

УДК 656.212

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

В. В. МАЛАШКІН *

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
Дніпропетровськ, УКРАЇНА
*email: malaxa79@mail.ru

АНОТАЦІЯ Процес розробки конструкції колійного розвитку залізничних станцій та вузлів супроводжується масовими і трудомісткими розрахунками з'єднань колій і координат основних точок плану. Значне поліпшення даного процесу досягається за рахунок використання структурно-параметричних моделей станцій у сукупності з методами автоматизованого синтезу станцій. В статті розглядаються моделі та алгоритми графічного формування вхідної моделі станції у середовищі AutoCAD, що значно скорочує тривалість процесу проектування її плану.

Ключові слова: залізнична станція, колійний розвиток, орієнтований граф, синтез, AutoCAD

АННОТАЦИЯ Процесс разработки конструкции путевого развития железнодорожных станций и узлов сопровождается массовыми и трудоемкими расчетами соединений путей и координат основных точек плана. Значительное улучшение данного процесса достигается за счет использования структурно-параметрических моделей станций в совокупности с методами автоматизированного синтеза станций. В статье рассматриваются модели и алгоритмы графического формирования входной модели станции в среде AutoCAD, значительно сокращающие продолжительность процесса проектирования ее плана.

Ключевые слова: железнодорожная станция, путевое развитие, ориентированный граф, синтез, AutoCAD

SYSTEM FOR AUTOMATED SYNTHESIS OF TRACK DEVELOPMENT RAILWAY STATIONS

V. MALASHKIN *

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Dnepropetrovsk, UKRAINE

ABSTRACT The process of design gridiron railway stations and units accompanied by massive and time-consuming calculations compounds ways and coordinates the main points of the plan. Significant improvement of this process is achieved through the use of structural and parametric models (input, internal and output models) stations in conjunction with the automated synthesis methods stations. In this formalization scheme gridiron station is based on a directed graph. **The Aim.** Preparing data input model in the form of lists of characteristic points of the incidence scheme takes considerable time. In this context, the task of developing models and algorithms for interactive graphical form input model of the plant. **Methods of solution.** To solve the problem using the methods of graph theory and analytic geometry. **The Results.** To provide interactive input and editing schemes station designed structure of the input model gridiron based on digraph algorithms build and conversion to the internal model to automatically calculate the coordinates of the station plan. The proposed models and algorithms used in the development of a graphical editor-aided design of railway stations on the basis of AutoCAD. **Conclusions.** Using a graphical editor for automated plant design reduces overall costs up to 60%.

Keywords: railway station, gridiron, directed graph, synthesis, AutoCAD

Вступ

Пропускна і переробна спроможність залізничних станцій і вузлів, ефективність їх експлуатації залежать від раціональності рішень, прийнятих при їх проектуванні. Суттєве підвищення якості проектування, збільшення продуктивності праці проектувальників може бути досягнуте в

результаті впровадження нової інформаційної технології, основою якої є система автоматизованого проектування (САПР). Однією з основних проблем теорії САПР є розробка ефективних математичних моделей об'єктів, які проектуються, і алгоритмів виконання проектних процедур. Це завдання є особливо важливим для проектування залізничних станцій і вузлів, що пояснюється

високою вартістю їх будівництва і реконструкції, тривалим строком експлуатації, неможливістю побудови фізичних моделей.

Слід відзначити, що складність вказаного завдання полягає у формалізації схеми станції і її вихідних параметрів для вводу в ЕОМ (побудова моделі станції) і розробці алгоритму аналізу моделі для розрахунків вихідних параметрів.

Фундаментальні дослідження проблеми автоматизації розрахунків колійного розвитку станцій були виконані в [1]. У даній роботі вперше був розроблений метод кодування схем станцій з використанням теорії графів. При цьому конструкція будь-якої схеми представляється безліччю елементарних циклів (контурів), які виділяються на графі схеми. Розроблений також алгоритм розрахунків координат схеми колійного розвитку станцій, базується на попередніх розрахунках і ув'язкою параметрів елементарних циклів схеми. Розроблена контурна модель станції [1] є універсальною формою представлення інформації про її схему. Вказана модель після автоматичного перетворення може бути використана для рішення широкого класу завдань проектування станцій, зокрема для розрахунків пропускної здатності горловин.

В роботах [2, 3] для розробки моделі колійного розвитку залізничних станцій пропонується використовувати мережі Петрі. Вказана модель застосовується для визначення переробної спроможності станції у різних експлуатаційних умовах. З метою аналізу найбільшої кількості альтернативних варіантів проектних рішень при формалізації колійного розвитку станцій допускаються деякі спрощення, що не завжди гарантує достовірність отриманих результатів моделювання.

У сучасних умовах для формалізації колійного розвитку станцій використовуються новітні математичні методи. Так, в роботі [4] для розробки математичної моделі колійного розвитку залізничного вузла в Шанхаї використані методи нечітких множин та аналізу ієрархій. Автором доведена ефективність використання вказаної моделі для аналізу процесу функціонування залізничного вузла.

Методика математичного опису колійного розвитку залізничних станцій на основі теорії графів розглядається у роботах [5, 6]. Для зберігання структури графів, які використовуються для формалізації схеми станцій, застосовані реляційні бази даних. Такий підхід дозволяє зберігати математичну

модель схеми колійного розвитку не тільки однієї станції, а й цілої мережі.

Автори роботи [7] пропонують блочну структуру моделі колійного розвитку станції. Вказана модель використовується при моделюванні роботи станції і дозволяє контролювати зайнятість елементів її плану.

В результаті аналізу наукових робіт виявляється, що питання синтезу колійного розвитку станцій є досить актуальним, але наведені моделі плану станцій не призначені для вирішення широкого кола наукових задач і є вузькоспеціалізованими.

Структурно-параметричні моделі колійного розвитку залізничних станцій, що розглядаються в [8] є універсальними та мають широке застосування. Вони можуть використовуватися для визначення техніко-технологічних параметрів станцій з використанням їх ергатичних моделей [9] або для кількісної оцінки проектного рішення [10]. Слід відмітити, що структурно-параметричні моделі у сукупності з методами автоматизованого синтезу використовуються для розрахунку конструктивних параметрів планів залізничних станцій. При всіх перевагах даних моделей є основна проблема їх використання, яка пов'язана з відносною складністю формування вхідної моделі станції [8], що потребує додаткових витрат часу.

Мета роботи

Для підвищення швидкості та зниження вартості проектування залізничних станцій необхідно максимально звільнити проектувальника від виконання рутинних робіт. Одним з ефективних способів організації автоматизованого проектування є інтерактивне введення людиною немасштабної схеми станції з наступним автоматичним розрахунком координат плану колійного розвитку, формуванням креслення та визначенням показників. Отримані результати аналізуються проектувальником і, при необхідності, коригуються.

Таким чином, поставлена задача розробки системи графічного вводу схеми станції для автоматизованого формування її вхідної моделі.

Основна частина

Вхідна модель станції дозволяє організувати процес вводу в ЕОМ немасштабної схеми залізничної станції, тому

структура її математичної моделі є основою для побудови ефективного графічного редактора, орієнтованого на вирішення даної прикладної задачі. Вхідна модель представлена множиною графічних об'єктів $\Omega_{\text{вх}}$, серед яких виділені наступні види: ділянка колії \mathbf{e} , центр стрілочного переводу \mathbf{s} , вершина кута повороту \mathbf{c} , номер колії \mathbf{w} , міжколійя \mathbf{m} , світлофор \mathbf{l} . Кожному об'єкту поставлені у відповідність тип, екранні координати характерних точок $\mathbf{p}=(x, y)$ і список конструктивних параметрів.

Ділянка колії (об'єкт LINE) представлена структурою

$$\mathbf{e} = \{\mathbf{p}_{\text{еп}}, \mathbf{p}_{\text{ек}}, \mu_e, l\}, \quad (1)$$

де $\mathbf{p}_{\text{еп}}, \mathbf{p}_{\text{ек}}$ – відповідно початкова та кінцева точки відрізка;

μ_e – метод визначення довжини ділянки \mathbf{e} ;

l – параметр, що характеризує довжину ділянки \mathbf{e} .

Довжина ділянки колії \mathbf{e} визначається у відповідності з установленим методом μ_e ($\mu_e \in [0; 6]$): 0 – довжина визначається автоматично на основі аналізу схеми; 1 – довжина визначається по різності координат суміжних точок; 2 – довжина визначається чисельним значенням l ; 3 – довжина визначається шириною міжколійя l ; 4, 5, 6 – довжина визначається з умови забезпечення корисної довжини l даної колії парку, відповідно у парному, непарному та в обох напрямках.

Центр стрілочного переводу (об'єкт SWITCH) і вершина кута повороту (об'єкт CURVE) представлені структурами

$$\mathbf{s} = \{\mathbf{p}_s, N_s, m_s, T_s, c_s\}, \quad (2)$$

$$\mathbf{c} = \{\mathbf{p}_c, N_c, r_c, \mu_c, \alpha_c, N_T\}, \quad (3)$$

де $\mathbf{p}_s, \mathbf{p}_c$ – екранні координати, відповідно, центру стрілочного переводу та вершини кута повороту;

N_s, N_c – відповідно, номер стрілочного переводу та кута повороту кривої;

m_s – марка хрестовини;

T_s – тип рейки;

c_s – наявність електричної централізації;

μ_c – метод визначення кута (0 – визначається автоматично на основі аналізу схеми, 1 –

задано чисельне значення, 2 – скорочене з'єднання);

α_c – величина кута повороту;

N_T – номер розрахункової вершини при розрахунку параметрів кінцевого з'єднання.

Номер колії (об'єкт WAY) і міжколійя (об'єкт MIDWAY) представлені структурами

$$\mathbf{w} = \{\mathbf{p}_w, N_w\}, \quad (4)$$

$$\mathbf{m} = \{\mathbf{p}_m, g_m\}, \quad (5)$$

де $\mathbf{p}_w, \mathbf{p}_m$ – екранні координати точок вставки, відповідно, номери колій і міжколійя;

N_w – номер колії;

g_m – ширина міжколійя.

Сигнал (об'єкт SIGNAL) представлений структурою

$$\mathbf{q} = \{\mathbf{p}_q, N_q, d_q, k_q\}, \quad (6)$$

де \mathbf{p}_q – екранні координати точки вставки сигналу;

N_q – номер сигналу;

d_q – напрямок дії сигналу (0 – в непарному напрямку, 1 – в парному напрямку);

k_q – тип сигналу (0 – мачтовий, 1 – карликовий, 2 – карликовий спарений і ін.).

В пам'яті ЕОМ кожен графічний об'єкт представляється за допомогою асоціативного списку:

$$((a_1, t_1) (a_2, t_2) \dots (a_N, t_N)), \quad (7)$$

де $a_1 \dots a_N$ – ключі, які представляють собою цифровий код параметрів, що входять до структур (1-6) (див. табл. 1);

$t_1 \dots t_N$ – зв'язані з ключами дані.

На рис. 1 приведено фрагмент схеми станції і відповідний їй список $\Omega_{\text{вх}}$.

Таким чином, математична модель $\Omega_{\text{вх}}$ являє собою список графічних об'єктів, які записуються до нього в порядку вводу схеми в ЕОМ. На цьому етапі виконується розпізнавання графічних об'єктів і модифікація вхідної моделі.

Формування схеми колійного розвитку здійснюється шляхом додавання, видалення і зміни відрізків, що відповідають ділянкам колії в процесі графічного вводу схеми станції. Такий підхід дозволяє прискорити процес вводу схеми в ЕОМ у порівнянні з її

формуванням з окремих примітивів (стрілок кривих і т.д.).

Таблиця 1 – Список цифрових кодів параметрів об'єктів вхідної моделі

Ключ	Параметр	Ключ	Параметр
0	Тип об'єкта	31	μ_C
1	N_S, N_C, N_w, N_r	32	$ \alpha_C $
10	Координати точок $\mathbf{p}_{ен}, \mathbf{p}_s, \mathbf{p}_c, \mathbf{p}_w, \mathbf{p}_m, \mathbf{p}_r$	33	N_T
11	Координати точки $\mathbf{p}_{ек}$	40	μ_e
20	m_S	41	L
21	T_S	50	G
22	c_S	60	d_r
30	r_C	61	k_r

Для забезпечення з'єднання відрізків у центрах стрілочних переводів і вершинах кутів повороту реалізується об'єктна прив'язка. На першому етапі здійснюється перевірка ідентичності координат точок (x, y) , що вводяться, кінцевим точкам \mathbf{p} існуючих відрізків. Точки вважаються ідентичними у випадку, коли відстань між ними не перевищує

заданої величини погрешності ε

$$\sqrt{(x(\mathbf{p}) - x)^2 + (y(\mathbf{p}) - y)^2} < \varepsilon, \quad (8)$$

де $x(\mathbf{p}), y(\mathbf{p})$ – координати існуючих точок.

Далі здійснюється контроль приналежності точок, що вводяться, існують відрізкам. При цьому точка A вважається приналежною відрізку BC у випадку, якщо виконуються умови

$$\begin{cases} |l_A^{BC}| < \varepsilon, \\ l_{AB} < l_{BC}, \\ l_{AC} < l_{BC}, \end{cases} \quad (9)$$

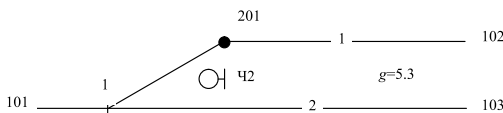
де l_A^{BC} – відстань (зі знаком) від точки до прямої;

l_{AB}, l_{AC} – відстань від точки A до кінцевих точок відрізка;

l_{BC} – довжина відрізка BC .

Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку наведена на рис. 2.

а)



б)

Список	Примітка
((0 SWITCH) (1 1) (10 5 5) (20 0) (21 0) (22 1))	Центр переводу 1
((0 CURVE) (1 201) (10 20 15)(30 300) (31 0) (32 0))	Вершина кута повороту 201
((0 LINE) (10 0 5) (11 5 5)(40 0)(41 0))	Відрізок 101-1
((0 LINE) (10 5 5) (11 50 5)(40 0)(41 0))	Відрізок 1-103
((0 LINE) (10 5 5) (11 20 15)(40 0)(41 0))	Відрізок 1-201
((0 LINE) (10 20 15) (11 50 15)(40 0)(41 0))	Відрізок 201-102
((0 WAY) (1 1) (10 30 15))	Номер колії 1
((0 WAY) (1 2) (10 25 5))	Номер колії 2
((0 MIDWAY) (10 40 10)(50 5.3))	Міжколійя 2-1
((0 SIGNAL) (1 Ч2) (10 20 10) (60 0) (61 0))	Сигнал Ч2

Рис. 1 – Вхідна модель станції: а - схема колійного розвитку; б - список графічних об'єктів $\Omega_{вх}$

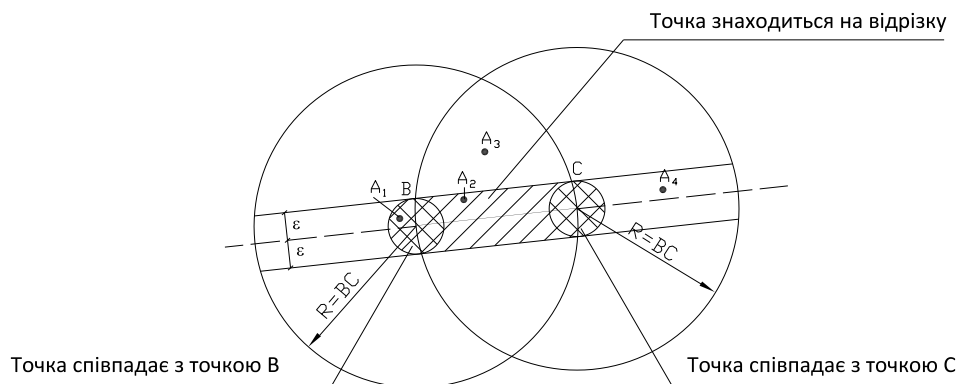


Рис. 2 – Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку

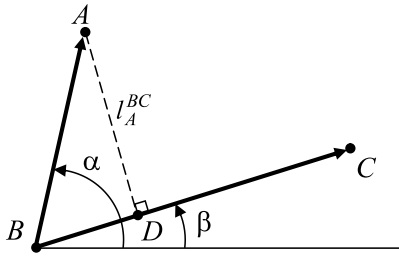


Рис. 3 – Розрахункова схема визначення координат найближчої точки відрізка

Відстань від точки A до відрізка BC відповідно до рис. 3 може бути визначена з виразу

$$l_A^{BC} = AB \cdot \sin \angle ABC = AB \cdot \sin(\alpha - \beta), \quad (10)$$

Значення синуса кута ABC може бути встановлене на підставі координат точок

$$\begin{aligned} \sin(\alpha - \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \cos \alpha, \\ \sin \alpha &= \frac{y_A - y_B}{BA}, \quad \cos \alpha = \frac{x_A - x_B}{BA}, \\ \sin \beta &= \frac{y_C - y_B}{BC}, \quad \cos \beta = \frac{x_C - x_B}{BC}. \end{aligned}$$

Підставляючи величини у вираження (10) одержуємо:

$$l_A^{BC} = \frac{(y_A - y_B)(x_C - x_B) - (y_C - y_B)(x_A - x_B)}{\sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2}}.$$

Величина l_A^{BC} приймає негативне значення, якщо точка лежить праворуч від відрізка, позитивне значення, якщо точка лежить ліворуч від відрізка і 0, якщо точка і відрізок належать одній прямій.

У випадку, якщо умова (9) виконується, точка A переноситься в точку D на відріжку BD (див. рис. 3)

$$\begin{aligned} x_D &= \frac{BA}{BC}(x_C - x_B)\cos \angle ABC + x_B, \\ y_D &= \frac{BA}{BC}(y_C - y_B)\cos \angle ABC + y_B, \\ \cos \angle ABC &= \frac{\overline{BA} \cdot \overline{BC}}{BA \cdot BC}. \end{aligned}$$

Через незначність кута ABC , $\cos \angle ABC \approx 1$, для визначення координат точки D можуть бути використані спрощені вирази:

$$x_D = \frac{BA}{BC}(x_C - x_B) + x_B, \quad y_D = \frac{BA}{BC}(y_C - y_B) + y_B.$$

Враховуючи, що вершини відрізків, які вводяться, повинні належати безлічі вершин

графу G колійного розвитку станції визначається їхній ступінь i , у необхідних випадках, здійснюється модифікація. Приклади різних випадків модифікації вершин моделі при додаванні відрізків наведені в табл. 2, варіанти 1-5. При цьому, у випадку, коли новий відрізок примикає до кінцевої точки існуючого, контролюється величина кута між існуючим відрізком AB і новим відрізком BC . Для спрощення мірою величини кута відрізка може бути косинус, який, через прийнятну орієнтацію відрізків, може мати тільки позитивні значення

$$\cos \angle ABC < 1 - \delta, \quad (11)$$

де δ – величина похибки.

Якщо дана умова виконується, то в точку B включається об'єкт CURVE (табл. 2, варіант 2); інакше кінцева точка відрізка B переміщається в точку C (табл. 2, варіант 3).

При видаленні відрізка з моделі також визначаються ступені відповідних вершин, і відповідно до них корегується модель (табл. 2, варіант 6-9).

При цьому у випадку видалення відрізків, що примикають до вершини SWITCH, контролюється величина кута нахилу між відрізками, що залишилися, AB і BC . У випадку, коли умова (11) виконується, в точку B , додається об'єкт CURVE (табл. 2, варіант 8); інакше відрізки AB і BC , що залишилися, поєднуються в один AC (табл. 2, варіант 9).

При введенні номерів колій вказуються координати точки вставки номера колії p_w і визначається її приналежність існуючим горизонтальним відрізкам e_i за допомогою умов

$$\begin{cases} y(p_{en,i}) = y(p_{ek,i}), \\ x(p_{en,i}) < x(p_w) < x(p_{ek,i}), \\ |y(p_w) - y(p_{en,i})| < \varepsilon. \end{cases} \quad (12)$$

У випадку, якщо зазначена точка не належить жодному з горизонтальних відрізків, фіксується помилка.

При введенні міжколій m перевіряється наявність горизонтальних відрізків над і під точкою вставки p_m покажчика міжколій. У випадку відсутності хоча б одного з таких відрізків, фіксується помилка.

На рис. 4 наведений результат графічного введення схеми станції.

Таблиця 2 – Модифікація вхідної моделі станції в процесі введення її графічного зображення

	Номер варіанта	До модифікації	Після модифікації	Дія
Додавання відрізка	1			-
	2			Кут між відрізками більше мінімального: помістити в кінцеву точку об'єкт CURVE
	3			Кут між відрізками менше мінімального: об'єднати відрізки
	4			Видалити в кінцевій точці відрізка об'єкт CURVE і помістити в неї об'єкт SWITCH
	5			Розбити відрізок на два відрізки і помістити в точку об'єкт SWITCH
Видалення відрізка	6			-
	7			Видалити об'єкт CURVE в кінцевій точці відрізка
	8			Кут між відрізками, що залишилися, більше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і помістити в неї об'єкт CURVE
	9			Кут між відрізками, що залишилися, менше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і з'єднати відрізки, що залишилися

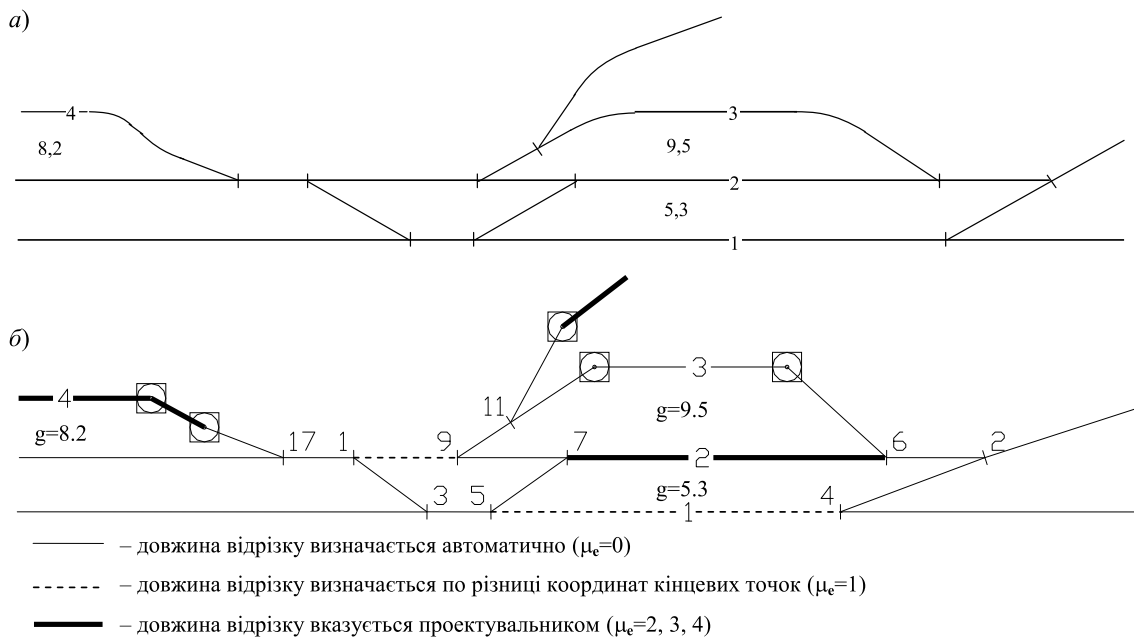


Рис. 4 – Графічний ввід схеми станції: а - схема станції; б - графічне зображення станції

Внутрішня модель колійного розвитку [8] представляється зваженим орієнтованим графом $G(V, E)$, вершинами якого є центри стрілочних переводів (ЦП), вершини кутів повороту (ВКП) та кінці колій (КК), а дугами – ділянки колій, що їх з'єднують. В пам'яті ЕОМ граф G представляється списками інцидентності вершин.

Процес перетворення вхідної моделі у внутрішню виконується автоматично та пов'язаний з розв'язанням наступних задач:

– формування списків інцидентності орієнтованого графа G ;

– визначення напрямку відхилення колій стрілочних переводів та класифікація примикаючих ділянок, визначення напрямку повороту кругових кривих, визначення положення сигналів відносно стрілочних переводів.

Для формування списків інцидентності виконується аналіз множини колій вхідної моделі станції $e \in \Omega_{вх}$. Кінцеві точки ділянок колій сортуються таким чином, щоб абсциси їх початкових точок були меншими за абсциси їх

кінцевих точок. На підставі аналізу списку дуг графа G формується список його вершин (v_1, v_2, \dots, v_n) , в якому кожна з них представлена структурою $v_i = (v_j, v_l)$, де v_j, v_l – кінцеві вершини дуг, що виходять з вершини v_i .

Для ідентифікації типу вершини v_i розраховується параметр $t_i = 3d^-(v_i) + d^+(v_i)$. При цьому отриманим значенням t_i відповідають наступні типи вершин: 1 – лівий КК, 3 – правий КК, 4 – ВКП, 5 – ЦП протишерстної стрілки, 7 – ЦП пошерстної стрілки. Значення 2, 6 та 8 недопустимі та свідчать про наявність помилок у вхідній моделі. Задачі визначення сторонності стрілочних переводів, напрямку повороту кривих та положення сигналів відносно стрілочних переводів розв'язуються методами аналітичної геометрії.

Вихідна модель містить всі необхідні розміри та координати плану колійного розвитку станції і забезпечує його графічну реалізацію у вигляді масштабного креслення. Окрім того, вихідна модель містить дані, які є основою для побудови функціональної моделі залізничних станцій [9].

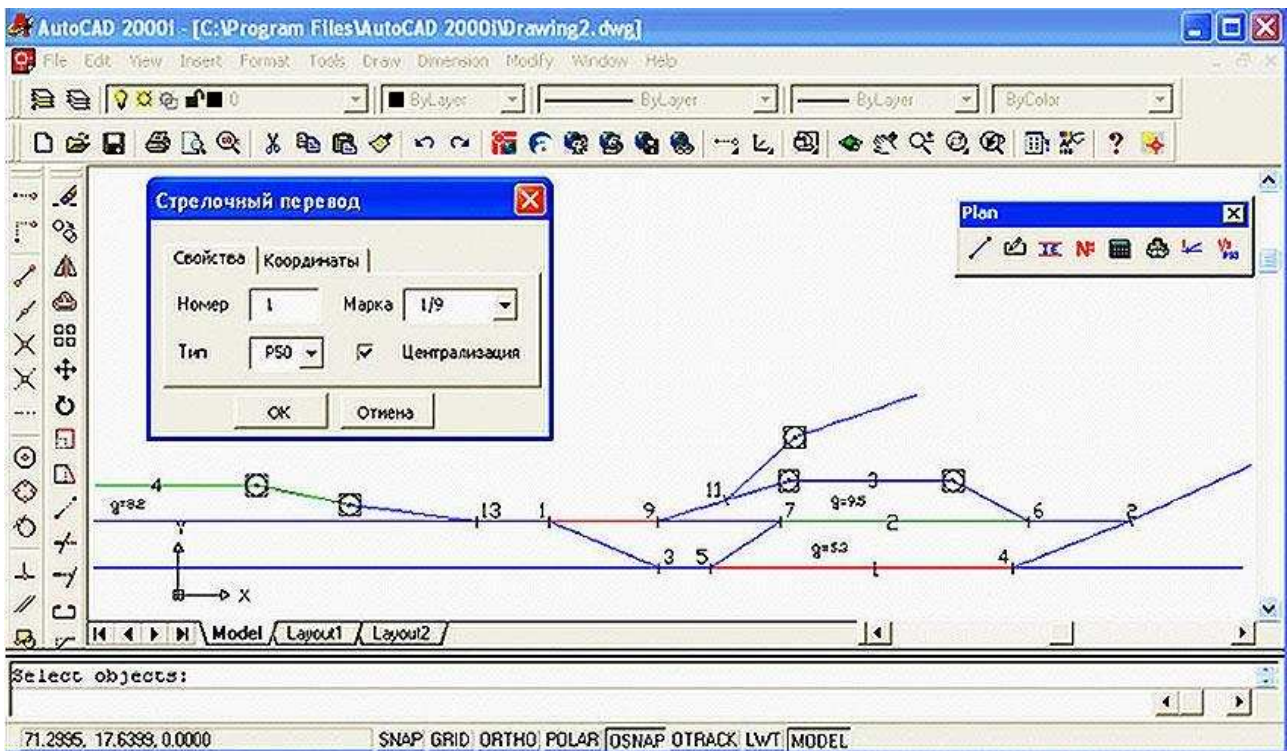


Рис. 5 – Вікно прикладної програми для автоматизованого проектування залізничних станцій

Висновок

Розроблені моделі та алгоритми реалізовані у вигляді прикладної програми (рис. 5) до пакету автоматизованого

проектування AutoCAD. Робота з розробленим графічним редактором по введенню схем станцій показала його ефективність використання, за рахунок скорочення

загального часу на проектування до 60% в залежності від складності схеми станції.

Список літератури

- 1 **Мирошніченко, В. М.** О машинном представлении схем крупных железнодорожных станций / **В. М. Мирошніченко** // *Сб. Кибернетика и транспорт*. – М.: Наука, 1968. – С. 178-206.
- 2 **Odiijk, M. A.** A Petri net based simulation tool to evaluate the performance of railway stations / **M. A. Odiijk, W. M. P. van der Aalst** // *Proceedings of the 1994 European Simulation Multiconference*. – 1994. – P. 207-211.
- 3 **W. M. P. van der Aalst.** Analysis of Railway Stations by means of Interval Timed Coloured Petri Nets / **W. M. P. van der Aalst, M. A. Odiijk** // *Real-Time Systems*. – 1995. – № 9(3). – P. 241-263.
- 4 **Yali, Y.** Research on the Interchange Performance of Transportation Hub Based on Yishan Road Station, Shanghai / **Y. Yali, C. Hao, Z. Ruoping** // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. – 2013. – № 6(23). – P. 4432-4437.
- 5 **Kuckelberg, A.** Graph Databases and Railway Operations Research Requirements / **A. Kuckelberg** // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2015. – Vol. 1330. – P. 183-188.
- 6 **Kuckelberg, A.** Adaptive Rule-Based Infrastructure Modelling / **A. Kuckelberg, B. Seybold** // *Proc. of the 5th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*. – May, 2013.
- 7 **Zwaneveld, P. J.** Routing trains through a railway station based on a node packing model / **P. J. Zwaneveld, L. G. Kroon, S. P. M van Hoesel** // *European Journal of Operational Research*. – 2001, № 128. – P. 14–33.
- 8 **Бобровский, В. И.** Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: монография / **В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін**. – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с.
- 9 **Малашкін, В. В.** Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій на основі реалізації раціональної черговості заходів по удосконаленню їх техніко-технологічних параметрів / **В. В. Малашкін** // *Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 100-109.
- 10 **Вернигора, Р. В.** Комплексна оцінка конструкції колійного розвитку залізничних станцій на основі методів теорії прийняття рішень / **Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін** // *Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*, Вип. 3. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 25-30.

References

- 1 **Myroshnychenko, V. M.** O mashynnom predstavlenyy skhem krupnykh zheleznodorozhnykh stantsyi. *Sb. Kybernetyka y transport*, 1968, 178-206.
- 2 **Odiijk, M. A., W. M. P. van der Aalst.** A Petri net based simulation tool to evaluate the performance of railway stations. *Proceedings of the 1994 European Simulation Multiconference*, 1994, 207-211.
- 3 **W. M. P. van der Aalst, Odiijk, M. A.** Analysis of Railway Stations by means of Interval Timed Coloured Petri Nets. *Real-Time Systems*, 1995, 9(3), 241-263.
- 4 **Yali, Y., Hao, C., Ruoping, Z.** Research on the Interchange Performance of Transportation Hub Based on Yishan Road Station, Shanghai. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, 6(23), 4432-4437.
- 5 **Kuckelberg, A.** Graph Databases and Railway Operations Research Requirements. *CEUR Workshop Proceedings*, 2015, 1330, 183-188.
- 6 **Kuckelberg, A., Seybold, B.** Adaptive Rule-Based Infrastructure Modelling. *Proc. of the 5th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, 2013.
- 7 **Zwaneveld, P. J., Kroon, L. G. and van Hoesel, S. P. M.** Routing trains through a railway station based on a node packing model. *European Journal of Operational Research*, 2001, 128, 14–33.
- 8 **Bobrovskiy, V. Y., Kozachenko, D. N., & Vernyhora, R. V., Malashkyn, V. V.** Modely, metody y alhorytmy avtomatyzirovannoho proektyrovaniya zheleznodorozhnykh stantsyi. Dnepropetrovsk, 2010.
- 9 **Malashkin, V. V.** Improve the functioning of the railway station through the implementation of rational prioritize the improvement of their technical and technological parameters. *Zb. nauk. prats DNUZT: Serii «Transportni systemy i tekhnolohii perevezen»*, 2014, 8, 100-109.
- 10 **Vernyhora, R. V., Malashkin V.V.** Complex estimation to designs of the railway stations schemes, which is based on the methods of the theory of decisions making. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT: Serii «Transportni systemy i tekhnolohii perevezen»*, 2012, 3, 25-30.

Надійшла (received) 20.03.2015