

СРАВНЕНИЕ И СОЧЕТАНИЕ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Г.А. Шануров (МИИГАиК)

В 1971 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в отделе инженерных изысканий в/ч 33859. С 1975 г. работает в МИИГАиК, в настоящее время — профессор кафедры высшей геодезии. Доктор технических наук. Член Международной ассоциации геодезии (IAG).

Эффективность деятельности специалистов в области геодезических дисциплин во многом зависит от правильной оценки перспектив и направлений этой деятельности. Прежде всего, необходимо изучить историю и адекватно определить современное состояние дел в области геодезии. Автор счел возможным высказать свои соображения на примере государственной геодезической сети СССР.

Опорную геодезическую сеть СССР, также как и геодезические сети других стран, по вполне объективным причинам создавали, используя наземные методы измерений. Существенным признаком этих методов создания геодезических сетей является то, что результаты измерений редуцировали на поверхность земного эллипсоида, а затем обрабатывали на этой поверхности, используя математический аппарат сфероидической геодезии [1]. Еще одним признаком наземных методов является то, что координаты пунктов геодезических сетей выражали в эллипсоидальной геодезической системе координат B , L , H . Геодезическую широту B и геодезическую долготу L называли плановыми координатами, а геодезическую высоту H — высотной координатой. Плановые и высотные координаты пунктов определяли принципиально разными методами. Геодезическую широту и геодезическую долготу пунктов государственной геодезической

сети СССР определяли, создавая плановую геодезическую сеть, для чего, в основном, применяли метод триангуляции. Помимо угловых измерений и измерений длин базисных сторон в сети триангуляции на пунктах, образующих базисные стороны, выполняли астрономические наблюдения на пунктах Лапласа [2–4]. На пунктах Лапласа измеряли астрономическую широту φ , астрономическую долготу λ , а также астрономический азимут α базисной стороны, соединяющей соседние пункты Лапласа. Поскольку геодезическая сеть СССР была создана с использованием геодезических и астрономических методов, ее назвали астрономо-геодезической сетью. Результаты геодезических и астрономических наблюдений объединяли и вычисляли значения уклонов отвесных линий в пунктах Лапласа. Значения уклонов отвеса использовали для редуцирования результатов измерений на поверхность эллипсоида относимости. Парадоксальность ситуации состояла в том, что для редуцирования и окончательного вычисления плановых координат пунктов (B и L) необходимо знать уклонения отвеса, а для того чтобы определить уклонения отвеса, необходимо знать плановые координаты пунктов. Еще один парадокс заключался в следующем: чтобы выполнить редуцирование и вычислить плановые координаты пунктов, необходимо за-

дать параметры эллипсоида и его расположение в теле Земли, а для этого необходимо знать координаты пунктов B и L всей геодезической сети. Проблему решали, как это часто делают в геодезии, используя метод последовательных приближений, но в любом случае ошибки в значениях уклонения отвеса входили в ошибки определения плановых координат пунктов B и L .

Геодезическую высоту H пунктов государственной геодезической сети СССР определяли, используя формулу [3, 5, 6]:

$$H = H^* + \xi, \quad (1)$$

где H^* — нормальная высота пункта; ξ — аномалии высоты в точке расположения пункта.

Нормальные высоты H^* пунктов определяли и определяют, создавая высотную геодезическую сеть. Для этого метод геометрического нивелирования сочетают с результатами измерения ускорения силы тяжести. Значения аномалии высоты ξ определяли, используя метод астрономо-гравиметрического нивелирования [3]. Исходными данными для выполнения астрономо-гравиметрического нивелирования являются значения уклонов отвеса в точках расположения пунктов астрономо-геодезической сети и результаты гравиметрической съемки. Точность определения аномалии высоты ξ методом астрономо-гравиметрического нивелирования характеризуется погрешностью в несколько дециметров.

Такой же, следовательно, была и погрешность определения геодезической высоты H . С использованием наземных методов измерений геодезические координаты пунктов получали раздельно, в несколько этапов и с разной точностью, погрешность геодезической высоты пункта была гораздо больше погрешности его плановых координат. Принципиальным недостатком описанной процедуры является то, что редуцирование результатов измерений на поверхность относимости вносило ошибки в окончательный результат — в эллипсоидальные координаты пунктов государственной геодезической сети.

В настоящее время опорные геодезические сети создают с использованием космических методов: метода радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ), метода лазерной локации искусственных спутников Земли и, по большей части, спутникового метода, основанного на применении спутниковых систем глобального позиционирования GPS (Navstar) и ГЛОНАСС [7]. При таком подходе естественной и удобной для обработки результатов измерений и представления результатов этой обработки является прямоугольная трехмерная (декартова) геодезическая система координат X, Y, Z . При этом отпадает необходимость в предварительном редуцировании результатов измерений на поверхность относимости, т. е. на поверхность референц-эллипсоида. Процедура редуцирования, таким образом, не вносит ошибок в координаты пунктов геодезической сети. Редуцирование на поверхность референц-эллипсоида выполняют уже после вычисления координат этих пунктов. Полученные эллипсоидальные геодезические координаты пунктов используют, в частности, для того, чтобы перейти к координатам на плоскости геодезической проекции, например проекции Гаусса-Крюгера.

Особенностью космических методов создания опорных геодезических сетей является то, что все три координаты пунктов геодезических сетей и разности координат этих пунктов получают совместно и одновременно, с примерно одинаковой точностью; при этом их получают не поэтапно, а непосредственно в геодезической системе координат. Погрешность определения взаимного положения пунктов геодезической сети, созданной с использованием спутниковых систем глобального позиционирования, лежит в пределах одного сантиметра. Спутниковый метод не требует установки знаков над пунктами геодезической сети, наблюдения выполняют вне зависимости от условий видимости, длительность сессии наблюдений не превышает нескольких часов. Ранее, если наблюдателю удавалось выполнить наблюдения на пункте триангуляции 1 или 2 класса в течение недели, это считали успехом. Иногда, из-за плохих условий видимости, наблюдателю приходилось находиться на пункте месяц или дольше. Еще более сложная, в этом смысле, ситуация складывалась при выполнении астрономических наблюдений на пунктах Лапласа. Все эти и еще некоторые обстоятельства привели к тому, что спутниковый метод заменил методы триангуляции, трилатерации и полигонометрии при создании геодезических сетей.

Наиболее точные светодальномеры позволяют измерять расстояния с погрешностью, лежащей в пределах одной десятой миллиметра. Такая точность пока недостижима для спутниковой аппаратуры. Поэтому высокоточные линейные измерения используют на метрологических полигонах, где проводят аттестацию комплектов спутниковых приемников и программного обеспечения, применяемых при создании геодезических сетей.

Возникновение и внедрение в геодезическую практику спутникового метода создания геоде-

зических сетей не уменьшило необходимости изучения поля силы тяжести Земли методами гравиметрии. Напротив, с помощью спутникового приемника удобно определять координаты пункта, на котором установлен гравиметр. Геометрическое нивелирование также не потеряло своего значения. Именно высокоточное и точное геометрическое нивелирование в сочетании с гравиметрией позволяет определять разность нормальной высоты пунктов, расположенных на расстоянии в несколько километров, с погрешностью, лежащей в пределах одного миллиметра. Сочетание нормальной высоты H^* пункта, полученной геометрическим нивелированием, и геодезической высоты H этого же пункта, полученной спутниковым методом, с использованием формулы (1) позволяет получить аномалию высоты:

$$\xi = H - H^* \quad (2)$$

Применяя такой подход, получают значение аномалии высоты с погрешностью, лежащей в пределах сантиметра. Повторим, что значение аномалии высоты, полученное методом астрономо-гравиметрического нивелирования, имело погрешность в несколько дециметров. Таким образом, сочетание наземных методов и спутникового метода позволило создать на поверхности Земли дискретную сеть пунктов со значениями аномалии высот, определенными с высокой точностью. На этой основе созданы модели геоида (квазигеоида) [8]. Модель геоида представляет собой непрерывную поверхность и позволяет вычислить значение аномалии высоты в любой точке, если известны или заданы ее координаты. Модели геоида совершенствуются: в настоящее время значение аномалии высоты с использованием этих моделей получают с погрешностью около одного дециметра. Существуют теоретические и практические возможности повышения точности создания моделей геоида [9, 10]. По этой причине ищут

возможность определять, нормальные высоты пунктов или, точнее, разности нормальных высот пунктов, из результатов спутниковых наблюдений, выполненных на этих пунктах. Этот способ назвали спутниковым нивелированием. Спутниковое нивелирование требует гораздо меньших временных и трудовых затрат по сравнению с геометрическим нивелированием и гравиметрией. Однако точность спутникового нивелирования ограничена ошибками моделей геоида и пока удовлетворяет требованиям, соответствующим только техническому нивелированию.

Единственное соображение о перспективах и направлениях развития геодезии в Российской Федерации, которое автор считает возможным высказать, состоит в следующем. Пункты национальной геодезической сети, которая названа фундаментальной астрономо-геодезической сетью (ФАГС), целесообразно создавать, как это и принято в международной практике, с ис-

пользованием метода радиointерферометрии со сверхдлинной базой и метода лазерной локации искусственных спутников Земли [11]. При этом не нужно ограничиваться установкой на пунктах сети только спутниковых приемников, пусть даже действующих постоянно. В противном случае ФАГС Российской Федерации нельзя считать и называть фундаментальной.

Автор надеется, что специалисты, определяющие перспективы и направления развития геодезии в Российской Федерации, и официальные лица, принимающие решения, учтут информацию, изложенную в данной статье.

▼ Список литературы

1. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. — М.: Недра, 1969. — 304 с.
2. Баранов В.Н. и др. Космическая геодезия. — М.: Недра, 1986. — 407 с.
3. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. Теоретическая геодезия. — М.: Недра, 1978. — 263 с.
4. Яковлев Н.В. Высшая геодезия. — М.: Недра, 1989. — 445 с.
5. Огородова Л.В. Высшая геодезия. Часть 3. Теоретическая геодезия. — М.: Геодескартиздат, 2006. — 381 с.
6. Юзефович А.П. Поле силы тяжести и его изучение. — М.: МИИГАиК, 2014. — 191 с.
7. Шануров Г.А., Мельников С.Р. Геотроника. Наземные и спутниковые радиоэлектронные средства и методы выполнения геодезических работ. — М.: МИИГАиК, 2001. — 136 с.
8. Hofmann-Wellenhof B., Moritz H. Physical Geodesy. — Springer-Verlag Wien New York, 2005.
9. Нейман Ю.М., Сугаипова Л.С. Об адаптации глобальной модели геопотенциала к региональным особенностям // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2014. — № 3–4.
10. Шануров Г.А., Остроумов В.З., Остроумов Л.В. Спутниковые наблюдения на реперах морских уровенных постов в акватории Финского залива // Геопрофи. — 2009. — № 1. — С. 23–27.
11. Dennis D. McCarthy. IERS Conventions (1996). IERS Technical Note 21, July 1996, p. 95.

Навигационно-Геодезический центр

Официальный дистрибьютор компании Leica Geosystems в Украине

Компания НГЦ предоставляет широкий спектр современного оборудования

- геодезическое оборудование
- GPS базовые станции и сети
- наземные лазерные сканеры
- строительное оборудование
- системы структурного мониторинга

Единственный авторизованный сервисный центр в Украине

Представляет журнал «Геопрофи» в Украине



Сайт: www.ngc.com.ua
Почта: ngc@ngc.com.ua
Тел./факс: +38 057 345-12-37



- when it has to be right

Leica
Geosystems