

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528. 23

ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ КООРДИНАТНОЙ СРЕДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

д-р техн. наук, проф. В.П. ПОДШИВАЛОВ (Полоцкий государственный университет)

Приводятся основные требования, которым должно отвечать координирование объектов в системах автоматизированного проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных сооружений и в системах автоматизированных информационных технологий

Предлагаются теоретические основы и пути решения этой задачи, на основе исследований, разработанных на кафедре прикладной геодезии и фотограмметрии Полоцкого государственного университета

Современные автоматизированные технологии проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных сооружений, а также автоматизированные информационные системы позволяют обеспечивать рациональное преобразование и использование природных ресурсов, а также информации о пространственно распределенных объектах для различных аспектов хозяйственной деятельности. Несмотря на многообразие информации и несущих ее объектов, одной из определяющих характеристик является математическое описание их взаимного расположения на земной поверхности. Решение этой задачи обеспечивается установлением соответствующей системы координат.

Система координат для таких технологий должна отвечать, по нашему мнению, следующим основным требованиям:

- должна иметь строгое математическое описание на основе теории взаимного отображения поверхности земного эллипсоида и плоскости;
- иметь математически обоснованную и высокоточную связь с государственной системой координат;
- обеспечивать государственный контроль, доступность, простоту и удобство в практическом применении для потребителей;
- решать задачи минимально возможных искажений геометрических образов и взаимного положения отображенных объектов, для чего необходимо формирование ее оптимальных вариантов в автоматическом режиме;
- наличие математически обоснованной и достаточно точной связи между системами координат.

Нами предлагаются пути и методы решения задачи формирования координатной среды, в соответствии с указанными требованиями на основе разработок, опубликованных в открытой печати [1-6].

В геодезии вопрос высокоточного установления координат точек земной поверхности на плоскости решается путем редуцирования элементов земной поверхности на поверхность эллипсоида и его отображения на плоскости в геодезической проекции. Технология решения этой задачи отработана и понятна специалистам. До настоящего времени в мировой геодезической практике в одной стране, как правило, применяется какая-либо определенная проекция. Для удобства практического применения проекции топографических карт общегосударственного назначения имеют ту же математическую основу, что и проекции для математической обработки измерений. Например, в странах содружества независимых государств (СНГ) применяется поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса - Крюгера, полученная на основе теории конформных отображений поверхности эллипсоида и плоскости. В других странах, наряду с проекцией Гаусса - Крюгера, применяются такие геодезические проекции, как коническая Ламберта, стереографическая Руссилья и их разновидности.

Вместе с тем отмечаем, что в последние годы в различных странах четко прослеживается тенденция к применению нескольких вариантов геодезических проекций для решения различных задач (общегосударственного назначения, для целей обороны, геодезического обеспечения кадастра и др.), при этом предпринимаются доступные меры по уменьшению искажений отображаемых элементов путем отображения на секущую плоскость. Примером этому может служить известная проекция *UTM*, разработанная в США для размеров шестиградусных координатных зон на средней широте государства.

Анализ мировой практики в этой области, а также исследование математической основы наиболее распространенных геодезических проекций позволяют сделать следующий вывод. Несмотря на многообразие известных и наиболее распространенных в мировой практике геодезических проекций, все они обладают некоторыми общими свойствами: конформностью, перспективностью и симметрич-

ностью отображения малой области поверхности эллипсоида, при этом меридиан эллипсоида, проходящий через центральную точку проекции, изображается на плоскости проекции прямой линией и принимается на ней за одну из координатных осей (осевой меридиан). Нами также доказано, что характеристическим уравнением, определяющим конкретный вид геодезической проекции, может служить одно единственное уравнение, описывающее изображение осевого меридиана на плоскости. Учитывая эти обстоятельства, стало возможным разработать общий алгоритм вычислений в проекциях указанного класса с точностью, необходимой и достаточной для отображения на плоскости результатов геодезических измерений [1 - 2].

Естественно, система координат и все базы данных, описанные в ней, должны быть удобны, понятны и доступны как для специалистов в области геодезии, так и для широкого круга потребителей. Следовательно, должно иметь место практическое использование различных систем координат, обеспечивающих существенный технико-экономический эффект. Вместе с тем пути, методы формирования и установления взаимосвязи таких систем координат должны быть доступны лишь ограниченному кругу специалистов соответствующих органов государственной геодезической службы, реализованы в специальных стандартных программах для ЭВМ.

Системы координат для пользователя определенной информационной системы должны определяться только координатами исходных пунктов, при этом должны обеспечиваться минимально возможные искажения отображаемых в них элементов. Он должен уметь сформулировать только свои требования, что его больше всего устраивает. Это является весьма важным условием по следующим причинам: во-первых, обеспечивается максимально возможная простота математической обработки результатов измерений из-за малых значений редуцированных поправок (упрощается их вычисление и учет в высокоточных измерениях, а в массовых измерениях нет необходимости их вычислять); во-вторых, что более важно, геометрические величины, вычисленные в функции координат, с высокой точностью соответствуют их значениям на местности; в-третьих, допускается возможность простого трансформирования в автоматическом режиме на ЭВМ координат и информации в любую другую систему, включая общегосударственную. Таким образом, решается весьма важная и принципиальная задача государственного контроля качества и использования информационных баз данных различного назначения.

Анализ известных геодезических проекций показывает, что каждая из них обладает как достоинствами в одних условиях, так и недостатками в других. Например, поперечно-цилиндрические проекции обеспечивают минимальные искажения при отображении областей, вытянутых вдоль меридиана, конические - вдоль параллели, стереографические - для областей округлой формы. При этом всегда наиболее значимыми в геодезических проекциях являются искажения и, следовательно, поправки линейных величин, обусловленные частным масштабом длин, поправки же в угловые и линейные величины, обусловленные кривизной отображения геодезической линии эллипсоида на плоскости, всегда менее значимы (на порядок и более). Это характерно для конформных отображений регулярных поверхностей. Следовательно, поиск проекции с минимальными искажениями можно ограничить лишь такими, у которых будут минимальными значения линейных искажений путем моделирования условий формирования значений частного масштаба длин. При этом, естественно, иные искажения должны оставаться менее значимыми. Собственно, это обстоятельство и позволило академику П.Л.Чебышеву сформулировать (1856 г.), а академику Д.А. Граве доказать (1894 г.) теорему о наилучших конформных проекциях. Смысл этой теоремы сводится к тому, что искажения внутри изображаемой области будут минимальными, если линия равных масштабов или линия равных линейных искажений (изокола) по своей форме будет совпадать с контуром изображаемой области. Эта теорема впоследствии вылилась в критерий Чебышева - Граве о наилучших проекциях, широко используется в математической картографии. Отдельно взятые широко известные геодезические проекции в традиционном виде не могут удовлетворять требованиям этого критерия. Их изоколы имеют вполне определенную форму: в поперечно-цилиндрических - прямые, параллельные изображению осевого меридиана; в конических - линии, параллельные изображению стандартной параллели; в стереографических - окружности, описанные вокруг центральной точки проекции.

Задача минимизации искажений при отображении в предлагаемом нами классе конформных геодезических проекций решается следующим образом:

- формализация и алгоритмическое описание общих условий для реализации критерия Чебышева - Граве, используя при этом опыт, наработанный в математической картографии [7], учитывая при этом требования, предъявляемые к геодезическим проекциям;

- управление распределением минимальных искажений внутри изображаемой области при необходимости выделения объектов, к точности отображения которых предъявляются повышенные требования.

Реализация на ЭВМ указанных задач выполнена по определенному алгоритму. При этом предлагаются достаточно простые и надежные пути достижения цели. Так, проекции с управляемой формой изоколы могут формироваться только на основе композиции конической и цилиндрической проекций

общего вида, допускающих необходимые вариации значения $m_0 \leq 1$. Известные и наиболее распространенные в мире виды геодезических проекций следуют отсюда как частные случаи. Композиционные проекции формируются просто, для чего необходимо только получить коэффициенты C_j из характеристических уравнений как сумму коэффициентов $(C_j)_1, (C_j)_2$ характеристических уравнений проекций, участвующих в композиции по формуле

$$C_j = k_1 (C_j)_1 + k_2 (C_j)_2, \quad (1)$$

где k_1, k_2 – композиционные коэффициенты, удовлетворяющие условию

$$k_1 + k_2 = 1 \quad (2)$$

Вариации значений композиционных коэффициентов допускают различные случаи, если принять, например, в качестве первой проекции, участвующей в композиции (1), цилиндрическую, а второй – коническую, то будем иметь:

- семейство цилиндрических проекций, линии нулевых линейных искажений в которых представлены парами линий, параллельных и симметричных изображению осевого меридиана ($k_2 = 0$);
- семейство конических проекций – линии нулевых линейных искажений параллельны и практически симметричны изображению стандартной параллели ($k_1 = 0$);
- семейство азимутальных проекций – линии нулевых искажений с различными параметрами: эллипсы, сопряженные гиперболы и их асимптоты (с произвольными значениями одного из композиционных коэффициентов, связанных условием (2), включая и их отрицательные значения).

Общее уравнение изоколы в данном классе проекций имеет вид:

$$\frac{k_1 x^2 + k_2 y^2}{2 m_0 (m' - m_0) \cdot R_0^2} = 1, \quad (3)$$

где R_0 – средний радиус кривизны поверхности эллипсоида в центральной точке проекции; x, y – координаты текущих точек изоколы.

Вопрос в том, что изоколы представлены математическими линиями, а границы изображаемых областей могут быть произвольными, несовпадающими с этими линиями. Эта проблема исследована в математической картографии [7] весьма обстоятельно. В результате сделан вывод о том, что в решении задачи практической реализации критерия Чебышева – Граве возможны два пути: поиск строго конформной проекции, изоколы которой представлены сравнительно простыми математическими линиями, обобщающими форму границ изображаемой территории; поиск проекции, строго выполняющей граничные условия за счет потери ее конформности. Для предлагаемого нами класса геодезических проекций реализуется единственно возможный – первый путь. Исследования показывают, что приближение изоколы к форме границ за счет усложнения ее уравнения уменьшает максимальные искажения, но несущественно, их порядок остается прежним.

Если вид проекции, отвечающей критерию наилучших, определен, можно решить задачу выбора оптимального распределения искажений внутри области, изображенной в данной проекции. При этом допускается два решения:

- во-первых, обеспечение минимизации максимальных искажений внутри всей изображаемой области путем вычисления значения m_0 по формуле

$$m_0 = 2 / (1 + m'_{max}), \quad (4)$$

где m'_{max} – максимальное значение частного масштаба длин внутри изображаемой области при значении $m'_0 = 1$;

- во-вторых, обеспечение нулевых искажений внутри этой области для точек или объектов с полученными значениями масштаба m' при условии $m'_0 = 1$:

$$m_0 = 1 / m'. \quad (5)$$

Условия (1) – (5) реализованы на ЭВМ в рамках общего алгоритма описания указанного класса геодезических проекций.

Для выбора наилучшей проекции для решения конкретной задачи заказчику достаточно указать приближенные географические координаты граничных точек территории (чаще всего достаточно указать эти координаты для северной - южной и восточной - западной точек), на которой желает работать, в результате он получает каталог координат существующих на этой территории геодезических пунктов, из которых он выбирает наиболее подходящие в качестве исходных. При этом он будет работать в системе, обеспечивающей минимально возможные искажения. Практическая реализация этого может быть осуществлена на стадии получения информации о координатах исходных пунктов от государственной геодезической службы. Для этого достаточно, чтобы там имелось соответствующее программное сопровождение. Дальнейшие топографо-геодезические работы основаны на получении приращений этих координат, поэтому координаты объектов съемки будут отнесены к соответствующей системе.

Решение задачи взаимосвязи систем координат, работающих для различных потребителей, и их связи с государственной системой координат в данном классе геодезических проекций производится в рамках и на основе общего алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подшивалов В.П. Координатная среда для геоинформационных систем // Геодезия и картография. - 1997. - №6. - С. 51-55.
2. Подшивалов В.П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем. - Новополоцк: ПГУ, 1998. - 125 с.
3. Подшивалов В.П. Один из путей модернизации геодезической основы // Геодезия и картография. - 1998, - №2. - С. 24-25.
4. Подшивалов В.П. Композиционные геодезические проекции // Геодезия и картография. - 2000. - №8. - С. 39-43.
5. Подшивалов В.П., Маковский С.В. Система плоских прямоугольных координат для линейных объектов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - № 4. - С. 12-18.
6. Подшивалов В.П. Геодезические проекции на основе поликонических проекций Лагранжа // Геодезия и картография. - 2001. - № 2. - С. 24 - 26.
7. Урмаев Н.А. Методы изыскания новых картографических проекций. - М., 1947. - 95 с.