

технології обробки і зберігання зерна. Рішення цієї задачі пропонує будівництво висококомплікованих з розвиненим технологічним процесом підприємств і підготовку висококваліфікованих кадрів. Різноманітні чинників, що впливають на збереження зерна, особливо зернових мас як об'єктів зберігання диктують і різноманітність прийомів в роботі із зерном.

Сучасні засоби АСУ ТП зернопереробних підприємств дозволяють значно понизити втрати при зберіганні і переробці зерна, заощадити енергоресурси зернопереробних підприємств, елеваторів, мінімізу-

вати вплив людського чинника, ризиків виникнення аварійних ситуацій роботи автоматизованих технологічних комплексів по зберіганню і переробці зерна. Останні розробки в області АСУ ТП зернопереробній галузі дозволяють автоматично прогнозувати процес самозігрівання зерна, надійно, якісно в автоматичному режимі управляти потоками вологого і сухого зерна, процесом сушки, також системою формування технологічних маршрутів в межах зернопереробного підприємства, а головне – зменшити витрати енергоносіїв.

#### Література

1. Е. Волошина, Энергоэффективность. Осталось начать работать // «Инвестгазета» №20, 24 мая 2010, – С.43.
2. Муромцев Ю.Л., Муромцев Д.Ю., Погонин В.А. Математическое обеспечение интеллектуальных контроллеров систем энергосберегающего управления // Информационные процессы и управление. – 2008. – № 3–4 С. 33-41.
3. Д.Ю. Муромцев Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами [Электронный ресурс]: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06. – Тамбов: РГБ, 2007 – С. 30-33.

*Розроблено параметричну модель техніко-організаційної системи метрополітену. Розроблено алгоритм, заснований на формалізованій структурі даних, що дозволяє моделювати графік руху поїздів. Запропоновано методіку побудови графіка руху поїздів на основі багатокритеріального прийняття рішень*

*Ключові слова: маршрут, напрям, вектор оборотів складу, нитка ходу поїзда*

*Разработана параметрическая модель технико-организационной системы метрополитенов. Разработан алгоритм, основанный на формализованной структуре данных, позволяющий моделировать график движения поездов. Предложена методика построения графика движения поездов на основе многокритериального принятия решений*

*Ключевые слова: маршрут, направление, вектор оборотов состава, нитка хода поезда*

*Developed a parametric model of techno-organizational system of subways. An algorithm based on a formalized data structure enables us to model train schedule. The method of construction schedule of trains on the basis of multiple criteria decision making*

*Keywords: route, direction, speed of the vector, the thread of the train*

УДК 656.222.3

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО ЛИНИИ ХАРЬКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

**Т. Н. Даниленко\***  
Контактный тел.: 093-989-64-83

**В. А. Булах\***  
\*Кафедра прикладной математики  
Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166  
Контактный тел.: 099-563-95-02

## 1. Введение

Харьковский метрополитен введен в эксплуатацию 22 августа 1975 года и представляет собой сложней-

ший комплекс инженерных сооружений с современной технической и технологической инфраструктурой. По сути, основной целью Харьковского метрополитена является обеспечение безопасной и комфортной пере-

возки пассажиров всех категорий. Для осуществления этой цели служба движения и служба подвижного состава последовательно решают следующие задачи: первая – это составление графика движения поездов, вторая – составление смен для локомотивных бригад и третья – формирование расписания работы для каждого машиниста на месяц.

В данной работе будет рассмотрена первая задача.

Так график движения поездов, объединяющий работу всех подразделений, обеспечивает решение следующих задач:

- выполнение плана перевозок пассажиров;
- безопасность движения поездов;
- оптимальное использование подвижного состава при экономии расходования электроэнергии;
- согласованность работы станции и прилегающих участков, а также наилучшее использование их пропускной способности;
- соблюдение

установленной продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад.

Разрешение задачи по эффективному моделированию графика движения поездов позволяет облегчить ручные расчеты инженеров-графистов, занимающихся их составлением, а также является важным этапом на пути решения упомянутых выше задач.

сетке (содержит информацию о названии метрополитена, название линии, название станций, горизонтальные и вертикальные линии), на которой условными линиями изображается движение каждого поезда.

Горизонтальные линии на сетке соответствуют осям станций и расположены одна от другой в зависимости от расстояния между станциями (в масштабе времени). В верхней или нижней части сетки нанесены две дополнительные горизонтальные линии, изображающие перегон между станцией и примыкающим к ней электродепо (рис. 1).

Вертикальные линии делят сетку на промежутки времени – часы, пяти-, одно- минутные интервалы. С левой стороны графика в вертикальной колонке указываются наименования станций. В верхней части графика дается его наименование, где указаны линия, период действия (рабочие, воскресные дни и др.) и дата ввода в действие, утвержденная начальником метрополитена.

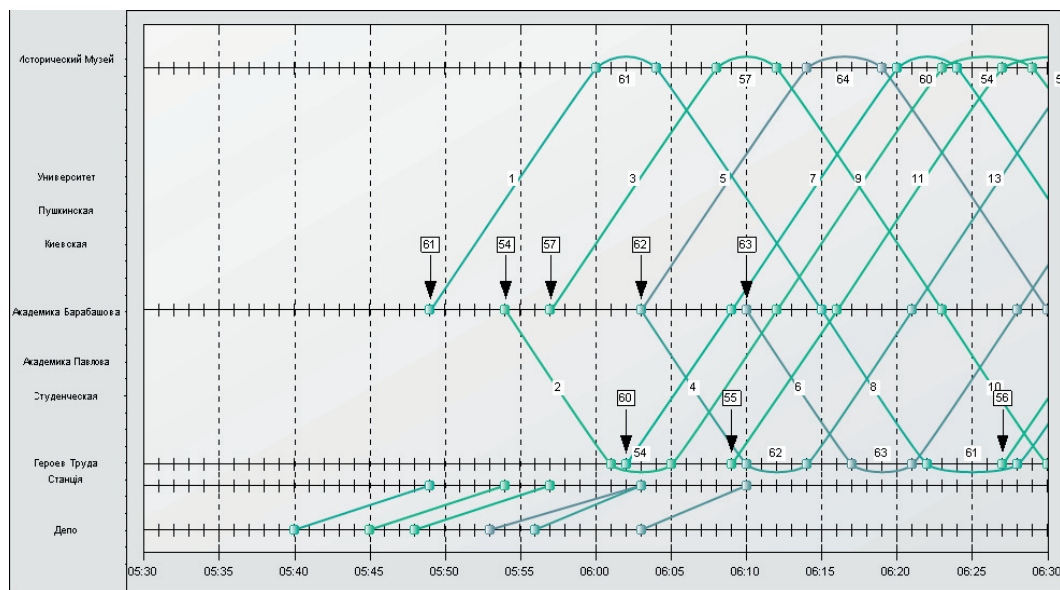


Рис. 1. График движения поездов

## 2. Описание графика

Для составления графика движения поездов необходимы следующие этапы: анализ пассажиропотоков, исследование технических особенностей станций и сбор информации о количестве единиц подвижного состава, др.

График движения поездов вычерчивается на специальной

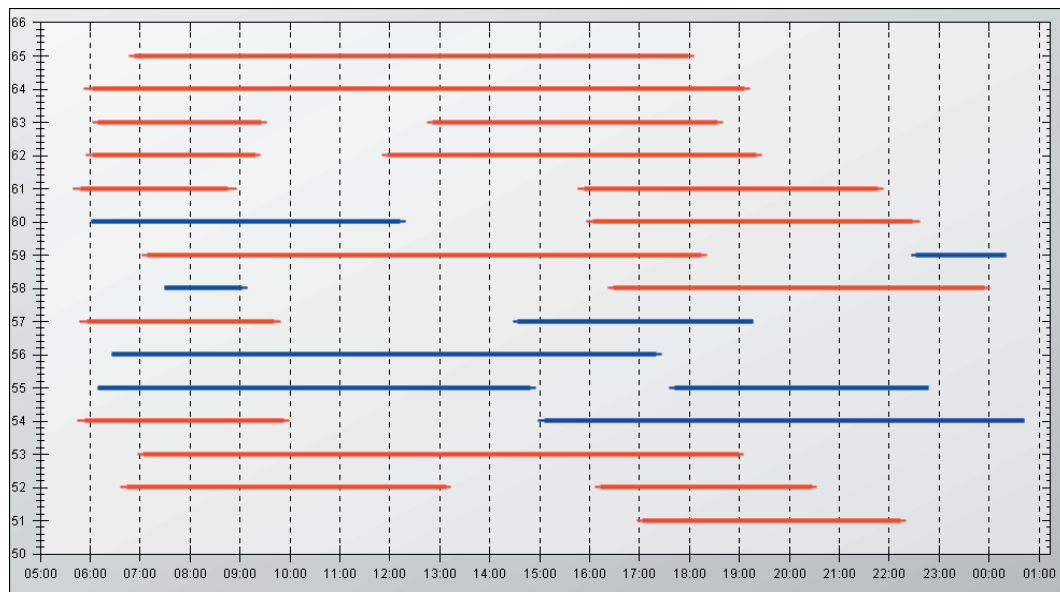


Рис. 2. График оборота составов

Для удобства пользования размещают на нескольких листах, один лист соответствует 1,5-2 часа работы.

Движение пассажирского поезда на сетке графика изображается прямой линией (её называют ниткой хода поезда). Проекция её на горизонтальную ось соответствует времени следования поезда по данному участку. Момент отправления его с какой-либо станции соответствует точке пересечения линии следования с осью этой станции; момент прибытия поезда на конечную станцию является точкой пересечения линии следования с её осью.

Для каждого графика движения поездов формируется соответствующий ему график оборота составов (рис. 2). Этот документ представляет собой сетку, на которую нанесены горизонтальные прямые, показывающие наличие составов на линии.

Горизонтальные линии на сетке соответствуют номеру маршрута и месту выхода состава на линию. Эти указания приведены и с левой и с правой части документа и соответствуют выходу и заходу состава.

Вертикальные прямые делят график на промежутки времени длиной в час. График оборота несет в себе сжатую информацию с графика движения, но более наглядно показывает какое число составов должно быть задействовано в работе на сутки и какое количество времени будет проведено ими в движении.

### 3. Параметрическая модель движения поездов

Для рассматриваемой линии исходными являются следующие данные:

$N$  – количество станций на линии. Для поставленной задачи  $N=3$ ;

$S = \{s_i\}$  – множество, состоящее из названий  $i$ -х станций,  $i = \overline{1, N}$ ;

$\vec{\delta} = (\delta_1, \dots, \delta_{N-1})$  – вектор расстояний между станциями, где элемент  $\delta_i$  показывает расстояние между  $i$ -й и  $(i+1)$ -й станциями в масштабе времени (минуты). Длина вектора всегда будет на единицу меньше, чем количество станций;

$\bar{M} = \{m_k\}$  – множество маршрутов ( $k = \overline{1, 16}$ );

$m_k = (V_{1k}^k, \dots, V_{A_k}^k)$  – отдельный маршрут, где индексом  $A_k$  обозначается количество выходов. Обычно маршрут выходит на линию от одного до трех раз за сутки;

$V_a^k = \{s_a^k, f_a^k, t_a^k, \tilde{s}_a^k, \tilde{t}_a^k\}$  – кортеж, который характеризует выход маршрута на линию.

Чтобы задать движение маршрута за один выход, понадобятся следующие параметры, из которых состоит  $V_a^k$ :

$s_a^k$  – начальная станция,  $s_a^k \in S$ ;

$f_a^k$  – направление, в котором движется поезд (эта информация важна в качестве понимания, на какой линии находится поезд.  $f_a^k = \{+1, -1\}$ , где «+1» - направление по ходу увеличения индекса станций, а «-1» – наоборот);

$t_a^k$  – начальное время, т.е. время прибытия поездом на линию;

$\tilde{s}_a^k$  – конечная станция,  $\tilde{s}_a^k \in S$ ;

$\vec{\tau}_a^k = (\tau_{a1}^k, \dots, \tau_{a1}^k)$  – вектор оборотов состава на конечных станциях.

Множество маршрутов со всеми зависимыми переменными можно записать в виде:

$$M = \{ \{ \{ s_1^1, f_1^1, t_1^1, \tilde{s}_1^1, \tilde{t}_1^1 \}, \dots, \{ s_a^1, f_a^1, t_a^1, \tilde{s}_a^1, \tilde{t}_a^1 \} \}, \dots, \{ \{ s_1^k, f_1^k, t_1^k, \tilde{s}_1^k, \tilde{t}_1^k \}, \dots, \{ s_a^k, f_a^k, t_a^k, \tilde{s}_a^k, \tilde{t}_a^k \} \} \}.$$

График оценивается рядом параметров, из них некоторые вычисляются на основании графика. Показатели являются той основой, на которой определяются эксплуатационные, технические и экономические показатели по метрополитену.

По графику определяются: количество пассажирских поездов, поездо-часы (общие), максимальные размеры движения, составо-часы работы на линии, средние размеры движения.

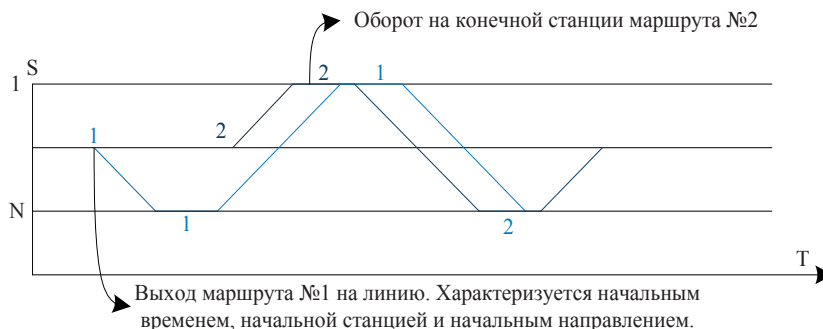


Рис. 3. Упрощенный график движения поездов

### 4. Алгоритм

Далее на рис. 4 представлен алгоритм построения графика движения поезда по маршруту в Харьковском метрополитене. Зная начальные данные по этому алгоритму, можно рассчитать координаты движения поезда на линии.

### 5. Результаты

Программа позволяет по входным данным, считываемым с файлов электронных таблиц Microsoft Office Excel, формировать данные для построения графика движения поездов. На рис. 3 проиллюстрированы занесенные данные программу с последующей возможностью их редактирования, а именно количество станций, название станций, время между станциями, информацию о поезде (название начальной станции, направление, время выхода поезда на маршрут, название конечной станции, вектор времени объездов на конечных станциях).

Далее формируется график движения поездов (рис. 1) и график оборота составов (рис. 2) на основе алгоритма, описанного блок-схемой на рис. 4.

Разработанное приложение позволяет составлять расписание движения составов, которое могут использовать машинисты поездов Харьковскового метрополитена, а также рассчитывает параметры движения поездов на основании построенных графиков.

Программный продукт разработан на языке программирования C# на базе NET Framework 2.0, с использованием графической библиотеки рисования графиков ZedGraph.dll.

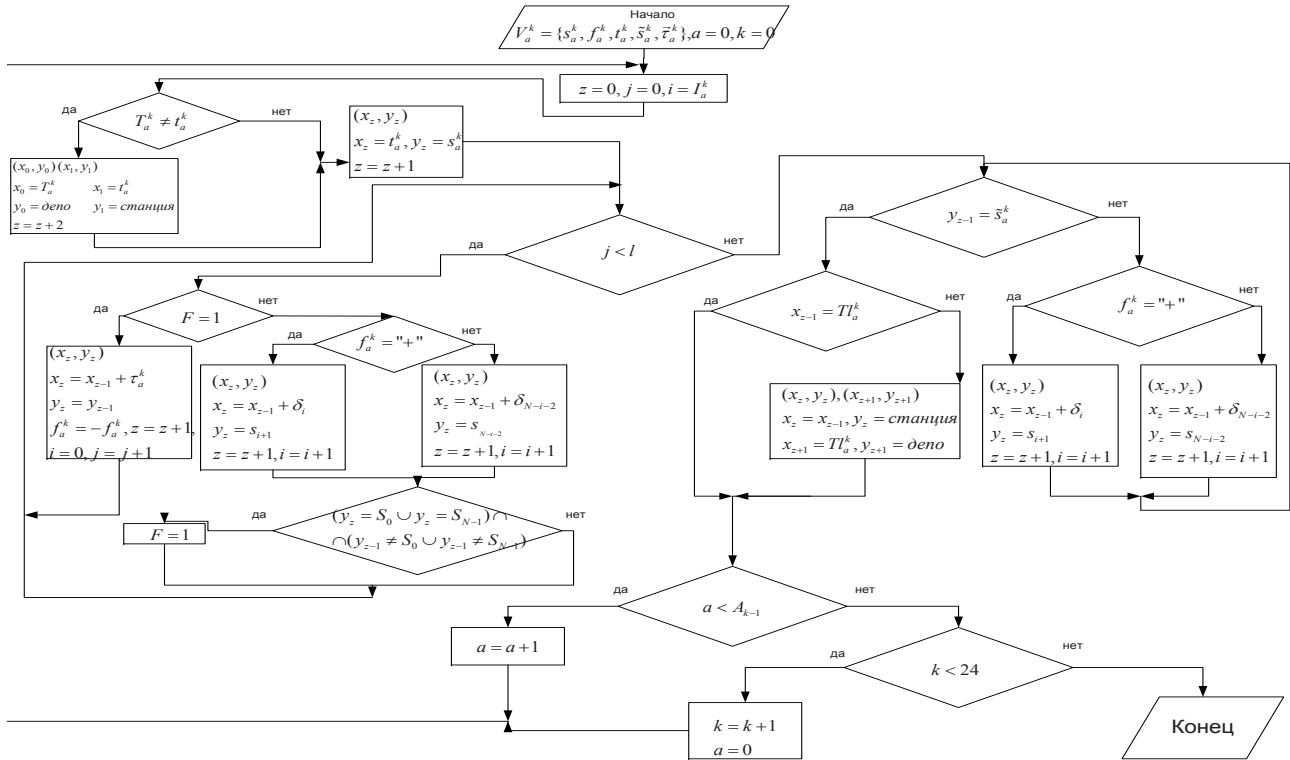


Рис. 4. Блок-схема алгоритма построения графика движения поездов

Станции			
Наименования станций	Час до наступной станции	Встань до наступной станции	Ключевые станции
Исторический Музей	160	1	Исторический Музей
Университет	130	1	Академика Барабашова
Пушкинская	145	2	Героев Труда
Киевская	225	2,3	
Академика Барабашова	160	1	
Академика Павлова	155	1	

Маршруты							
Номер	Час выводу на маршрут	Почтовая станция	Час выдвращения за станци	Направление	Объезд	Конечная станция	Час выводу поезда на маршрут
51	16:58:00	Академика Барабашова	17:04:30	+	446558766469104	Академика Барабашова	22:21:00
52	6:37:00	Академика Барабашова	6:44:00	+	54333356544666666646	Академика Барабашова	13:14:00
52	16:07:00	Академика Барабашова	16:14:00	+	55455465766665	Академика Барабашова	20:33:00
53	6:57:00	Академика Барабашова	7:04:00	+	4333554556666666666664545544554756	Академика Барабашова	19:06:00
54	5:45:00	Академика Барабашова	5:54:00	+	46444333545	Академика Барабашова	10:00:00
54	14:59:00	Академика Барабашова	15:06:00	+	5444554455455666775571311855444	Героев Труда	0:43:30
55	17:36:00	Академика Барабашова	17:43:00	+	45654610771099	Героев Труда	22:48:00
55	6:09:00	Героев Труда	6:09:00	-	873333484566666666666664	Академика Барабашова	14:56:00
56	6:27:00	Героев Труда	6:27:00	-	543333454545666666666666554744	Академика Барабашова	17:27:00

Рис. 5. Занесенные данные в программу

## 6. Вывод

В результате проделанной работы разработан функциональный блок, позволивший моделировать

график движения поездов на основании предложенной структуры исходных данных. Это позволяет повысить эффективность хранения, обработки и манипулирования данными о движении поездов. С другой стороны, предложенная параметрическая модель позволяет перейти к решению других задач, таких как составление смен для локомотивных бригад, либо задачи автоматической корректировки графика движения поездов.

## Литература

1. Организация движения поездов и работа станций метрополитена [Текст] / А.С. Бакулин, В.А. Пронин, Е.А. Федоров, К.И. Курдинская. – М: «Транспорт», 1981. – 201 с.
2. Левин В.И. Структурно-логические методы в теории расписаний [Текст]/ В.И. Левин. – П: Пенз. гос. технол. акад., 2006.
3. Лямец В.И. Системный анализ. Вводный курс [Текст]: Учебное пособие/ В.И Лямец, А.Д. Тевяшев – Х: ХНУРЭ, 2004. – 448 с.
4. Официальный сайт КП «Харьковский метрополитен» [Электронный ресурс] / : \WWW/ URL: http://metro.kharkov.ua/.
5. Сигал И.Х. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы [Текст]/ И.Х. Сигал, А.П. Иванова - М.: Физматлит, 2002.