

ных решений, которые допускают в будущем дальнейшее совершенствование. Вместо решения отдельно взятых проблем рассматривались варианты для совокупности узких мест.

По мере разработки стало очевидно, что проект PEC, ликвидируя конфликтные ситуации между поездами грузовыми и Metra, обеспечивает оптимальные условия для движения как грузового, так и пассажирского, причем с учетом перспектив роста.

Проектирование коридора PEC положило начало разработке планов организации и других транспортных коридоров, входящих в программу CREATE. Помимо коридора Central протяженностью 37 км для компании CN, планируется создание маршрута восток — запад длиной 24 км для компаний NS/BRC, который призван связать район, примыкающий к озеру, с другим транспортным коридором, Western, идущим в направлении ИНВ с восточной стороны сортировочной станции Клиринг.

Два других планируемых коридора (Western avenue длиной 49,9 км в направлении север — юг и Beltway протяженностью 48 км в направлении север — восток) позволят в значительной мере улучшить продвижение грузовых поездов, особенно перевозящих контейнеры и полуприцепы, между основными сортировочными станциями.

В качестве ведущего инжинирингового агентства Metra будет контролировать все проекты по коридору PEC при участии NS в контроле за проектами самых сложных из 13 проектов программы — развязок Эндживуд и Бельт. Начальные инвестиции включают 2,5 млн. дол., поступающих от Metra и грузовых компаний через Ассоциацию американских железных дорог, и порядка 10 млн. дол. от министерства транспорта штата Иллинойс на проектные работы.

Определенную проблему представляет сложная структура потоков. Строительные работы необходимо вести без перерыва движения поездов на всех участках. Этот проект по устройству железнодорожных развязок в разных уровнях — первый в современной истории города. Существующие путепроводы Гранд-Кроссинг (линии компаний NS/CN) и на 80-й улице (линии компаний Metra/CXST/UP) были построены многие десятилетия назад.

Инфраструктура в Чикаго сооружена в основном более 100 лет назад. Прошедшие слияния железнодорожных компаний изменили городскую сеть, появилась потребность в новых соединениях между имеющимися маршрутами. План предусматривает обустройство 15 новых соединений.

*F. Malone. Railway Age, 2004, № 1, p. 55 – 58.*

И. Н. ШАПКИН, Д. Б. НЕКЛЮДОВ, Е. М. КОЖАНОВ (МИИТ)

## Организация перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов

*Современные информационные технологии позволяют управлять погрузкой с передислокацией погрузочных ресурсов в привязке к поездам и конкретным твердым ниткам графика движения, с которыми грузовые отправки будут следовать к пункту назначения. Это будет способствовать улучшению всех показателей работы железнодорожного транспорта и повышению его доходности.*

В теоретических работах основоположников эксплуатационной науки [1, 2] перевозочный процесс на

железнодорожном транспорте рассматривается как система обеспечения упорядоченности, ритмичности, равномерности при условии стохастичности транспортных процессов. Эти идеи были заложены в теории плана формирования и графика движения поездов.

План формирования необходимо адаптировать к неравномерности погрузки и пропуска вагонопотоков, иначе ни он, ни планы технической маршрутизации не смогут стать оптимальными. Аналогичная картина с графиком движения. При его разработке ставятся задачи минимизации потребных тяговых

средств, простоев локомотивов в пунктах оборота, обеспечения равномерного, ритмичного подвода поездов к техническим станциям обслуживания и переработки вагонопотока. В конечном итоге график движения должен обеспечить взаимосвязанную работу станций, участков, локомотивных и вагонных депо, пунктов технического осмотра и других обеспечивающих служб железных дорог.

Однако адаптация графика движения поездов к колебаниям объемов грузов, предъявляемых к перевозкам, приводит к необходимости предусматривать в нем резервные нитки. На многих участках и направлениях практическая наполняемость предусмотренных в графике движения ниток составами поездов не превышает 50 %. В результате многие заложенные в графике движения поездов идеи не работают, и он в итоге теряет свои основные функции. Работа узловых и участковых станций недостаточно увязывается с расписаниями движения на прилегающих направлениях, что приводит к несоблюдению графика оборота поездных локомотивов и бригад. Поезда назначают оперативно, исходя из конкретной обстановки. Как следствие, неизбежными становятся значительные простои подвижного состава, нарушения работы и простои поездных бригад.

Улучшить показатели использования подвижного состава и качество обслуживания клиентуры можно при соблюдении двух пока не совместимых условий — использование твердого, без резервных ниток, графика движения и обеспечение полновесности (полносоставности) грузовых поездов, следующих по этому графику. Неоднократные попытки перехода на твердый график на основе использования статистических закономерностей поездообразования на станциях успехом не увенчались. Разброс времени окончания накопления поездов на сортировочных станциях оказался большим и нестабильным. Поэтому ограничивались выделением жесткого ядра графика, в которое включали только часть ниток (10 – 15 %), что незначительно влияло на общую ситуацию. Решить задачу перехода на твердый график позволяет развитие компьютерных сетей и информационных технологий.

### **Реализация потенциала информационных технологий**

Для реализации всего потенциала информационных технологий необходим принципиально новый подход — управление погрузкой с передислокацией погрузочных ресурсов в привязке к поездам и конкретным ниткам графика движения, с которыми грузовые отправки будут следовать к пункту назначения. Это требует создания программного обеспечения для решения оптимизационных задач большой размерности, изменения роли и функций орга-

нов системы фирменного транспортного обслуживания, строгого соблюдения договорных отношений между железными дорогами и клиентурой. При существующих вычислительных мощностях можно составлять для сети дискретный план, основанный на заявках клиентуры. Внедрение системы автоматической идентификации движущегося подвижного состава в выделенных на сети контрольных точках облегчит решение этой задачи. Принципы реализации комплекса информационных технологий управления перевозками при работе по твердому графику показаны в [3].

Структурная схема организации перевозок на основе твердого графика движения поездов и системы идентификации подвижного состава приведена на рис. 1.

### **Алгоритм формирования твердых ниток графика**

Распределение заявок на каждом направлении рассматриваемого полигона с выполнением условий полновесности и полносоставности поездов, своевременной доставки груза, четкого выполнения маршрута следования может быть сведено к стандартной задаче линейного программирования в булевых переменных. Алгоритм решения, основанный на методе ветвей и границ, приведен на рис. 2. В этот алгоритм включен процесс сведения исходных данных задачи к виду стандартной задачи линейного программирования, описанной математической моделью, рассмотренной ранее [3]. По приведенному алгоритму необходимо проводить расчеты в три этапа: для отправок на ввоз, для отправок на вывоз с данного полигона и для местных отправок. Это связано с различными ограничениями для трех групп заявок: для заявок на ввоз будет строго определено время отправления с граничной станции, для заявок на вывоз — время прибытия на стыковую станцию, а для местных заявок время прибытия на станцию назначения не должно превышать предельного срока доставки.

### **Пример расчета**

Рассмотрим необходимые исходные данные для решения задачи и результат решения, полученного с помощью приведенного на рис. 2 алгоритма. В качестве примера используется полигон Московской железной дороги, состоящий из пяти сортировочных станций — Бекасово, Брянск, Люблино, Орехово-Зуево и Рыбное. Исходными данными для полигона являются вагонопотоки между соответствующими станциями и протяженность перегонов, пред-

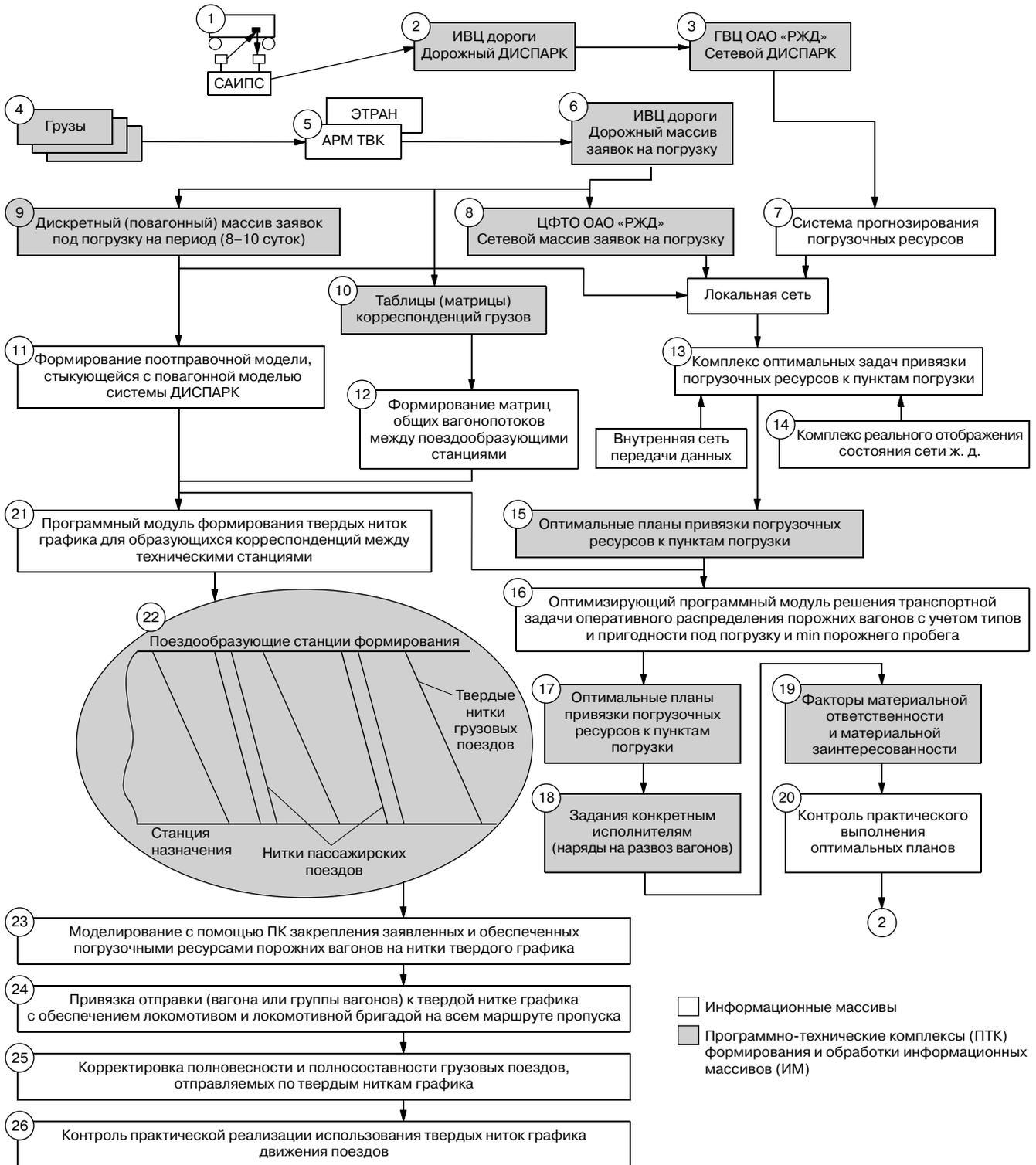


Рис. 1. Структурная схема организации перевозок на основе твердого графика движения поездов и системы идентификации подвижного состава: САИПС — система автоматической идентификации подвижного состава; АРМ ТВК — автоматизированное рабочее место товарного кассира; ЭТАН — автоматизированная система централизованной подготовки и оформления перевозочных документов

ставленные в табл. 1. На основе этих исходных данных строится расчетный граф для определения твердых ниток графика (рис. 3). Нормы веса и длины для существующих перегонов представлены в табл. 2.

В данном примере рассматриваются только местные отправки. Номера, поставленные в соответствие станциям в табл. 1, являются их номерами в матрицах, приведенных ниже. Номер строки — это номер

станции отправления, а номер столбца — номер станции назначения.

Данный полигон может быть описан следующей матрицей смежности:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

На основе данных табл. 2 составляются матрицы ограничений по массе  $Q$  и длине  $L$  поездов:

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 5200 & 6000 & 5200 & 0 \\ 5000 & 0 & 5000 & 5000 & 0 \\ 7000 & 5200 & 0 & 5200 & 0 \\ 6000 & 6000 & 6000 & 0 & 4300 \\ 0 & 0 & 0 & 4300 & 0 \end{bmatrix},$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 71 & 71 & 71 & 0 \\ 71 & 0 & 71 & 71 & 0 \\ 71 & 71 & 0 & 71 & 0 \\ 71 & 71 & 71 & 0 & 71 \\ 0 & 0 & 0 & 71 & 0 \end{bmatrix}.$$

На основе расстояний, приведенных в табл. 1, с учетом средней участковой скорости (40 км/ч) матрица времен хода по перегонам будет выглядеть следующим образом:

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 3 & 0 \\ 3 & 1 & 3 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \end{bmatrix}.$$

В данной матрице времена хода представлены количеством интервалов дискретизации. Величина интервала дискретизации принимается равной 3 часам.

Приведенные в табл. 1 вагонопотоки условно разбиваются на отправки объемом 10 – 30 вагонов. Количество отправок, реализуемых на полигоне, будет равно 441.

Решение задачи имеет вид массива

$$R = (t, i, j, (a_z, a_x, \dots, a_k)),$$

где  $t$  — номер интервала дискретизации;  $i$  — станция отправления;  $j$  — станция назначения;  $(a_z, a_x, \dots, a_k)$  — порядковые номера заявок, вошедших в реализуемую нитку в интервал  $t$ .

Таким образом, массив  $R$  представляет собой план графика с распределением отправок между твердыми нитками. В этом массиве присутствуют неполносоставные нитки, включающие в себя оставшиеся отправки. Эти нитки могут быть найдены и исключены

из графика путем переноса на следующий дискретный период перевозки. Такой перенос вызовет небольшую задержку отправки, которая в следующий период будет отправлена в первую очередь при условии согласования с отправителем.

На заданном полигоне для каждого перегона получены результаты, выражающиеся в количестве твердых ниток, распределенных равномерно через каждые 3 ч. В табл. 3 приведены результаты распределения отправок, следующих со станции Орехово-Зуево на станцию Люблино. Например, в первой строке таблицы представлена информация о первой



Рис. 2. Алгоритм формирования твердых ниток

Таблица 1

Реализуемые вагонопотоки и протяженность перегонов

Станция отправле- ния	Станция назначения									
	1. Орехово-Зуево		2. Люблино		3. Рыбное		4. Бекасово		5. Брянск	
	Число ва- гонов	Расстоя- ние, км								
1. Орехово-Зуево			400	95	1550	155	600	218	220	538
2. Люблино	350	95			0	182	240	106	200	426
3. Рыбное	1200	155	550	182			1000	243	0	563
4. Бекасово	400	218	600	106	800	243			650	220
5. Брянск	70	538	160	426	0	563	400	320		

Таблица 2

Весовые нормы и длина поездов

Направление	Весовая нор- ма, т	Число ваго- нов в поезде
Орехово-Зуево — Люблино	5200	71
Орехово-Зуево — Рыбное	6000	71
Орехово-Зуево — Бекасово	5200	71
Люблино — Орехово-Зуево	5000	71
Люблино — Рыбное	5000	71
Люблино — Бекасово	5000	71
Рыбное — Орехово-Зуево	7000	71
Рыбное — Люблино	5200	71
Рыбное — Бекасово	5200	71
Бекасово — Орехово-Зуево	6000	71
Бекасово — Люблино	6000	71
Бекасово — Рыбное	6000	71
Бекасово — Брянск	4300	71
Брянск — Бекасово	4300	71

нитке графика: в первый интервал дискретизации со станции 1 (Орехово-Зуево) на станцию 2 (Люблино) отправляется поезд, включающий отправки с номерами 1, 2, 3, 4. Общее количество вагонов в составе — 70, масса поезда — 4200 т. Шестой интервал дискретизации соответствует отправлению поезда из оставшихся номеров отправок 21, 22, 23 общим числом вагонов 50, что не соответствует норме полновесности и полносоставности. Такая нитка должна быть дополнена до нормы из числа отправок на основе метода динамической оптимизации [4]. Таким образом, таблица результатов представляет собой план графика твердых ниток и может быть представлена в виде графиков твердых ниток на отдельных участках (рис. 4).

Пунктирной линией на рис. 4 показана нитка неполносоставного (неполновесного) поезда, который должен быть либо дополнен вагонами, либо перенесен на следующий период планирования. Для поездов, следующих из Орехово-Зуево в Люблино, перенос такой нитки на следующий период планирования невозможен, так как это вызовет большую задержку входящих в нее отправок. Для наполнения подобных ниток может быть использован метод динамической оптимизации обеспечения намечаемой погрузки погрузочными ресурсами в привязке к нитке графика [4].

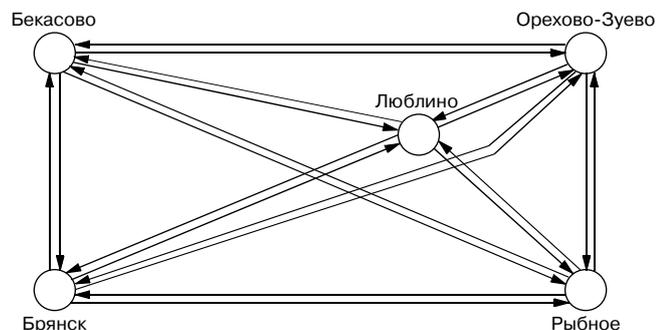


Рис. 3. Расчетный граф определения твердых ниток графика на полигоне Московской дороги

### Заключение

Метод динамической оптимизации призван обеспечить твердые нитки погрузочными ресурсами к заданным моментам времени, а при их неполновесности или неполносоставности также обеспечить груженными вагонами, доставка которых должна осуществляться вместе с порожними вагонами. Время окончания погрузки таких вагонов аналогично вре-

Таблица 3

Фрагмент распределения отправок между твердыми нитками графика

Интервал дискретизации	Станция отправления	Станция назначения	Номера отправок						Число вагонов	Масса поезда, т
			1	2	3	4	—	—		
1	1	2	1	2	3	4	—	—	71	5200
2	1	2	5	6	7	16	—	—	71	5200
3	1	2	9	10	11	20	—	—	71	5200
4	1	2	13	14	15	8	—	—	71	5200
5	1	2	17	18	19	12	—	—	71	5200
6	1	2	21	22	23	—	—	—	50	3000

мени образования погрузочных ресурсов, а время отправления по намеченной нитке — времени возникновения потребности в погрузочных ресурсах. Таким образом, наряду с обеспечением погрузочными ресурсами в рамках данного метода может быть решена задача наполнения твердых ниток до их полновесности (полносоставности).

Алгоритм позволяет получать рациональное количество твердых ниток, оптимальное распределение отправок между твердыми нитками графика с учетом ограничений по длине и массе составов, времени доставки и других ограничений, которые могут быть гибко введены в систему и с учетом которых может быть получено решение для сравнения с другими вариантами. Дополнительные ограничения могут быть введены для удовлетворения согласованного с отправителем времени отправления груза, времени прибытия его на станцию назначения, скорости доставки. Также возможна корректировка графика в период его действия путем удаления отправок и пересчета распределения оставшегося их числа между нереализованными нитками графика.

Современные возможности информационных технологий позволяют качественно по-новому обес-

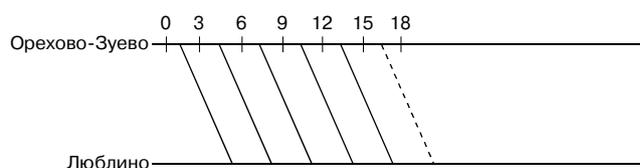


Рис. 4. План графика твердых ниток

печить контроль исполнения намеченных планов и решений. Работа по принципу дискретного управления перевозочным процессом в обозримой перспективе способна значительно улучшить все показатели железнодорожного транспорта и увеличить доходы ОАО «РЖД».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов А. В., Каретников А. Д. График движения поездов. М.: Трансжелдориздат, 1960. 316 с.
2. Васильев И. И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. М.: Трансжелдориздат, 1941. 321 с.
3. Шапкин И. Н. Информационные технологии в организации перевозок // Железные дороги мира. 2003. № 4. С. 9 – 13.
4. Ивницкий В. А., Буянов В. А., Соколов Н. Б. Динамическая оптимизация обеспечения намечаемой погрузки погрузочными ресурсами // Вестник ВНИИЖТ. 2000. № 5. С. 28 – 31.

*Вам нужна*

*эффективная*

**реклама?**

Звоните в редакцию журнала «Железные дороги мира»,

**МЫ ПОМОЖЕМ ВАМ.**

Телефон: (095) 290-60-54; (095) 290-09-27. E-mail: zdm@css-mps.ru