

УДК 528.36.23

к.т.н. Кучер О.В.,
kucher@gki.com.ua, 0000-0002-3545-6636,
Науково-дослідний інститут «Геодезії та картографії», м. Київ
к.т.н., проф. Староверов В.С.,
STAROVEROV_1946@ukr.net, 0000-0001-6319-0153,
Ковальов М.В., nikolay.kovalov@gmail.com, 0000-0002-8976-7376,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ТРАНСФОРМУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИСОТ З ОДНІЄЇ ВИСОТНОЇ СИСТЕМИ В ІНШУ

Дано визначення геодезичної висоти. Наведені дані про різні еліпсоїди, поверхня яких використовується як координатна в існуючих системах координат. Визначено, що розбіжність поверхонь різних еліпсоїдів призводить до різниці геодезичних висот однієї і тієї ж точки, отриманих відносно поверхонь різних еліпсоїдів. Наведено методику трансформування геодезичних висот, отриманих GPS-нівелюванням в системі WGS-84, у референцну систему УСК 2000.

Ключові слова: геодезична висота, еліпсоїд, світова система, референцна система.

Постановка проблеми. Під геодезичною висотою розуміють відрізок нормалі, що відлічується від поверхні еліпсоїда до визначуваної точки. Нині використовуються різні еліпсоїди, поверхня яких приймається як координатна в тій чи іншій системі координат. Поверхня еліпсоїда GRS-80 прийнята як координатна в стандартній системі координат ITRS/ITRF, а також у Європейській системі координат ETRS-89; поверхня еліпсоїда WGS-84 прийнята як координатна у світовій системі координат WGS-84; поверхня референц-еліпсоїда Красовського прийнята як координатна в Українській системі координат УСК 2000. Поверхні різних еліпсоїдів не збігаються, тому геодезичні висоти однієї й тієї ж точки, відлічувані від поверхонь різних еліпсоїдів, будуть різними. GPS-нівелювання дозволяє визначати геодезичну висоту відносно поверхні еліпсоїда WGS-84. При розв'язанні редуційних задач у межах території України використовуються геодезичні висоти і астрономо-геодезичні відхилення прямої лінії, визначені відносно референц-еліпсоїда Красовського.

Постановка завдання. Метою статті є необхідність розробки методу трансформування геодезичних висот у системі WGS-84 до системи УСК 2000.

Виклад основного матеріалу. Нехай розв'язується задача зв'язку двох геодезичних систем координат: світової геодезичної системи WGS-84, заданої координатами $(X, Y, Z)_{WGS}$ та відповідною геодезичною висотою H_{WGS}^G , і деякої локальної геодезичної референцної системи, заданої координатами $(X, Y, Z)_{УСК}$ та відповідною геодезичною висотою $H_{УСК}^G$.

Тоді розв'язок такої задачі може бути знайдено шляхом знаходження повних диференціалів прямокутних координат як функції від геодезичних координат B, L, H^G , параметрів еліпсоїда a, α та семи параметрів Гельмерта:

$$p = [p_1 = D_x, p_2 = D_y, p_3 = D_z, p_4 = \mu, p_5 = \varepsilon_x, p_6 = \varepsilon_y, p_7 = \varepsilon_z]^{Гельмерта},$$

де D_x, D_y, D_z – абсолютні лінійні елементи орієнтування, що визначають положення центра референц-еліпсоїда Красовського відносно центра мас Землі; μ – масштабний коефіцієнт; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – абсолютні кутові елементи орієнтування, що визначають непаралельність координатних осей обох систем координат.

Зважаючи на поставлену задачу, будемо розглядати лише висотну складову референцної системи координат.

Якщо сім параметрів трансформування з локальної висотної референцної системи до світової висотної референцної системи є визначеними ітераційно з розв'язування оберненої задачі на основі геодезичних висот спільних пунктів, то диференційні формули можна використати для обчислення геодезичних висот інших (неспільних) пунктів.

Якщо ж параметри перетворення невідомі, то вони можуть бути визначені за допомогою вузлових (ідентичних) точок, які називаються також контрольними точками. Це означає, що координати (висоти) однієї й тієї ж точки задані в обох системах. Оскільки кожна вузлова точка призводить до трьох рівнянь, то для знаходження семи невідомих параметрів достатньо двох вузлових точок і одного додаткового спільного компоненту (наприклад, висоти). На практиці зазвичай використовується надлишкова вузлова точка, і шукані параметри оцінюються методом найменших квадратів.

Для переходу зі світової висотної системи до локальної системи отримаємо:

$$H_{УСК}^{G(k)} = H_{WGS}^{G(k)} + \sum_{i=1}^7 (\delta_H \cdot D_i)^{(k)} \cdot p_i + \Delta H^G, \quad (k = 1, 2, \dots, K), \quad (1)$$

де K – кількість пунктів локальної системи, висоти яких визначаються. Зрозуміло, що обернений перехід так само легко реалізується:

$$H_{WGS}^{G(k)} = H_{УСК}^{G(k)} - \sum_{i=1}^7 (\delta_H \cdot D_i)^{(k)} \cdot p_i - \Delta H^G, \quad (k = 1, 2, \dots, K). \quad (2)$$

У цих формулах через ΔH^G позначена різниця геодезичних висот, визначених у двох системах для вузлових точок.

Для випадку локальних референцних систем, мабуть, найбільш важливим є вираз (1), який дозволяє обчислення геодезичних висот на пунктах національної мережі.

У формулах (1) і (2) скалярні добутки записуються у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} (\delta_H \cdot D_1) &= \cos B(\cos L + \sin L \cdot \varepsilon_z) - \sin B \cdot \varepsilon_y \\ (\delta_H \cdot D_2) &= \cos B(\sin L - \cos L \cdot \varepsilon_z) + \sin B \cdot \varepsilon_x \\ (\delta_H \cdot D_3) &= \cos B(\cos L \cdot \varepsilon_y - \sin L \cdot \varepsilon_x) + \sin B \\ (\delta_H \cdot D_4) &= H^G + N \cdot W^2 \\ (\delta_H \cdot D_5) &= Ne^2 \sin B \cos B \sin L \\ (\delta_H \cdot D_6) &= -Ne^2 \sin B \cos B \cos L \\ (\delta_H \cdot D_7) &= Ne^2 \sin B \cos B(\sin L \cdot \varepsilon_y + \cos L \cdot \varepsilon_x) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де

$$W = \frac{a}{N}; \quad N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}};$$

a, e^2 – параметри еліпсоїда.

Висновок. Розглянуто метод трансформування геодезичних висот у системі WGS-84, отриманих методом GPS-нівелювання, у референцну систему УСК, а також можливість трансформування геодезичних висот у референційній системі до світової системи висот.

Література

1. Гофман-Велленгоф Б., Мориц Г. «Физическая геодезия». – М.: изд-во МИИГАиК, 2007. – 426 с.

2. Савчук С.С. «Основи формування геодезичної референційної системи України». Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2015. – 260 с.

к.т.н. Кучер О.В.,
Научно-исследовательский институт «Геодезии и картографии», г. Киев,
к.т.н. проф. Староверов В.С., Ковалев Н.В.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫСОТ ИЗ ОДНОЙ ВЫСОТНОЙ СИСТЕМЫ В ДРУГУЮ

Дано определение геодезической высоты. Приведены данные про разные эллипсоиды, поверхность которых используется в качестве координатной поверхности в существующих системах координат. Определено, что расхождение поверхностей разных эллипсоидов приводит к разности геодезических высот одной и той же точки, полученных относительно поверхностей разных эллипсоидов. Приведено методику трансформирования геодезических высот, полученных GPS-нивелированием в системе WGS-84, в референсную систему УСК 2000.

Ключевые слова: геодезическая высота, эллипсоид, мировая система, референсная система.

Ph.D. Kucher O.,
Research Institute of Geodesy and Cartography, Kyiv, Ukraine
Ph.D., prof. Staroverov V., Kovalyov M.,
Kiev National University of Civil Engineering and Architecture

TRANSFORMING OF GEODEZIC HEIGHTS FROM ANOTHER GREATER SYSTEM IN ANOTHER

The definition of geodetic height is given. The data on different ellipsoids, the surface of which is used as a coordinate in the existing coordinate systems, is given. It is determined that the difference in the surfaces of different ellipsoids leads to a difference in the geodesic heights of one and the same point obtained with respect to the surfaces of different ellipsoids. The method of transformation of geodetic heights obtained by GPS-leveling in the system WGS-84 to the reference system USK 2000 is given.

Keywords: geodetic height, ellipsoid, world system, referential system.