

УДК 656.22:004.9

## РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕЗДНОГО ПУТИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Нечаев Г.И., Ключев А.А., Шкандибин Ю.А., Нечай Т.А.

## DEVELOPMENT OF GRAPHIC MODEL OF ACCESS ROAD FOR OPERATIVE DESIGN OF MOBILE WORK ON INDUSTRIAL TRANSPORT

Nechaev G.I., Kluev A.A., Shkandybin U. A., Nechay T.A.

*В статье приведены результаты исследования в области моделирования маневровой работы на промышленном транспорте. Описан алгоритм преобразования информационной модели во взвешенный неориентированный граф. Представлена структура взаимодействия и алгоритм работы программного комплекса по динамической визуализации процессов маневровой работы.*

**Ключевые слова:** маневровая работа, неориентированный граф, маршрут, программа, визуализация, перемещение маневрового состава.

**Постановка проблемы.** В настоящее время совершенствование оперативного управления промышленным железнодорожным транспортом, в частности планирование ведения маневровой работы, невозможно без внедрения современных компьютерных технологий автоматизации процесса планирования [2,5]. Неотъемлемым элементом этих систем должна быть динамическая система визуализации транспортного процесса, способная предоставлять диспетчеру необходимую информацию [1], а также моделирующая перемещение состава на полигоне подъездных путей предприятия.

Для адекватного моделирования перемещения маневрового состава из заданной точки подъездного пути в конечную точку необходимо решить следующую задачу – получить маршрут следования состава с разбиением его на участки безостановочного движения с точками остановок и смены направления движения, при этом получить продольный профиль маршрута [4].

Основываясь на полученных данных, при помощи тяговых расчетов, моделируется принцип

расчета. Для этого применяется специальный блок в программном комплексе [3]. Однако, имея разветвленную сеть подъездного пути ставится задача автоматизированного нахождения наивыгоднейшего маршрута перемещения маневрового состава.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Моделированием путевого развития станций занимаются отечественные ученые: Вернигора Р.В., Бобровский В.И., Коротаев В.В., Каменев О.Ю. и др. Основное внимание в данных работах обращено на моделирование работы на магистральных станциях, в то время как промышленному транспорту не уделяется достаточно внимания.

**Цель статьи.** Представить алгоритм построения маршрутов движения маневрового состава на промышленном предприятии.

**Материалы и результаты исследования.** Для решения поставленной задачи целесообразно представить схему предприятия в виде неориентированного графа подъездного пути, а также необходимо разработать специальный алгоритм, который, используя начальную и конечную точку маршрута, может преобразовать граф и указать точки остановки и смены направления движения.

Исходя из поставленных целей, была разработана программа динамической визуализации маневровой работы на языке Java, которая состоит из 3-х модулей: базовый управляющий, построения схем, управления данными и маневровым перемещением.

На рис.1. показана схема взаимодействия диспетчера с системой, которая реализуется следующим образом: инженер-технолог строит

схему станции по чертежу, полученная схема преобразуется во взвешенный неориентированный граф, где диспетчер указывает исходное положение состава, его характеристики, конечный пункт назначения и далее на основе созданного графа программа вычисляет маршрут.

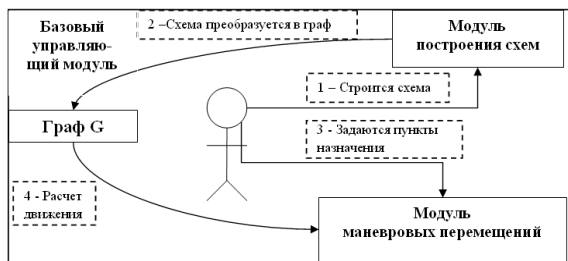


Рис. 1. Схема взаимодействия пользователя с системой

В модуле построения схем инженер-технолог задает данные о путях, стрелочных переводах и т.д. Все значения заносятся в базу данных.

Модуль маневровой работы служит для управления маневрами и расчета оптимального маршрута. Диспетчер указывает местоположение состава, его характеристики и пункт назначения.

Программа при масштабировании позволяет изменять размер изображения по вертикали и горизонтали. Для удобного масштабирования отдельно хранятся переменные по осям  $Ox$  и  $Oy$ . Для трансформации также существуют две переменные соответственно. В случае, когда в измененном масштабе и с заданной трансформацией диспетчер выбирает путь, либо точку начала или окончания пути, учитываются изменения для каждой оси координат отдельно. По каждой координате получаем:

$$X = \frac{(getX - scopeX)}{transformX} \quad (1)$$

где  $getX$  - в данном случае пример  $Ox$  координаты;  $scopeX$  - масштаб;  $transformX$  - перенос (трансформация).

Вся информация о путях сохраняется в массиве класса `RoadDescripton`. Весь массив последовательно просматривается и каждая точка, и путь соответственно, заносятся в неориентированный граф  $G$ .

Таким образом, любая станция может быть представлена в виде связного графа  $G = (V, E)$  с множеством вершин  $V = \{v1, v2, \dots, vi\}$  и множеством ребер  $E = \{e1, e2, \dots, ej\}$ .

Каждая вершина будет характеризоваться следующим набором параметров: номер вершины, ее математические координаты, пути которые примыкают к данной вершине, сторонность и ее направление, под каким углом путь примыкает к стрелке, номера соседних вершин (СП) и характеристикой примыкания к вершине.

$$v_i = \{N_i, X_i, Y_i, L1_i, L2_i, A_i, B_i, c_i, C_i, \varphi_i, N1_i, N2_i, N3_i, N4_i, N5_i, N6_i\} \quad (2)$$

где  $N_i$  - порядковый номер вершины, которая описывается;  $X_i$  и  $Y_i$  - координаты вершины графа относительно точки начала координат;  $L1_i$  - путь на котором расположена данная вершина;  $L2_i$  и  $L3_i$  - ребра путей, которые примыкают к данной вершине;  $A_i$  и  $B_i$  - сторонность и направление вершины;  $c_i$  - нормальное положение стрелочного перевода;  $C_i$  - фактическое положение стрелочного перевода;  $\varphi_i$  - угол между путем, на котором расположены вершины и примыкающему к нему путем;  $N1_i \dots N6_i$  - точки примыкания соседних графов. На рис.2 приведен пример нумерации путей.

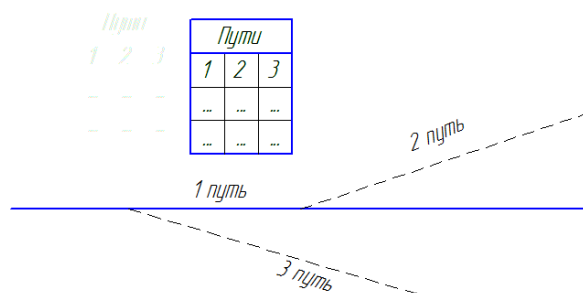


Рис. 2. Пример нумерации путей

Сторонность  $A_i$  и направление стрелки  $B_i$  представлена на рис. 3.

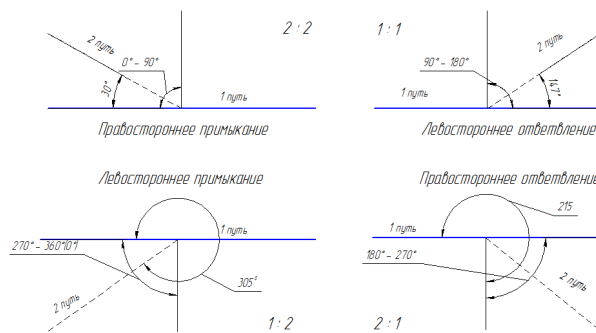


Рис.3. Сторонность и направление вершины

Все вершины имеют следующий номер сторонности: цифра «1» - левосторонняя вершина, «2» - правосторонняя, «0» - сторонность как левая, так и правая. На рис.4. представлены вершины с «нулевой» сторонностью.

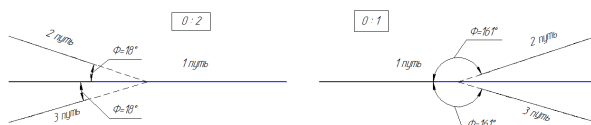


Рис.4. Вершины с «нулевой» сторонностью

Для рассмотрения положения стрелочного перевода, относительно пути, применяется

следующая кодификация: цифра «1» – означает ответвление стрелки, цифра «2» – примыкание и цифра «0» – как примыкание, так и ответвление стрелки. Пример приведен на рисунке 5.

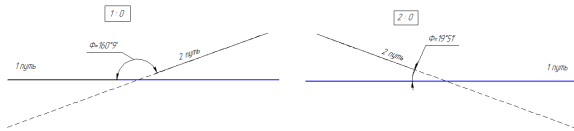


Рис.5. Вершины с нулевым направлением

Угол между путем, на котором расположены вершины и примыкающему к нему путем наглядно отражен на рис.5. Пример на рисунке 4 показывает, что угол примыкания, как второго, так и третьего пути считается одинаковым.

Каждое ребро графа характеризуется следующим набором параметров:

$$e_i = \{N_i, A_i, B_i, Z_i, L_i, R_i, i_i\}, \quad (3)$$

где  $N_i$  - порядковый номер ребра;  $A_i$  - номер левой точки;  $B_i$  - номер правой точки;  $Z_i$  - принадлежность к пути;  $L_i$  - длина ребра;  $R_i$  - радиус;  $i_i$  - уклон.

Для нахождения кратчайшего пути весь маршрут переводится во взвешенный неориентированный граф. На этапе предварительного анализа графа производится трансформация исходной структуры. На участках, где угол между путями острый, составу необходимо проехать на дополнительную точку на всю длину состава и после этого ехать в обратном направлении на нужный путь. Чтобы учесть это вычисляется угол между путями, по которым осуществляется движение. Если этот угол не лежит в промежутке от  $130^\circ$  до  $230^\circ$ , то нужно использовать вспомогательный маршрут. Из точки пересечения путей, образующих острый угол, анализируются все возможные маршруты. Если они лежат в допустимых пределах угла поворота, то они могут быть использованы как вспомогательные. Если вспомогательный путь не найден, то маршрут считается ложным, через который невозможно проехать, и программа будет искать новый. Граф преобразуется добавлением в него новой временной вершины, моделирующей смену направления движения состава.

Для поиска кратчайшего пути используется алгоритм «А стар». Пошагово просматриваются все пути, которые ведут от начальной вершины в конечную, пока не найдется минимальный. С помощью эвристической функции алгоритм «А стар» предполагает куда нужно идти и отсекает пути, которые не приведут к конечной точке. При выборе вершины учитывается весь пройденный до нее путь.

В начале работы просматриваются узлы, смежные с начальным; выбирается тот из них, который имеет минимальное значение  $f(x)$ , после чего этот узел раскрывается. На каждом этапе алгоритм оперирует с множеством путей из начальной точки до всех еще не раскрытых вершин, которые размещаются в очереди с приоритетом. Приоритет пути определяется по значению  $f(x)$ :

$$f(x) = g(x) + h(x), \quad (4)$$

где  $g(x)$  - стоимость достижения рассматриваемой вершины ( $x$ ) из начальной точки;  $h(x)$  - эвристическая оценка расстояния от рассматриваемой вершины пути к конечной.

Алгоритм продолжает свою работу до тех пор, пока значение  $f(x)$  целевой вершины не окажется наименьшим. Из всех решений выбирается решение с минимальным значением.

**Выводы.** В работе представлена структура и алгоритм работы программного комплекса по динамической визуализации процессов маневровой работы, описаны его модули и принципы их функционирования. Описан алгоритм преобразования информационной модели во взвешенный неориентированный граф. Предложена модернизация алгоритма «А стар» для нахождения кратчайшего маршрута между произвольными вершинами графа.

#### Литература

1. Вернигора Р. В. Повышение эффективности функционирования железнодорожных станций как эргатических систем. Дис. канд. тех. наук. Днепропетровск, 2008.
2. Бобровський В. І. Теоретичні основи удосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій. Автореф. дис. канд. тех. наук. Дніпропетровськ, 2002.
3. Коротаев В. В. Технология составления и оптимизация суточных планов-графиков при разработке единых технологических процессов работы подъездных путей и станций примыкания и оперативном планировании с помощью комплекса компьютерных программ. Дис. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2000.
4. Каменев О. Ю. Розробка графічної моделі підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації / О. Ю. Каменев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: Вид-во УкрДАЗТ. - 2012. - № 2. - С. 25-30.
5. Нечай Т. А. Адаптация методики расчета времени перестроения состава для промышленных и грузовых станций / Т. А. Нечай, А. А. Клюев, А. С. Роговой, Г. В. Короп // Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте: Сб. материалов 8-й Всероссийской научно-практической конференции – 21 мая 2010 г.: – Владивосток: МГУ им. Адм. Г. И. Невельского, 2010. – С.22–25

#### References

1. Vernigora R. V. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnyh stancij kak

- jergaticeskikh sistem. Dis. kand. teh. nauk. Dnepropetrovsk, 2008.
2. Bobrovs'kij V. I. Teoretichni osnovi udoskonalennja konstrukcii ta tehnologii roboti zaliznichnih stancij. Avtoref. dis. kand. teh. nauk. Dnipropetrovs'k, 2002.
  3. Korotaev V. V. Tehnologija sostavlenija i optimizacija sutochnyh planov-grafikov pri razrabotke edinyh tehnologicheskikh processov raboty podezdnyh putej i stancij primykanija i operativnom planirovanii s pomoshh'ju kompleksa komp'juternyh programm. Dis. kand. tehn. nauk. Sankt-Peterburg, 2000.
  4. Kamenev O. Ju. Rozrobka grafichnoi modeli pidsistemi logichnih zalezhnostej mikroprocesornoj centralizacii/ O. Ju. Kamenev// Informacijno-kerujuchi sistemi na zalizničnomu transporti. – Harkiv: Vid-vo UkrDAZT. - 2012. - № 2. - S. 25-30.
  5. Nechaj T. A. Adaptacija metodiki rascheta vremeni pereformirovanija sostava dlja promyshlennyh i gruzovyh stancij / T. A. Nechaj, A. A. Kljuev, A. S. Rogovoj, G. V. Korop // Aktual'nye problemy jekonomiki i upravlenija na transporte: Sb. materialov 8-j Vserosijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii – 21 maja 2010 g.: – Vladivostok: MGU im. Adm. G. I. Nevel'skogo, 2010. – S.22–25

**Нечасів Г.І., Ключев А.А., Шкандибін Ю.О., Нечай Т.А. Розробка графічної моделі під'їзної колії для оперативного моделювання маневрової роботи на промисловому транспорті**

*Приведені результати дослідження в області моделювання маневрової роботи на промисловому транспорті. Описів алгоритм перетворення інформаційної моделі в зважений неорієнтований граф. Представлена структура взаємодії і алгоритм роботи програмного комплексу по динамічній візуалізації процесів маневрової роботи.*

**Ключові слова:** маневрова робота, неорієнтований граф, маршрут, програма, візуалізація, переміщення маневрового складу.

**Nechaev G.I., Kluev O.O., Shkandybin U. A., Nechay T.O. Development of graphic model of access road for operative design of mobile work on industrial transport**

*Results of over of research are brought in area of design of mobile work on an industrial transport. The of algorithm of transformation of informative model is described in the self - weighted unoriented count. The presented structure of co-operation and algorithm of work of programmatic complex are on dynamic visualization of processes of mobile work.*

**Keywords:** mobile work, unoriented count, route, program, visualization, moving of mobile composition.

**Нечасів Г.І.** – д.т.н., професор кафедри «Транспортні технології», СХУ ім. В. Даля.

**Ключев О.О.** – д.т.н., доцент кафедри «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті», СХУ ім. В. Даля.

**Шкандибін Ю.О.** – асс. кафедри «Інформаційні технології та системи», ЛНУ ім. Т. Шевченко.

**Нечай Т.О.** – аспірант кафедри «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті», СХУ ім. В. Даля, e-mail: tanyanechay@bk.ru

Рецензент: **Будиков Л.Я.**, д.т.н., проф. СХУ ім. В. Даля.

Стаття подана 2.04.2013