

МЕТОДИКА ВЫНОСА ПРОЕКТНЫХ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТЬ В WGS-84

Н.К. Шендрик (СГУГиТ, Новосибирск)

В 1971 г. окончил Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий, СГУГиТ) по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал инженером на Предприятии № 8 ГУГК СССР в астрономо-геодезической партии на фотографических наблюдениях ИСЗ. С 1979 г. работает в СГУГиТ, в настоящее время — заведующий лабораторией кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования.

Геодезическое обеспечение работ в кадастре, строительстве и др. выполняется преимущественно с применением специализированной спутниковой аппаратуры зарубежного производства, которая в качестве рабочей системы координат использует WGS-84. Но на территории Российской Федерации приняты свои системы координат — государственные (СК) и местные (МСК). Поэтому для реализации задачи выноса проектных точек на местность необходимо выполнять соответствующую настройку программного обеспечения (ПО) базовой станции и/или полевого контроллера для обеспечения работы в режиме реального времени (RTK). Такая настройка предполагает указание параметров для проекции Гаусса-Крюгера и параметров ключа перехода от государственных СК к МСК, которые, в настоящее время, пока еще относятся к категории сведений для служебного пользования. В данной ситуации естественно предположить, что полевые геодезические работы по выносу точек на местность удобнее выполнять непосредственно в WGS-84, а преобразования координат и высот проводить в камеральных условиях. Кроме того, для работы с навигационной точностью становится доступным использовать профессиональные и бытовые смартфоны и планшеты со встроенными GPS-навигаторами, в которых, зачастую, отсутствуют

возможности настройки на пользовательские системы координат.

▼ Алгоритм преобразования пространственных координат

Предлагается следующая методика для пространственного определения и выноса проектных точек на местность в системе координат WGS-84, которую изложим в форме текстового алгоритма.

1. В качестве исходных данных примем некоторый набор проектных значений координат и высот точек, которые могут быть заданы в любой системе координат. Главное условие, чтобы для исходной СК была установлена связь с WGS-84. Для местных систем координат эта связь может быть установлена в виде следующей цепочки: МСК → государственная СК → WGS-84. Если высоты не используются по условиям задачи, например, при выполнении кадастровых работ, они должны быть определены по карте или по плану местности хотя бы с точностью средних высот для искомого участка. Это необходимо для преобразования из СК (МСК) в пространственную геоцентрическую систему координат WGS-84.

2. По ключу преобразования, алгоритм которого будет рассмотрен ниже, переопределим плоские координаты и нормальные высоты проектных точек таким образом, чтобы в проекции

Гаусса-Крюгера они соответствовали их отображению в WGS-84 (подобные преобразования могут выполняться также между любыми системами координат, например, между СК-42 и СК-95 или ГСК-2011 и др.). Погрешности преобразования по такому ключу будут в полной мере характеризовать точность рассматриваемой методики. Но природа этих погрешностей определяется только точностью положений пунктов в обеих системах координат. Высокая точность преобразования возможна лишь в случае, когда обе системы координат являются их высокоточными аналогами [1, 2]. Для более точного представления нормальных высот рекомендуется использовать глобальную модель геоида EGM2008 [3–5].

3. Выполним пространственное преобразование координат и высот, полученных на этапе 2, из исходной СК в WGS-84 по методу Гельмерта или Молоденского. Выбор метода и точность параметров пространственного преобразования (в пределах до 10–15 м) не имеют существенного значения, в то время как параметры эллипсоидов для исходной СК и WGS-84 должны быть указаны точно. Погрешности, обусловленные выбором метода и числовыми значениями параметров пространственного преобразования, исключаются в результате применения ключа на этапе 2. Более важным, с учетом формирования параметров ключа

ча, является соблюдение условия вида (1) взаимно однозначного преобразования (отображения) координат точек из исходной СК в WGS-84 и обратно [6]:

$$\begin{aligned} f: \{x, y, h\} &\rightarrow \{B, L, H\} \text{ и} \\ f^{-1}: \{B, L, H\} &\rightarrow \{x, y, h\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\{x, y, h\}$ и $\{B, L, H\}$ — элементы (координаты и высоты) множества точек в исходной СК и WGS-84, соответственно;

h и H — нормальная и геодезическая высоты;

f и f^{-1} — функции взаимно однозначного отображения.

Функции f и f^{-1} в данном случае реализуются через параметры преобразования Гельмерта ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \Delta m$) или параметры ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta a, \Delta f$) преобразования Молоденского, в которых $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ — сдвиги начала пространственных прямоугольных координат между исходной СК и WGS-84; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — углы разворота между направлениями осей координат; Δm — поправка в масштаб длин линий; Δa — разность больших полуосей; Δf — разность сжатий эллипсоидов.

4. На заключительном этапе координаты и высоты точек в WGS-84 преобразуем к требуемому виду и формату для использования в полевой аппаратуре — контроллере и кодовом навигационном приемнике, смартфоне или планшете со встроенным GPS-навигатором.

5. По полученным проектным координатам в WGS-84 точки стандартным способом могут быть вынесены на местность с геодезической точностью в режиме RTK или определены с навигационной точностью.

Как можно видеть, основным звеном в данной методике является использование ключа преобразования плоских прямоугольных координат в одной и той же зоне проекции Гаусса-Крюгера и высот из одной СК в другую. Вычисление параметров ключа может являться независимым этапом работы и использоваться для геодезического обес-

печения территории отдельного объекта, административного района или региона в целом.

▼ Авторский вариант формирования ключа преобразования

Рассмотрим подробнее предлагаемый автором вариант формирования ключа преобразования. Ключ состоит из семи параметров, относящихся к заданному началу координат и району работ, а именно:

$\{x_0, y_0, X_0, Y_0, \Delta H_0, \gamma, \Delta m\}$, (2)
где x_0, y_0 — значения плоских координат в точке начала координат в исходной СК;

X_0, Y_0 — значения плоских координат в точке начала координат, полученные из WGS-84 в результате преобразования Гельмерта (Молоденского) в проекцию Гаусса-Крюгера на эллипсоид исходной СК;

ΔH_0 — разность значений в точке начала координат между нормальной высотой и высотой, полученной в результате пространственного преобразования из WGS-84;

γ — угол разворота между осями плоских координат в исходной СК и преобразованными из WGS-84;

Δm — разность масштабов длин линий.

Вычисление параметров ключа преобразования выполняется следующим образом. Если в одной и той же зоне в проекции Гаусса-Крюгера для двух СК имеются два ряда плоских координат и высот пунктов геодезической сети, то параметры ключа можно найти по приведенному ниже алгоритму.

1. Выполняется расчет дирекционных углов и длин линий с каждого пункта на все другие пункты геодезической сети по координатам в каждой СК.

2. Вычисляются разности дирекционных углов и длин линий с каждого пункта на все другие пункты геодезической сети между двумя СК.

3. Определяются средние арифметические значения для

разностей дирекционных углов $\gamma_{ср}$, разностей длин линий $\Delta S_{ср}$ и средней длины линии $S_{ср}$ для геодезической сети в целом по всем ранее полученным комбинациям вычислений.

4. Вычисляется поправка в масштабный коэффициент по формуле $\Delta m = \Delta S_{ср}/S_{ср}$ для преобразования длин линий.

5. В качестве начала координат назначается один из пунктов геодезической сети с координатами x_0, y_0, h_0 и X_0, Y_0, H_0 . Соответственно, следует: $\Delta H_0 = h_0 - H_0$ и $\gamma = \gamma_{ср}$.

Таким образом, все параметры ключа вида (2) полностью будут определены в соответствии с критерием метода наименьших квадратов путем применения простой арифметической середины. Данный алгоритм был неоднократно апробирован автором [1, 2, 7].

Тестирование алгоритма выполнялось, в частности, путем сравнения с результатами калибровки в ПО Trimble Business Center для первой очереди сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области. Средние квадратические погрешности (СКП) составили в плане 0,002–0,004 м по каждой из осей координат [5]. Погрешности по высоте существенно зависят от точности высотной основы и точности модели геоида (квазигеоида), которая связывает геодезические и нормальные высоты. СКП вычисления нормальных высот по ключу преобразования с моделью EGM2008 для Новосибирской области получились в пределах 0,03–0,04 м.

Особенностями данного алгоритма могут считаться:

1) принципиальная возможность вычисления параметров ключа преобразования по двум пунктам геодезической сети;

2) отсутствие влияния геометрии расположения пунктов, участвующих в определении параметров ключа преобразования, на точность вычислений.

Для образования ключа на обширной территории можно

рекомендовать сеть постоянно действующих базовых станций с реконструированными координатами и высотами по способу итераций [2]. В этом случае можно получить единый ключ (если позволяет геологическая ситуация) на значительную площадь, вплоть до территории субъекта РФ [5].

▼ Апробация методики

С целью практической проверки методики в навигационном режиме были использованы реальные координаты из кадастрового плана территории в местной системе координат МСК–55 для поворотных точек границ пяти земельных участков сельскохозяйственного назначения в Марьяновском районе Омской области. Отвод земельных участков был ранее выполнен специалистами ООО «Земля» картометрическим способом в ГИС MapInfo, с использованием материалов аэрофотосъемки с точностью выноса границ 2,5 м. Задача заключалась в идентификации характерных точек границ земельных участков на общедоступных для пользователей сети Интернет космических снимках, оцифрованных в WGS–84, и определении таким образом местоположения земельных участков на местности. Так как данная работа выполнялась дистанционно, без выезда на объект, вычислить ключ преобразования для данной территории не представлялось возможным. Поэтому был задействован ключ преобразования от реконструированной СК–42 к системе ITRF2005 (WGS–84) на территорию размещения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области. Таким образом, действие ключа преобразования было экстраполировано за пределы территории его определения в среднем на расстояние порядка 700 км. Результат определения характерных точек границ земельных участков на космическом снимке показан на рисунке.

Как видно из рисунка, расчетные положения точек достаточно точно совпадают с естественными контурами леса, дорог и контуром поля после сельскохозяйственной обработки, которые являются характерными точками границ участков.

Таким образом, данная методика преобразования координат из МСК в WGS–84 дает возможность определять границы местоположения земельных участков сельскохозяйственного назначения на местности инструментально, даже с помощью бытовых GPS-навигаторов. Собственники земельных участков, проживающие в других регионах России или за рубежом, могут на космических снимках, оцифрованных в WGS–84, не только определять границы своих участков на местности, но и осуществлять мониторинг их использования по данным периодических съемок. Данная методика может быть полезна фермерам-арендаторам с целью контроля границ обрабатываемых участков с помощью GPS-навигаторов с внешней антенной, которые легко установить на сельскохозяйственные машины (тракторы, комбайны и др.). С этой точки зрения было бы целесообразным в интересах широкого круга пользователей в кадастровый план территорий и выписки из кадастрового паспорта, наряду с координатами границ земельных участков в МСК, включать геодезические координаты в системе WGS–84, которые могут быть вычислены, в частности, по предложенной методике.

▼ Список литературы

1. Шендрик Н.К. Оценка точности и методика реконструкции координат пунктов спутниковой сети базовых станций Новосибирской области в системе координат СК–42 // Интерэкспо Гео-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. — Новосибирск: СГГА, 2014. — Т. 2. — С. 104–112.



Характерные точки границ земельных участков на космическом снимке

2. Шендрик Н.К. Способ итераций для высокоточной реконструкции координат пунктов локальных геодезических сетей // Геопрофи. — 2014. — № 5. — С. 44–48.

3. Гиенко Е.Г., Решетов А.П., Струков А.А. Исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 // Сб. матер. VII Междунар. науч. конгресса «Гео-Сибирь-2011». — Новосибирск: СГГА, 2011. — Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. — Ч. 2. — С. 181–186.

4. Шендрик Н.К. К точности положений пунктов ПДБС Новосибирской области в государственной системе координат и высот // Интерэкспо Гео-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. — Новосибирск: СГГА, 2013. — Т. 3. — С. 21–27.

5. Шендрик Н.К. Исследование точности геодезической сети активных базовых станций Новосибирской области в государственной системе координат и высот // Геодезия и картография. — 2014. — № 1. — С. 2–7.

6. Рублев А.Н. Курс линейной алгебры и аналитической геометрии. — М: «Высшая школа», 1972.

7. Шендрик Н.К. Анализ результатов реконструкции координат и высот пунктов геодезической сети по способу итераций на месторождении «Русскинское» ОАО «Сургутнефтегаз» // Маркшейдерский вестник. — 2015. — № 4. — С. 15–18.