

Автоматизация определения положения предельных столбиков и сигналов

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, план станций, автоматизированное проектирование, предельные столбики, сигналы, расстояние, координаты.

Одной из задач автоматизированного проектирования путевого развития железнодорожных станций является определение координат установки предельных столбиков (ПС) и сигналов. Основную проблему при этом составляет минимизация подготовительной работы, связанной с вводом исходных данных, выполняемым проектировщиком.

При традиционной ручной технологии проектирования станций положение ПС и сигналов устанавливается на основании справочных таблиц. В настоящее время имеется ряд специальных программ [1, 2] для автоматизации этой процедуры. Однако, как показывает опыт, несовершенство используемых моделей путевого развития и алгоритмов распознавания ситуаций все же влечет за собой выполнение проектировщиком значительной подготовительной работы. Это ограничивает область применения подобных программ. Поэтому в настоящей работе поставлена задача автоматизации расчетов координат ПС и сигналов для всех возможных вариантов их установки при наличии минимальной входной информации.

Методика расчетов основывается на математической модели путевого развития станции в виде ориентированного графа [3], позволяющей определять координаты ПС и сигналов, а также полезные длины путей в процессе проектирования станции. В указанной модели план путевого развития станции представляется в виде ориентированного графа $G = (V, E)$, в котором выделены три подмножества вершин: V^S, V^C и V^W . Вершины $v_i \in V^S$ являются центрами стрелочных переводов (ЦП), вершины $v_j \in V^C$ — вершинами углов поворота кривых (ВУП), вершины $v_k \in V^W$ — концами путей (КП). Дугам графа $e = (v, u)$ соответствуют участки путей, соединяющих вершины. Принято, что все дуги ориентированы слева направо.

Анализ полустепеней исхода вершин, соответствующих стрелочным переводам $v \in V^S$, позволяет установить положение ПС относительно ЦП: если $\text{deg } v^+ = 1$, ПС находится слева от ЦП (рис. 1, а); если $\text{deg } v^+ = 2$, ПС находится справа от ЦП (рис. 1, б).

Как известно, ПС указывает границу, в пределах которой должен находиться подвижной состав, чтобы обес-

печивалась безопасность движения поездов (вагонов) в соседнему пути. Если вагон при прохождении ПС остается на прямом участке, то ПС устанавливается на расстоянии $r = 2,05$ м от оси пути. Если же при прохождении ПС вагон движется по круговой кривой, то расстояние r должно быть увеличено на величину Δ_n или Δ_n (увеличение габаритного расстояния от оси пути до здания и сооружений, находящихся соответственно с внутренней или наружной стороны кривой). В соответствии с [4]

$$\Delta_n = l^2/8R; \quad \Delta_n = (L^2 - l^2)/8R,$$

где $L = 24$ м — длина, а $l = 17$ м — база расчетного вагона; R — радиус кривой.

Следует отметить, что в научно-методической литературе проблеме установки ПС на участках перехода с прямой к кривой и обратно, где Δ_n и Δ_n переменны, уделялось недостаточно внимания. Между тем эти участки имеют длину порядка 30 м, поэтому в кривых малого радиуса ПС располагается именно в их пределах. Таким образом, для автоматизации расчета координат ПС в таких случаях необходимо найти уравнения линий $h(x)$ и $g(x)$, описывающие наибольшее отклонение оси расчетного вагона от оси пути соответственно во внутреннюю и наружную стороны кривой.

Расчетная схема для идентификации функций $h(x)$ и $g(x)$ приведена на рис. 2. Здесь начало координат соответствует положению шкворня задней тележки вагона в момент, когда шкворень передней тележки находится в точке сопряжения прямой и кривой (точка С), т. е. начало координат находится на расстоянии l от данной точки. Рассмотрим промежуточное положение вагона на участке перехода, которое характеризуется расстоянием a между шкворнем задней тележки вагона А и точкой С (рис. 2).

В соответствии с приведенной схемой текущее значение угла поворота оси вагона β относительно оси прямого пути определяется, как

$$\beta = \alpha - \gamma. \quad (1)$$

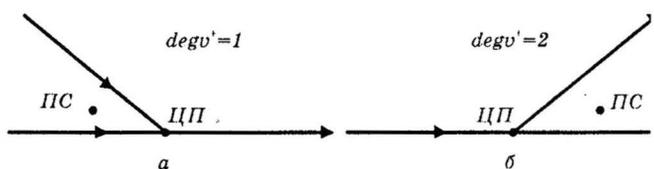


Рис. 1. Размещение предельного столбика относительно центра стрелочного перевода.

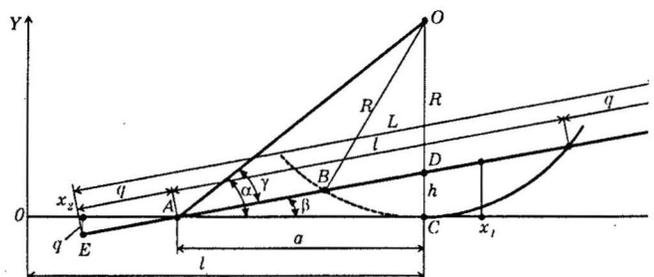


Рис. 2. Расчетная схема для определения смещения оси вагона относительно оси пути.

Тангенс угла α можно найти из треугольника ACO (точка O — центр дуги кривой):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R}{a} \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) $\operatorname{tg}\beta$ можно определить с помощью выражения

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\gamma}{1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\gamma} = \frac{R\cos\gamma - a\sin\gamma}{R\sin\gamma + a\cos\gamma} \quad (3)$$

Значения $\cos\gamma$ и $\sin\gamma$ из треугольника ABO равны:

$$\cos\gamma = \frac{a^2 + l^2}{2l\sqrt{a^2 + R^2}}; \quad (4)$$

$$\sin\gamma = \sqrt{1 - \cos^2\gamma} = \frac{\sqrt{4l^2R^2 - (a^2 - l^2)^2}}{2l\sqrt{a^2 + R^2}} \quad (5)$$

Тогда, подставляя выражения (4) и (5) в (3), получим

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R(a^2 + l^2) - a\sqrt{4l^2R^2 - (a^2 - l^2)^2}}{R\sqrt{4l^2R^2 - (a^2 - l^2)^2} + a(a^2 + l^2)} \quad (6)$$

Как показал анализ, значения величин $(a^2 - l^2)^2$ и $a(a^2 + l^2)$ весьма малы по сравнению с R , поэтому выражение (6) упрощается и принимает вид

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{(a - l)^2}{2lR} \quad (7)$$

В таком случае при заданном положении вагона (на расстоянии a) смещение вагона от оси прямого пути в некоторой точке $x = x_1$ определяется из уравнения

$$h(x, a) = (a + x - l)\operatorname{tg}\beta = (a + x - l)\frac{(a - l)^2}{2lR} \quad (8)$$

Очевидно, что значение смещения $h(x, a)$ в точке x изменяется при изменении положения вагона, т. е. расстояния a . Поэтому необходимо найти такое значение последнего, при котором переменная $h(x)$ (8) в точке x достигнет максимума:

$$h(x) = \max_{0 \leq a \leq l} h(x, a) \quad (9)$$

Классическими методами оптимизации функции одной переменной можно установить, что $h(x, a)$ достигает максимума при $a = l - 2x/3$ для любых значений x в пределах $0 \leq x \leq x_{\max}$. Здесь x_{\max} соответствует такому положению вагона, при котором шкворень его задней тележки (точка A) находится в точке сопряжения прямой и кривой (точка C , $a = 0$) и равно

$$x_{\max} = l \left(1 + \frac{1}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{l}{2R} \right)^2} \right) \approx 1,5l \quad (10)$$

В этой точке значение функции $h(x)$ достигает максимума: $h(x_{\max}) = l^2/4R$; при этом увеличение габаритного расстояния принимает значение $\Delta_a = l^2/8R$ и далее остается постоянным, пока обе тележки вагона находятся на кривой.

Таким образом, уравнение, описывающее максимальное отклонение оси вагона от оси прямого пути во внутреннюю сторону кривой, может быть получено из выражения (8) $a = l - 2x/3$:

$$h(x) = \frac{2x^3}{27lR}, \quad 0 < x < 1,5l \quad (11)$$

Максимальное значение функции $g(x)$, описывающей отклонение оси вагона во внешнюю сторону кривой, всегда соответствует конечной точке оси вагона (точка E , рис. 2) и равно $g = q \cdot \sin\beta$, где $q = (L - l)/2$. Ввиду малости

угла β ($\beta \leq 2,7^\circ$) $\sin\beta \approx \operatorname{tg}\beta$, и смещение, в соответствии с (7), будет равно

$$g \approx q \cdot \operatorname{tg}\beta = \frac{q(a - l)^2}{2lR}$$

Таким образом, в некоторой точке $x = x_2$ функция $g(x)$ имеет вид

$$g(x) = \frac{q(x + q)^2}{2lR}, \quad -q < x < l - q$$

Графическое изображение изменения смещения оси вагона относительно оси пути при движении на участке перехода от прямой к кривой приведено на рис. 3.

Окончательные уравнения для определения значений функций $h(x)$ и $g(x)$ при произвольном значении x приведены ниже:

$$h(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0, \\ \frac{2x^3}{27lR} & \text{при } 0 < x < 1,5l, \\ \frac{R - \sqrt{(R - \Delta_a)^2 - (x - l)^2}}{R - \sqrt{(R - \Delta_a)^2 - (x - l)^2}} & \text{при } x \geq 1,5l; \end{cases} \quad (12)$$

$$g(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq -q, \\ -\frac{q(x + q)^2}{2lR} & \text{при } q < x < l - q, \\ \frac{R - \sqrt{(R + \Delta_a)^2 - (x - l)^2}}{R - \sqrt{(R + \Delta_a)^2 - (x - l)^2}} & \text{при } x \geq l - q. \end{cases} \quad (13)$$

При изменении направления поворота кривой знаки выражений (12) и (13) изменяются на противоположные.

Для расчета координат ПС по данным модели путевого развития $G = (v, E)$ для каждого ЦП автоматически определяются характеристики связанных с ним путей (длина прямых вставок и параметры кривых). Далее выполняются построение эквидистант кривых $h(x)$ и $g(x)$ для этих путей, их преобразование для расчетов в системе координат станции, после чего определяются координаты точки пересечения эквидистант смежных путей с использованием методов вычислительной геометрии.

ПС централизованных стрелочных переводов устанавливаются на расстоянии 3,5 м от изолирующих стыков. В этой связи расстояние $l_{\text{ПС}}$ увеличивается до $l'_{\text{ПС}}$, которое может быть определено из выражения:

$$\begin{cases} l'_{\text{ПС}} = \min(6,25n_1 + 12,5n_2 + 25n_3 + 0,01(n_1 + n_2 + n_3 - 1) + b - 3,5); \\ l'_{\text{ПС}} \geq l_{\text{ПС}}; n_1 \in [0, 1]; n_2 \in [0, 1]; n_3 = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

где $l_{\text{ПС}}$ — расстояние до ПС, рассчитанное из условия обеспечения габарита; n_1, n_2, n_3 — количество рубок рельсов длиной 6,25, 12,5 и 25 м соответственно; b — расстояние от центра перевода до торца крестовины.

Более сложной задачей является определение положения сигналов. Она решается в три этапа: расстановка сигналов на плане путевого развития; определение схемы их размещения относительно центров стрелочных переводов; расчет координат сигналов в соответствии с выбранной схемой их установки.

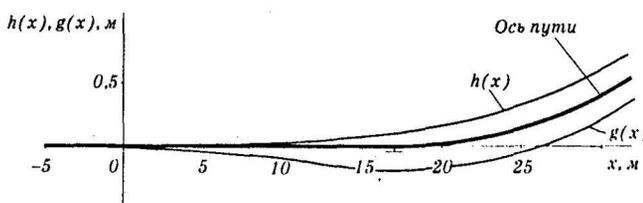


Рис. 3. Наибольшее смещение оси вагона относительно оси пути.

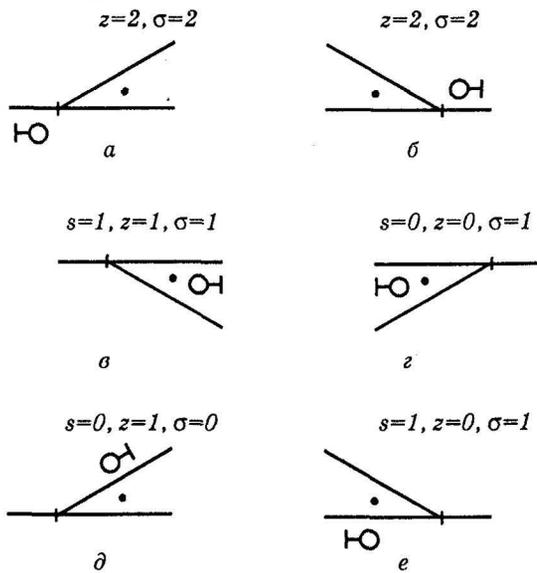


Рис. 4. Определение схемы расположения сигнала относительно центра стрелочного перевода: а, б — в створе изолирующего стыка рамного рельса ($\sigma = 2$); в, г — на расстоянии l_{cb} от центра стрелочного перевода ($\sigma = 1$); д, е — на расстоянии 3,5 м от ПС ($\sigma = 0$).

На первом этапе для определения места установки, типа и названия сигнала проектировщику необходимо проанализировать не только план путевого развития, но и изучить технологию работы станции. Выполнять это целесообразно в интерактивном режиме с помощью графического редактора. При этом для дальнейших расчетов каждый сигнал представляется определенной структурой:

$$c = (n; z, k, N),$$

где n — номер стрелочного перевода, у которого устанавливается сигнал; z — направление установки сигнала относительно стрелочного перевода ($z=0$ — за крестовиной на прямом пути; $z=1$ — за крестовиной на боковом пути; $z=2$ — в створе изолирующего стыка рамного рельса); k — тип сигнала (мачтовый, карликовый, карликовый спаренный и т.п.); N — номер сигнала.

На втором этапе автоматически определяется схема σ расположения сигнала, которая может быть принята на основании параметра z и сторонности s_n стрелочного перевода n . При этом, если $z = 2$, то сигнал устанавливается в створе изолирующего стыка рамного рельса ($\sigma = 2$, рис. 4, а, б). При размещении сигнала в одном или разных междупутьях с ПС (рис. 4, в–е) схема расположения σ устанавливается из выражения $\sigma = s - z$, где $-$ — логическая операция эквивалентности.

На третьем этапе рассчитываются координаты точек установки сигналов с использованием методов вычислительной геометрии. При этом расстояние от ЦП до сигнала определяется в соответствии с найденным вариантом схемы σ : при установке сигнала в створе изолирующего стыка рамного рельса ($\sigma=2$) расстояние до светофора $l_{cb} = l_a$, где l_a — расстояние от ЦП до стыка рамного рельса. При установке сигнала в разных междупутьях с ПС ($\sigma = 0$) расстояние $l_{cb} = l_{ПС} + 3,5$ м; при установке сигнала в одном междупутье с ПС ($\sigma=1$) расстояние l_{cb} определяется из условия обеспечения габарита по методике, разработанной для ПС.

Результаты расчета координат предельных столбиков и сигналов используются при построении плана станции.

Таким образом, в результате выполненных исследований усовершенствована методика определения координат размещения предельных столбиков и сигналов, что позволяет уточнить их положение на плане станции. Кроме того, указанная методика может быть использована в системах автоматизированного проектирования железнодорожных станций, что уменьшит затраты труда проектировщиков за счет минимизации ручных операций при подготовке исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. — К.: Киевгипротранс, 1985. — 32 с.
2. Проектирование железнодорожных станций и узлов: Справ. и метод. руководство / Под ред. А.М.Козлова, К.Г.Гусевой. — М.: Транспорт, 1981. — 592 с.
3. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Информационные технологии в проектировании железнодорожных станций и узлов // Залізнич. транспорт України. — 1999. — № 6. — С. 6–10.
4. Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств — участников СНГ, Латвийской республики, Литовской республики, Эстонской республики. — М.: Желдоркнига, 2001. — 192 с.

Поступила в редакцию 23.01.04.