

ПОСТРОЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КООРДИНАТНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

Розглянута побудова моделей для існуючого і проектного положень плану залізничної колії в координатах і оптимізація проектного рішення.

Рассмотрено построение моделей для существующего и проектного положений плана железнодорожно-го пути в координатах и оптимизация проектного решения.

Construction of models for existing and design positions of the plan of a railway in coordinates and optimization of the design decision is considered.

Эвольвентная модель, при которой сдвиг определяется как разность между проектной и существующей эвольвентой, является одной из самых распространенных. Однако погрешности такой модели не позволяют находить точные значения сдвигов и параметров плана, особенно при существенных рихтовках. Задача может решаться как в косоугольной системе координат [1], так и в традиционной прямоугольной геодезической. Последний подход является более предпочтительным, так как современные системы автоматизированного проектирования ориентированы на такую систему координат.

При создании координатной модели следует обеспечивать достаточно высокую точность построения элементов плана, которые входят в рассматриваемый участок. При этом основная проблема возникает при построении переходных кривых. В связи с этим были получены формулы (1), описывающие с высокой точностью положение переходной кривой в виде радиоидальной спирали в геодезической системе

координат. Обозначения в этих формулах соответствуют рис. 1. Значение m соответствует x при $s = \frac{l}{2}$, а p – расстояние от оси Y до касательной к круговой кривой радиуса R в точке $y = m$.

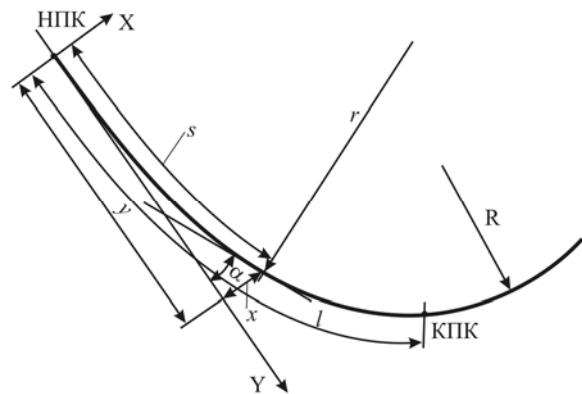


Рис. 1

$$\begin{aligned}
 y &= 2 \cdot \alpha \cdot r \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{5} - \frac{\alpha^2}{12} \cdot \left(\frac{1}{9} - \frac{\alpha^2}{30} \cdot \left(\frac{1}{13} - \frac{\alpha^2}{56} \cdot \left(\frac{1}{17} - \frac{\alpha^2}{90} \cdot \left(\frac{1}{21} - \frac{\alpha^2}{3300} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right); \\
 x &= 2 \cdot \alpha^2 \cdot r \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{\alpha^2}{6} \cdot \left(\frac{1}{7} - \frac{\alpha^2}{20} \cdot \left(\frac{1}{11} - \frac{\alpha^2}{42} \cdot \left(\frac{1}{15} - \frac{\alpha^2}{72} \cdot \left(\frac{1}{19} - \frac{\alpha^2}{110} \cdot \left(\frac{1}{23} - \frac{\alpha^2}{4212} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right); \\
 m &= \frac{l}{2} - \frac{l^3}{240 \cdot R^2} \cdot \left(1 - \frac{l^2}{16 \cdot R^2} \cdot \left(\frac{1}{9} - \frac{l^4}{8 \cdot R^4} \cdot \left(\frac{1}{273} - \frac{l^6}{102816 \cdot R^6} \right) \right) \right); \\
 p &= \frac{l^2}{24 \cdot R} \cdot \left(1 - \frac{l^2}{16 \cdot R^2} \cdot \left(\frac{1}{7} - \frac{l^2}{6 \cdot R^2} \cdot \left(\frac{1}{220} - \frac{l^2}{67200 \cdot R^2} \cdot \left(1 - \frac{l^2}{456 \cdot R^2} \right) \right) \right) \right).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Полученное координатное представление переходной кривой вместе с координатным отображением прямых и круговых кривых используется для построения координатной модели проектного решения. Проектное решение строится для участка, который может содержать кривые разных направлений, прямые вставки, сложные многорадиусные кривые и т.п. Проектная модель включает в себя традиционные параметры плана (радиусы и направление кривых, длины прямых, круговых и переходных кривых), а также координаты центров круговых кривых, точек начала и конца элементов, координаты начал полных радиоид, дирекционные углы прямых и касательных к началам переходных кривых, а также к началам и концам круговых кривых.

При построении координатной модели наиболее сложным является сопряжение двух соседних круговых кривых радиусами R_1 и R_2 с центрами в точках O_1 и O_2 переходной кривой длиной l_{12} (рис. 2). В этом случае полная длина радиоидальной спирали l_2 определяется следующим образом

$$l_2 = \frac{R_1 \cdot l_{12}}{R_1 - R_2}. \quad (2)$$

При близких значениях радиусов может получаться полная длина в несколько километров, а полный угол поворота радиоидальной спирали в несколько сот градусов. Во избежание таких ситуаций следует ограничивать предельным значением угла поворота полной радиоиды возможность сопряжения круговых кривых.

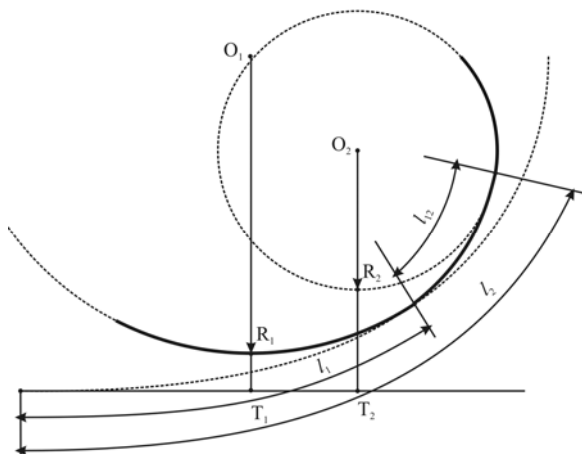


Рис. 2

В координатной модели сдвиг определяется как расстояние на плоскости от точки с известными координатами до ее проектного положения. Для определения проектного положения точки принято считать, что сдвиг будет осуще-

ствляться по нормали к существующему пути. В традиционных подходах нормаль определяется неточно из условия, что рассматриваемая точка и две соседних с ней расположены на окружности. Вместо этого в координатной модели предлагается определять нормаль по отношению к существующему пути, представленному в виде кубических сплайнов [2], что существенно повышает точность расчетов.

Для определения сдвигов выполняется поиск пересечения нормали с различными элементами проектной координатной модели и в качестве решения принимается действительное пересечение.

Проектное решение должно проектироваться на допустимую область. Для этого обеспечивается нахождение радиусов, длин прямых, круговых и переходных кривых в заданном диапазоне. Также выполняется обеспечение совпадения проектного угла поворота с углом, который образуют заданные начальная и конечная прямые.

Оптимизация проектного решения осуществляется с использованием алгоритма случайного локального поиска [3]. Укрупненная блок-схема алгоритма показана на рис. 3.

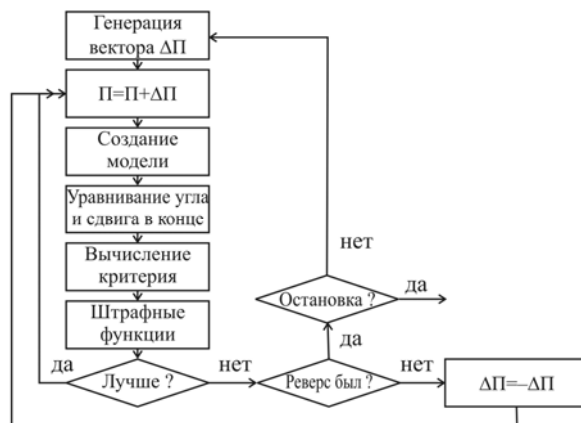


Рис. 3

Для генерации вектора изменения проектных параметров $\Delta \vec{I}$ используется несколько алгоритмов. Первый из них генерирует случайное изменение всех проектных параметров: длин прямых, круговых и переходных кривых, а также радиусов круговых кривых. Шаг изменения этих параметров меняется в зависимости от хода поиска. При успешном ходе поиска шаг увеличивается, а при неудачах – уменьшается. Поиск останавливается при уменьшении шага до заведомо малого значения.

После проведения локального поиска с этим алгоритмом изменения проектных параметров выполняется локальный поиск с другими алго-

ритмами, в которых изменяются только радиусы, только длины прямых и круговых кривых или только длины переходных кривых. После каждого локального поиска выполняется сглаживание решения - пошаговое изменение всех параметров на небольшую величину.

В качестве критерия оптимизации по усмотрению проектировщика может использоваться один из трех вариантов:

- сумма модулей сдвигов;
- сумма квадратов сдвигов;
- сумма затрат на выполнение работ по рихтовке участка.

В последнем случае необходимо задать коэффициенты квадратичной зависимости, которая показывает связь между величиной сдвига и затратами на ее осуществление на протяжении одного метра пути. Кроме того в этом варианте критерия учитываются затраты на досыпку балласта и земляного полотна при достижении сдвига определенного значения.

Поскольку при создании и оптимизации координатной модели выполняется большой объем достаточно сложных вычислений с использованием тригонометрических функций, скорость работы с этой моделью невысокая. В связи с этим рекомендуется вначале провести оптимизацию эвольвентной модели [4], а затем перейти к работе с координатной моделью.

Использование координатной модели позволяет решать множество проектных задач. Наиболее интересной является задача проектирования переустройства плана двух соседних путей или проектирования плана нового второго пути [5].

Описанный подход использован в программе автора [6], которая используется в ряде проектных организаций Украины и России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич И. П. Расчет переустройства кривых в декартовой косоугольной системе координат // В кн.: Вопросы проектирования и строительства железных дорог. – Сб. тр. ДИИТа, вып. 176/5 – Д.: ДИИТ, 1976. – С. 41-45.
2. Корженевич И. П. Математическая модель плана существующего железнодорожного пути // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2007. – № 15. – С. 48–51.
3. Корженевич И. П. Алгоритм оптимизации трассы, основанный на принципах случайного поиска// Рукопись представлена Днепроп. ин-том инж. жел.-дор. трансп. Деп. в ЦНИИТЭИ, № 2035-82. Реферат опубликован в РЖ ВИНТИ «Железнодорожный транспорт», 1983, № 2, реф. 2Г5-83. – Д. - 1982. – 9 с.
4. Корженевич И. П. Построение и оптимизация эвольвентной модели при проектировании переустройства плана железнодорожной линии // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2007. – № 16. – С. –.
5. Корженевич И. П. Проектирование плана второго пути при сложном плане первого пути // В кн. Наука, инновации, образование, актуальные проблемы развития транспортного комплекса России. Материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2006. – С. 180 – 181.
6. Корженевич И. П.. Программа расчетов переустройства (выправки) плана одного железнодорожного пути – Желдорплан// Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – Минск, 2006. – № 3. – С. 13-16.

Поступила в редколлегию 27.04.2007.