

Инженер Д.Н. Козаченко (ДИИТ)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Анализ трудозатрат проектировщиков показывает, что основная их часть приходится на производство расчетов, разработку и оформление чертежей, ведение архивов. Автоматизация этих процедур позволит высвободить время собственно на разработку конструкции объекта и повысить качество проектирования. Одними из основных объектов проектирования железнодорожных станций являются поперечные профили земляного полотна и балластной призмы. При их проектировании можно выделить следующие операции:

- анализ существующей инженерно-геологической ситуации, проектируемого плана станции и продольных профилей существующих и проектируемых путей;
- разработка плана мероприятий по изменению существующего поперечного профиля;
- выполнение инженерных расчетов по определению проектных расстояний и отметок в соответствии с требованиями СНиП;
- выполнение чертежных работ;
- анализ и корректирование поперечных профилей в целом по переустраниваемому участку;
- расчет площадей элементов поперечного профиля по типам грунтов и балластных материалов, необходимых для составления ведомости подсчета объемов работ по устройству земляного полотна и балластной призмы;
- оформление технической документации;
- хранение и обмен инженерной информацией.

Анализ возможностей применения средств автоматизированного проектирования показывает, что они могут быть эффективно использованы при производстве инженерных расчетов, разработке и выводе качественных чертежей, хранении и обмене инженерной информацией. При этом выполнение проектных процедур, связанных с разработкой и анализом конструкции, ввиду наличия большого числа неформальных и неформализуемых задач, остается за проектировщиком. При выполнении этих процедур средства вычислительной техники могут быть использованы для предоставления справочной и нормативной информации.

Одной из основных задач при разработке математического и программного обеспечения систем автоматизированного проектирования (САПР) является математическое моделирование проектируемых объектов. К математической модели поперечного профиля предъявлялись следующие требования:

- модель должна служить основой для формализации проектных процедур и организации эффективного интерфейса (минимум вводимой информации, контроль правильности ввода, простота внесения изменений, возможность автоматизации решения широкого круга задач проектирования);
- объем информации, содержащейся в модели, должен соответствовать стандартным чертежам поперечных профилей земляного полотна и балластной призмы железнодорожных станций;
- плоские модели поперечных профилей должны быть основой объемного моделирования земляного полотна и балластной призмы станции.
- В качестве модели поперечного профиля земляного полотна и балластной призмы выбрана плоская полигональная сетка [1], представляющая собой совокупность ребер, вершин и многоугольников (рис.1). Учитывая, что на разных этапах проектирования поперечного профиля к модели предъявляются различные требования, целесообразно использовать различные формы сетки, отличающиеся способом организации данных и степенью детализации описания объекта. Процесс проектирования поперечных профилей можно разделить на три этапа:
 - ввод данных о существующем и проектирование нового поперечного профиля;
 - хранение описания поперечного профиля на внешних носителях;
 - расчет площадей поперечного профиля с разбивкой по типам грунтов и балластных материалов.

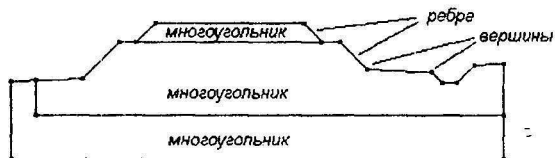


Рис.1. Полигональная сетка

Для этих этапов используются различные формы представления полигональной сетки в памяти ЭВМ. Преобразование модели при переходе от этапа к этапу производится автоматически.

Топологическая структура полигональной сетки может быть однозначно представлена в виде плоского ориентированного графа $G=G(V,E)$, в котором вершинами V являются характерные точки поперечного профиля, а ребрами E отрезки прямых, соединяющих вершины. Ориентация ребер произвольна и нужна для передачи позиционной информации, используемой при разбиении

поперечного профиля на элементы по типам грунтов и балластных материалов и определении их площадей.

Для представления указанного графа в памяти ЭВМ использовались следующие структуры данных.

На первом этапе принята структура данных, называемая списком ребер [2]. Каждому ребру $e \in E$ ориентированного графа G ставится в соответствие упорядоченная пара вершин, состоящая из начальной v и конечной u вершины $e = (v, u)$; направление ребра задано от вершины v к вершине u . Ниже приведен фрагмент списка ребер ориентированного графа G , показанного на рис.2.

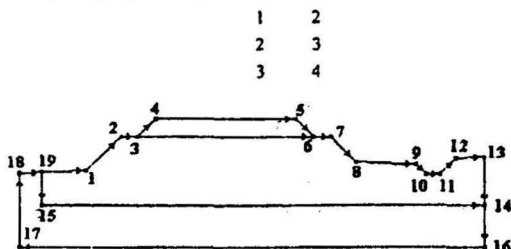


Рис. 2. Ориентированный граф поперечного профиля земляного полотна и балластной призмы

Таким образом, в памяти ЭВМ граф G представлен матрицей $2 \times m$, где m - число ребер графа. Учитывая, что с помощью графа G описывается только топологическая структура полигональной сетки, для хранения геометрической информации на первом этапе модель дополняется списком вершин, в котором каждой вершине поставлены в соответствие ее координаты в плоскости поперечного профиля $v = (x, y)$.

На этапе хранения описания поперечного профиля граф G представляется в памяти ЭВМ списками инцидентности вершин [3]. Данная структура является наиболее экономичной в отношении памяти. При этом каждой вершине $v \in V$ ориентированного графа G ставится в соответствие список вершин u таких, что $v \rightarrow u$. Ниже приведен фрагмент списков инцидентности вершин ориентированного графа G показанного на рис.2.

2	3
3	4 6
4	5

Число ячеек памяти, необходимое для представления орграфа в памяти ЭВМ с помощью списков инцидентности будет иметь порядок $m+n$ [3], где n - число вершин графа G . Для хранения информации о положении вершин поперечного профиля списки инцидентности дополняются данными об их координатах.

На этапе расчета площадей необходимо эффективно разбивать поперечный профиль на элементы по типам грунтов и балластных материалов. С этой целью необходима организация модели, позволяющая быстро идентифицировать многоугольники, которым принадлежит данное ребро, и определять все ребра, принадлежащие данному многоугольнику. Этому требованию отвечает представление полигональной сетки, использующее явное задание ребер [1]. Явное задание ребер предполагает наличие списков ребер, вершин и многоугольников. Для описания структуры графа G используется список ребер, аналогичный применяемому на первом этапе. Кроме того, каждому ребру в соответствие ставятся индексы многоугольников, которым принадлежит данное ребро. Таким образом, на данном этапе каждое ребро $e \in E$ графа G описывается как

$$e = (v, u, p^+, p^-),$$

где p^+, p^- - соответственно, многоугольники, находящиеся в положительной и отрицательной полуплоскостях относительно данного ребра.

Для быстрого определения всех ребер, ограничивающих данный многоугольник, организуется список многоугольников. При этом каждому многоугольнику полигональной сетки ставится в соответствие список ограничивающих его ребер, а также дополнительные параметры, характеризующие геологическую ситуацию соответствующего элемента поперечного профиля. Таким образом, многоугольник описывается как

$$P = (e_1 \dots e_m, T_1, T_2),$$

где $e_1 \dots e_m$ - список ребер, ограничивающих данный многоугольник;

T_1, T_2 - параметры, соответственно указывающие на существующий и проектируемый тип грунта или балластного материала, информация о которых хранится в дополнительной базе данных.

И, наконец, для хранения геометрической информации о положении вершин полигональной сетки используется список вершин, аналогичный применяемому на первом этапе.

Для расчета площадей поперечного профиля с разбивкой по типам грунтов и балластных материалов необходимо уметь однозначно определять положение некоторой точки относительно заданного ребра. Для решения этой задачи используется ориентация ребер, обеспечивающая передачу позиционной информации. Чтобы определить положение точки относительно ребра, анализируется уравнение его носителя (ориентированной прямой, которой принадлежит данное ребро [4]). Преобразуем уравнение прямой в точках

$$\frac{y - y_2}{y_1 - y_2} = \frac{x - x_2}{x_1 - x_2}, \quad (1)$$

в уравнение

$$y(x_1 - x_2) - x(y_1 - y_2) - x_1 y_2 + x_2 y_1 = 0. \quad (2)$$

где x_1, y_1 - координаты начальной вершины ребра;

x_2, y_2 - координаты конечной вершины ребра.

Пусть

$$Z = y(x_1 - x_2) - x(y_1 - y_2) - x_1 y_2 + x_2 y_1 \quad (3)$$

тогда, подставляя координаты произвольной точки $A(x, y)$ в выражение (3), можно однозначно определить, находится ли точка на одной прямой с данным ребром ($Z=0$) в положительной ($Z>0$) или отрицательной ($Z<0$) полуплоскости относительно данного ребра.

Приведенная модель была использована при разработке математического и программного обеспечения автоматизированного рабочего места для проектирования поперечных профилей земляного полотна и балластной призмы железнодорожных станций. Для решения задач создания, изменения, просмотра, сохранения чертежа и расчета площадей элементов поперечного профиля с разбивкой по типам грунтов и балластных материалов разработан специальный графический редактор. Данные о существующем поперечном профиле представлены в виде текстового файла, в котором содержится информация из "Журнала технического нивелирования", "Полевого журнала выработок" и "Полевой книжки замеров балластного слоя", подготовленная по определенному макету. Разработанный графический редактор позволяет выполнять в интерактивном режиме ввод и редактирование очертания поперечного профиля с автоматическим определением отметок и (или) расстояний до характерных точек; автоматически осуществлять разбивку поперечного профиля на многоугольники; выполнять ввод геологической информации о существующих и проектируемых типах грунтов и балластных материалов; автоматически выполнять расчет площадей элементов поперечного профиля с оформлением соответствующей ведомости. Редактор также предусматривает возможность прерывания работы на любом этапе с сохранением всех данных в виде текстового файла.

При создании чертежа с помощью графического редактора проектировщик работает с изображением части (или всего чертежа), выводимого на дисплей. Эту видимую часть (окно зрения [5]) можно увеличивать (при этом изображение чертежа будет уменьшаться), уменьшать (изображение будет увеличиваться) или перемещать по полю чертежа без изменения масштаба (панорамирование). Выполнение этих функций обеспечивается преобразованием координат, а именно, параллельным переносом и масштабированием. Для решения задачи преобразования координат удобно выразить все необходимые точки в однородных координатах, в которых точка $P(x, y)$ описывается трехэлементной вектор-строкой $[x, y, 1]$. Тогда преобразование координат точки P осуществляется умножением вектора точки на матрицу преобразования M размером 3×3 :

$$[x', y', 1] = [x, y, 1] \times \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}.$$

Матрица преобразования при параллельном переносе имеет вид:

$$M(T) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{vmatrix}$$

Матрица преобразования при масштабировании имеет вид:

$$M(E) = \begin{vmatrix} e_1 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Для получения матрицы обеих преобразований необходимо перемножить указанные матрицы:

$$M = M(T) \cdot M(E) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} e_1 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$M = \begin{vmatrix} e_1 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 \\ t_x e_1 & t_y e_2 & 1 \end{vmatrix}.$$

Так как процесс создания модели связан с точными геометрическими построениями, в которых требуется находить конечные точки отрезков, определять точки пересечения линий, устанавливать координаты отдельных вершин и т.п., то необходимо использование специального средства - объектной привязки [5]. Возникающие при этом задачи решаются с помощью математического аппарата аналитической геометрии. Так для решения задачи нахождения точки пересечения двух прямых, возникающей, например, при определении точки пересечения линии земли и откоса земляного полотна, используется метод Крамера:

$$x_0 = \frac{\begin{vmatrix} B_1 & C_2 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}}, \quad y_0 = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & A_2 \\ C_2 & A_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}}.$$

$$\text{при } \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} \neq 0,$$

где A, B, C - коэффициенты общего уравнения прямой.

Ввиду того, что в данной модели используется задание прямой в точках, то

$$\begin{aligned} A &= y_2 - y_1; \\ B &= x_1 - x_2; \\ C &= x_2 y_1 - x_1 y_2; \end{aligned}$$

где (x_1, y_1) и (x_2, y_2) - координаты двух несовпадающих точек, принадлежащих прямой.

На этапе формирования списка многоугольников и определения их площадей используются алгоритмы определения принадлежности точки многоугольнику и расчета площади ориентированного многоугольника [4].

Чтобы определить принадлежность точки многоугольнику необходимо:

1) Определить принадлежность точки ломаной, ограничивающей многоугольник: если точка принадлежит хотя бы одному из ребер делаем вывод, что она принадлежит границе многоугольника.

2) Определить число точек пересечения произвольного луча, исходящего из данной точки, и ломаной, ограничивающей многоугольник: если число нечетное - точка принадлежит внутренней области многоугольника, иначе - точка не принадлежит многоугольнику.

Для определения площади ориентированного многоугольника из произвольной точки (т. О, рис. 3) на каждом ребре этого многоугольника строятся треугольники. Площадь многоугольника равна сумме площадей этих треугольников, причем если треугольники построены на ребрах, относительно которых т. О находится в той же полуплоскости, что и рассчитываемый многоугольник, то их площади берутся со знаком плюс, иначе - со знаком минус.

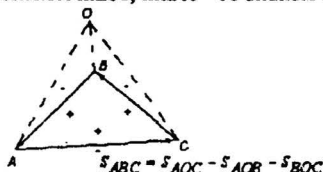


Рис.3. Схема определения площади ориентированного многоугольника

Для удобства расчетов треугольники предпочтительно строить из точки начала координат (0,0). Площади треугольников определяются по формуле Герона:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)},$$

где a, b, c - длины сторон треугольника;

$$p = \frac{1}{2}(a + b + c) - \text{полупериметр.}$$

Длины сторон треугольника определяем как расстояния между его вершинами:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Для организации вывода чертежа поперечного профиля планируется разработка алгоритма формирования на основании выше описанной модели файла обмена чертежами формата DXF, что позволит выполнять окончательное редактирование и вывод чертежей в среде AutoCAD.

Список литературы:

1. Грувер М., Зимменс Э. САПР и автоматизация производства - М.: Мир, 1987. – 528 с.
2. Емеличев В.А. и др. Лекции по теории графов. - М: Наука, 1990. – 384 с.
3. Липский В. Комбинаторика для программистов. - М.: Мир, 1988. – 214 с.
4. Горелик А.Г. Автоматизация инженерно-графических работ с помощью ЭВМ. - Минск: Высшая школа, 1980. – 208 с.
5. Кречко Ю.А., Полищук В.В. Автокад. Курс практической работы. - М.: Диалог-МИФИ, 1996. – 256 с.