

КООРДИНАТНАЯ ОСНОВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Канд. техн. наук, проф. НЕСТЕРЕНКО М. С.

Белорусский национальный технический университет

В нормативной литературе по построению опорных геодезических сетей до настоящего времени нет прямых указаний об их функциональном разделении по основному назначению и дополнительному использованию. Вопреки изначально принятой концепции создания единой государственной системы геодезических координат для обширной территории на практике существует необходимость применения местных систем прямоугольных координат, обеспечивающих пренебрежимо малые искажения проекции земной поверхности на плоскость при геодезическом обслуживании городских и промышленных территорий. Для государственного картографирования в масштабе 1:10000 и мельче нет необходимости в точном вписании местной системы координат в государственную, поскольку графическая точность данного масштаба равна 1 м на местности, а погрешность планового положения опорных геодезических пунктов на превышает 5...10 см.

Современные способы создания межконтинентальных, фундаментальных, высокоточных и государственных геодезических сетей основаны на спутниковых технологиях и ориентированы на получение фактических параметров деформаций земной коры в задачах геофизики и геодинамики. Достигнутые показатели точности определения взаимного планового положения геодезических пунктов на территории Беларуси характеризуются, например, погрешностью 1 мм на 1 км (1:1000000) или 30 мм на 300 км (1:1000000). В практике геодезического обеспечения городского и промышленного строительства, а также топографических съемок всех масштабов (от 1:500 и мельче) не требуются показатели точности к городской плановой геодезической основе, и в чрезмерно точной привязке городской геосети к государственной нет необходимости. Только при обоснованной необходимости высокоточного геоде-

зического мониторинга деформаций земной поверхности на территории большого города создаются специальные геодезические сети по спутниковым технологиям, в которые могут включаться геодезические пункты, предназначенные для городских геодезических работ и картографирования территории страны в государственной системе координат.

Городские плановые сети топографо-инженерного назначения всегда развивались как локальные во избежание деформаций математической основы координатной системы, возникающих за счет картографической проекции Гаусса-Крюгера и совместного уравнивания с Государственной геодезической сетью. Ключи связи местной системы координат с государственной обеспечивают достаточно точное их объединение. В результате выдерживаются требуемая точность общегосударственного картографирования в масштабе 1:10000, а также создания всех видов геоинформационных систем (ГИС), цифровых моделей местности (ЦММ) топографического и специального содержания, объединения кадастровых съемок.

Для территории города составляются топографические и специальные планы базового масштаба $1:M = 1:500$, где M – знаменатель численного масштаба. Развивается также построение ЦММ. Графическая точность измерения расстояний по плану местности принимается равной $\Delta d = 0,0005 M$, где $0,0005 \text{ м} = 0,5 \text{ мм}$. При $1:M = 1:500$ находим $\Delta d = 0,25 \text{ м}$. Разрешение ЦММ городской территории должно быть не ниже плана в масштабе 1:500.

С учетом фактической точности топопланов и ЦММ ($\Delta d = 0,25 \text{ м}$) и реальных требований к точности взаимного положения пунктов опорных геодезических сетей ($\Delta d \approx 0,05 \text{ м}$) следует выбирать поверхность относимости и вид картографической проекции для применения местной системы плоских прямоугольных координат.

нат. Для того чтобы координатная среда города максимально соответствовала контурам объектов картографирования, их проецируют на среднюю уровенную поверхность городской территории, которую принимают за поверхность местного референц-эллипсоида. Для проецирования контуров со сферической поверхности на плоскую выбирают картографическую проекцию с незначительными искажениями.

Минимальные искажения свойственны картографическим равноугольным проекциям (поперечно-цилиндрической, конической и азимутальной, а также проекции Гаусса-Крюгера). Общую теорию первых трех и алгоритмы их расчетов с помощью ЭВМ разработал В. П. Подшивалов [1]. Для территорий радиусом до 20 км искажения масштаба всех названных проекций настолько незначительны, что все они применимы к локальной системе прямоугольных координат. На основе приближенных, но достаточно точных формул проекции Гаусса-Крюгера [2] можно оценить показатели ее искажений. Данная проекция с 1928 г. служит основой зональной системы прямоугольных координат, принятой в Республике Беларусь. Рассмотрим искажения данной проекции для местной системы координат по масштабу изображения и искажению расстояний.

Масштаб проекции на плоскость в окрестностях точки с ординатой y определяется достаточно точной для анализа формулой [2]

$$M = 1 + y^2 / 2R_3^2, \quad (1)$$

где R_3 – радиус кривизны земного эллипсоида.

Для местного референц-эллипсоида получим $R = R_3 + H$, здесь H – высота его поверхности над общеземным эллипсоидом.

Величина R_3 вычисляется по формуле $R_3 = \sqrt{MN} = 6384450$ м (здесь M – радиус меридиана для средней широты территории г. Минска $B_{cp} = 53,9^\circ$; N – радиус первого вертикала для той же широты). При $H = 200$ м получаем $R = 6384650$ м.

Искажения расстояний можно рассчитать по формуле, полученной упрощением соответствующей зависимости из [2]:

$$\Delta s = s/2 (1 + e^2 \cos^2 B)^2 (y_m / c)^2, \quad (2)$$

где $c = a^2/b = 6399600$ – элемент земного эллипсоида; $e^2 = 0,0067384$ – второй эксцентриситет земного эллипсоида; B – геодезическая широта

места; y_m – среднее значение ординаты для линии длиной s .

Поскольку на территории г. Минска среднее значение широты $B_{cp} = 53,9^\circ$, получаем для анализа смещений точек в проекции Гаусса-Крюгера упрощение формулы (2) в следующем виде:

$$\Delta s = 0,502376s (y_m / 6399600)^2. \quad (3)$$

Согласно (1) масштаб рассматриваемой проекции нелинейно возрастает при удалении от осевого меридиана зоны, поэтому ординаты проецируемых точек нелинейно увеличиваются на величину редакции (поправки) Δy , которую можно рассчитать суммированием редуций для отрезков линии общей длиной $s = y$:

$$\Delta y = \sum \Delta s_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

где Δs_i – редуция расстояния на отрезке линии длиной s_i .

В табл. 1 приведены значения масштаба проекции для окрестностей точек с ординатами y , отсчитанными к западу и востоку от осевого меридиана г. Минска с долготой $L_0 = 27^\circ 34'$. Даны также оценки редуции линий длиной до 20 км в направлении ординат. В пределах Минской кольцевой дороги на площади 250 км^2 ординаты y не превышают 9 км, а искажения линий длиной до 9 км составляют ничтожно малые значения $\Delta s \leq 2$ мм. Согласно новому генеральному плану развития г. Минска его площадь к 2030 г. будет увеличена до 420 км^2 , и если принять с запасом увеличение ординат до ± 15 км, то, как видно из табл. 1, искажения проекции для расширенной территории также относятся к пренебрегаемым.

Таблица 1

Численные характеристики масштаба проекции и редуции линий в проекции Гаусса-Крюгера для различных ординат

Ордината точки y , км	Масштаб проекции		Редуция линии длиной $s \approx y$, км, Δs , м
	m	$m_0 + 1/\Delta m$	
0	1	0	–
9	1,0000010	$1 + 1/1006000$	+0,002
10	1,0000012	$1 + 1/815000$	+0,004
15	1,0000028	$1 + 1/362000$	+0,013
20	1,0000049	$1 + 1/204000$	+0,032

Аналогично незначительны искажения каждой из конформных проекций, названных в [1] (в первую очередь, конической). Они также

пригодны в качестве проекционной основы местной системы прямоугольных координат. Но проекция Гаусса-Крюгера адаптирована к прямоугольным координатам. Ее отличительная и положительная особенность состоит в том, что вдоль осевого меридиана в полосе шириной до $2y \leq 2 \times 10$ км обеспечиваются практически неучитываемые искажения местной системы прямоугольных координат ($\Delta s \leq 4$ мм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Подшивалов В. П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем. – Новополоцк, 1998.
2. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Недра, 1979.

УДК 378.026

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО». ДИДАКТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КУРСА «МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ»

Канд. техн. наук, доц. КОЛОГРИВКО А. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на территории бывшего СССР функционируют 8 среднеспециальных и 15 высших учебных заведений, ведущих подготовку техников и инженеров по специальности «Маркшейдерское дело». Накоплен достаточный опыт в подготовке кадров для недропользования. Однако отметим некоторое разногласие между современной потребностью производства в маркшейдерах и их подготовкой в учебных заведениях. Выпускники по специальности «Маркшейдерское дело», как правило, подготовлены для работ, обеспечивающих полное освоение месторождений полезных ископаемых, и в меньшей степени – для работ по строительству и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых (в частности, в метростроении) [1]. Это обстоятельство не позволяет обеспечивать полное и комплексное использование недр, промышленную и экологическую безопасность недропользования. Маркшейдерские работы при строительстве метрополитенов в крупных городах имеют по сравнению с работами на горнодобывающих предприятиях и с общими городскими ряд особенностей как в отношении условий для измерений, так и в отношении применяемых мето-

дов [2]. При этом маркшейдеры в плотную сталкиваются со сложными инженерно-геологическими, инженерно-техническими, гидрогеологическими и геомеханическими условиями строительства, стесненными условиями производства работ, обусловленными плотной городской застройкой, постоянно возрастающей нагрузкой на геотехногенные системы и необходимостью обеспечения беспрепятственного движения городского транспорта в районе строительства.

В последнее время работа в метростроении активизировалась, что особенно заметно в крупных мегаполисах, реализующих различные программы по комплексному освоению подземного пространства. Это является следствием необходимости иметь эффективную сеть транспортных коммуникаций, обладающей возможностью оперативного обслуживания мощных пассажиропотоков между промышленными зонами, жилыми районами, культурными центрами. В этой связи наиболее современным и рациональным решением транспортной проблемы в условиях плотной городской застройки представляется сооружение развитой сети метрополитена, прокладываемой в тоннелях (подземные линии), на поверхности