_{ij}^\gamma - \zeta_j \quad (14)$$

и приравняем их

$$(H_i - \zeta_i) - (H_j - h_{ij}^\gamma - \zeta_j) = 0 . \quad (15)$$

Обозначим

$$H_j - H_i = h_{ij} , \quad (16)$$

$$\zeta_j - \zeta_i = \Delta\zeta_{ij} . \quad (17)$$

Окончательно получим вместо (15) следующее условие

$$h_{ij}^\gamma - h_{ij} + \Delta\zeta_{ij} = 0 . \quad (18)$$

В этом выражении величины h_{ij}^γ и h_{ij} измерены, т.е. известны их численные значения, и могут быть назначены веса $P_{h_{ij}^\gamma}$ и $P_{h_{ij}}$. Величина $\Delta\zeta_{ij}$ взята как разница аномалий высот, вычисленных по модели. Величине $\Delta\zeta_{ij}$

также в соответствие должен быть поставлен ее вес $P_{\Delta\zeta_{ij}}$.

Выражение (18) легко можно интерпретировать как описание замкнутого нивелирного полигона. В действительности, как и для полигона, вместо выражения (18) получим:

$$h_{ij}^\gamma - h_{ij} + \Delta\zeta_{ij} = W , \quad (19)$$

где W – невязка.

Следовательно, при уравнивании будут получены поправки v во все уравниваемые величины, в том числе будет получена и поправка, которую можно интерпретировать двояко:

1. Если $v_{\Delta\zeta_{ij}} \leq tm_{v_{\Delta\zeta_{ij}}}$, то поправка рассматривается как результат перераспределения ошибок измерений и вычислений.
2. Если $v_{\Delta\zeta_{ij}} \geq tm_{v_{\Delta\zeta_{ij}}}$, то поправку можно рассматривать как физически существующую величину, и появляется возможность использовать ее для коррекции модели квазигеоида.

Последний вывод представляется важным, так как в этом случае система становится «самообучаемой».

Для секции, в которой отсутствует превышение, измененное геометрическим нивелированием (например, секция 2-а), условие (18) распадается, и ее следует рассматривать как два последовательных превышения h_{ij} и $\Delta\zeta_{ji}$ с одной узловой точкой.

Следуя предложенной аналогии, схему сети, представленную на рис. 7, можно заменить эквивалентной схемой, состоящей из «превышений» (рис. 9).

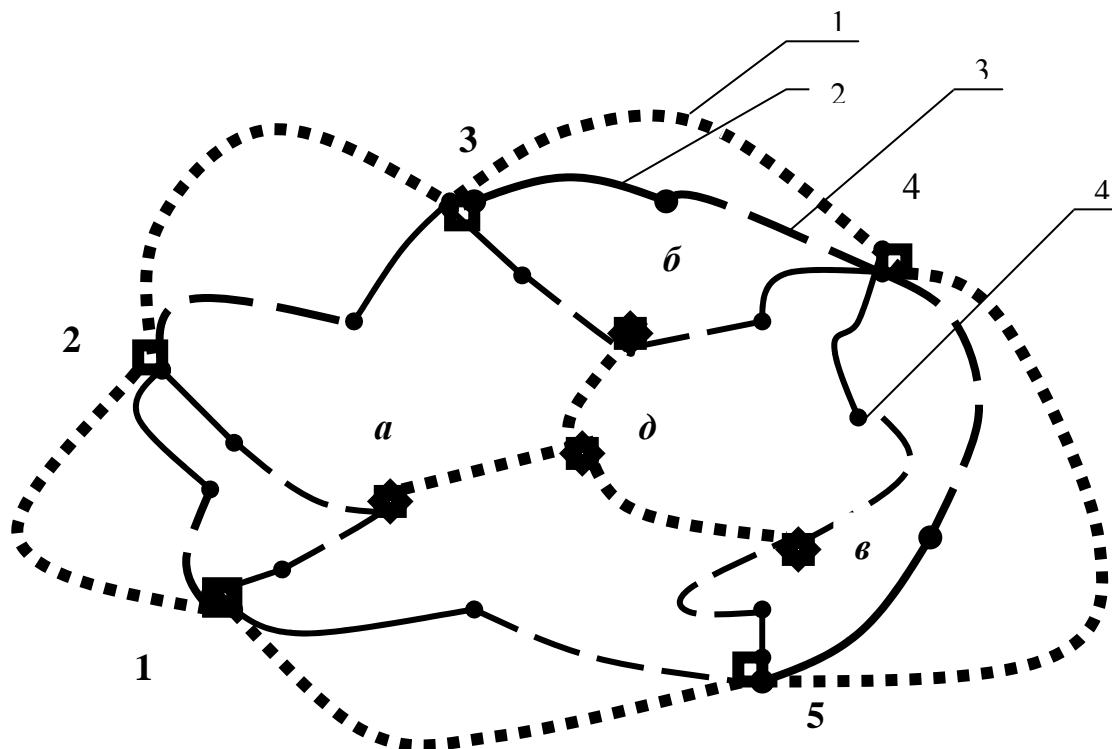


Рис. 9. Схема эквивалентной нивелирной сети

На рис. 9 дополнительно к обозначениям, принятым на рис. 7, выделены:

- превышения, измеренные методом геометрического нивелирования (1);
- «превышения», эквивалентные разности аномалий высот (2);
- превышения, измеренные методом спутникового нивелирования (3);
- фиктивные узловые точки, используемые при уравнительных вычислениях (4).

Эквивалентная сеть может быть уравнена любым способом, при этом в качестве длин секций должны быть использованы обратные веса.

Рассмотрим порядок оценки проекта комбинированной сети, приведенной на рис. 7 и 9. По сути дела этот пример иллюстрирует и уравнивание комбинированной сети. В первую очередь необходимо вычислить обратные веса всех секций, обозначенных на рис. 9. Результаты этой операции приведены в табл. 4.

Первые восемь строк табл. 4 относятся к секциям, превышения в которых определены методом геометрического нивелирования. Указан класс нивелирования и число станций. Вычислены средние квадратические ошибки превышений. Веса вычислялись по классической формуле

$$P = \mu^2 / m^2. \quad (20)$$

Принято $\mu = 10$ мм. Соответственно обратный вес

$$q = 1/P. \quad (21)$$

Строки с девятой по двадцатую относятся к секциям, имитирующим разности аномалий высот. Средние квадратические ошибки приняты одинаковыми, а их численные значения приняты равными 36 мм, что имеет место применительно к г. Москве. Веса и обратные веса вычислены по формулам (20) и (21).

Оставшиеся строки относятся к разностям геодезических высот h , определенным из спутниковых измерений.

Таблица 4

№ п/п	Секция	Тип данных	Число станций	m (мм)	Вес P	Обратный вес q
1	Rp1-Rp2	II кл.	6	0,784	162,760	0,006
2	Rp2-Rp3	II кл.	8	0,905	122,070	0,008
3	Rp3-Rp4	II кл.	8	0,905	122,070	0,008
4	Rp4-Rp5	II кл.	12	1,109	81,380	0,012
5	Rp5-Rp1	II кл.	10	1,012	97,656	0,010
6	а-д	III кл.	4	2,560	15,259	0,066
7	б-д	III кл.	3	2,217	20,345	0,049
8	в-д	III кл.	5	2,862	12,207	0,082
9	Rp1-f1a	ζ		36,000	0,077	12,960
10	Rp1-f15	ζ		36,000	0,077	12,960
11	Rp2-f12	ζ		36,000	0,077	12,960
12	Rp2-f1a	ζ		36,000	0,077	12,960
13	Rp3-f23	ζ		36,000	0,077	12,960
14	Rp3-f34	ζ		36,000	0,077	12,960
15	Rp3-f36	ζ		36,000	0,077	12,960
16	Rp4-f46	ζ		36,000	0,077	12,960
17	Rp4-f4в	ζ		36,000	0,077	12,960
19	Rp5-f54	ζ		36,000	0,077	12,960
20	Rp5-f5d	ζ		36,000	0,077	12,960
21	Rp1-а	h		40,000	0,063	16,000
22	Rp1-Rp2	h		32,000	0,098	10,240
23	Rp5-Rp1	h		40,000	0,063	16,000
24	Rp2-Rp3	h		24,000	0,174	5,760
25	Rp2-а	h		40,000	0,063	16,000
26	Rp3-Rp4	h		32,000	0,098	10,240
27	Rp3-б	h		32,000	0,098	10,240
28	Rp4-Rp5	h		40,000	0,063	16,000
29	Rp4-б	h		32,000	0,098	10,240
30	Rp5-в	h		32,000	0,098	10,240

Предположим, что в результате этих измерений и обработки их результатов получены данные, приведенные в табл.5. Так как в соответствии с темой настоящей работы предполагалось, что измерения проводились в условиях города, можно допустить, что значения параметра V_{DOP} для разных пунктов несколько различаются, и для назначения априорной средней квадратической ошибки значения превышения приходилось выбирать худший параметр исходя из известного соотношения

$$M_{опр} = V_{DOP} M_{изм.}$$

Численные значения ошибок приведены в последней графе табл. 5, откуда они и были перенесены в графу 5 табл. 4.

Таблица 5

№ п/п	Секция	Тип данных	V_{DOP1}	V_{DOP2}	$V_{DOP'}$	m (мм)
21	Rp1-а	h	4	5	5	40
22	Rp1-Rp2	h	4	3	4	32
23	Rp5-Rp1	h	5	4	5	40
24	Rp2-Rp3	h	3	3	3	24
25	Rp2-а	h	5	4	5	40
26	Rp3-Rp4	h	4	4	4	32
27	Rp3-б	h	4	4	4	32
28	Rp4-Rp5	h	5	4	5	40
29	Rp4-б	h	3	4	4	32
30	Rp5-в	h	4	3	4	32

Результаты оценки точности элементов представленной на рис. 9 комбинированной сети приведены в табл. 6 и 7.

Технический результат характеризуется точностью определения отметок пунктов а, б, в и д и с точки зрения поставленной задачи является удовлетворительным

В табл. 7 приведены оценки точности взаимного положения пунктов сети, а ее данные частично повторяют данные табл. 6. Они собраны вместе для подтверждения факта повышения точности определения величин $\Delta\zeta$ в сравнении с исходной точностью (табл. 4) примерно на 30%. Можно утверждать, что в результате предполагаемых работ:

- достигнут технический результат;
- сгущена и уточнена модель квазигеоида на данную территорию;
- подтвержден факт «самообучения».

Таблица 6

№ п/п	Наименование	Q	M _H (мм)
1	f12	5,721	23,91
2	2	0,005	0,71
3	3	0,010	1,01
4	4	0,011	1,01
5	5	0,008	0,91
6	f54	7,167	26,81
7	f4в	7,033	26,51
8	B	4,191	20,51
9	f5в	7,032	26,51
10	д	4,168	20,41
11	б	4,182	20,41
12	f4б	7,031	26,51
13	f34	5,729	23,91
14	f3б	7,030	26,51
15	f32	3,993	20,01
16	a	4,196	20,51
17	f15	7,162	26,81
18	f2a	8,003	28,31
19	f1a	8,001	28,31
20	1 (исх.)		0

Таблица 7

№ п/п	начало	конец	Q	M (мм)
1	20	17	7,16	26,76
2	20	19	8,00	28,29
3	2	1	5,72	23,92
4	2	18	8,00	28,28
5	3	15	3,99	19,98
6	3	14	7,02	26,50
7	3	13	5,72	23,92
8	4	12	7,02	26,50
9	4	7	7,03	26,51
10	20	19	8,00	28,29
11	20	17	7,16	26,76
12	20	18	8,00	28,29
13	20	15	3,99	19,98
14	20	14	7,03	26,51
15	20	13	5,73	23,94
16	20	12	7,03	26,52
17	20	7	7,03	26,52
18	20	6	7,17	26,77
19	20	9	7,03	26,52
20	5	6	7,16	26,76

Необходимо отметить, что рассмотренный пример ни в кой мере не отражает реальных информационных массивов, возникающих при обеспечении городов высотными сетями. Однако, даже на таком маленьком примере становится очевидным необходимость оперативного ведения некоторой информационной базы, в которой сохранялись бы и архивные материалы и имелась рабочая база данных, содержащая самую свежую информацию.

Литература

1. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКНИНП (ГНТА)-01-006-03. М., ЦНИИГАиК, 2004.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. М., Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003.