

4. Цифра дня: Сколько пользователей смартфонов в мире? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ferra.ru/news/mobile/smartphone-penetration-rate-worldwide-26-06-2018.htm>. Дата доступа: 10.02.2019
5. The Popularity of Google Maps: Trends in Navigation Apps in 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://themanifest.com/app-development/popularity-google-maps-trends-navigation-apps-2018>. Дата доступа: 10.02.2019

УДК 528.486

## ВЫБОР ПРОЕКЦИИ ДЛЯ КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. П. Подшивалов<sup>1)</sup>, А. В. Кабацкий<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, [vpodshivalov@bntu.by](mailto:vpodshivalov@bntu.by)

<sup>2)</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, [saniakab@tut.by](mailto:saniakab@tut.by)

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

Ключевые слова: системы координат; проекция; изокола; композиционные коэффициенты.

**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.

**Основная часть.** Традиционные системы координат, применяемые в настоящее время для координатного описания линейно-вытянутых объектов, имеют существенные недостатки. 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 1:2000. 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 значимо

отличаться от расстояний, полученных из решения обратной геодезической задачи по проектным координатам.

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.

Нами разработаны общая теория описания класса наилучших конформных проекций и общий алгоритм, удобный для вычисления на ЭВМ [1-5]. Под наилучшими проекциями понимаем проекции, удовлетворяющие критерию Чебышева-Граве [1-2], 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.

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 УТМ, 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]:

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

где:  $d_1$  и  $d_2$  – композиционные коэффициенты, характеризующие степень участия в композиции конической и цилиндрической проекций (их сумма должна быть равной 1);  $m_0 \leq 1$ ;  $m > m_0$  – 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. 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 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 требуется получить внутри изображаемой области некоторые участки, расположенные вдоль какой-либо изоколы, 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]:

$$m_0 = \frac{1}{m} \quad (3)$$

При этом значении масштаба в начальной точке проекции вдоль выбранной изоколы искажения будут отсутствовать, можно выбрать границы участка с пренебрегаемо малыми линейными искажениями. 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.

**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 1:5000 – 1:10000 и менее [4-5], что вполне удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов.

### **Библиографические ссылки**

1. Подшивалов В. П. Координатная среда для геоинформационных систем. Геодезия и картография, №6. М., 1997. с. 51–55.
2. Подшивалов В. П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем. Научное издание ПГУ. Новополоцк, 1998. 125 с.
3. Подшивалов В. П. Композиционные геодезические проекции. Геодезия и картография. №8. М., 2000 с. 39–43.
4. Подшивалов В. П., Маковский С. В. Системы плоских прямоугольных координат для линейных объектов. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. №4 М., 2000. с. 15–21.
5. Huryeu Y., Padshyvalau U. Automated design of coordinate system for long linear objects. Proceedings of the 11th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 5th – 7th September. As, Norway: PP, 2007. p.147–155.

*УДК 528.486*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КООРДИНАТНЫХ МЕТОДОВ ДЕТАЛЬНОЙ РАЗБИВКИ ОСИ ТРАССЫ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В. П. Подшивалов <sup>1)</sup>, А. В. Кабацкий <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
vrodshivalov@bntu.by

<sup>2)</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
saniakab@tut.by

В статье предлагается метод, дающий возможность автоматизации разбивки геодезических элементов оси трассы в единой системе координат. Суть представленного метода заключается в возможности определения координат элементов трассы в текущей пикетажной точке, независимо от конфигурации и протяженности трассы.

Ключевые слова: ось трассы; разбивка элементов трассы; координатное описание оси трассы.