

УДК 656.225

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ НИТОК ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Белецкий Ю.В., Баранов И.О., Горбачева Ю.С.

## IMPROVING EFFICIENCY TRANSPORTATION PROCESS BASED ON THE MODEL OF BUILDING A SOLID THREAD TRAIN SCHEDULE

Beletsky Y., Baranov I., Gorbacheva Y.

*В статье поставлены задачи повышения эффективности перевозочного процесса. Освещены основные причины нестабильности графического движения поездов и замедления оборота подвижного состава. Разработана структурная схема организации перевозок на основе твердого графика движения поездов и системы идентификации подвижного состава. Определены наиболее перспективные варианты перехода технологии поездной работы от информационных систем к управляющим для всех уровней управления. Составлена блок-схема алгоритма формирования твердых ниток графика движения поездов, обеспечивающего рациональный уровень потребностей в перевозках.*

**Ключевые слова:** эффективность, модель, график движения поездов, блок-схема, оптимизация.

**Введение.** Необходимость в разработке и внедрении новой системы управления перевозками на железнодорожном транспорте Украины обусловлена новыми экономическими условиями и возникновением между разными видами транспорта конкурентной борьбы за клиента, когда на первый план выступает показатель качества транспортного обслуживания. Действующая же до настоящего времени система централизованного управления перевозками ориентирована на традиционные технологии, позволяющие контролировать выполнение количественных и качественных показателей, но не предусматривающие экономическую оценку принимаемых технологических решений. Отсутствие объективной оценки работы подразделений, влияющих на конечный итог по хозяйству перевозок, приводит к снижению вероятности принятия экономически правильных управляющих решений. Поэтому поставлена задача разработки и реализации комплексной программы дальнейшего повышения прибыльности предприятий “Укрзалізниці”.

Своевременность доставки грузов является одним из основных показателей качества работы желе-

знодорожного транспорта, по которому его оценивает грузополучатель. Поэтому на решение задачи своевременной доставки груза нацелена вся система организации грузовых перевозок на основе оптимизации управления перевозочным процессом и экономических критериев для решения этих задач.

**Постановка проблемы.** Неравномерность в организации погрузки, изменения её адресности, выгрузки, образование погрузочных ресурсов и т.д. являются главной причиной нестабильности графического движения, весьма ощутимых технологических и экономических потерь, замедления оборота подвижного состава.

Существенные вложения в технические решения передачи данных, в развитие вычислительных центров создают предпосылки для изменения технологии перевозок, однако, коренной ломки старых подходов, перехода от стохастических по своей природе решений к эффективным решениям, подкреплённых глобальной компьютерной поддержкой, пока не произошло [5].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Созданные и действующие в последние годы системы АСОУП, «ДИСПАРК» и т.п. не могут в полной мере обеспечить эффективное управление перевозками на основе информационных технологий без дополнительных инвестиций, прежде всего в обеспечение оперативности и достоверности исходной информации.

Данное направление исследования имеет важное значение для экономики страны, так как позволяет значительно улучшить качество перевозок, сократить транспортные издержки, улучшить эксплуатационные показатели, повысить качество обслуживания клиентов, повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг [2, 3].

**Цель.** Предложенная математическая модель формирования твердых ниток графика направлена

на стабильность поездной работы на участках и полигонах железных дорог. Это обеспечивается путем равномерной прокладки ниток на графике в течение суток, что позволяет реализовать рациональную загрузку технического оснащения станций, участков, локомотивов и бригад, а также в целом повысить эффективность перевозочного процесса.

Обеспечение равномерности дает как прямой экономический эффект (снижение экономических затрат), так и косвенный, трудно учитываемый в модели, но явно возникающий через улучшение условий труда диспетчерского аппарата и повышение качества перевозочного процесса.

Именно поэтому задача равномерности становится актуальной в области организации движения поездов. Рассмотрим процесс формирования математической модели.

**Результаты исследований.** Рассматриваемый полигон может быть представлен в виде графа, вершины которого соответствуют станциям, дуги — перегонам [1].

Структуру полигона будем описывать матрицей смежности:

$$P = \{P_{ij}\}, P_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

где 1 между ст.  $i, j$  существует перегон, 0 ст.  $i, j$  не смежные.

В случае  $i = j$  принимается  $P_{ij} = 1$  (т.е. существует перегон от станции к самой себе — простой вагона на станции представляется в виде его движения по такому «виртуальному» перегону).

В матрице смежности для процесса решения задачи нет необходимости, поскольку наличие перегонов учитывается с помощью матриц норм веса и длин составов. При отсутствии перегонов в этих матрицах ставятся нормы, равные нулю, чем вводится запрет на следование поездов по данным «несуществующим» перегонам.

Кроме того, железнодорожный полигон характеризуется протяженностью участков. Протяженность будем описывать матрицей времен хода при заданной скорости по перегонам.

Время хода по перегону между станциями  $i$  и  $j$ .

$$T^x = \{t_{ij}^x\}, t_{ij}^x > 0$$

В общем случае  $t_{ij}^x \neq t_{ji}^x$

Возможно также расширение матрицы времен хода по перегонам с разделением по категориям поездов.

Поступившие для перевозки отправки образуют множество  $Z$ , элементы которого представляют собой векторы:

$$\bar{Z}_l = (i, j, V, k, t_{omnp}, t_{docm}, q_{op})$$

$i$  - станция отправления;

$j$  - станция назначения;

$V$  - количество вагонов;

$k$  - тип вагонов;

$t_{omnp}$  - время готовности отправки к включению в состав поезда на станции отправления;

$t_{docm}$  - время доставки на станцию назначения;

$q_{op}$  - масса брутто одного вагона.

Будем считать, что  $V \cdot q_{op} \leq Q_{op}^H$  - общая масса отправки не превышает весовой нормы поезда  $Q_{op}^H$ .

$V \cdot l_{ваг}^k \leq L$  - количество вагонов в отправке не превышает максимально-допустимой длины поезда  $L$ ,  $l_{ваг}^k$  - длина вагона  $k$ -го типа.

Если общая масса или длина отправки превышает максимально допустимые величины, то отправка становится маршрутом. Поэтому в рамках данной модели будут рассматриваться только вагоны, не вошедшие в маршрут.

Зададимся некоторым периодом планирования  $T_{пл}$  и разобьем его на интервалы дискретизации длительностью  $\Delta t$ . Причем интервал дискретизации однозначно определяется максимально возможным числом нормативных ниток в интервале.  $T_{пл}$  кратен  $\Delta t$ .

К началу каждого интервала дискретизации соответствуют множество вершин, количество которых равно количеству вершин исходного графа. Вершины нумеруются двумя индексами  $(i, j)$ ,  $i$  - номер вершины исходного графа;  $j$  - номер интервала дискретизации. Вершины  $i_1 t_1$  и  $i_2 t_2$  соединяются дугой, если существует перегон между станциями  $i_1 t_1$ , и время хода по этому перегону равно  $t_2 - t_1$ .

где  $t_2, t_1$  - соответственно номера интервалов дискретизации. Такая дуга соответствует возможному отправлению поезда со станции  $i_1$  на станцию  $i_2$  в момент начала интервала дискретизации  $t_1$ .

Кроме того, вводятся так называемые дуги ожидания - дуги, соединяющие вершины  $(i, t)(i, t+1)$ . Такие дуги соответствуют тому, что поезд (отправка) остается на станции  $i$  в течение интервала  $t$ . Полученный таким образом граф представляет собой некую заготовку, «сетку» для последующего формирования графика движения поездов [1]. Из полученного графа следует исключить дуги, кроме дуг ожидания, соответствующие пропуску пассажирских поездов, грузовых транспортных (транспортных по отношению к рассматриваемому полигону) поездов, а также дуги, попадающие в технические окна.

Каждой дуге графа необходимо присвоить соответствующий массив с размером  $X$ , равным количеству поступивших заявок на перевозку [1].

$l$  - й элемент этого массива равен 1, если отправка, соответствующая заявке номер  $l$ , перемещается по этой дуге. В противоположном случае  $l$  - й элемент равен 0.

$$X = \{X_{iju}\}$$

$$X_{ijl} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

где 1 – группа вагонов (отправка)  $l$  отправляется со станции  $i$  по маршруту следования на ст.  $j$  в момент времени  $t$ .

0 – в ином случае

Таким образом, необходимо найти массив  $X$ . Этот массив представляет собой, по сути, план твердого графика движения поездов.

Этот график должен обеспечить:

- доставку отправок на станции назначения в срок;
- доставку с максимальной скоростью;
- перевозку отправок поездами, по возможности, полновесными или полносоставными;
- доставку, по возможности, технологическими маршрутами (или с минимумом переработки)

В качестве целевой функции предлагается использовать минимум вагоночасов простоя:

$$\sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \sum_{\forall l} X_{ijl} V_l \Delta t \rightarrow \min, i \neq j$$

Выбор такой целевой функции обеспечит выполнения требований перевозки отправок с минимумом простоя на технических станциях. Ограничения задачи можно записать следующим образом. Поезда должны быть не тяжелее весовой нормы на данном перегоне:

$$\sum_{\forall t} X_{ijl} V_l q_{\text{бр}}^l \leq Q_{ij}^H - \text{для каждой дуги } (i, j, t)$$

Поезда должны быть не более нормы длины  $L_{ij}$  на данном перегоне:

$$\sum_{\forall t} X_{ijl} V_l l_{\text{ваг}}^k \leq L_{ij} - \text{для каждой дуги } (i, j, t)$$

Отправка должна быть доставлена в срок, не превышающий определенным в договоре срок доставки. Для реального полигона построенный таким образом граф будет содержать очень большое количество дуг и вершин, что приведет к большой размерности задачи оптимизации и, как следствие, к невозможности использования этой модели для решения задач оперативного управления перевозками. Наиболее существенно на размеры графа влияет количество станций, включенных в исходный (не развернутый во времени) граф полигона [4]. На размер графа также влияет величина интервала дискретизации. Увеличение этого интервала позволит существенно уменьшить размер развернутого графа и, следовательно, объем вычислительной работы. Уменьшить количество дуг развернутого графа можно также и за счет исключения из графа дуг ожидания, соответствующих простоям отправок на станциях, в ожидании отправления с поездом, где эти простои невозможны технически или нежелательны.

При небольшом полигоне из пяти технических станций, периоде планирования, равном трем дням (72 часа) и разбитом на трехчасовые интервалы (их количество будет равно 24), и количестве предъяв-

ляемых заявок к перевозке около 500 для полигона такого размера на указанный срок размерность задачи будет составлять:

$$D = i \cdot j \cdot t \cdot l = 5 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 500 = 300\,000,$$

что затруднительно для ее решения на персональных компьютерах, но возможно для более мощных машин. Блок-схема алгоритма формирования твердых ниток графика представлена на рис.

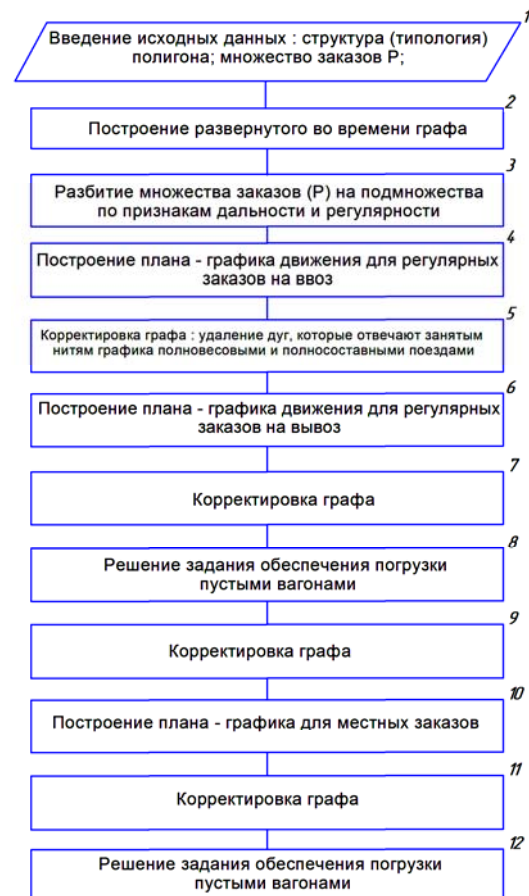


Рис. Блок-схема алгоритма формирования ниток жесткого графика, обеспечивающего рациональный уровень потребностей в перевозках

Задача может быть сведена к задаче линейного программирования в булевых переменных. Для этого проводится перенумерация переменных:

$$Z_k = X_{ijl}$$

$$k = (i-1) \cdot I \cdot T \cdot L + (j-1) \cdot T \cdot L + (t-1) \cdot L + (l-1)$$

где

$$i = 1 \dots I, j = 1 \dots J, t = 1 \dots T, l = 1 \dots L$$

Задачу линейного программирования предлагается решать Р-методом, суть которого состоит в следующем. Любой вариант решения представляется в виде двоичного числа, в котором каждая переменная занимает определенный разряд числа. Путем прибавления на каждом шаге единицы осуществляется направленный перебор всех таких двоичных чисел, начиная с нуля. Для каждого варианта осуществляется последовательная проверка ограничений. Направленность перебора заключается в

том, что после нарушения какого-либо ограничения остальные ограничения не проверяются, и далее осуществляется переход к рассмотрению следующего варианта путем прибавления единицы в двоичном числе к тому разряду, которому соответствует переменная, по которой произошло нарушение ограничения. При проверке каждого ограничения суммирование проводится порядком, начиная с последней переменной.

**Выводы.** Совершенствование управления перевозочным процессом предусматривает реализацию новой модели управления на основе экономических критериев с концентрацией функций вертикально интегрированной системы по уровням управления с последующим переходом к организации перевозок по «твёрдым ниткам» графика движения поездов.

На основании анализа существующей системы управления разработана структурная схема организации перевозок на основе твёрдого графика движения поездов и системы идентификации подвижного состава.

Предложена технология организации перевозок на основе «твёрдых ниток» графика движения поездов. Определены варианты перехода технологии поездной работы от информационных систем к управляющим для всех уровней управления.

Предложенная математическая модель формирования «ниток» твёрдого графика движения поездов описывается элементами теории графов и сводится к задаче линейного программирования в булевых переменных с критерием минимума вагоно-часов простоя на технических станциях.

Составлена блок-схема алгоритма формирования твёрдых ниток графика движения поездов, обеспечивающего рациональный уровень потребностей в перевозках.

#### Л и т е р а т у р а

1. Соловьёва Н.П., Соколова Л.Н., Аветикян А.А. Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог в условиях рыночной экономики // Железнодорожный транспорт в СНГ и за рубежом. ЦНИИТЭИ. Обзор. Вып. 24, 1997 г. с. 22-35.
2. Аветикян А.А. Потенциал транзитности вагонопотоков. Метод динамического прогнозирования транзитности. М. Транспорт, 1978 г., 215 с.
3. Акулиничев В.М. Система организации вагонопотоков, М., Транспорт, 1979 г., 224 с.
4. Бодюль В.И., Шаров В.А., Жабров О.А. «Ритм» - комплексная технология. Железнодорожный транспорт, 1984 г., №6, с. 14-16.
5. Волков В.С., Левин Д.Ю., Лерман В.Д. Совершенствование эксплуатации железных дорог. М., Транспорт, 1984 г., 208 с.

#### R e f e r e n c e s

1. Solovieva N., Sokolova L., Avetikan A. Perfection of operating work of railways in the conditions of market economy // the Railway transport in the CIS and abroad. ЦНИИТЭИ. Review. Вып. 24, 1997 p. 22-35.

2. Avetikan A. Potential of transit of вагонопотоков. Method of dynamic prognostication of transit. M. Transport, 1978, 215 p.
3. Akulinishev B. System of organization of вагонопотоков, M., Transport, 1979, 224 p.
4. Bodul B. and., Sharov of B. and., Gabrov A. «rhythm» is complex technology. Railway transport, 1984, №6, p. 14-16.
5. Volkov .C., Levin D., Lerman B. Perfection of exploitation of railways. M., Transport, 1984, 208 p.

**Білецький Ю.В., Баранов І.О., Горбачова Ю.С.**  
**Підвищення ефективності перевізного процесу на основі моделі побудови твердих ниток графіку руху поїздів.**

*У статті поставлено завдання підвищення ефективності перевізного процесу. Висвітлено основні причини нестабільності графікового руху поїздів і уповільнення обігу рухомого складу. Розроблено структурну схему організації перевезень на основі твёрдого графіку руху поїздів і системи ідентифікації рухомого складу. Визначено найбільш перспективні варіанти переходу технології поїзної роботи від інформаційних систем до керуючих для всіх рівнів управління. Складена блок-схема алгоритму формування твердих ниток графіку руху поїздів, що забезпечує раціональний рівень потреб у перевезеннях.*

**Ключові слова:** ефективність, модель, графік руху поїздів, блок-схема, оптимізація.

**Beletsky Y., Baranov I., Gorbacheva Y. Improving efficiency transportation process based on the model of building a solid thread train schedule.**

*The article raised problem increasing efficiency of the transportation process. Highlight the major causes instability grafik trains and slow turnover of rolling stock. The block diagram organization transport on the basis of a solid schedule trains and rolling stock identification systems. Identify the most promising options for moving technology train work on information systems to control for all levels management. Drawn flowchart forming solid thread train schedule, ensures the rational level of transportation needs. Based on the analysis existing management system developed organization chart movements based on a solid schedule trains and rolling stock identification systems. The proposed mathematical model "thread" solid train schedule describes the elements graph theory and is reduced to a linear programming problem in Boolean variables with the criterion of minimum downtime wagon-hours on technical stations.*

**Keywords:** efficiency, model, train schedule, block diagram, optimization.

**Білецький Ю.В.** – ст. викл. кафедри “Логістичне управління та безпека руху на транспорті”, СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

**Баранов І.О.** – аспірант кафедри “Логістичне управління та безпека руху на транспорті”, СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

**Горбачова Ю.С.** – магістрант кафедри “Логістичне управління та безпека руху на транспорті”, СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

Рецензент: д.т.н., проф. Соколов В.І.

Стаття подана 26.03.2015