

Современные возможности картографо-геодезического обеспечения транспортных сооружений

Подшивалов В.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

В статье предлагается один из возможных путей формирования математически обоснованных, алгоритмически взаимосвязанных систем координат на плоскости в качестве современной альтернативы традиционным методам координирования транспортных сооружений, включая магистральные.

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 проекциями понимают проекции, обеспечивающие минимально возможные искажения отображаемых линейных и угловых элементов геометрических фигур 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, когда один объект отображается на плоскости проекции в различных зонах,

следовательно, в различных системах зональных координат. Например, территория Республики Беларусь отображается в трех шестиградусных зонах проекции Гаусса-Крюгера. При этом на краю каждой шестиградусной зоны относительные линейные искажения для территории Республики Беларусь достигают величин в относительной мере порядка 1:2 000. Увеличение размеров координатных зон приводит к еще большим искажениям на краю зоны при изображении объектов, вытянутых вдоль параллели. Уменьшение размеров зон усугубляет проблему много зональности. Это существенно усложняет производство комплексных инженерных изысканий для обеспечения задач проектирования, когда при создании планового обоснования крупномасштабных топографических съемок даже в длины сторон теодолитных ходов необходимо вводить поправки. При выносе проектных элементов в процессе геодезического обеспечения строительства измеренные расстояния на местности могут значительно отличаться от расстояний, полученных из решения обратной геодезической задачи по проектным координатам. Местные (условные) системы координат не учитывают кривизны Земли, поэтому могут применяться на ограниченных по размерам территориях и не имеют строгого математического обоснования, что приводит к проблемам их взаимосвязи, связи с государственной системой координат, с системами координат автоматизированных геоинформационных систем (ГИС), а также определяемых с применением спутниковых систем позиционирования.

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 алгоритма, основанного на теории конформных отображений поверхности земного эллипсоида и плоскости, обеспечивающего необходимую точность вычислений и минимально возможные искажения отображаемых геометрических элементов в единой для всего объекта системе координат;

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

- возможность автоматизации на ЭВМ процесса выбора систем координат, основанных на проекциях, сформированных в соответствии с критерием Чебышева-Граве о наилучших проекциях;

- возможность применения цифровых технологий картографирования, топографических съемок, экспорта-импорта и формирования баз картографо-геодезических данных;

- удобство, простота и доступность для широкого 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 которой (линии равных линейных искажений) являются математическими кривыми, а 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. Основным отличием проекций данного класса от любой отдельно взятой проекции, применяющейся в мировой геодезической практике, является то, что здесь возможно получит проекцию с наиболее подходящей формой изоколы. В отдельно взятых проекциях изоколы вполне определенной формы и ориентации в пределах изображаемой области. В поперечно-цилиндрических проекциях Гаусса-Крюгера, УТМ изоколы параллельны и симметричны относительно изображения осевого меридиана, в конической проекции Ламберта – параллельны и симметричны изображению стандартной параллели, в азимутальных проекциях – концентрические окружности.

Получение проекции с изменяемой формой изоколы можно проводить различными методами, известными в математической картографии. Поликонические проекции допускают ограниченные возможности, композиция нескольких (трех и более) проекций осложняет решение проблемы сохранения конформности, симметричности и перспективности новой проекции, следовательно, возможности общего алгоритмического описания.

На основе исследований нами доказана эффективность формирования данного класса проекций на основе композиции только двух видов проекций: поперечно-цилиндрической и конической с моделируемым значением частного масштаба длин в центральной точке изображаемой области. Как это принято в проекции UTM, где моделируется значение масштаба на осевом меридиане (меньше единицы), что позволяет уменьшить до двух раз в абсолютной мере максимальные линейные искажения в пределах координатной зоны.

Нами получено общее уравнение изокол в определенном классе конформных проекций, основанном на композиции конической и цилиндрической проекций, которое имеет вид [1–2].

$$\frac{d_1 x^2 + d_2 y^2}{2m_0 (m - m_0) R_0^2} = 1, \quad (1)$$

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

$m_0 \leq 1$; $m > m_0$ – значения частного масштаба длин в начальной и текущих вдоль данной изоколы точках проекции;

R_0 – средний радиус кривизны земного эллипсоида.

Как видно из уравнения (1), в данном классе проекций имеет место возможность приспособляемости формы изокол 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 изоколы могут принимать форму прямых различной ориентации, эллипсов, гипербол и их асимптот. Например, принимая $d1 = 0$, $m0 = 0.9996$, получим универсальную поперечно-цилиндрическую проекцию UTM, которую используют в шестиградусных зонах для создания топографических карт в США. При $m0 = 1$ – широко известную проекцию Гаусса-Крюгера. В этих проекциях изоколы представляют собой прямые линии, параллельные и симметричные изображению осевого меридиана и они удобны для изображения территорий, вытянутых вдоль меридиана. Если принять $d2 = 0$, $m0 = 1$, получим коническую проекцию Ламберта. Изоколы представляют собой линии, параллельные и практически симметричные изображению стандартной параллели и она удобна для изображения территорий, вытянутых вдоль параллели. При условии $d1 = d2 = 0.5$ получаем частный случай азимутальной проекции – стереографическую проекцию Гаусса. Изоколы представлены линиями, по своей форме, близкими к окружностям. такие проекции удобны для

отображения территорий округлой формы. С увеличением одного из композиционных коэффициентов, формы изокон представлены эллипсами, вытянутыми вдоль параллели или меридиана. При отрицательных значениях одного из композиционных коэффициентов изокон 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 определения значения масштаба в центральной точке прямоугольной системы координат 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 в любой проекции данного класса. Если взять размеры шестиградусной координатной зоны проекции Гаусса-Крюгера для средней широты США, когда $m_{\max} = 1,0008$, получаем известную величину в проекции UTM $m'_0 = 0,9996$.

Если требуется получить внутри изображаемой области некоторые участки, расположенные вдоль какой-либо изокон, где требуется обеспечить пренебрегаемо малые искажения, тогда в наиболее подходящей проекции для изображения этой территории выбираем изокону $m = const$, 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 изокон искажения будут отсутствовать, можно выбрать границы участка с пренебрегаемо малыми линейными искажениями. Изокон, 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.

Список использованной литературы

[1] Подшивалов В.П. Координатная среда для геоинформационных систем / В. П. Подшивалов // Геодезия и картография. – М., 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. – 125 с.

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

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

[1] Huryeu Y., Padshyvalau U. 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. – P. 147–155.