УДК 528.486

Инженерно-геодезическое обеспечение строительства линейных сооружений

Подшивалов В. П., Кабацкий А.В.
Белорусский национальный технический университет

В математической картографии широко используются методы изыскания проекций наиболее подходящих для создания карт различного назначения. При формировании координатной среды для математической обработки геодезических измерений и представления баз геодезических данных в общегосударственных масштабах используют в мировой практике весьма ограниченное число геодезических проекций, основанных на конформном отображении поверхности земного эллипсоида на плоскости (поперечно-цилиндрические Гаусса-Крюгера и UTM, коническая Ламберта). Это было обусловлено большим объемом вычислений потому, что здесь требуется существенно более высокая точность. В настоящее время при наличии современных вычислительных средств такой проблемы не существует. На этом основании нами предложена теория формирования класса геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших проекциях [2–3 и др.]. В этот класс входят как частные случаи все известные в мировой геодезической практике геодезические проекции, а также новые проекции с формой изоколы, приспособляемой к форме границ изображаемой территории (что определено критерием Чебышева-Граве). Таким образом стало возможным формировать высокоточную координатную среду геоинформационных технологий с обеспечением минимально возможных искажений геометрических элементов земного эллипсоида на плоскости проекции.

Проблема координатного обеспечения транспортного строительства и транспортной логистики в современных условиях требует строгого математического сопровождения, что невозможно обеспечить как применением условных (внесистемных) координат, так и применением традиционных зональных систем координат. Отдельно взятые известные поперечно-цилиндрические или конические проекции удобны либо для объектов, вытянутых вдоль меридиана или вдоль параллели. А транспортный объект может иметь произвольную конфигурацию и большую протяженность. Для Беларуси, территория которой является транзитной, решение этой задачи в оптимальном режиме является актуальной.

На основе общего алгоритма вычислений в программу «*Кредо ТРАНСКОР 3.0*» добавлен функционал вычисления оптимальных параметров композиционной проекции, которая обеспечивает минимальные искажения для больших площадных и протяженных линейных объектов произвольной ориентации. [1]. Это системы координат, полученные композицией (объединением) двух проекций: конической и поперечно-цилиндрической с различной степенью их участия, при условии, что суммарное значение композиционных коэффициентов равно 1.0. При этом значения приращений координат отличаются от приращений в проекции Гаусса-Крюгера или Ламберта на малые величины третьего порядка. Реализованной в программе метод «Поиска параметров композиционной проекции» позволяет добиться оптимальных условий отображения конкретной области. Такие проекции объединяют достоинства геодезических и картографических проекций: высокую точность, разнообразие и приспособляемость к форме и размерам изображаемой территории. Расчет оптимальных коэффициентов влияния двух проекций в системе выполняется автоматически, он зависит от полноты указанных пользователем пунктов, описывающих объект. Моделирование масштабов изображений в композиционной проекции сохраняет и основное преимущество исходных проекций – они остаются конформными, перспективными и симметричными.

Наличие современных средств геодезических измерений (электронные тахеометры, спутниковые системы позиционирования, наземные и аэрокосмические системы дистанционного зондирования) позволяет описывать проектные параметры элементов транспортных объектов любой протяженности в координатном режиме. Это возможно в том случае, если проектирование выполняется в системе координат, полученной на основе описанных нами методов. В этом случае нет проблем установления взаимосвязи различных систем координат потому, что все они имеют математическое обоснование, следовательно, и параметры связи.

Рассмотрим участок трассы от начальной точки *A* до конечной точки *D* с левосторонним и правосторонним углами поворота в точках *B* и *C* соответственно и плановое положение элементов фрагмента оси трассы задано: координатами вершин углов поворота трассы $x_A, y_A; x_B, y_B; x_C, y_C; x_D, y_D$; углами поворота оси трассы θ_1, θ_2; радиусами круговых кривых R_1, R_2.

Для определения координат текущих точек оси трассы, как на прямолинейных, так и на круговых участках используем известные уравнения прямой и окружности в прямоугольной системе координат:

– уравнение прямой *AB* на участке от точки *A* до начала круговой кривой $Нк_1$ имеет вид:

$$y = y_A + (x - x_A)tg\alpha_{AB} \quad \text{или} \quad y = y_A + S_i sin\alpha_{AB}; \qquad (1)$$

– уравнение круговой кривой при вершине *B* от начала *Нк₁* до конца кривой *Кк₁* соответственно:

$$y = y_{01} \pm \sqrt{R_1^2 - (x - x_{01})^2} \qquad (2)$$

Дирекционный угол α_{AB} и расстояние S_{AB} вычисляются по координатам точек *A* и *B* по известным формулам:

$$\alpha_{AB} = arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right), \quad S_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}, \qquad (3)$$

Координаты центра круговой кривой получают из выражений

$$x_{O1} = x_A + (S_{AB} - R_1 tg\frac{\theta_1}{2})\cos\alpha_{AB} - R_1 \sin\alpha_{AB} = x_{\text{Нк}_1} - R_1 \sin\alpha_{AB} \qquad (4)$$

$$y_{O1} = y_A + (S_{AB} - R_1 tg\frac{\theta_1}{2})\sin\alpha_{AB} + R_1 cos\alpha_{AB} = x_{\text{Нк}_1} + R_1 \cos\alpha_{AB}. \qquad (5)$$

Текущие значения ординат точек трассы *y* получают для соответствующих значений абсцисс *x*.

При выносе в проектное положение на местности текущие значения абсцисс на прямолинейных участках трассы могут быть привязаны к пикетажным точкам, отстоящим на оси трассы от начальной точки *A* на расстоянии S_i.

$$x = x_A + S_i cos\alpha_{AB} \qquad (6)$$

Для того, чтобы проконтролировать результаты вычислений и определить пределы действия формул (1) и (2) на оси трассы, вычисляем координаты главных точек кривой:

Координаты начала и конца кривой радиусом R_1 :

$$x_{\text{НК1}} = x_B + T_2 cos\alpha_{BA} = x_B + R_1 tg\frac{\theta_1}{2} cos\alpha_{BA}; \qquad (7)$$

$$y_{\text{НК1}} = x_B + T_1 sin\alpha_{BA} = y_B + R_1 tg\frac{\theta_1}{2} sin\alpha_{BA}; \qquad (8)$$

$$x_{\text{КК1}} = x_B + T_1 cos\alpha_{BC} = x_B + R_1 tg\frac{\theta_1}{2} cos\alpha_{BC}; \qquad (9)$$

$$y_{\text{КК1}} = y_B + T_1 sin\alpha_{BC} = y_B + R_1 tg\frac{\theta_1}{2} sin\alpha_{BC}. \qquad (10)$$

Координаты середины кривой:

$$x_{\text{СК1}} = x_B + R_1\left(\frac{1}{cos\frac{\theta_1}{2}} - 1\right)\sin\left(\frac{\theta_1}{2} + \alpha_{BA}\right); \quad (11)$$

$$y_{\text{СК1}} = y_B - R_1\left(\frac{1}{cos\frac{\theta_1}{2}} - 1\right)\cos\left(\frac{\theta_1}{2} + \alpha_{BA}\right). \quad (12)$$

Уравнение прямой *BC* на участке от точки KK_1 до начала круговой кривой HK_2:

$$y = y_{\text{КК}_1} + \left(x - x_{\text{КК}_1}\right)tg\alpha_{BC}; \quad (13)$$

Уравнение круговой кривой при вершине *C*:

$$y = y_{02} \pm \sqrt{R_2^2 - (x - x_{02})^2}; \quad (14)$$

Здесь дирекционный угол α_{BC} и расстояние S_{BC} вычисляются по координатам точек *B* и *C* по формулам:

$$\alpha_{BC} = arctg\left(\frac{y_{\text{C}} - y_B}{x_C - x_B}\right), \quad S_{BC} = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2} \quad (15)$$

а координаты центра круговой кривой при вершине *C* имеют выражения:

$$x_{02} = x_{\text{НК}_2} + R_2 sin\alpha_{BC}; \quad y_{02} = y_{\text{НК}_2} - R_2 cos\alpha_{BC} \quad (16)$$

Уравнение прямой *CD*:

$$y = y_{\text{C}} + (x - x_{\text{C}})tg\alpha_{CD}; \quad (17)$$

Координаты главных точек кривой при вершине С имеют выражения:

– координаты начала и конца кривой радиусом R_2:

$$x_{\text{НК2}} = x_C + T_2 cos\alpha_{CB} = x_C + R_2 tg\frac{\theta_2}{2}cos\alpha_{CB}; \quad (18)$$

$$y_{\text{НК2}} = x_C + T_2 sin\alpha_{CB} = y_C + R_2 tg\frac{\theta_2}{2}sin\alpha_{CB}; \quad (19)$$

$$x_{\text{КК2}} = x_C + T_2 cos\alpha_{CD} = x_C + R_2 tg\frac{\theta_2}{2}cos\alpha_{CD}; \quad (20)$$

$$y_{\text{КК2}} = y_C + T_2 sin\alpha_{CD} = y_C + R_2 tg\frac{\theta_2}{2}sin\alpha_{CD}. \quad (21)$$

– координаты середины кривой:

$$x_{\text{СК}2} = x_C - R_2\left(\frac{1}{cos\frac{\theta_2}{2}} - 1\right)\sin\left(\alpha_{CB} - \frac{\theta_2}{2}\right); \tag{22}$$

$$y_{\text{СК}2} = y_{BC} + R_1\left(\frac{1}{cos\frac{\theta_2}{2}} - 1\right)\cos\left(\alpha_{CB} - \frac{\theta_2}{2}\right). \tag{23}$$

Ось трассы представлена сочетанием прямолинейных отрезков и круговых кривых. Таким образом, получаем формулы для вычисления всех элементов оси трассы, независимо от ее конфигурации и комбинации данных элементов.

Для детальной разбивки на местности пикетажных точек электронным тахеометром или тахеометром в сочетании со спутниковой системой позиционирования, независимо от их положения, как на прямолинейных, так и криволинейных участках в координатном режиме с точностью, необходимой и достаточной для конкретного вида сооружения. Для этого необходимо в меню прибора внести соответствующие проектные значения координат, вычисленных по предлагаемым формулам.

Литература

1. Будо А.Ю., Гриб В.Г. Новые возможности КРЕДО ТРАНСКОР версии 3.0 //Геопрофи. – 2018 – № 3. М., с. 46–49.
2. Подшивалов В.П. Координатная среда для геоинформационных систем. Геодезия и картография, № 6. М., 1997. с. 51–55.
3. Подшивалов В.П. Композиционные геодезические проекции. Геодезия и картография, № 8. М., 2000. с. 39–43.

УДК 629.735

Тенденции развития ГИС

Радцевич Е.И., Кабацкий А.В., Крупица С.М.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время геоинформационные системы применяют практически во всех сферах человеческой деятельности, а именно в геодезии, картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, транспорте, экономике, экологии, обороне и других областях. Применяют как для решения научных, так и практических задач на локальном, региональном, республиканском и глобальном уровнях.