

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ В КАДАСТРОВЫХ РАБОТАХ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ЗАНИМАЮЩИХ ОБШИРНУЮ ТЕРРИТОРИЮ (НА ПРИМЕРЕ ОАО ЧЕЛЯБЭНЕРГО)

Т.С. Михайлик, АЛ. Ворошилов

В данной работе описаны возможные искажения длин линий и площадей объектов при использовании различных систем координат. За пример взято промышленное предприятие Челябинской области и рассчитаны конкретные значения искажений длин линий за счет рельефа; поправки за отнесение длин линий на поверхность референц-эллипсоида; поправки за редукцию длины линии на плоскость проекции Гаусса-Крюгера.

Выбор системы координат для производства геодезических работ в кадастровых целях обусловлен возникающими искажениями в государственных системах координат и существующими ограничениями на их открытое использование [1]. Рассмотрение систем координат и связанных с ними искажений геометрических параметров объектов требует анализа принятых моделей поверхности относимости и их проекции на плоскость.

Среди множества картографических проекций при выполнении топографических и геодезических работ применяется конформная проекция Гаусса-Крюгера, в которой углы изображаются без искажений, а линейные искажения не зависят от направления, что облегчает их учет.

Чтобы ограничить величину искажений на плоскости проекции, поверхность эллипсоида разделена меридианами на 60 координатных зон. Для крупномасштабных съемок такое деление недостаточно эффективно, так как на краях этих зон искажения могут достигать величин порядка 1:2000. Поэтому при крупномасштабных съёмках, кадастровых, инженерно-геодезических и др. работах применяют трёхградусные координатные зоны, осевые меридианы которых совпадают с осевым или крайними меридианами шестиградусных зон [2].

На территорию Челябинской области распространяются 10-я и 11-я шестиградусные зоны, причем их граница проходит неподалеку от географического центра области. Осевой меридиан 10 шестиградусной зоны расположен вне территории области на расстоянии 9 километров до западной границы области. Осевой меридиан 11-й шестиградусной зоны пересекает территорию области в восточной части.

Из трехградусных зон в Челябинской области расположены 18-я, 19-я и 20-я зоны. Осевые меридианы 18-й и 20-й зон совпадают с осевыми меридианами 10-й и 11-й шестиградусных зон соответственно, а осевой меридиан 19-й зоны является границей этих (шестиградусных) зон.

В инструкции по межеванию [3] указано, что

работы могут проводиться в местной системе, но единой такой системы координат для всей Челябинской области не существует. Так как предприятие Челябэнергo достаточно велико, и объекты, принадлежащие ему, линейны и располагаются на всей территории области, то для кадастра необходимо учитывать искажения, возникающие при переходе из одной системы координат в другую. Уточнение возникающих искажений и их учёт важен для создания и ведения не только кадастра в целом, но и экономической его части. Цена земли высока, предприятию невыгодно платить за землю, которой оно не пользуется.

Для линейных объектов необходимо учитывать искажения длин линий за наклон местности. Расстояние, определенное по координатам, является горизонтальным проложением в используемой системе координат, и не учитывает наклон линий местности. Эту особенность нельзя забывать при ведении кадастра предприятия, а также при расчетах стоимости строительства ЛЭП и иных линейных объектов.

Удлинение линии на физической поверхности можно оценить по формуле:

$$D = S + \Delta D, \quad (1)$$

где

$$\Delta D = \frac{h^2}{2D}; \quad (2)$$

D - длина линии на местности;

h - превышение;

S - горизонтальное проложение, вычисленное по координатам.

В табл. 1 приведены величины ΔD , вычисленные для длин линий и для превышений, возможных в Челябинской области.

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что фактическая длина ЛЭП может не совпадать с ее длиной, вычисленной по координатам.

Как видно, на равнинной местности поправки за наклон местности незначительны, но в гористых районах, особенно на западе Челябинской области, где средние высоты городов колеблются

от 660 м (г. Бакал) до 210 м (г. Аша) в кадастре линейных объектов их необходимо учитывать.

Таблица 1

| Превышение $h, м$ | Длина линии на местности $D, м$ | Горизонтальное проложение $S, м$ | Разность $\Delta D, м$ |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 100 | 1000 | 995 | 5 |
| 200 | 1000 | 980 | 20 |
| 300 | 1000 | 955 | 45 |
| 100 | 100 000 | 99 999,95 | 0,05 |
| 200 | 100 000 | 99 999,80 | 0,2 |
| 300 | 100 000 | 99 999,55 | 0,45 |

Так как геодезические измерения проводят на физической поверхности Земли, обрабатывают на условной поверхности Земли (референц-эллипсоиде), а полученные результаты редуцируют в проекцию Гаусса-Крюгера, то в ходе этих работ неизбежно возникают искажения.

Искажения за отнесение длины линии на поверхность референц-эллипсоида зависят от средней высоты этой линии над уровнем моря. Искажения за редуцирование на плоскость поверхности Гаусса-Крюгера имеют свойство увеличиваться по мере удаления от осевого меридиана. Эти искажения могут быть значительными.

Поправка за отнесение длины линии на поверхность референц-эллипсоида рассчитывается по формуле:

$$\Delta D = -\frac{D(H_m + h_m)}{R_\alpha}, \quad (3)$$

где H_m - средняя высота измеренной линии над геоидом;

h_m - высота геоида над поверхностью референц-эллипсоида в месте расположения линии;

R_α - средний радиус кривизны сечения земного эллипсоида.

Относительная величина искажения вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta D}{D} = -\frac{(H_m + h_m)}{R_\alpha}. \quad (4)$$

В табл. 2 приведены возможные поправки для произвольно выбранных средних высот над геоидом для измеренной линии длиной $D=1000$ м.

Таблица 2

| $H_m, м$ | $\Delta D, м$ | $\Delta D / D$ |
|----------|---------------|----------------|
| 50 | 0,0078 | 1: 130000 |
| 100 | 0,0157 | 1: 64000 |
| 150 | 0,0235 | 1: 43000 |
| 200 | 0,0314 | 1: 32000 |
| 300 | 0,0471 | 1: 21000 |
| 400 | 0,0628 | 1:16000 |
| 500 | 0,0785 | 1:13000 |

Анализ данных табл. 2 показывает, что порядок величин ΔD не превышает требуемой точно-

сти определения координат межевых знаков [4]. Но в гористой местности, при $H_m > 300$ м эти величины необходимо учитывать.

Поправка за редуцирование длины линии на плоскость проекции Гаусса-Крюгера рассчитывается по формуле:

$$\Delta d = S \frac{Y_m^2}{2R_\alpha^2}, \quad (5)$$

где S - длина горизонтального проложения линии;
 Y_m - среднее значение из ординат концов линии;

R_α - средний радиус кривизны сечения земного эллипсоида (6370 км).

Относительное искажение вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta d}{S} = \frac{Y_m^2}{2R_\alpha^2}. \quad (6)$$

Если учтена кривизна земли поверхностью относимости, а поправки Δd не введены, то значения Δd составят величины, приведенные в табл. 3, на основе которых можно ввести ограничение местной системы координат по оси «у» от исходного в ней основного меридиана. В табл. 3 приведено Δd для $S=1000$ м, и относительное искажение горизонтального проложения по сравнению с геодезической системой координат. При этом вычисления выполнены по формуле (6).

Таблица 3

| $Y_m, км$ | $\Delta d, м$ | $\Delta d/S$ | Примечания |
|-----------|---------------|--------------|--------------|
| 50 | 0,031 | 1:32000 | |
| 100 | 0,123 | 1:8100 | |
| 150 | 0,277 | 1:3600 | край 3° зоны |
| 200 | 0,493 | 1:2000 | |
| 300 | 1,109 | 1:900 | край 6° зоны |

Так как поправка за редуцирование на поверхность эллипсоида всегда отрицательна, а поправка за редуцирование на плоскость Гаусса-Крюгера всегда положительна, то будет происходить небольшая компенсация поправок. Из табл. 2 и 3 можно сделать вывод, что величина поправки за отнесение длины линии на референц-эллипсоид несравнимо мала по отношению к поправке за редуцирование на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера. Так что полностью они не компенсируются.

В местных системах координат этих поправок нет, так как поверхность рассматривается плоской. В результате существует расхождение между $d_{мест}$ и $d_{госуд}$ системами координат. Величина этого расхождения на разных территориях Челябинской области разная и зависит также от принятого правила ведения местной системы координат.

В табл. 4 оценено удаление от осевого меридиана основных объектов Челябинэнерго, находящихся в разных частях Челябинской области, с целью выяснения возможного искажения длин

линий в этих районах. За осевой меридиан принят осевой меридиан 20-й трехградусной зоны, который проходит между городами Златоуст и Миасс и долгота которого составляет 60°. Искажения вычислены по формуле (6), длина горизонтального проложения принята за 1 км.

Таблица 4

| Объекты Челябинэнерго | Удаление от осевого меридиана Y_m , км | Δd , м | $\Delta d/S$ |
|---|--|----------------|--------------|
| ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и др., г. Челябинск | 104 | 0,133 | 1:7500 |
| Аргаяшская ТЭЦ, п. Новогорный | 50 | 0,031 | 1:3200 |
| ЮУГРЭС, г. Южноуральск | 82 | 0,083 | 1:12000 |
| ТЭС, г. Троицк | 106 | 0,139 | 1:7200 |
| ЗЭС, г. Златоуст | 14 | 0,002 | 1:500000 |
| МЭС, г. Магнитогорск | 63 | 0,049 | 1:20400 |
| г. Аша | 170 | 0,356 | 1:2800 |
| с. Октябрьское | 176 | 0,382 | 1:2600 |

Так как Челябинэнерго обладает большим количеством линейных объектов, которые проходят по всей территории области, в том числе и на ее границе, то следует оценить возможные искажения и в наиболее удаленных от осевого меридиана населенных пунктах. В качестве примера рассмотрены г. Аша и с. Октябрьское.

Искажения длин линий в проекции на плоскость Гаусса-Крюгера влекут за собой искажения площадей. Их можно рассчитать по формуле:

$$P_r = P \left(1 + \frac{Y_m^2}{2R_\alpha^2} \right), \quad (7)$$

где P - площадь оцениваемой территории на местности;

P_r - площадь в проекции Гаусса-Крюгера;

Y_m - удаление от осевого меридиана;

R_α - средний радиус кривизны сечения земного эллипсоида (6370 км).

В формуле (7) $\frac{Y_m^2}{R_\alpha^2}$ - коэффициент искажения.

Площадные искажения, вызванные искажением длин линий в плоскости проекции Гаусса-Крюгера приведены в табл. 5.

Рассмотрим в качестве примера объект ТЭЦ-2, площадь которого составляет 416000 м². ТЭЦ-2 расположена в г. Челябинске, где удаление от осевого меридиана составляет около 100 км. Таким образом, искажение составит

$$416\,000 \text{ м}^2 \cdot 0,00025 = 104 \text{ м}^2.$$

В настоящее время Челябинэнерго не имеет земельных участков на праве собственности. Если учесть, что выкупная цена составит 27 рублей 30 копеек, то $104 \text{ м}^2 \cdot 27,3 \text{ руб.} = 2\,839 \text{ руб.}$ Так как

искажения длин линий в проекции на плоскость Гаусса-Крюгера, влекущие за собой искажения площадей, всегда положительны, то можно сделать вывод, что почти три тысячи рублей предприятие переплатит за ТЭЦ-2. В масштабах всего предприятия цифра возрастет.

Таблица 5

| Удаление от осевого меридиана Y_m , км | Площадь оцениваемой территории P , м ² | Коэффициент искажения | Величина искажения площади P_r , м ² |
|--|---|-----------------------|---|
| 100 | 50 000 | 0,00025 | 12,5 |
| | 100 000 | | 25 |
| | 300 000 | | 75 |
| | 500 000 | | 125 |
| 200 | 50 000 | 0,00099 | 49,5 |
| | 100 000 | | 99 |
| | 300 000 | | 297 |
| | 500 000 | | 495 |
| 300 | 50 000 | 0,0015 | 75 |
| | 100 000 | | 150 |
| | 300 000 | | 450 |
| | 500 000 | | 750 |

Кроме того, эти же искажения повлияют и на величину налогообложения. Погрешность будет только накапливаться. А это не выгодно как предприятию, так и государству.

Возможным выходом из сложившегося положения было бы применение такой системы координат для инженерного кадастра всех линейных объектов недвижимости Челябинэнерго, которая бы учитывала сферичность реальной поверхности земли через сферичность поверхности относимости и не учитывала бы поправки за проекцию на плоскость Гаусса-Крюгера. Но лучшим вариантом было бы отсутствие каких бы то ни было местных систем координат. Это вполне реально при выполнении измерений для ведения земельного кадастра в глобальных системах координат, таких как ПЗ-90, WGS-84 или во вводимой в Европе системе «Галлилео». В будущем возможен переход от локальных (местных) систем координат к единой глобальной, которая позволила бы вести земельный кадастр в целом по стране, в единой системе координат.

Литература

1. Закон РФ «О геодезии и картографии» № 209-ФЗ от 26.12.1995.
2. Системы координат и базовые понятия высшей геодезии /www.agp.ru.
3. Инструкция по межеванию, утв. Комитетом РФ по земельным ресурсам и землеустройству от 08.04.1996.
4. Приказ Росземкадастра от 15.04.02 № П/261 «Об утверждении «Основных положений об опорной межевой сети».