

**О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВЫСОТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА****М.Г.ГОДЖАМАНОВ*****Бакинский Государственный Университет***

*В данной статье обоснована необходимость применения общеземной системы нормальных высот, рассмотрены принципы и ее общая концепция установления, способы перехода от геодезических высот, измеренных GPS приемниками, к системе наземных нормальных высот, а также эффективные методы вычисления аномалий высот.*

Развитие системы высотного обеспечения является составной и неотъемлемой частью решения общей проблемы реконструкции и развития системы геодезического обеспечения на территории Азербайджанской Республики (АР) на основе спутниковых методов координатных определений [4].

Как известно, высоты в СССР, в том числе в АР, определялись в Балтийской системе высот от Кронштадтского футштока. В настоящее время установление связи между нивелирными сетями АР и соседних стран и выход на Единую сеть нивелирования Европы (UELN); участие в европейской сети с использованием GPS-измерений (EUVN) и других международных проектах, требуют определение нормальных высот на территории АР в общеземной системе высот. При существующих принципах распространения нормальных высот относительно среднего многолетнего уровня моря в одном исходном пункте возникает ряд противоречий (различие средних уровней моря в различных уровневых постах), которые не могут быть разрешены традиционными методами геодезических измерений.

Основная идея установления общеземной системы нормальных высот состоит в том, что единую систему отсчета высот определяет поверхность общего земного эллипсоида и потенциал  $u_0$  на поверхности этого эллипсоида, принимаемого за нормальный [2,5]. При таком подходе исходный нивелирный пункт отсутствует, и равенство нулю нормальной высоты в исходном уровневом посту не постулируется. В таком случае, систему нормальных высот на территории АР будет определять совокупность пунктов Высокоточной Геодезической сети (ВГС), в каждом из которых по спутниковым и гравиметрическим данным будут определены геодезическая высота и высота квазигеоида (ВК).

Одним из основных преимуществ новой системы геодезического обеспечения является то, что одной и той же совокупностью геодезических пунктов реализуется как плановая, так и высотная системы координат. Нивелирные репера, пункты Спутниковой Геодезической сети (СГС-1) в высотной системе будут являться инструментом равномерного распространения этой системы нор-

мальных высот по всей территории АР.

Такой принцип установления системы нормальных высот и способ ее распространения по всей территории республики соответствует новой системе геодезического обеспечения, основанной на современных спутниковых технологиях, а также позволяет строго и однозначно согласовывать геодезические высоты, определяемые из GPS/ГЛОНАСС измерений с данными высокоточного нивелирования.

Спутниковые измерения на уровнемерных постах будут служить средством изучения уровня Каспийского моря относительно единого нуля для всей Земли.

Концепция перестройки национальной высотной основы предполагает комбинирование измерений, выполненных на суше (определение геодезических положений, геометрическое нивелирование, гравиметрия) и на море (спутниковая альтиметрия, гидростатическое нивелирование). При этом, средством сведения всех измерений как на суше, так и на море к единой общеземной дате отсчета нормальных высот для всей территории АР является решение краевой геодезической задачи, в результате чего определяются разности потенциала на опорных пунктах Государственной Геодезической сети (ГГС), уровнемерных постах, в точках альтиметрических определений на море.

По полученным в [5] результатам поправка к Балтийской системе нормальных высот за переход к общеземной системе составляет приблизительно - 21 см, т.е. высота уровня среднего многолетнего уровня Балтийского моря в пункте Кронштадт на 21см выше уровня геоида, определенного под условием  $W_0=U_0$ . Утверждается также, что эта поправка справедлива для всей территории, где использовалась Балтийская система высот. Это означает, что она справедлива и для территории АР.

В обозначенных выше условиях при планировании и выполнении основных геодезических работ необходимо обеспечить, с одной стороны, максимальную эффективность применения современных спутниковых методов, с другой стороны, сохранить и реализовать весь потенциал системы высотного обеспечения, созданной на основе традиционных методов геодезических измерений.

В новой структуре ГГС АР пункты ВГС по точности определения высотной составляющей соответствуют II классу в прежней структуре нивелирования, а пункты СГС-1 - III классу нивелирования.

Концепция построения современной системы высотного обеспечения в условиях широкого применения высокоэффективных спутниковых методов GPS/ГЛОНАСС измерений включает в себя реализацию всего потенциала метода геометрического нивелирования, как наиболее точного метода соответствующих традиционных видов геодезических измерений. В то же время для создания эффективной современной системы геодезического обеспечения, необходимо также развитие метода спутникового нивелирования как альтернативы традиционным методом геометрического нивелирования. При разработке технологии методы спутникового нивелирования ни в коей мере не ставится цель полной замены метода геометрического нивелирования в системе геодезического обеспечения. [2,3,5,9]. В районах, не обеспеченных необходимыми данными

о ВК, для определения нормальных высот допускается даже применение тригонометрического нивелирования ([6]).

Идея определения высот геоида как разности высот геодезической и ортометрической на станциях наблюдения за движениями Искусственных Спутников Земли (ИСЗ) была впервые реализована в 60-х годах XX-го столетия. Однако ограниченное число таких станций на протяжении многих лет не позволяло создать точную модель геоида, а значит использовать его для определения нормальных высот.

В настоящее время в связи с развитием космических систем глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС и совершенствованием портативной приемной аппаратуры снова появились возможности определения нормальных высот с использованием спутниковых технологий. Значительный объем исследований в этом направлении выполнен в Японии, США, Германии, есть подобные разработки и в России [1,5,9,10,11,12]. Новые возможности развития сети нормальных высот на территории АР обусловлены использованием геометрического нивелирования в комплексе со спутниковыми координатными определениями в системе GPS/ГЛОНАСС и детальной гравиметрической съемкой. Однако спутниковые технологии определяют геодезические высоты  $H$ . В тоже время для решения производственных задач в повседневной практике на всем пространстве стран СНГ, в том числе и в АР, пользуются не геодезическими, а нормальными высотами  $H^y$ . Для перехода к нормальным высотам необходимо найти высоты квазигеоида (аномалии высот) над референц-эллипсоидом  $\zeta_{\text{реф}}$  или общеземным  $\zeta_{\text{общезем}}$ .

Тогда нормальная высота определится по формуле

$$H^y = H_{\text{реф}} - \zeta_{\text{реф}} \quad (1)$$

или

$$H^y = H_{\text{общезем}} - \zeta_{\text{общезем}} \quad (2)$$

До недавнего времени геодезических высот непосредственно из измерений определить было невозможно и их значения находили вычислениями по формуле  $H_{\text{реф}} = H^y + \zeta_{\text{реф}}$ . При этом требуемая точность определения  $\zeta_{\text{реф}}$  для решения редуцированной задачи не превышала 3 м [8].

Ныне с переходом на спутниковое нивелирование по существу предлагается решать обратную задачу, по измеренным (точнее, вычисленным по геоцентрическим координатам  $X, Y, Z$ ) геодезическим высотам  $H_{\text{общезем}}$  определить значение нормальных высот  $H^y$ . В этом случае связь между высотами устанавливается формулой (2). В этой формуле  $H_{\text{общезем}}$  можно определить (через измеренные разности высот относительно опорного репера с известной высотой) с точностью, достаточной для реализации спутникового нивелирования на практике. Следовательно, определение нормальных высот спутниковым нивелированием сводится к определению  $\zeta_{\text{общезем}}$ , т.е. к установлению детальной и точной информации о ВК над общеземным эллипсоидом. В работе [3] указывается, что 5см уровень точности карт ВК сделает спутниковую систему универсальной геодезической системой, конкурирующей с техническим нивелированием III и IV классов. Для этой цели Федеральная служба геодезии и картографии России рассматривает точность определения возмущающего потенциала на уровне до

$5 \cdot 10^{-5}$ , т.е. с погрешностью менее 0,5 см в высотах квазигеоида. В [5] Г.В.Демьянов утверждает, что использование цифровых гравиметрических карт масштаба 1: 200 000 достаточно для выполнения спутникового нивелирования с точностью государственного нивелирования II класса.

Таким образом, можно отметить, что, в принципе и решение обратной задачи, т.е. вычисление нормальных высот через геодезические, рассматривает установление значения аномалии высоты. Однако в последнем случае требуется, чтобы значение аномалии высоты определялось на порядок точнее, чем при решении редуцированной задачи геодезии.

Рассмотрим некоторые методы вычисления значения аномалии высоты.

С развитием Относительных методов спутниковой геодезии (ОМСГ) появились возможности передачи разностей нормальных высот на значительные расстояния с высокой точностью. Переход к разности нормальных высот  $\Delta H_{AB}^{\gamma}$  осуществляется на основе соотношения

$$\Delta H_{AB}^{\gamma} = \Delta H_{AB} - \Delta \zeta_{AB}, \quad (3)$$

где  $\Delta H_{AB}$  - разность геодезических высот;  $\Delta \zeta_{AB}$  - разность ВК.

Неучет  $\Delta \zeta_{AB}$  в формуле (3) приводит к средней квадратической погрешности 1 м для расстояний до 50 км, 5 м - до 200 км.

Учет указанной поправки в определениях разностей нормальных высот рассматривается в основном двумя методами [5,7,9]:

1. Геометрическим (по нормальным высотам опорных пунктов).
2. Комбинированным с дополнительным использованием значений гравиметрических ВК на опорных и определяемых пунктах.

Суть геометрического метода заключается в том, что при наличии четырех и более опорных пунктов с известными приращениями нормальных высот (из геометрического нивелирования) и геодезических высот (из относительных спутниковых определений) искомая поправка вычисляется путем интерполяции разностей  $\Delta \zeta$ , полученных на опорных пунктах по формуле (3).

Комбинированный метод интерполирования  $\Delta \zeta$  основан на косвенной интерполяции. Главной предпосылкой применения этого метода является то, что основные составляющие погрешности определения ВК, обусловленные несовпадением отсчетных эллипсоидов, к которым относятся  $H^{\gamma}$  и  $\zeta$ , и неучтенным влиянием дальних зон на относительно больших расстояниях в пределах 100 км, изменяются медленно. В локальных сетях перечисленные источники погрешностей в разностях ВК проявляются слабо. Вследствие этого точность определения разностей  $\zeta$  получается значительно выше, чем абсолютных значений.

Весьма эффективный подход интерполирования астрономо-геодезических аномалий высот изложен в работе [7]. В этом подходе с идентичных (совмещенных) пунктов в определяемые интерполируются не аномалии высот  $\zeta$ , а разности астрономо-геодезических и местных гравиметрических аномалий высот  $\Delta \zeta = \zeta^{AG} - \zeta^{sp}$ . При достаточных размерах ближней зоны ( $R_{\psi_0} = 1000$  км) разности  $\Delta \zeta$  в пределах области интерполирования меняются по линейному закону и их можно легко интерполировать на промежуточные точки. Для интерполирования по площади достаточно трех пунктов с известными значениями  $\Delta \zeta$ . Вычисляя затем

местные гравиметрические аномалии высот  $\zeta^{GP}$  по аномалиям силы тяжести только в ближних зонах определяемых пунктов, можно найти интерполированные астрономо-геодезические аномалии высоты  $(H-H^y)_{инт}$  по формуле

$$(H-H^y)_{инт} = \zeta^{GP} + \Delta\zeta_{инт}, \quad (4)$$

и, если геодезические высоты  $H$  известны, возможно, получить нормальные высоты любых пунктов спутниковых определений

$$H^y_{инт} = H - \zeta^{GP} - \Delta\zeta_{инт}. \quad (5)$$

Этот подход основан на косвенной интерполяции астрономо-геодезических аномалий высот, которая широко применялась при обработке Астрономо-геодезической сети (АГС) СССР [8].

Комбинированный метод осуществляется по следующей схеме:

1. Создание высокоточной модели квазигеоида на район работ по гравиметрическим данным.

2. Согласование созданной модели со значениями разностей высот в опорных пунктах.

3. Расчет поправок для определяемых пунктов с использованием «согласованной» модели квазигеоида.

Применение комбинированного метода обеспечивает точность определения нормальных высот на уровне точности геометрического нивелирования III класса в средне-аномальном районе при расстояниях между опорными пунктами до 20 км [1,5].

Наиболее сложной частью комбинированного метода, и в целом перехода к спутниковому нивелированию, является создание высокоточной модели квазигеоида (составление детальной карты ВК). Этой проблеме будет посвящена наша следующая статья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Годжаманов М.Г. Спутниковое нивелирование и требования к точности модели квазигеоида: Материалы Междунар. научно – техн. конф., посвящен. 225-летию МИИГАиК. – М., 24–27 мая, 2004. – С.71–74
2. Годжаманов М.Г. Определение нормальных высот в геодезических сетях с использованием СРНС: Материалы I научно - практ. конф.: Совр. сост., проблемы и персп. разв. геодезии и картографии в Азерб. Р-ке.- Баку:Бак. гос. ун-т, 1–2 июня 2001. – С.62–68
3. Жданов Н.Д., Макаренко Н.Л. О концепции перехода топографо-геодезического производства на автономные методы спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 1998, №3. – С.1–5
4. Мамедов Г.Ш., Годжаманов М.Г. О концепции развития и реконструкции государственной геодезической сети АР//Геодезия и Картография. – 2002, №12. – С.38–42
5. Научно-технический сборник по геодезии, аэрокосмическим съемкам и картографии. Физическая геодезия. ЦНИИГАиК. – М.: ЦНИИГАиК, 1999. – 120 с.
6. Основные положения о государственной геодезической сети России. Проект. – М.: ЦНИИГАиК, 1997. – 18 с.
7. Огородова Л.В., Юзефович А.П. Аномалии высот в районе Московской аттракции и их интерполирование//Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001, №2.

8. Пеллинен Л.П. Определение параметров фигуры и гравитационного поля Земли в ЦНИИГАиК//Геодезия и картография. – 1992, №4. –С.29–35
9. Спутниковые определения высот. 1996-1999 гг.: Реферативный библиографический указатель /ЦНИИГАиК. – М.: ЦНИИГАиК, 2000. – 100 с.
10. Fukuda Y., Kuroda J., Takabatake J., Iton J., Murakami V. Improvement of JGEOID 93 by the geoidal heights derived from GPS/leveling survey. Int. Symp. Grav., Geoid and Mar.Geoid (GraGeoMar 96), Njrej, Sept.30–okt.5,1996: Programm and Abstr. Tokyo, 1996.168.
11. Pahler K., Weber G. EUREF national report of Germany: [Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Tromso, 22–24. June, 2000]/ Veroff. Bayer. Kommis. Int. Erdmess. bayer. Akad. Wiss. Astron. – Geod. Arb. 2001. №61. 264–268.
12. Strange W.E., Weston N.D. A GPS continuously operating reference network (CORS) system for the United States. Int. Union Geod. And Geophys. 21st Gen. Assembly, Boulder, Colo, July 2-14, 1995: Week A. [Boulder, Colo], 1995. A24.

## **AZƏRBAYCAN ƏRAZİSİNDƏ YÜKSƏKLİK TƏMİNATI SİSTEMİNİN İNKİŞAF ETDİRİLMƏSİ HAQQINDA**

**M.H.QOCAMANOV**

### **XÜLASƏ**

Bu məqalədə ümumiyer normal yüksəklik sistemindən istifadənin gərəkliyi əsaslandırılmış, bu sistemin qurulma prinsipləri və konsepsiyasına, GPS qəbulediciləri ilə təyin edilmiş geodezik yüksəkliklərdən yerüstü normal yüksəkliklər sisteminə keçid üsulları, həmçinin yüksəklik anomaliyalarının hesablanması üçün səmərəli metodlara baxılmışdır.

## **ABOUT THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF ALTITUDE COVERAGE ON THE TERRITORIES OF AZERBAIJAN**

**M.G.GOJAMANOV**

### **SUMMARY**

In this article is substantiated the necessity of the application of the Earth system of normal altitudes, are considered principles and the overall concept of its determination, the methods of transition from geodesic altitudes, measured by GPS receiver, to the system of ground normal altitudes, as well as the efficient methods of the calculation of the anomalies of altitudes.