

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Подшивалов В. П., д-р техн. наук, профессор

Белорусский национальный технический университет

(г. Минск, Республика Беларусь)

Введение

Территория Республики Беларусь является транзитной для транспорта самых различных товаров и услуг. При этом важное государственное и международное значение имеют магистральные коммуникации. Проектирование, строительство и эксплуатация этих объектов в настоящее время ведется с использованием автоматизированных технологий. Для наиболее полного использования возможностей этих технологий при принятии оптимальных проектно-конструкторских, технологических и управленческих решений по транспортной инфраструктуре необходимо ее соответствующее координатное описание. Предлагается один из возможных путей решения этой задачи, основанный на теории изысканий наилучших конформных проекций поверхности земного эллипсоида на плоскости. Под наилучшими понимают проекции, обеспечивающие минимально возможные искажения отображаемых элементов в соответствии с критерием Чебышева-Граве [1–2 и др.].

Постановка задачи

Традиционные системы координат, применяемые в настоящее время для координатного описания линейно-вытянутых объектов, имеют существенные недостатки. Так государственная система координат, основанная на поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, применяемая до настоящего времени в Беларуси и других странах бывшего Советского Союза, приводит к много зональности (разным системам координат) и большим искажениям при изображении объектов, вытянутых вдоль параллели. Местные (условные) системы координат не учитывают кривизны Земли и не имеют строгого математического обоснования, что приводит

к проблемам их взаимосвязи, а также связи с государственной системой координат, с системами координат автоматизированных геоинформационных систем (ГИС).

Основные требования к формированию современных систем координат для отображения на плоскости участков земной поверхности вдоль трасс транспортных сооружений, по нашему мнению, заключаются в следующем:

- наличие общего формализованного описания алгоритма, обеспечивающего необходимую точность вычислений и минимально возможные искажения отображаемых геометрических элементов в единой для всего объекта системе координат;

- обеспечение высокоточной и надежной взаимосвязи с государственной системой координат, а также с системами координат ГИС различного назначения;

- возможность автоматизации процесса выбора систем координат, основанных на наилучших геодезических и картографических проекциях;

- возможность применения цифровых технологий картографирования и формирования баз геодезических данных;

- удобство и простота практического применения.

Предлагаемая альтернатива

Нами разработаны общая теория описания класса наилучших конформных проекций и общий алгоритм, удобный для вычисления на ЭВМ [1–5 и др.]. Этот класс проекций, с одной стороны, объединяет, как частные случаи, наиболее распространенные в мировой геодезической практике проекции, с другой стороны, допускает получение новых проекций, обеспечивающих минимально возможные искажения отображаемых геометрических образов на основе исследований математической картографии. Под наилучшими проекциями понимаем проекции, удовлетворяющие критерию Чебышева-Граве [1–2 и др.], смысл которого сводится к поиску проекции, изоколы (линии равных искажений) которых по своей форме близки к форме границ изображаемой территории. Понятно, что поверхность земного эллипсоида и плоскость не изометричны друг другу, поэтому в любой проекции будут иметь место искажения. В наилучших проекциях величины этих искажений зависят только от площади изображаемой территории и практически не зависят от формы ее границ. Для транспортных сооружений в любом случае эти

территории имеют вытянутую форму с различной ориентацией на местности. Нами получено общее уравнение изогол в определенном классе конформных проекций, основанном на композиции конической и цилиндрической проекций, которое имеет вид [1-2]

$$\frac{d_1x^2 + d_2y^2}{2m_0(m - m_0)R_0^2} = 1, \quad (1)$$

где d_1 и d_2 – композиционные коэффициенты, характеризующие степень участия в композиции конической и цилиндрической проекций (их сумма должна быть равной 1);

m и m_0 – значения частного масштаба длин в текущих и начальной точках проекции;

R – средний радиус кривизны земного эллипсоида.

Как видно из уравнения (1), в данном классе проекций имеет место возможность приспособляемости формы изогол к форме границ изображаемой территории, чего нет ни в одной из известных геодезических проекций. Это означает, что в данном классе проекций может быть реализован критерий Чебышева-Граве о наилучших проекциях. Здесь изоголы могут принимать форму прямых различной ориентации, эллипсов, гипербол и их асимптот. Например, принимая $d_1 = 0$, $m_0 = 0.9996$, получим универсальную поперечно-цилиндрическую проекцию *UTM*, которую используют в шестиградусных зонах для создания топографических карт в США. При $m_0 = 1$ – широко известную проекцию Гаусса-Крюгера. В этих проекциях изоголы представляют собой прямые линии, параллельные и симметричные изображению осевого меридиана и они удобны для изображения трасс, вытянутых вдоль меридиана. Если принять $d_2 = 0$, $m_0 = 1$, получим коническую проекцию Ламберта. Изоголы представляют собой линии, параллельные и практически симметричные изображению стандартной параллели и она удобна для изображения трасс, вытянутых вдоль параллели. При условии $d_1 = d_2 = 0,5$ получаем частный случай азимутальной проекции – стереографическую проекцию Гаусса. Изоголы представлены линиями, по своей форме, близкими к окружностям. Такие проекции удобны для отображения территорий округлой формы. С увеличением одного из композиционных коэффициентов, формы изогол представлены эллипсами, вытянутыми вдоль параллели или меридиана. При отрицательных значениях одного из композиционных коэффициентов

изоколы представлены семейством сопряженных гипербол и их асимптотами произвольной ориентации относительно осевого меридиана. Именно такие проекции наиболее удобны для отображения на плоскости трасс линейных сооружений и их координатного обеспечения. Управление процессом минимизации искажений внутри изображаемой области производится заданием значения масштаба длин m_0 в начальной точке проекции. При этом используется простая формула, общая для любого вида проекций [2]:

$$m_0 = \frac{2}{1 + m'_{\max}}. \quad (2)$$

Здесь m_{\max} – максимальное значение масштаба внутри изображаемой области при $m'_0 = 1$. Выбор масштаба по формуле (2) позволяет уменьшить искажения по абсолютной величине примерно в два раза.

Если требуется получить внутри изображаемой области некоторые участки, где требуется обеспечить пренебрегаемо малые искажения, тогда в наиболее подходящей проекции для изображения этой территории выбираем изоколу $m = const$, вдоль которой необходимо обеспечить минимальные искажения и масштаб в начальной точке проекции вычисляем по формуле [1-3]

$$m_0 = 1 / m. \quad (3)$$

При этом значении масштаба в начальной точке проекции вдоль выбранной изоколы искажения будут отсутствовать. Изокола, естественно, не будет полностью совпадать с трассой линейного сооружения, но при этом можно добиться того, чтобы вся трасса попала в зону минимально возможных и пренебрегаемо малых искажений. Этот процесс осуществляется по методу наименьших квадратов уклонений координат поворотных точек трассы и соответствующих точек изоколы.

Заключение

На основании проведенных исследований применительно к реальным трассам различных транспортных сооружений показаны достаточно широкие возможности решения задачи их координатного обеспечения, отвечающего современным требованиям. Так, например, автомобильная и железнодорожная трассы Брест–Москва,

трассы транзитных нефте и газопроводов, автомобильных и железных дорог на территории Беларуси могут быть изображены в одной координатной зоне, с относительными искажениями, порядка 1: 5 000 – 1: 10 000 и менее [4–5 и др.], что вполне удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов.

Следует иметь в виду большое практическое значение возможности минимизировать искажения до пренебрегаемо малых величин. В этом случае геометрические параметры, вычисленные по координатам на плоскости проекции, с необходимой точностью соответствуют их значениям на местности без введения и учета редукционных поправок.

Литература

1. Подшивалов, В.П. Координатная среда для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов // Геодезия и картография. – 1997. – № 6. – С. 51–55.

2. Подшивалов, В.П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов. – Новополоцк: Научное издание ПГУ, 1998 г. – 125 с.

3. Подшивалов, В.П. Композиционные геодезические проекции / В.П. Подшивалов // Геодезия и картография. – 2000. – № 8. – С. 39–43.

4. Подшивалов, В.П. Системы плоских прямоугольных координат для линейных объектов / В.П. Подшивалов, С.В. Маковский // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 4. – С. 15–21.

5. Huryeu, Y. Automated design of coordinate system for long linear objects / Y. Huryeu , U. Padshyvalau // Proceedings of the 11th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 5th – 7th September 2007 – As, Norway – PP. 147 – 155.