



# План формирования ускоренных грузовых поездов



Михаил ПРОКОФЬЕВ

Mikhail N. PROKOFIEV

*Прокофьев Михаил Николаевич – инженер сервисного отдела центра мультимодальных транспортных систем Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**Для перемещения немассовых видов грузов и мелких отправок железнодорожным транспортом предлагается принципиально новая технология ускоренных грузовых перевозок. Из-за кардинальных ее отличий от существующих технологий (в том числе касающихся и массовых грузов) прежние методы расчёта плана формирования поездов непригодны к условиям и специфике ускоренных грузовых перевозок. Рассматривается иной метод расчета, который апробирован на основе немассовых грузов, следующих по автомагистралям М10 Санкт-Петербург – Москва и М7 Москва – Нижний Новгород.**

*Ключевые слова:* железная дорога, план формирования поездов, немассовые грузы, перевозка мелких отправок, ускоренные грузовые перевозки, метод расчета, технологии.

**П**рименительно к немассовым грузам на железных дорогах возможна новая технология ускоренных грузовых перевозок [1, 2], предусматривающая переход к реализации «вагономест» и «грузомест» в поездах постоянного формирования, обращающихся по расписанию.

В статье [3] были рассмотрены различные аспекты формирования маршрутной сети ускоренных грузовых перевозок на полигоне Европейской части России. План формирования поездов составлялся аналитически на основе данных по автоперевозкам. Такой метод применен благодаря простоте маршрутов струй грузопотоков, и потому он не является универсальным и не обеспечивает оптимального освоения немассовых грузов. Необходим научно обоснованный расчёт плана формирования ускоренных грузовых поездов.

Приведем особенности предлагаемой технологии ускоренных перевозок применительно к расчёту плана формирования поездов:

- переход к оперированию типовыми грузовыми местами;
- обращение поездов по расписанию;
- обращение поездов без переформирования: отсутствие переработки на техниче-

ских станциях, производство погрузо-разгрузочных работ без расцепки состава;

– минимизация простоев под грузовыми операциями за счёт интенсификации погрузо-разгрузочных работ.

Целью расчета плана формирования обычных грузовых поездов является наиболее целесообразное распределение между техническими станциями (сортировочными и участковыми) операций, связанных с организацией вагонопотоков в поезде.

Следовательно, из-за кардинальных отличий предлагаемой технологии от существующих (включая технологии для массовых грузов) используемые методы расчёта плана формирования поездов непригодны к условиям ускоренных грузовых перевозок.

Анализ особенностей технологии позволяет заключить, что предлагаемый ее вариант технологически ближе к пассажирским перевозкам. Поэтому за основу при разработке метода расчёта плана формирования ускоренных грузовых поездов целесообразнее принять предусмотренные для пассажирского движения разработки Ю. О. Пазойского [4], О. Н. Пановой [5] и А. А. Сидракова [6].

Задача расчета оптимального плана формирования ускоренных грузовых поездов на полигоне может быть сформулирована так:

$$\bar{F} = D_t - Z_t \rightarrow \max \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^j \sigma_n \cdot a_{ni} \cdot a_{gi} \cdot m_{ni} \cdot x_n \geq \Gamma_k \\ \sigma_n \cdot x_n \cdot \sum_{i=1}^j a_{ni} \cdot a_{gi} \cdot m_{ni} \geq A_n \\ \forall x_n \geq 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $t$  – расчетный год;

$D_t$  – суммарные доходы от ускоренных перевозок в  $t$ -й год, млн руб./год;

$Z_t$  – суммарные расходы на организацию ускоренных перевозок, приведенные к  $t$ -му году, млн руб./год;

$a_{ni}$  – вес груза (объём или число грузовых мест) в вагоне  $i$ -го рода  $n$ -го назначения;

$\alpha_{gi}$  – коэффициент использования вместимости вагона  $i$ -го рода;

$m_{ni}$  – число вагонов  $i$ -го рода в составе  $n$ -го назначения;

$x_n$  – число составов  $n$ -го назначения;

$\delta_n$  – коэффициент, равный 1, если назначение  $n$  может освоить грузопоток  $k$ , равный 0 – в противном случае;

$\Gamma_k$  – густота грузопотока  $k$ -го участка;

$A_n$  – мощность струи грузопотока  $n$ -го назначения;

$m$  – число назначений;

$j$  – число родов вагонов.

$$F = \sum_{n=1}^m \left( \sum_{i=1}^j (T_{ni} \cdot a_{ni} \cdot a_{gi} \cdot m_{ni} \cdot x_n) - c_n \cdot x_n \right) \quad (3)$$

где  $T_{ni}$  – стоимость перевозки 1 т груза (1 м<sup>3</sup> или грузового места) в вагоне  $i$ -го рода,  $n$ -го назначения, руб.;

$c_n$  – расходы на поезд  $n$ -го назначения;

Описание ограничений:

- освоение густот грузопотоков;
- обеспечение перевозки без перегрузки;
- неотрицательные значения числа поездов по назначениям.

Метод включает следующие шаги:

1) Определение размеров движения поездов по назначениям с помощью линейного программирования;

2) Оптимизация полученного плана формирования поездов по конкурентоспособности назначений;

3) Анализ полученных назначений по стоимости и срокам перевозки по основным и альтернативным маршрутам;

4) Распределение поездопотоков по железнодорожным линиям соответственно наличию пропускной способности с учётом рентабельности назначений.

Оценка  $c_n$  поезда  $n$ -го назначения производится по методу единых расходных ставок. Ставки откорректированы в сторону повышения для получения сопоставимых результатов с методом расчёта по форме определения расходов за пользование инфраструктурой при следовании почтово-багажного поезда.

Для решения задачи линейного программирования на ЭВМ предлагается использовать надстройку приложения MS Excel «Поиск решения».

В качестве примера составления плана формирования ускоренных грузовых поездов был взят расчёт освоения грузопото-



Таблица 1

Результаты 1-го этапа расчёта

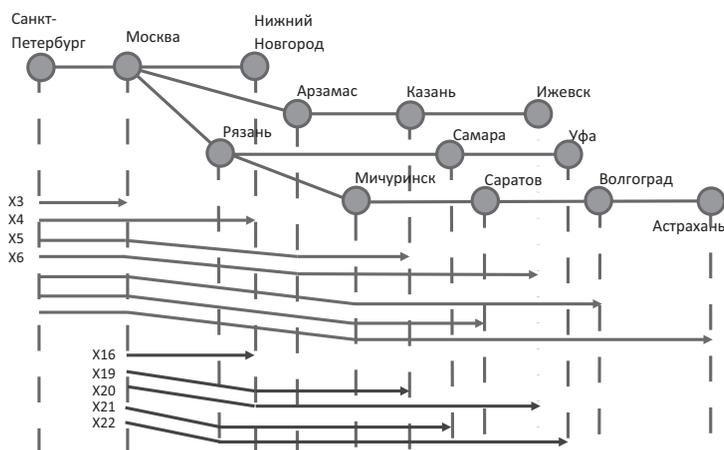
$X_i$	X3	X4	X5	X6	X9	X10	X11	X16	X19	X20	X21	X22
значения	387,0	47,5	12,0	7,9	10,5	11,2	6,3	254,3	81,8	5,9	4,5	6,0

Таблица 2

Результаты 2-го этапа расчёта

$X_i$	X3	X4	X5	X6	X9	X10	X11	X16	X19	X20	X21	X22
зн. после шага 1	387,0	47,5	12,0	7,9	10,5	11,2	6,3	254,3	81,8	5,9	4,5	6,0
			19,9	<-	10,5	17,4	<-		87,7	<-	10,5	
					27,9	<-			98,2		<-	
итог к шагу 3	387,0	47,5	19,9		27,9			254,3	98,2			

Рис. 1. Возможные назначения ускоренных грузовых поездов для освоения выявленных грузопотоков



ков немассовых грузов, следующих по двум автотранспортным магистралям: М10 Санкт-Петербург – Москва и М7 Москва – Нижний Новгород.

На рис. 1 отображена часть возможных назначений поездов для освоения заданных грузопотоков.

Поставленная задача решается исходя из реальной грузопропускной способности ускоренного грузового состава при перевозке пакетированных грузов на уровне 80% (718 т) без учёта композиций поездов. В условиях высокой загрузки главного хода Октябрьской железной дороги (магистрали Санкт-Петербург – Москва) в задаче рассматривается пропуск части поездов по линии Санкт-Петербург – Сонково – Ярославль – Москва (назначения с литерой «С») и по линии Санкт-Петербург – Новосokolьники – Москва (литера «Н»), а кроме того вводится маршрут Санкт-Петербург – Ярославль – Иваново – Нижний Новгород (литера «И») для освоения прямого гру-

зопотока между Санкт-Петербургом и Нижним Новгородом.

Поэтапное решение задачи:

1) Используя задачу линейного программирования, на основании густот грузопотоков по участкам определяются размеры движения поездов по назначениям. Целевая функция предусматривает максимизацию прибыли от перевозок при соблюдении заданных ограничений.

$$F = c1 \times X1 + c2 \times X2 + \dots + c22 \times X22 \rightarrow \max .$$

2) Производится оптимизация полученного плана формирования в соответствии с минимальными размерами движения поездов, при которых назначение конкурентоспособно. Условием конкурентоспособности принята частота обращения не менее пяти пар поездов в неделю (21,8 пар в месяц). Неконкурентоспособные назначения включаются в более ближние назначения при условии, что длина автомобильного плеча при этом не более дальности железнодорожной перевозки до пункта перегрузки. Так, грузы назначением

Таблица 3

## Учёт ограничений по пропускной способности магистралей.

железнодорожная линия	наличная	потребная	коррект.	итого	дефицит
СПб* – Мск**	8	9,8	8,0	8,0	
СПб– Сонково – Ярославль	6	6,3	4,9	4,0***	
Ярославль – Мск	4	6,3	4,9	4,0	0,9
СПб – Новосокольники – Мск	5	0,0	3,2	3,2	
Мск – Нижний Новгород	8	9,7	9,7	8,0	1,7
Мск – Казань	3	3,3	3,3	3,0	0,3
Мск – Рязань	5	0,0	0,0	0,0	

Примечание: \*Санкт-Петербург; \*\*Москва; \*\*\* Ограничение по следующему участку Ярославль – Москва.

Таблица 4

## Периодичность обращения ускоренных грузовых поездов в соответствии с рассчитанным планом формирования

$X_n$	вместимость поезда, т	назначение	поездов в сутки	корр.	схема обращения	включая струи назначения до
X3	897	Санкт-Петербург – Москва	8,00		8 раз в сут.	
X3С	897	Санкт-Петербург – Москва (через Савелово)	4,00		4 раза в сут.	
X4Н	897	Санкт-Петербург – Нижний Новгород (через Новосокольники)	1,58		1 раз каждый день и 4 раза в нед.	
X5Н	897	Санкт-Петербург – Казань (через Новосокольники)	0,66	0,71	5 раз в нед.	Ижевск
X9Н	897	Санкт-Петербург – Саратов (через Новосокольники)	0,93	0,86	6 раз в нед.	Волгоград, Астрахань
X16	897	Москва – Нижний Новгород	8,00		8 раз в сут.	
X19	897	Москва – Казань	3,00		3 раза в сут.	Ижевск, Самара, Уфа

Санкт-Петербург – Ижевск будут следовать в ускоренных грузовых поездах до Казани, после чего перегружаться на автотранспорт. Такое условие экономически целесообразно на фигурирующих в данной задаче маршрутах, но возможна и более низкая привлекательность перевозки (по отношению к прямой перевозке железнодорожным транспортом) на других маршрутах и в условиях рынка.

Назначение Санкт-Петербург – Казань передано на следующий этап расчёта ввиду незначительности отклонения от поставленного условия частоты обращения.

3) Полученные назначения анализируются по стоимости и срокам перевозки по основным и альтернативным маршрутам. То есть маршрут следования поезда будет зависеть от соотношения стоимость/срок перевозки в требованиях клиентов

к предлагаемым транспортным услугам. Так, для назначения Санкт-Петербург – Москва ввиду малой дальности перевозки и высокой конкуренции со стороны автотранспорта соотношение между кратчайшим маршрутом и альтернативными задано 70/30.

4) На основании данных предыдущего шага производится распределение поездопотоков по железнодорожным линиям соответственно наличию пропускной способности с учётом рентабельности назначений (см. таблицу 3). В случае недостатка пропускной способности на рассматриваемом полигоне будут исключены назначения с низкой рентабельностью.

В таблице 4 отображена периодичность обращения ускоренных грузовых поездов в соответствии с рассчитанным планом формирования.





## ВЫВОДЫ

Предложенный метод и программный инструмент позволяют решить задачу расчёта плана формирования ускоренных грузовых поездов. Целевая функция задачи состоит в максимизации прибыли от перевозок. При этом учитываются показанные ограничения: освоение грузопотоков, бесперегрузочность сообщений, конкурентная частота обращения, степень спроса на срочность доставки, ограничения по пропускной способности железнодорожных магистралей. Благодаря тому, что используемый метод опирается на уже зарекомендовавший себя метод расчета плана формирования пассажирских дальних поездов, и учитывая успешность представленного расчёта, универсальность

предложенного метода можно считать достаточной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колин А.В., Котов В.А. Возможности скоростной перевозки грузов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 3. – С. 20-23.
2. Troche G. Скоростные грузоперевозки = High-speed rail freight / Troche G., КТН: Royal Institute of Technology. – М.: КТН Railway Group, Стокгольм 2005. – 93 с.
3. Прокофьев М.Н. Маршрутная сеть ускоренных перевозок // Мир транспорта. – 2010. – № 5. – С. 78-83.
4. Пазойский Ю.О., Шубко В.Г., Вакуленко С.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения): Учеб. пособие. – М., 2009. – 342 с.
5. Панова О.Н. План формирования пассажирских поездов при условии удовлетворения спроса на категории мест / Дисс. канд. техн. наук. – М: МИИТ, 2001. – 174 с.
6. Сидраков А.А. Организация скоростных пассажирских перевозок в дальнем сообщении / Дисс. канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 2012. – 182 с. ●

## TIME-TABLE PLANNING FOR ACCELERATED FREIGHT TRAINS

**Prokofiev, Mikhail N.** – engineer of service section of the center of multimode transport systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

*The article describes approaches of designing of a special method of time-table planning for accelerated freight trains.*

*The author, having analyzed the features of technology of operation of accelerated freight trains, suggests that they are similar to passenger traffic and so it is possible to take for a basis the methods used for planning of passenger traffic time-tables.*

*The proposed method includes the following steps:*

*1) Identification of the volumes of traffic by destination stations with the help of linear programming. Target function is defined as maximum profit received out-of carriage service with a respect for some restrictive conditions:*

- coping with density of freight flows;
- carriage without overload;

*• non-negative values of quantity of trains by each destination;*

*2) Optimization of achieved plan of time-tables using criterion of competitiveness of destinations;*

*3) Analysis of achieved destinations using criteria of cost and time of delivery by main and alternative routes;*

*4) Distribution of trains by railways in conformity with capacity, providing for profitability of destinations.*

*The author suggests to use MS Excel Solver add-in to solve problems of linear programming.*

*As example of planning of accelerated freight trains' time-table the article contains computation of cargo flows (not general goods) which are currently carried by main motor roads St.Petersburg – Moscow and Moscow – Nizhny Novgorod.*

**Key words:** railway, train timetable, specific goods, small deliveries, accelerated carriage, computing method, technology.

## REFERENCES

1. Kolin A.V., Kotov V.A. Capacity of speed freight carriage [Vozmozhnosti skorostnoy perevozki грузов]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2008, N 3, pp. 20-23.

2. Troche G. High-speed rail freight. KTH: Royal Institute of Technology. KTH Railway Group, Stockholm, 2005, 93 p.

3. Prokofiev M.N. Route Network of Rapid Freight Traffic [Marshrutnaya set' uskorenykh perevozok]. *Mir Transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2010, Vol. 33, Iss. 5, pp. 78-83.

4. Pazoyskiy Yu.O., Shubko V.G., Vakulenko S.P. Passenger rail traffic (examples, problems, models, methods and solutions) [Passazhirskie perevozki na

*zheleznodorozhnom transporte (primery, zadachi, modeli, metody i resheniya)*]. Textbook. Moscow, 2009, 342 p.

5. Panova O.N. Planning of passenger trains' timetables under the condition of meeting demand for different categories of seats [Plan formirovaniya passazhirskikh poezdov pri uslovii udovletvoreniya sprosa na kategorii mest]. Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, MIIT, 2001, 174 p.

6. Sidrakov A.A. Organization of high-speed passenger long-distance traffic [Organizatsiya skorostnykh passazhirskikh perevozok v dal'nem soobshchenii]. Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, MIIT, 2012, 182 p.

Координаты автора (contact information): Прокофьев М.Н. (Prokofiev M.N.) mn.prok@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 14.04.2013  
Принята к публикации / article accepted 24.05.2013