
*Кандидати техн. наук В.І. Бобровський
Д.Н. Козаченко (Донецький національний університет)*

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА СТРУКТУРНО- ПАРАМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

У зв'язку з істотною зміною характеру вагонопотоків на залізницях України Програмою реструктуризації [1] поставлена задача привести технічне оснащення і технології роботи станцій у відповідність з новими обсягами роботи. З огляду на те, що залізниці змушені конкурувати з іншими видами транспорту, особливо актуальними стають питання підвищення якості прийнятих рішень, як при плануванні, так і оперативному керуванні перевезеннями. Ефективним засобом вирішення даної проблеми є автоматизовані системи підтримки прийняття рішень, створення яких представляє собою один з головних напрямків інформатизації галузі. Теоретичною основою подібних систем повинні

служити сімейство інтегрованих структурно-параметричних і функціональних моделей станцій. В наш час структурно-параметричні моделі колійного розвитку станцій при проектуванні та в експлуатаційній роботі практично не використовуються, оскільки традиційне представлення станцій у вигляді креслень і словесного опису має ряд істотних переваг (висока інформативність і швидкість пошуку потрібної інформації при відносній простоті побудови). Однак, подібне представлення не відображує взаємозв'язків техніко-технологічних параметрів станцій з показниками їхнього функціонування і тому не може ефективно застосовуватися для автоматизованого аналізу прийнятих рішень. Ці ж недоліки зберігаються і при простому переносі плану колійного розвитку на електронні носії. Розв'язання задач аналізу повинне ґрунтуватися на математичних моделях, що є більш ефективним способом представлення конструкції станцій і забезпечує широкі можливості для їхньої будівельно-експлуатаційної оцінки. Розробка подібних моделей виконується як на Україні [2], так і за кордоном [3]. При цьому робота [3] орієнтована тільки на рішення задач проектування станцій. Модель, представлена в [2], більш універсальна, однак у цій роботі не вирішена важлива проблема автоматизації побудови моделі. Для широкого використання нових інформаційних технологій необхідно виробити загальний підхід до структури моделей колійного розвитку залізничних станцій і істотно спростити процес їхньої побудови. Цим питанням і присвячений матеріал даної статті.

До моделі колійного розвитку станції пред'являються наступні вимоги:

- модель повинна бути основою для формалізації проектних процедур і організації ефективного інтерфейсу (мінімум вхідної інформації, контроль правильності введення, можливість рішення задач, що формалізуються в автоматичному режимі);
- модель повинна забезпечити можливість розробки креслень і проектної документації;
- модель повинна служити інформаційною базою для функціонального моделювання роботи станції.

План колійного розвитку станції може бути однозначно представлений за допомогою зваженого орієнтованого графа $G = (V, E)$, у якому виділено три підмножини вершин: V^s , V^c і V^w . Вершини $v_i \in V^s$ є центрами стрілочних переводів (ЦП), вершини $v_j \in V^c$ - вершинами кутів повороту кривих (ВКП), вершини $v_k \in V^w$ - кінцями колій (КК). Дугам графа $e = (v, u)$ відповідають ділянки колій, що з'єднують вершини.

Ступінь вершини орієнтованого графа $\deg v$ визначається числом інцидентних їй дуг і дозволяє ідентифікувати тип вершини (ЦП - $\deg v = 3$, ВУ - $\deg v = 2$, КП - $\deg v = 1$).

Проектування колійного розвитку станцій представляє собою ітераційний процес, що складається з етапів розробки конструкції горловин, розрахунку координат, оцінки отриманого рішення і підготовки технічної документації. Цим етапам притаманні різні типи розв'язуваних задач і різний ступінь поділу функцій між проектувальником і ЕОМ. У зв'язку з цим на різних етапах проектування доцільно використовувати різні форми моделі, що відрізняються ступенем деталізації опису станції і способом представлення в пам'яті ЕОМ.

Перший етап (розробка конструкції горловини і її введення в ЕОМ) характеризується найбільшим рівнем взаємодії проектувальника й ЕОМ. Тому вхідна модель колійного розвитку станції повинна забезпечити можливість графічного введення немасштабної схеми з його візуальним контролем. Графічне введення схем дозволяє уникнути трудомісткого ручного кодування, що не виключає появи помилок, які важко виявити.

На даному етапі граф $G_{\text{вх}}$ у пам'яті ЕОМ представляється у вигляді списку дуг. При цьому кожній дузі графа ставиться у відповідність вектор параметрів X^E :

$$X^E = (f, l), \quad (1)$$

де f - метод визначення довжини прямої вставки (0 – визначається автоматично; 1 – величина вставки повинна бути визначена по різниці координат суміжних точок; 2 – вставка повинна бути довжиною l ; 3 – вставка повинна бути розрахована за умови забезпечення міжколійя l).

Вершинам графа $G_{\text{вх}}$ ставляться у відповідність їхні екранні координати x, y . Крім того, кожна вершина підмножин V^S, V^C характеризується вектором конструктивних параметрів (відповідно, X^S, X^C):

$$X^S = \{N_S, m, T_S, c\}, \quad (2)$$

$$X^C = \{N_C, r_C, t_C, \alpha_C\}, \quad (3)$$

де N_S, N_C – номер, відповідно, стрілочного перевалу і вершини кута повороту;
 m – марка хрестовини;
 T_S – тип рейки;
 c – наявність електричної централізації;
 r_C – радіус кривої;
 t_C – метод визначення кута (0 – автоматично; 1 – заданий);
 α_C – величина кута повороту.

Формування вхідної моделі здійснюється за допомогою адаптованого графічного пакета AutoCAD (див. рис. 1).

Для адаптації AutoCAD розроблена спеціалізована система команд, меню, панелей інструментів. Програмне забезпечення реалізоване на мовах VisualLISP і C++. У процесі інтерактивного введення немасштабної схеми станції здійснюється додавання або вилучання дуг графа $G_{\text{вх}}$, а також задання міжколій'їв. На екрані дисплея дуги зображуються у вигляді прямолінійних відрізків за допомогою графічних примітивів LINE. Для зручності аналізу схеми колір відрізків відповідає методу визначення довжини прямої вставки f (1). Вершини графа $G_{\text{вх}}$ зображуються за допомогою спеціальних блоків (стрілочний перевід – SWITCH, вершина кута повороту – CURVE). Тип блоку, що вставляється, визначається на основі аналізу ступеня вершини $\deg v$ і автоматично коректується при додаванні чи вилученні дуг графа, інцидентних даній вершині. Ширина міжколій'їв на схемі представляється за допомогою блоків MIDWAY.

Графічне введення схем доповнюється параметризацією окремих її елементів. Для передачі конструктивних параметрів елементів схеми станції X^E , X^S , X^C використовується механізм розширених даних AutoCAD. Параметризація виконується з використанням принципу умовчання (замість нерегламентованих параметрів використовуються їх найбільш ймовірні значення – марки стрілочних переводів, радіуси кривих, вставки та ін.) Зміна цих параметрів виконується за допомогою діалогових вікон (див. рис. 1).

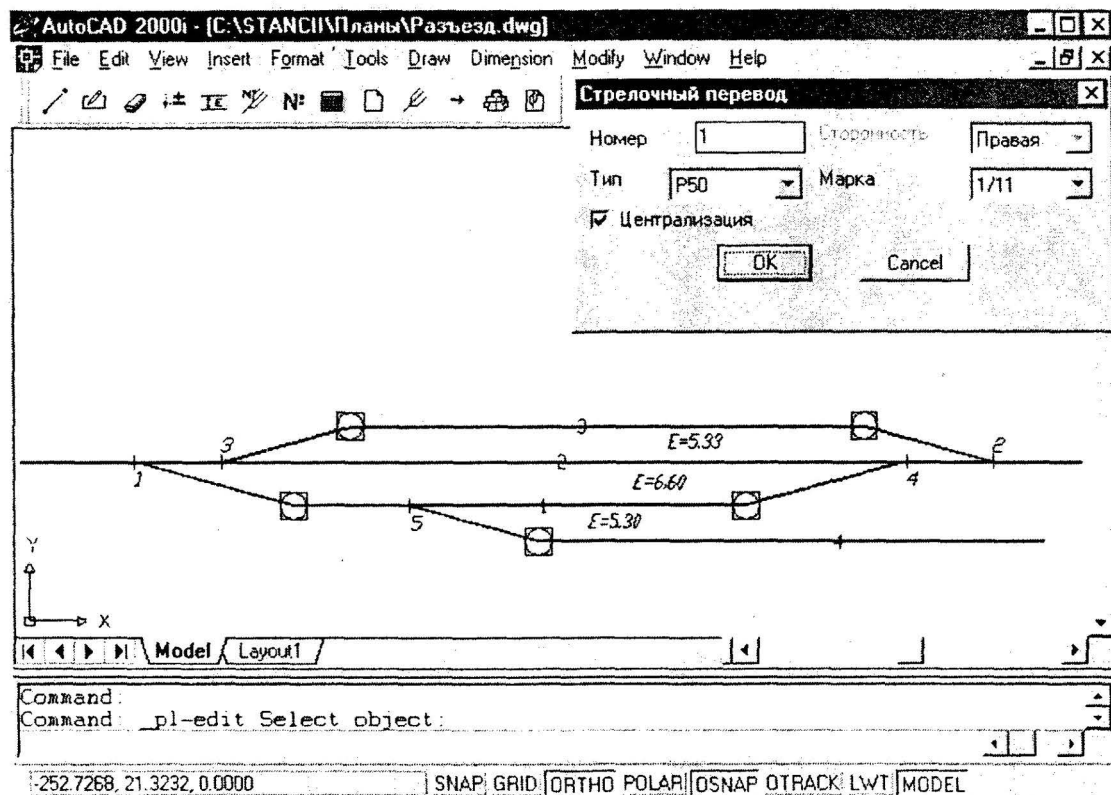


Рис. 1. Графічне введення і редагування схеми колійного розвитку станції

На *другому етапі* здійснюється автоматичний розрахунок плану колійного розвитку станції. При цьому використовується внутрішня модель станції, що повинна забезпечити:

- семантичний контроль введеної інформації;
- аналіз схеми колійного розвитку, автоматичне розпізнавання її типових елементів і вибір програмних модулів для розрахунку;
- комплексний розрахунок плану колійного розвитку і побудова вихідної моделі.

Внутрішня модель включає канонічну модель станції і модель її горизонтальних колій.

Канонічна модель відображає топологічну структуру станції і являє собою оргграф $G_{\text{вн}} = (V, E)$. Для представлення канонічної моделі в ЕОМ використані списки інцидентності вершин $\{u:v \rightarrow u\}$, що забезпечують необхідну компактність представлення. У пам'яті ЕОМ вершини графа представлені наступними структурами:

$$v = (N, P, B, w, Y),$$

де N - непересічні номери, що відповідають типу вершини ($N^s \in \{1, 99\}$, $N^c \in \{201, 299\}$ $N^w \in \{101, 199\}$);

P, B - номери суміжних вершин, що є кінцевими вершинами дуг, інцидентних вершині v ;

w - номер горизонтальної колії, якому належить вершина v ($w=0$, якщо вершина не знаходиться на горизонтальній колії);

Y - вектор конструктивних параметрів, що містить компоненти відповідних векторів X^s (2) чи X^c (3), які доповнені даними векторів X^E (1) дуг, що виходять з даної вершини.

Для однозначної ідентифікації схем станцій, представлених ізоморфними графами, для вершин $v_i \in V^s$ розрізняють прямий (P) і бічний (B) напрямки.

Горизонтальні колії станції представлені вершинами деревоподібного графа $D = (W, H)$, ребрам якого поставлені у відповідність задані міжколійя, а вершинам - горизонтальні колії станції.

Процес перетворення вхідної моделі у внутрішню здійснюється автоматично. Для кожної вершини графа $G_{\text{вн}}$ на підставі списку його дуг будуються списки інцидентності вершин графа $G_{\text{вн}}$. Параметри f і l вектора X^E (1) доповнюють списки параметрів початкових вершин дуг графа $G_{\text{вн}}$. При цьому, для звичайних стрілочних переводів ($v_i \in V^s$) виникають задачі їхньої класифікації на пошерсні і протишерсні, ідентифікації напрямків колій, що примикають, а також визначення сторонності стрілочного

переводу. Задача ускладнюється тим, що в процесі введення немасштабної схеми можливі перекручування, у результаті яких жодна з колій стрілочного переводу CB і CD не є в точності продовженням рамної рейки AC (див. рис 2, б, в).

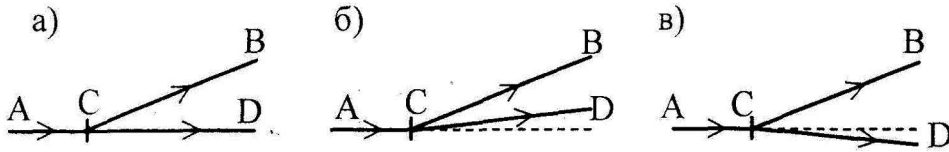


Рис. 2. Зображення звичайних стрілочних переводів на немасштабній схемі: а) без перекручувань; б, в) з перекручуваннями

Напрямок укладання перекладу і дуга графа, що відповідає рамній рейці, визначаються за напівступінню результату вершини: якщо, $d^+(v)=1$ – переклад протишерсний, а рамній рейці відповідає вихідна дуга; якщо $d^+(v)=2$ – перевод пошерсний, а рамній рейці відповідає дуга, що заходить.

Сторонність стрілочних переводів s (лівосторонній - $s=0$, правосторонній - $s=1$) установлюється на основі визначення положення точок B і D щодо напрямку рамної рейки (орієнтованого відрізка AC). Для рішення даної позиційної задачі обчислюється значення виразу [4]:

$$Z=(x_k-x_n)(y-y_n) - (y_k-y_n)(x-x_n), \quad (4)$$

де x, y - координати точки;

x_n, y_n, x_k, y_k - відповідно координати початку і кінця відрізка.

Величина Z приймає значення -1, якщо точка лежить праворуч від відрізка; значення 1, якщо точка лежить ліворуч від відрізка; значення 0, якщо точка і відрізок належать одній прямій. Таким чином, якщо $Z_D + Z_B < 0$, то стрілочний перевід правосторонній ($s=1$); якщо $Z_D + Z_B > 0$, то стрілочний перевід лівосторонній; якщо $Z_D + Z_B = 0$, то сторонність перекладів визначається за результатами порівняння кутових коефіцієнтів відрізків CB і CD з кутовим коефіцієнтом відрізка AC . Визначення прямої і бокової колій у випадку, показаному на рис. 2б, виконується аналогічно.

Семантичний контроль внутрішньої моделі включає задачі:

- 1) контроль зв'язаності схеми (орграфа $G_{\text{вн}}$);
- 2) визначення замкнутих контурів і контроль наявності в них розрахункової вставки з параметром $f=1$ (1);
- 3) контроль несуперечності сукупності заданих міжколійів.

Задачі контролю 1 і 2 вирішуються шляхом побудови остового дерева графа $G_{\text{вн}}$ за допомогою алгоритму пошуку в глибину. Одночасно

зазначене дерево використовується для визначення координат точок плану колійного розвитку станції (ЦП, ВКП, КК).

Для контролю міжколійїв необхідно побудувати дерево суміжних колій станції $D=(W, H)$; корінь дерева – шлях із заданою ординатою. З цією метою на основі аналізу вхідної моделі $G_{вх}$ будується зважений неорієнтований граф відстаней між M горизонтальними коліями немасштабної схеми $\bar{\Gamma}=(W, \bar{A})$, представлений матрицею суміжності $A_{\Gamma}=\|\Delta u_{ij}\|_{M \times M}$; вага ребра Δu_{ij} дорівнює абсолютній величині різниці екранних ординат колій w_i і w_j . Формально умови існування ребра (w_i, w_j) у $\bar{\Gamma}$ можна записати як

$$\left. \begin{aligned} x(v_{0i}) &< x(v_{nj}) \\ x(v_{0j}) &< x(v_{ni}) \end{aligned} \right\},$$

де $x(v_0)$, $x(v_n)$ – екранні абсциси, відповідно, початку і кінця горизонтальних колій, обумовлені даними вхідної моделі $G_{вх}$.

На графі $\bar{\Gamma}$ за допомогою алгоритму Прима будується найкоротший остов $\bar{D}$, що використовується для побудови дерева D . Ребрам H дерева D повинні відповідати задані міжколійї; у протилежному випадку буде видане повідомлення про помилку введення міжколійїв.

Результатами розрахунку плану колійного розвитку станції є координати його елементів, параметри кривих і дані про відстані між точками; основні принципи розрахунку викладені в [5]. Після закінчення розрахунків внутрішня модель перетвориться у вихідну, що відображає не тільки взаємне розташування елементів колійного розвитку станції, але і їхню геометричну форму і розміри. Вихідна геометрична модель призначена для візуалізації результатів розрахунку плану в інтерактивному режимі, а також для побудови креслень (див. рис. 3) і видачі технічної документації. Крім того, на базі даних вихідної геометричної моделі визначаються будівельні і повні довжини колій, за допомогою яких можуть бути визначені показники якості проекту, а також матеріальні та вартісні показники.

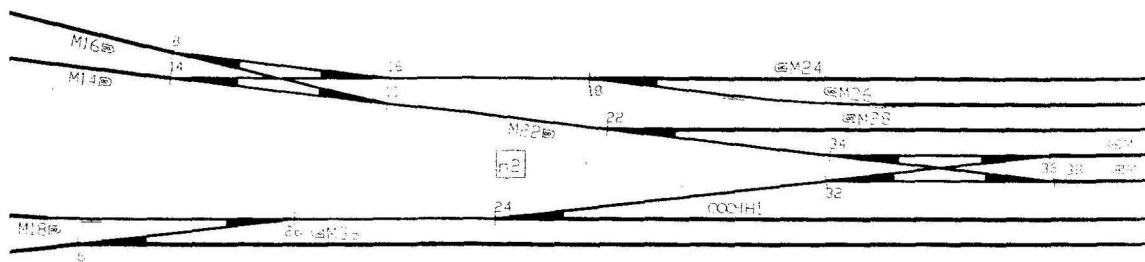


Рис. 3. Фрагмент горловини сортувальної станції, отриманий на підставі автоматизованого розрахунку

Наведена модель може використовуватися як при проектуванні залізничних станцій, так і при побудові їхніх схем і планів, необхідних для технічно-розпорядничих актів (ТРА) станцій, а також для працівників різних служб залізниць. Ця ж модель може бути інформаційною основою для функціонального моделювання станцій, як при вирішенні задач їхнього аналізу, так і при створенні комп'ютерних тренажерів оперативно-диспетчерського персоналу станцій.

Список літератури

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. - К.: НАБЛА, 1998. - 145 с.
2. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Информационные технологии в проектировании железнодорожных станций и узлов // Залізничний транспорт України. - 1999. - №6(15). - С. 6 - 10.
3. Головнич А.К. Автоматизация проектирования железнодорожных станций. – Гомель: БелГУТ, 2001.-202 с.
4. Майкл Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++. - М.: Издательство БИНОМ, 1997. - 304 с.
5. Бобровский В.И. Структурные модели путевого развития железнодорожных станций для автоматизированного проектирования // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №3. - С. 58 - 63.

УДК 629.42

Джус В.С., Фалендиш А.П. Методика визначення технічного рівня маневрових тепловозів з урахуванням регіону експлуатації. // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2003. Вип. 53. – С. 103 – 107.

В статті запропонована методика визначення технічного рівня маневрових локомотивів з урахуванням регіону експлуатації. На першому етапі визначається технічний рівень конструкції маневрового тепловозу. Потім визначається функція, яка характеризує регіон експлуатації з допомогою якої і визначається технічний рівень локомотиву.

Іл. 2., список літ. – 5 назв.

УДК 656.212

Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Интегрированная система структурно-параметрических моделей железнодорожных станций // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 107 – 114.

У статті розглядаються питання розробки системи математичних моделей планів колійного розвитку залізничних станцій. У якості моделі використовується виважений орієнтований граф. Наведена структура входної и внутрішньої моделі и методи їх реформування. Дані моделі можуть використовуватись для автоматизованого проектування станцій, побудови схем ТРА и у якості інформаційної бази для функціонального моделювання технологічних процесів станцій.

Іл. 3, список літ. – 5 назв.

УДК 629.424.3:621.436

Устенко О.В., Дацун Ю.М. Визначення ресурсу тепловозних дизелів // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 114 – 120.

В статті наведені передумови використання нових підходів в сфері визначення ресурсу. Приведений аналіз методів визначення ресурсу силових агрегатів, що використовуються в інших галузях народного господарства.

Вказаний механізм одержання інформації для проведення досліджень в області визначення ресурсу дизелів, завдяки проведенню атестацій локомотивних депо.

Список літ. – 8 назв.

УДК 656.2.003.13

Калашнікова Т.Ю. Адаптивна технологія поїздоутворення на технічних станціях // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 120 – 124.

У статті пропонується реалізація алгоритму, який дозволяє змодельовати поїздоутворення виходячи з даних про виконання терміну доставлення кожного вагону. Стає можливим вибір оптимальної маси складу в оперативному режимі за двома критеріями: мінімальних експлуатаційних витрат та виконання терміну доставлення.

Список літ. – 8 назв.