

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.2

ПРОБЛЕМА ВЫСОТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В МИРОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА, д-р физ.-мат. наук, проф. В.Н. КОРОВКИН,
Д.Н. НОВОКРЕЩЕНОВА

(Полоцкий государственный университет)
g.sharoglazova@psu.by, v.korovkin@pdu.by

Статья посвящена проблеме высотного обеспечения, существующей в мировой геодезической практике, и современным направлениям ее решения. Органичная связь геодезии с гравиметрией обусловила двойное понятие высоты: физическое – приводящее к геопотенциальному числу, и геометрическое – как расстояние по вертикали между двумя точками пространства. Выбранный за начало счета высот уровень мирового океана не оправдал себя, так как в разных частях его поверхность из-за различных характеристик солёности, плотности, температуры воды и других факторов не является уровенной и отличается по высоте даже в пределах одного моря, поэтому в отдельных государствах установлены не только свои национальные начала счета высот, но и различные системы, строго говоря, не согласующиеся друг с другом и не отвечающие возможностям современной геодезии. Изложены реализуемые уже в настоящее время направления перехода к общеземной системе отсчета высот, базирующиеся на сочетании GPS/ГЛОНАСС технологий и гравиметрии, свободной от уровня морей и океанов, с которой будут надежно связаны национальные начала счета высот, включая и Республику Беларусь.

Ключевые слова: нивелирование, гравиметрия, системы высот в геодезии, начало счета высот.

Введение. Геодезия как наука о координировании пространства с незапамятных времен занималась определением как минимум трех координат: широты, долготы, высоты. Но в силу того, что геодезические измерения выполняются в реальном гравитационном поле, а геодезические инструменты ориентируются по основным характеристикам этого поля (вертикальная ось – по направлению отвесной линии (силы тяжести), а горизонтальные оси и круги горизонтируются по уровенной поверхности), то результаты этих измерений не могут не зависеть от состояния гравитационного поля, что необходимо учитывать при координатных определениях. С целью нахождения всех необходимых координат геодезисты развивают плановые, высотные и гравиметрические сети, которые при их создании наземными методами по объективным причинам оказались разнесенными в пространстве, т.е. центры плановых геодезических сетей, нивелирных реперов и гравиметрических пунктов не совпали между собой. Это создавало большие сложности в математической обработке геодезических измерений, так как вызывало необходимость учета различных дополнительных поправок в результатах измерений, чтобы достичь необходимой точности определения координат.

Высотные сети, прежде всего, государственные, развиваемые очень трудоемким методом геометрического нивелирования, требуют единого начала счета высот, от которого будут отсчитываться превышения и отметки реперов. Наиболее естественным выбором представилась привязка начала счета высот к среднему уровню мирового океана и сообщаемых с ним морей, определяемому из многолетних морских уровнемерных наблюдений. На прежних этапах развития геодезии, высотного обеспечения планеты и масштабах распространения уровнемерных наблюдений это было оправданным, так как удовлетворяло запросам практики. Многие страны выбрали свои футштоки, обозначили на них средний многолетний уровень омывающего государство моря и приняли его за начало счета высот, полагая, что он совпадает со средним уровнем мирового океана. Не имеющие морей страны развили высотные сети от соседей. Так возникло несколько футштоков: Кронштадтский футшток в Балтийском море, в Финском заливе, средний уровень которого определен за период 1825–1839 гг. (Россия, Беларусь и большинство стран бывшего Советского Союза); Амстердамский футшток относительно среднего многолетнего уровня в Амстердамской части залива Эйсселмер (Европа и страны Прибалтики); Марсельский футшток, средний уровень Лионского залива по Марсельскому мареографу за 1885–1897 гг. (Франция); Анталийский футшток, средний уровень Средиземного моря в районе г. Анталия (Турция); 26 Американско-Канадских футштоков-мареографов (США и Канада); в Великобритании отсчет ведут от зафиксированного между 1915 и 1921 гг. среднего уровня моря у города Ньюлин в проливе Ла-Манш и т.д.

Однако процесс развития высотных сетей осложнился по ряду причин:

– уровни морей и океанов из-за различия температуры и солёности воды в разных частях существенно отличаются между собой. Так, в Австралии по данным водного и геометрического нивелирования

установлено, что уровень моря на северо-востоке на 1,75 м ниже, чем в остальных частях побережья; средний уровень Российских морей ниже среднего уровня в Кронштадте от 0,17 м (Азовское море) до 0,78 м (Чукотское море) [1], а размах колебаний средних уровней морей (СУМ) в Европе относительно СУМ в Амстердаме составляет 0,615 м (от 0,278 м в порту Кеми (Финляндия) до –0,337 м в Триесте [2];

– поверхность мирового океана не является уровенной и не совпадает с геоидом, о чем будет сказано несколько ниже;

– национальные высотные начала отсчета не связаны между собой, а высотные сети развиваются в разных системах высот.

Нельзя не признать, что сформулированные проблемы не соответствуют современным возможностям геодезии, требуют повсеместного решения и уже активно решаются в Европе, России, США. В Беларуси также созданы предпосылки для реализации современной высотной основы на новых принципах, сформулированных в работах [3–5].

Системы высот в геодезии и начала счета высот, существующие в различных государствах. Известно, что отвечающие за координатное обеспечение окружающего нас пространства геодезисты применяют достаточно большое число систем координат и систем отсчета. Это касается не только государственных или местных систем отсчета, но и общеземных, что вызвано объективными причинами, касающимися, прежде всего, движения земных полюсов внутри Земли, неоднородности гравитационного поля, его вариаций во времени, геодинамических явлений и т.д.

В силу того, что геодезист работает в реальном поле силы тяжести, то теоретически он мог бы избежать необходимости введения большого числа систем координат и работать в одной натуральной системе, так как силовые линии поля силы тяжести и уровенные поверхности создают естественную опору для определения единственного положения любой точки в пространстве как пересечения в ней силовой линии и уровенной поверхности [6]. Однако на практике эту систему координат применить трудно в силу слабой изученности гравитационного поля Земли.

К натуральной системе координат ближе всего подходит астрономическая система, в которой в точности совпадают плановые координаты (астрономическая широта φ и астрономическая долгота λ), а отличается только третья координата, связанная с высотой. В астрономической системе координат – это ортометрическая высота $H^{\text{орт}}$, определяемая как расстояние от геоида до точки земной поверхности, отсчитанное по отвесной линии. В натуральной же системе координат применяется физическое понятие высоты как разности потенциалов силы тяжести между исходной уровенной поверхностью (поверхностью геоида, проходящей через начало счета высот) и уровенной поверхностью нивелирного репера точки M местности, то есть $W_0 - W_M$, известное как геопотенциальное число C_M , определяемое по формуле

$$C_M = W_0 - W_M = \int_0^M g dh, \quad (1)$$

где 0 – начало счета высот;

M – точка земной поверхности;

dh – элементарное превышение на каждой нивелирной станции;

g – текущее ускорение силы тяжести по нивелирной линии.

Таким образом, натуральная система координат требует знания значения ускорения силы тяжести в каждой точке стояния геодезического прибора, что выполнить невозможно. Поэтому на практике вводят различные геодезические системы координат, отнесенные к эллипсоиду или плоскости, а для высотного обеспечения – к уровенной поверхности геоида, которая в силу неопределимости заменяется квазигеоидом, приводящим уже к системе нормальных высот, разработанной Молоденским.

Вообще говоря, на практике геодезист в основном имеет дело с тремя высотами: геодезической H^M (расстояние от точки M местности до эллипсоида, отсчитанное по нормали к эллипсоиду); ортометрической $H^{\text{орт}}$ (расстояние от геоида, проходящего через начало счета высот, до точки земной поверхности, отсчитанное по отвесной линии этой точки); нормальной H_M^{γ} (расстояние от точки земной поверхности до поверхности квазигеоида, отсчитанное по направлению нормальной силы тяжести, с высокой степенью приближения совпадающей с нормалью к эллипсоиду). Геодезическое сообщество России [4–12] выступает за использование на практике системы нормальных высот, теоретически обоснованное М.С. Молоденским, как не зависящей от пути нивелирования и позволяющей вычислить поправки для перехода к ней только по результатам измерений на поверхности Земли, то есть не требующей знания о внутренних распределениях масс. Такой подход признается все большим числом стран.

Однако в реальности большинство государств мира пока используют не только разные начала отсчета высот, но и разные системы высот. Так, Россия, Беларусь и другие страны СНГ, а также такие европейские страны, как Швеция, Германия, Франция, применяют систему нормальных высот. Некоторые европейские государства, Турция и страны Американского континента используют ортометрические высоты

по Гельмерту. В Австрии, странах распавшейся Югославии, Норвегии приняты нормально-ортометрические высоты. Это не имеет значения, когда высоты определены с невысокой точностью, и тогда их, за исключением геодезической, называют высотами над уровнем моря, или абсолютными высотами, а разность высот – превышением или относительными высотами, что аналогично названию координат, которые приближенно называют географическими, не разделяя на геодезические и астрономические, но при точных и высокоточных работах с данным обстоятельством считаться необходимо.

С геоидом тоже не все ясно, и как говорилось выше, его вынужденно заменяют квазигеоидом. Известно два определения геоида:

1) геоид – это физическая модель Земли, поверхность которой совпадает с невозмущенной поверхностью морей и океанов, а под материками продолженная перпендикулярно к направлениям силы тяжести (отвесным линиям), проведенным через каждую точку земной поверхности;

2) геоид – это физическая модель Земли, ограниченная уровенной поверхностью поля силы тяжести, проходящей через начало счета высот.

Уровенная поверхность – это поверхность одинакового потенциала и, следовательно, одинаковой высоты. Океанографическое нивелирование и спутниковая альтиметрия показали, что отличия поверхности мирового океана от уровенной достигают 2 метров, то есть при современной точности геодезических измерений поверхность мирового океана нельзя рассматривать как уровенную поверхность потенциала силы тяжести. Поэтому первое определение геоида можно принимать как некоторое приближенное представление о нем. Безусловно, поверхность геоида должна быть уровенной. Но уровенную поверхность можно теоретически провести через любую точку нашей планеты. Если бы начало счета высот на Земле было единственным, то и геоид существовал бы в единственном числе согласно второму, более строгому, его определению. Но, как видим, пока нет общеземного начала счета высот. Следовательно, геоидов может быть несколько и даже сколь угодно много.

В целом же это вносит в высотное обеспечение нашей планеты большую путаницу, несовместимую с современными геодезическими возможностями и научно-практическими потребностями, связанными, например, с необходимостью работы с геоинформационными базами данных, выходящими за национальный уровень. Но и в масштабах отдельного государства при наличии спутниковых средств измерений, развитии гравиметрических приборов создавать высотную основу страны опираясь на морские уровенные наблюдения и некоторую горизонтальную полосу на рейке футштока представляется устаревшим подходом.

Выбор оптимальной системы высот. Основные требования к системе высот, в которой должны быть представлены результаты нивелирования для широкого спектра научно-практических задач, сформулированы Л.П. Пеллиным [3, с. 57]:

- 1) высоты пунктов должны быть однозначны независимо от трассы нивелирования;
- 2) высоты должны определяться лишь по данным измерений на поверхности Земли без привлечения каких-либо гипотетических данных о ее внутреннем строении;
- 3) поправки в измеренные превышения за переход к принятой системе высот должны быть достаточно малы, чтобы ими можно было пренебречь при обработке нивелировок низших классов;
- 4) принятой системе высот должен соответствовать достаточно строгий и удобный способ определения геоидальной части геодезической высоты H ;
- 5) высоты должны быть по возможности постоянными для точек на одной уровенной поверхности.

В этой же работе отмечается, что требования 3 и 5 противоречат друг другу. Имеющиеся противоречия снимаются в работах [7–10].

Рассмотрим, как выполняются сформулированные требования к используемым системам высот. Наиболее заманчиво вообще не считаться с неоднородностью гравитационного поля и пользоваться при определении отметок *измеренными нивелирными превышениями*. Для этого случая в работе [3] дана удобная приближенная формула оценки влияния неоднородности гравитационного поля на результаты нивелирования и рассчитанные по ней числовые характеристики этих влияний:

$$\delta H \approx -0,0053H \sin(2B_{cp})\Delta B, \quad (2)$$

где δH – влияние непараллельности уровенных поверхностей гравитационного поля Земли на превышение по трассе нивелирования;

H – отметка (высота) точки земной поверхности;

B_{cp} – средняя геодезическая широта нивелирной трассы;

ΔB – разности геодезических широт конечного и начального реперов трассы.

Из (2) следует, что при высоте порядка 2 км, широте $B_{cp} = 45^\circ$ и расстоянию по меридиану 50 км ($\Delta B = 0,57^\circ = 0,01$ радиан) это влияние на нивелирование составит около 10 см, что необходимо учитывать в точном нивелировании. В протяженных трассах с конечными нивелирными реперами, отличающимися по широте на 30° , влияние непараллельности уровенных поверхностей на измеренные превышения

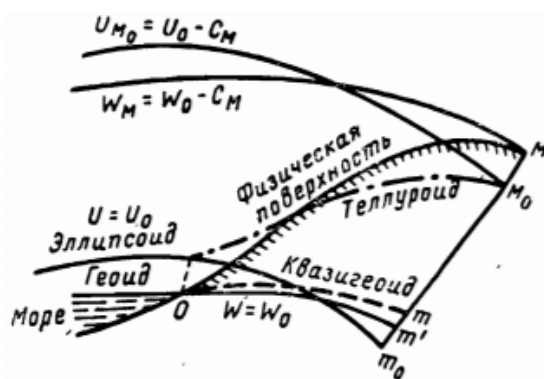
составит уже несколько метров. Ясно, что такую поправку следует учитывать при любой точности нивелирования. Отметим, что согласно (2) непараллельность уровенных поверхностей максимально влияет на нивелирные линии меридионального направления.

Следовательно, измеренными высотами, то есть вычисленными по нивелирным превышениям без учета непараллельности уровенных поверхностей, из-за их неопределенности нельзя пользоваться на практике, и они не удовлетворяют условию (1), так как зависят от пути нивелирования.

Ортометрическая высота $H^{\text{орт}}$, определяемая как расстояние от геоида до точки земной поверхности (рисунок), отсчитанное по силовой линии поля силы тяжести, выражается формулой

$$H^{\text{орт}} = \frac{\int_{OM} g dh}{g_{mM}} = \frac{C_M}{g_{mM}} = \frac{W_0 - W_M}{g_{mM}}, \quad (3)$$

где g_{mM} – среднее интегральное значение силы тяжести вдоль силовой линии, проходящей через точку M до поверхности геоида; остальные обозначения даны в формуле (1) и ясны из рисунка.



Геоид – уровенная поверхность поля действительной силы тяжести, проходящая через начало счета высот ($W = W_0$); **эллипсоид** – уровенная поверхность поля нормальной силы тяжести ($U = U_0$); W_M – действительный потенциал силы тяжести уровенной поверхности точки M местности; **квазигеоид** (почти геоид, отличие $m'm$ на рисунке) – введенная М.С. Молоденским модель Земли, поверхность которой расположена от земной поверхности на расстоянии нормальных высот ($H^Y = mM$) или на расстоянии аномалии высоты $\zeta = m_0m$ от эллипсоида; **теллуroid** – поверхность Земли 1-го приближения, введенная М.С. Молоденским, находится на расстоянии аномалии высоты $\bar{\zeta} = M_0M$ от земной поверхности, а также может быть получена путем отложения нормальных высот точек земной поверхности от эллипсоида; C_M – геопотенциальное число, определяемое формулой (1)

Рисунок. – Основные поверхности Земли и соответствующие им потенциалы силы тяжести

Как следует из формулы (3), строгое определение ортометрической высоты требует измерения силы тяжести внутри Земли в промежутке земная поверхность-геоид, что не согласуется с условием 2 для выбора системы высот. Следовательно, ортометрической системой высот также пользоваться нежелательно. Параллельно отметим, что для перехода от ортометрической высоты к геодезической необходимо учесть расстояние от геоида до эллипсоида, которое еще называют высотами геоида (4).

$$\bar{H} = H^{\text{орт}} + \zeta, \quad (4)$$

где \bar{H} – геодезическая высота;
 ζ – высота геоида над эллипсоидом.

Определяемое формулой (1) геопотенциальное число, являющееся по сути физической характеристикой высоты, не зависит от пути нивелирования. Но на практике им пользоваться неудобно, так как трудно представить, что строитель будет выражать высоту потолка над полом не как расстояние, а как работу, которую необходимо проделать для перемещения единичной массы от пола к потолку.

Нормальная высота. Сформулированным выше условиям 1–4 к выбору системы высот максимально удовлетворяет нормальная высота H_M^Y , определяемая по формуле

$$H_M^Y = \frac{\int_{OM} g dh}{\gamma_{mM}} = \frac{C_M}{\gamma_{mM}} = \frac{W_0 - W_M}{\gamma_{mM}} \quad (5)$$

На рисунке нормальная высота точки M представлена отрезком $mM = m_0M_0$.

Геодезическая высота \overline{H}_M связана с нормальной высотой H_M^Y формулой

$$\overline{H}_M = H_M^Y + \overline{\zeta}_M, \quad (6)$$

где $\overline{\zeta}_M$ – высота квазигеоида над эллипсоидом (аномалия высоты).

Нормальная высота отсчитывается по силовой линии нормального поля (Mm_0 на рисунке). Через потенциалы силы тяжести аномалия высоты $\overline{\zeta}_M$ определяется формулой

$$\overline{\zeta}_M = \frac{U_{M_0} - U_M}{\gamma_{M_0}}, \quad (7)$$

где U_{M_0} , U_M – нормальные потенциалы силы тяжести в точках M_0 и M соответственно;

γ_{M_0} – нормальная сила тяжести в точке M_0 .

$$\overline{\zeta}_M = \frac{T_M}{\gamma_{M_0}} - \frac{W_0 - U_0}{\gamma_{M_0}}, \quad (8)$$

где $T_M = (W_M - U_M)$ – возмущающий (аномальный) потенциал, однозначно определяемый по измерениям силы тяжести на поверхности Земли по М.С. Молоденскому.

Нормальные высоты практически удовлетворяют всем требованиям к выбору системы высот и признаются оптимальными.

Современный принцип установления начала отсчета высот также видоизменился, так как при его выборе отошли от использования в качестве исходных многолетних уровнемерных наблюдений на морских постах по причинам, изложенным выше. Он базируется на нормальной системе высот, развит с учетом современных возможностей спутниковых технологий и инструментальной гравиметрии в работах [4; 5; 12] и максимально свободен от противоречий традиционного подхода.

Современный подход к организации геодезического высотного обеспечения. Современный подход к организации геодезического высотного обеспечения наиболее полно изложен в работе [4]. Он ориентирован на использование системы нормальных высот, согласуется с теорией М.С. Молоденского и устраняет противоречия при существующих принципах установления системы отсчета высот относительно среднего многолетнего уровня моря, отличающегося на разных уровнемерных постах на метр и более, путем отказа от использования уровнемерных наблюдений в качестве исходных и заменой их пунктами геодезических сетей высшего уровня, координирование которых с наивысшей точностью выполнено на основе современных методов GPS/ГЛОНАСС измерений, дополненных высокоточной гравиметрией и связанных с высокоточной сетью геометрического нивелирования.

Если речь идет об общеземной системе отсчета высот, то это пункты IGS сети и других глобальных космических построений, а также пункты ФАГС и ВГС государственных геодезических сетей. Создание общеземной системы отсчета высот требует тесного международного сотрудничества многих стран. Для достижения этой цели одновременно ведется работа в двух направлениях – региональном и общеземном:

- 1) создание национальной или региональной Главной высотной основы (ГВО);
- 2) создание единой общеземной ГВО.

В виду важности проблемы создания ГВО в мире и отдельных странах на современной ступени развития геодезии и гравиметрии приведем выдержку из работы Демьянова Г.В. [4], автора и активного участника практической реализации этого подхода. «Основная идея новых принципов установления единой общемировой системы нормальных высот состоит в том, что единую систему отсчета высот определяет поверхность общего земного эллипсоида и потенциал U_0 на поверхности этого эллипсоида, принимаемый за нормальный. Понятие геоида в этом случае формулируется как эквипотенциальная поверхность с потенциалом W_0 , равным нормальному U_0 на поверхности общеземного эллипсоида. В этом случае не постулируется равенство нулю нормальной высоты в уровнемерных постах, принятых в качестве исходных. При этом подходе исходные нивелирные пункты вообще в принципе отсутствуют, как отсутствует исходный пункт в общемировой геоцентрической системе координат. Систему нормальных высот определяет вся совокупность геодезических пунктов, в каждом из которых с высокой точностью по спутниковым данным определена геодезическая (эллипсоидальная) высота H и высота квазигеоида по гравиметрическим данным. На территории России такой совокупностью пунктов могут служить пункты ФАГС и ВГС. Для всей поверхности Земли – сеть пунктов постоянных спутниковых наблюдений, для целей геодинамики (IGS).

Нормальная высота в этом случае будет равна нулю в той точке земной поверхности, в которой реальный потенциал W_i равен нормальному U_0 на поверхности общего земного эллипсоида, который мы принимаем за нормальный.

В основу разрабатываемых новых принципов развития системы нормальных высот должна быть заложена необходимость соблюдения двух основных условий.

Первое условие – создание оптимальных условий для применения в системе высотного обеспечения современных высокоэффективных спутниковых методов GPS/ ГЛОНАСС измерений.

Второе условие – сохранение и реализация уже созданного научного и экономического потенциала традиционных методов геометрического нивелирования.

В новой разработанной системе высотного обеспечения ни в коей мере не уменьшается роль существующей главной высотной основы страны (ГВО), то есть высокоточного геометрического нивелирования I и II классов.

Во-первых, при установлении новой системы нормальных высот данные высокоточного нивелирования являются необходимой составной частью всего комплекса данных на пунктах ФАГС и ВГС наравне с геодезическими высотами и высотами квазигеоида. Именно для этих целей в состав каждого пункта ФАГС и ВГС входят два пункта ГВО, на которых выполнены высокоточные спутниковые определения геодезических высот.

Во-вторых, существующие нивелирные сети, как и прежде, будут являться средством распространения системы нормальных высот на территории страны, но уже не от одного исходного пункта (уровнемерного поста), а относительно всей совокупности пунктов ФАГС и ВГС.

Такой принцип установления системы нормальных высот оптимальным образом соответствует всей общей системе геодезического обеспечения, основанной на современных спутниковых технологиях. В результате мы будем иметь внутренне согласованную систему геодезического обеспечения по всем трем координатам, координатную основу, которе. будет реализовывать одна и та же совокупность пунктов ФАГС и ВГС».

Данный подход создания ГВО, когда исходной системой отсчета высот служит не средний уровень моря (уровнемерные пункты переводятся в разряд рядовых реперов нивелирной сети), а нивелирная сеть страны опирается не на один футшток, а на совокупность пунктов ФАГС и ВГС, на которых выполнены не только высокоточные спутниковые наблюдения, но и гравиметрические измерения, а также определены высоты из высокоточного геометрического нивелирования, реализуется в России [12], Вьетнаме [13] и других государствах.

В России, например, согласно новому принципу система отсчета высот задается 64 пунктами ФАГС и в перспективе 343 пунктами ВГС, на которых выполнены высокоточные спутниковые измерения, абсолютные гравиметрические измерения и высокоточное геометрическое нивелирование, что позволяет с высокой точностью определить аномалию высоты, геодезическую высоту и нормальную высоту. Найденные на этих пунктах по формуле (9) нормальные высоты как раз и будут являться исходной системой отсчета высот:

$$H_i^y = \bar{H}_i + \bar{\zeta}_i. \quad (9)$$

Значок i в формуле (9) подчеркивает, что исходная основа страны задается не относительно одного пункта (0 Кронштадтского футштока), а относительно совокупности пунктов спутниковой геодезической сети высшего разряда, обеспеченной гравиметрией и высокоточным геометрическим нивелированием.

Ввиду того, что в качестве государственной системы высот в России служит Балтийская нормальная система высот 1977 года, отнесенная к 0 Кронштадтского футштока, на данном этапе реализации нового принципа перехода к общеземной системе отсчета высот, очевидно, используется региональный геоид, проходящий через 0 Кронштадтского футштока, от которого в дальнейшем будет осуществлен переход к общеземной системе отсчета высот.

По такому же принципу выполняется построение ГВО Вьетнама, Азербайджана, а после создания современной гравиметрической сети будет реализовано и в Беларуси.

Заключение. Существующие проблемы высотного обеспечения нашей планеты, вызванные большими отклонениями морской поверхности от уровенной, не могут быть решены при традиционном подходе развития нивелирных сетей от морских футштоков. Однако современные спутниковые технологии развития высокоточных геодезических сетей, а также уровень инструментальных возможностей гравиметрии позволяют отказаться от использования при нивелировании в качестве исходных морских уровнемерных пунктов, перевести их в разряд рядовых реперов, и высотное обеспечение развивать от пунктов геодезических спутниковых построений высшего звена (IGS, ФАГС, ВГС), на которых с высокой точностью определены геодезические высоты, аномалии высот и, соответственно, нормальные высоты. Именно нормальные высоты, найденные на этих пунктах с высокой точностью из GPS/ГЛОНАСС измерений,

высокоточных гравиметрических наблюдений будут задавать высотную систему отсчета при развитии нивелирных сетей. Этот подход, ориентированный на использование системы нормальных высот, согласующийся с теорией М.С. Молоденского и устраняющий противоречия при традиционных принципах установления системы отсчета высот относительно среднего многолетнего уровня моря, отличающегося на разных уровнях на метр и более, разработан российским геодезистом Г.В. Демьяновым и успешно реализуется на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов, Л.А. От чего ведется отсчет высот / Л.А. Борисов // Человек и стихия. – Л. : Гидрометеоздат, 1975. – С. 183–187.
2. Лакомб, А. Физическая океанография / А. Лакомб. – М. : Мир, 1974. – 498 с.
3. Пеллинен, Л.П. Высшая геодезия (теоретическая геодезия) / Л.П. Пеллинен. – М. : Недра, 1978. – 264 с.
4. Демьянов, Г.В. Разработка принципов развития системы нормальных высот на основе современных спутниковых технологий : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32 / Г.В. Демьянов ; МИИГАиК. – М., 2004. – 148 л.
5. Демьянов, Г.В. Об установлении единой общеземной системы нормальных высот / Г.В. Демьянов, А.В. Майоров. // Гравиметрия и геодезия / Б.В. Бровар [и др.] ; под ред. Б.В. Бровара. – М. : Научный мир, 2010. – С. 301–305.
6. Высшая геодезия. Часть III. Теоретическая геодезия : учеб. для вузов / Огородова, Л.В. – М. : Геодэскартгиздат, 2006. – 384 с.
7. Еремеев, В.Ф. Теория высот в гравитационном поле Земли / В.Ф. Еремеев, М.С. Юркина. – М. : Недра, 1971. – 144 с.
8. Молоденский, М.С. Основные вопросы геодезической гравиметрии / М.С. Молоденский // Труды ЦНИИГАиК. – М., 1945. – Вып. 42. – 106 с.
9. Еремеев, В.Ф. Теория динамических, ортометрических и нормальных высот / В.Ф. Еремеев // Труды ЦНИИГАиК. – М., 1951. – Вып. 86. – С. 11–51.
10. Молоденский, М.С. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли / М.С. Молоденский, В.Ф. Еремеев, М.И. Юркина // Труды ЦНИИГАиК. – М., 1960. – Вып. 131. – 251 с.
11. Бровар, Б.В. О развитии гравиметрических работ в интересах геодезии / Б.В. Бровар, Н.А. Гусев, М.И. Юркина // Гравиметрия и геодезия / Б.В. Бровар [и др.] ; под ред. Б.В. Бровара. – М. : Научный мир, 2010. – С. 461–468.
12. Побединский, Г.Г. Современное состояние государственной системы геодезического обеспечения Российской Федерации и основные направления ее развития / Г.Г. Побединский, И.А. Столяров // Геодезия, картография и навигация – современные подходы к формированию и использованию геопространственных данных: междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 апр. 2017 г. / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь. – 2017. – С. 14–27.
13. Ха Минь Хоа. Развитие государственной высотной системы Вьетнама на основе использования локальной системы геоида / Ха Минь Хоа // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 2. – С. 10–13.

Поступила 07.09.2020

THE PROBLEM OF HIGH-ALTITUDE SUPPORT IN WORLD GEODETIC PRACTICE

G. SHAROGLAZOVA, V. KOROVKIN, D. NOVOKRESHCHENOVA

The article is devoted to the problem of high-altitude support existing in the world geodetic practice, and modern directions for its solution. The organic connection between geodesy and gravimetry has led to a double concept of height: physical – leading to a geopotential number, and geometric – as the vertical distance between two points in space. The world ocean level chosen at the beginning of the altitude calculation did not justify itself, because in different parts of its surface, due to various characteristics of salinity, density, water temperature and other factors, it is not level and differs in height even within the same sea. Therefore, individual states have established not only their own national origins for counting heights, but also various systems, strictly speaking, not consistent with each other and not meeting the capabilities of modern geodesy. The directions of the transition to a common terrestrial reference system of heights, based on a combination of GPS / GLONASS technologies and gravimetry, free from the level of seas and oceans, with which the national origins of heights counting, including Belarus, will be reliably connected.

Keywords: leveling, gravimetry, systems of heights in geodesy, the beginning of counting heights.