

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЧИСЛА, НАЗНАЧЕНИЙ И СХЕМ СОСТАВОВ ПОЕЗДОВ ПРИ МАКСИМИЗАЦИИ ПРИБЫЛИ ПАССАЖИРСКОЙ КОМПАНИИ

ПАЗОЙСКИЙ Ю. О., ПАНОВА О. Н.

pk_miit@mail.ru

профессор, д.т.н. Пазойский, доцент, к.т.н. Панова, Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), кафедра "Управление эксплуатационной работой", Москва, РОССИЯ

Резюме: Докладът разглежда значението на маркетинговите проучвания за подобряването на технологията на експлоатация, ефективността на използване на пътнически подвижен състав и качеството на управление на пътническите влакове като цяло. Във връзка с това е разработен математически модел за броя на влаковете, направленията и композициите.

Ключови думи: маркетингови изследвания, железопътен транспорт, пътнически превози.

Возникваща конкуренция на рынке транспортных услуг явилась поводом активизации деятельности перевозчиков по привлечению пассажиров с альтернативных видов транспорта.

Железнодорожный транспорт России продолжает занимать ведущее место, осваивая около 40 % пассажирооборота всей транспортной системы страны, несмотря на то, что пассажирские перевозки в дальнем сообщении продолжают оставаться убыточными. Реализация Программы структурной реформы ОАО «РЖД» полностью исключила перекрестное финансирование, в результате которого убытки от пассажирских перевозок покрывались за счет грузовых.

Выделение Федеральной Пассажирской Дирекции (ФПД) в дочернее общество ОАО «РЖД» направлено на повышение эффективности работы пассажирского железнодорожного транспорта. Одной из важнейших задач в этом направлении является получение максимальной прибыли при имеющемся техническом оснащении и удовлетворении спроса на перевозки для различных по уровню доходов слоев населения.

Определение потребностей населения в перевозках, прогнозирование их объемов на железнодорожном транспорте, исследование характера и структуры пассажиропотока является основой планирования и организации пассажирских перевозок дальнего сообщения.

От точности маркетинговых исследований в значительной степени зависит качество обслуживания пассажиров, совершенствование технологии работы и технического оснащения подразделений железнодорожного транспорта, эффективность использования пассажирского железнодорожного подвижного состава, качество оперативного управления пассажирскими перевозками в целом.

Структура пассажиропотока достаточно сложна для анализа и не позволяет объективно судить о материальном уровне пассажиров. Практика показывает, что зачастую пассажир следует в вагоне не соответствующем уровню его доходов из-за отсутствия мест в вагонах требуемого типа. Следовательно, существует доля пассажиропотока, пассажиры которой воспользуются услугами железнодорожного транспорта,

даже если спрос на тип вагона останется неудовлетворенным.

В условиях функционирования ФПД расходы по осуществлению перевозок в дальнем сообщении делятся на две части. Одна часть – это расчет ФПД с ОАО «РЖД» за пользование инфраструктурой, которая зависит только от числа и назначений пассажирских поездов и не зависит от схем их формирования из вагонов разных типов (люкс, купейный, плацкартный и общий). Другая часть – расходы собственно ФПД, связанные с введением в обращение пассажирских поездов, напрямую зависящие от применяемых схем их формирования. В связи с этим ФПД может выбирать схемы формирования составов так, чтобы повысить рентабельность предприятия при максимальном удовлетворении спроса на перевозки.

Схема формирования состава определяет, с одной стороны, комфорт, предоставляемый пассажирам, с другой, – вместимость поезда, а следовательно, доходы и расходы, связанные с пассажирскими перевозками. Поэтому целесообразно схемы формирования поездов устанавливать одновременно с определением их числа и назначений.

Основными факторами, влияющими на выбор схемы формирования, являются: дальность поездки пассажиров; величина пассажиропотока по направлениям; спрос на категорию мест; уровень технического оснащения пассажирских станций; про-пускная способность железнодорожных направлений и ресурс вагонов пассажирского парка.

В связи с этим необходимо разработать математическую модель выбора числа, назначений и схем составов пассажирских поездов при условии полного освоения пассажиропотока с моделированием распределения пассажиропотока по типам вагонов в целях извлечения максимально возможной прибыли от перевозок.

Рассмотрим расчетный полигон железных дорог, включающий станции возможного формирования и оборота пассажирских поездов дальнего сообщения, узловые станции, а также участки железнодорожных линий, ограниченные этими станциями.

Назначение пассажирского поезда определяется маршрутом его следования от начальной станции до станции назначения, а также схемой его формирования.

Пусть: x_j – число поездов j -го назначения в месяц максимальных перевозок,

Причем $x_j \geq 0$, $j = \overline{1, n}$.

Для освоения заданного пассажиропотока на каждом участке расчетного полигона число мест в поездах должно соответствовать потребности в перевозках. Поэтому условие освоения пассажиропотоков на i -м участке заключается в том, чтобы предоставить такое число мест в вагонах различных типов, которое превысило или было равно числу пассажиров, следующих на данном участке:

$$\sum_{j=1}^n \delta_{ij} \sum_{k=1}^q a_k x_{kj} \geq \Gamma_i, \\ i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где a_k – вместимость вагона k -го типа; x_{kj} – число вагонов k -го типа в составе поездов j -го назначения в расчетный период, причем $x_{kj} \geq 0$.

В свою очередь δ_{ij} – элементы матрицы инцидентий «назначение – участок»

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{если поезд } j\text{-го назначения} \\ & \text{следует по } i\text{-му участку;} \\ 0; & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При этом Γ_i – месячная густота пассажиропотока на i -ом участке расчетного полигона (число пассажиров, следующих на участке за месяц максимальных перевозок); m – число участков на расчетном полигоне; n – число назначений пассажирских поездов.

Количество вагонов в составе пассажирского поезда определяется на основе тяговых и технико-экономических расчетов. Поэтому общее число вагонов различных типов в поездах каждого назначения не должно превышать их максимального числа:

$$\sum_{k=1}^q x_{kj} \leq m_{\max} x_j, \quad k = \overline{1, q}, \quad (2)$$

где m_{\max} – максимальное число вагонов всех типов в составе поезда j -го назначения; q – количество типов пассажирских вагонов, используемых при освоении пассажиропотока на расчетном полигоне.

Для обеспечения максимального удовлетворения спроса на перевозку в вагонах различных типов, а также возможного перераспределения пассажиропотока в вагоны отличных от спроса типов введем ограничение:

$$\sum_{e=1}^q d_{ike} \leq \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_k x_{kj}, \quad (3)$$

где d_{ike} – количество пассажиров, следующих на i -м участке в вагонах k -го типа, желающих воспользоваться вагонами e -го типа.

Общее число пассажиров, следующих на каждом участке должно соответствовать спросу на места в вагонах соответствующего типа:

$$\sum_{k=1}^q d_{ike} = \Gamma_{ie}, \quad d_{ike} \geq 0 \quad (4)$$

где Γ_{ie} – число пассажиров, желающих следовать на i -м участке в вагонах e -го типа.

Очевидно, что суммарный спрос на места в вагонах разных типов должен быть равен общему спросу на перевозку по каждому участку расчетного полигона:

$$\sum_{e=1}^q \Gamma_{ie} = \Gamma_i$$

Парк пассажирских вагонов ФПД состоит из вагонов, арендованных у ОАО «РЖД». Несмотря на увеличение объемов приобретения пассажирского подвижного состава, организацию капитально-восстановительных ремонтов в соответствии с Программой ОАО «РЖД» по обновлению парка пассажирских вагонов, проблема дефицита подвижного состава остается, а особенно остро проявляется в период интенсивных перевозок пассажиров железнодорожным транспортом.

В связи с этим при расчете схем составов пассажирских поездов необходимо учитывать ресурс вагонного парка. Ограничения по ресурсу вагонного парка определяются по формулам:

$$\sum_{j=1}^n x_{kj} = R_k, \quad (5)$$

где R_k – ресурс парка пассажирских вагонов k -го типа.

Заданный объем пассажиропотока может быть освоен поездами различных назначений. При этом возникает ряд проблем, связанных с формированием поездов на станциях отправления и организацией их обработки на станциях оборота. Путевое развитие и техническое оснащение этих станций определяют количество поездов, которое может переработать станция:

$$\sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_j \leq N_t, \quad (6)$$

где N_t – перерабатывающая способность станции, количество пассажирских поездов, которое способна переработать t -я станция в

сутки; – элементы матрицы «инцидентности назначения – станция»:

В свою очередь

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{если поезд } j\text{-го назначения формирует} \\ & \text{или обрачивается на } t\text{-й станции,} \\ 0; & \text{в противном случае} \end{cases}$$

От числа и назначений пассажирских поездов, обращающихся на расчетном полигоне, а также схем их составов зависят не только доходы, определяемые выручкой от продажи билетов, но и расходы на организацию перевозок, поэтому целесообразно в качестве критерия использовать их разницу. Таким образом, задача заключается в следующем:

При ограничениях (1)– (6) требуется максимизировать функцию

$$\Delta = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q b_{ik} \sum_{e=1}^q d_{ike} - \sum_{i=1}^m c_j x_j - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q c_{kj} x_{kj} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где b_{ik} – стоимость места в вагоне k -го типа на i -м участке.; c_j – расходы, связанные с расчетом за пользование инфраструктурой, приходящиеся на один поезд j -го назначения; c_{kj} – стоимость введения в обращение одного вагона k -го типа в составе поезда j -го назначения.

В целевой функции (7) первое слагаемое – доход ФПД, поступающий от продажи билетов в пассажирские поезда различных назначений и в вагоны разных типов. На уровень дохода ФПД влияет не только спрос на места в вагоны разных типов, но и удобное время отправления пассажирского поезда с начальной станции и время прибытия на станцию назначения независимо от расположения пунктов формирования и оборота пассажирского поезда.

В качестве составляющих затрат на осуществление перевозочного процесса в модели приняты две статьи, зависящие от способа организации перевозки пассажиров в дальнем сообщении. Так, первая статья – расходы за пользование инфраструктурой ОАО РЖД, которые зависят только от выбранного маршрута следования и выражаются в стоимости выполненных поездо-километров ($\sum_{i=1}^m c_j x_j$).

Вторая статья – затраты на содержание и эксплуатацию подвижного состава

$$\left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q c_{kj} x_{kj} \right).$$

Рассмотрим поставленную задачу расчета числа, назначений и схем составов пассажирских поездов при условии получения максимальной прибыли на примере.

Расчетное направление (частный случай полигона) включает четыре станции возможного формирования и оборота пассажирских поездов (рис.1). Пассажиропотоки осваиваются поездами шести назначений, схемы составов которых неизвестны. К расчету принимаются три типа вагонов в составе пассажирских поездов – люкс, купейные и плацкартные. На рис.1 указаны число поездов за расчетный период каждого назначения – x_j и число вагонов каждого типа в составе поездов этих назначений – x_{kj} . Перерабатывающая способность станций составит: по 2-й станции расчетного полигона 12 поездов, по 3-й станции – 15 и по 4-й станции – 18 поездов за расчетный период. Дополнительные исходные данные – стоимость проезда на участках расчетного направления b_{ik} , густота пассажиропотока на участке, сегментированная по типам вагонов Γ_{ik} , вместимость вагонов каждого типа a_{ik} , ресурс вагонного парка R_k , оценка затрат на вагоны C_{kj} и поезда C_j представлены в табл. 1 – 3.

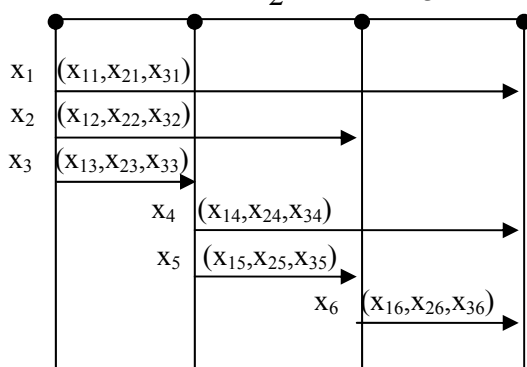


Рис.1 Расчетное направление

$$\begin{cases} 52(x_{11} + x_{12} + x_{13}) + 36(x_{21} + x_{22} + x_{23}) + 18(x_{31} + x_{32} + x_{33}) \geq 13000, \\ 52(x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15}) + 36(x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{25}) + 18(x_{31} + x_{32} + x_{34} + x_{35}) \geq 21000, \\ 52(x_{11} + x_{14} + x_{16}) + 36(x_{21} + x_{24} + x_{26}) + 18(x_{31} + x_{34} + x_{36}) \geq 14000. \end{cases}$$

Ограничения по максимальному числу вагонов в составах пассажирских поездов (2) можно выразить неравенствами:

Таблица 1.

Стоимость проезда на участках расчетного направления.

номер участка	тип вагона		
	плацкартный	купейный	Люкс
	1	2	3
1	500	300	800
2	800	600	1000
3	1600	1200	1800

Таблица 2.

Густота пассажиропотока за расчетный период, вместимость и ресурс вагонов по типам.

тип вагона		густота пассажиропотока, тыс.чел.			Вместимость вагона	ресурс вагонов
		номер участка				
		1	2	3		
1	плацкартный	10	15	8	52	350
2	купейный	2	4	5	36	250
3	люкс	1	2	1	18	50

Таблица 3.

Оценка затрат на вагоны и поезда

Тип вагона		поездное назначение					
		1	2	3	4	5	6
1	плацкартный	700	500	30	600	200	400
2	купейный	750	550	320	650	250	450
3	люкс	800	600	350	700	275	470
-	-	6,5	5	2	4	3	2

Условия освоения пассажиропотока на каждом участке расчетного направления (1) будут иметь вид:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} \leq 16x_1, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} \leq 16x_2, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} \leq 16x_3, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} \leq 16x_4, \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} \leq 16x_5, \\ x_{16} + x_{26} + x_{36} \leq 16x_6. \end{cases}$$

Ограничения (3) и (4) по распределению пассажиропотоков по типам вагонов примут следующий вид:

Для вагонов 1-й категории

$$\begin{cases} d_{111} + d_{112} \leq 52(x_{11} + x_{12} + x_{13}), \\ d_{121} + d_{122} + d_{123} \leq 36(x_{21} + x_{22} + x_{23}), \\ d_{132} + d_{133} \leq 18(x_{31} + x_{32} + x_{33}). \end{cases}$$

Для вагонов 2-й категории

$$\begin{cases} d_{211} + d_{212} \leq 52(x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15}), \\ d_{221} + d_{222} + d_{223} \leq 36(x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{25}), \\ d_{232} + d_{233} \leq 18(x_{31} + x_{32} + x_{34} + x_{35}). \end{cases}$$

Для вагонов 3-й категории

$$\begin{cases} d_{311} + d_{312} \leq 52(x_{11} + x_{14} + x_{16}), \\ d_{321} + d_{322} + d_{323} \leq 36(x_{21} + x_{24} + x_{26}), \\ d_{332} + d_{333} \leq 18(x_{31} + x_{34} + x_{36}). \end{cases}$$

Ограничения по спросу на места в вагонах разных типов (4) примут вид:

Для пассажиров, желающих следовать в плацкартных вагонах

$$\begin{cases} d_{111} + d_{121} = \Gamma_{11} = 10000, \\ d_{112} + d_{122} + d_{132} = \Gamma_{12} = 2000, \\ d_{123} + d_{133} = \Gamma_{13} = 1000. \end{cases}$$

Для пассажиров, желающих следовать в купейных вагонах

$$\begin{cases} d_{211} + d_{221} = \Gamma_{21} = 15000, \\ d_{212} + d_{222} + d_{232} = \Gamma_{22} = 4000, \\ d_{223} + d_{233} = \Gamma_{23} = 2000. \end{cases}$$

Для пассажиров, желающих следовать в вагонах люкс

$$\begin{cases} d_{311} + d_{321} = \Gamma_{31} = 8000, \\ d_{312} + d_{322} + d_{332} = \Gamma_{32} = 5000, \\ d_{323} + d_{333} = \Gamma_{33} = 1000. \end{cases}$$

Ограничения по ресурсу вагонного парка (5) выражаются неравенствами:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} \leq 350, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} \leq 250, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} \leq 50. \end{cases}$$

Ограничения (6) по перерабатывающей способности станций:

$$\begin{cases} x_3 \leq 12, \\ x_2 + x_5 \leq 15, \\ x_1 + x_4 + x_6 \leq 18. \end{cases}$$

Целевая функция (7) в данном примере примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta = & 500(d_{111} + d_{112}) + 300(d_{121} + d_{122} + d_{123}) + 800(d_{132} + d_{133}) + \\ & + 800(d_{211} + d_{212}) + 600(d_{221} + d_{222} + d_{223}) + 1000(d_{232} + d_{233}) + \\ & + 1600(d_{311} + d_{312}) + 1200(d_{321} + d_{322} + d_{323}) + 1800(d_{332} + d_{333}) - \\ & - 6500x_1 - 5000x_2 - 2000x_3 - 4000x_4 - 3000x_5 - 4000x_6 - \\ & - 700x_{11} - 750x_{21} - 800x_{31} - 500x_{12} - 550x_{22} - 600x_{32} - \\ & - 300x_{13} - 320x_{23} - 350x_{33} - 600x_{14} - 650x_{24} - 700x_{34} - \\ & - 200x_{15} - 250x_{25} - 275x_{35} - 400x_{16} - 450x_{26} - 470x_{36}. \end{aligned}$$

Учитывая о большую размерность задачи линейного программирования, расчеты выполнены с использованием пакета программ LP-16, результаты которых представлены в табл. 4 и 5, при этом значение целевой функции составит:

$$\Delta = 42934910 \text{ руб.}$$

Таблица 4.

Результаты расчета числа вагонов и поездов

-	тип вагона		поездное назначение					
			1	2	3	4	5	6
число вагонов	1	плацкартный	232	0	0	18	115	0
	2	купейный	3	0	0	0	28	0
	3	люкс	50	0	0	0	0	0
число поездов	-	-	18	0	0	2	9	0

Таблица 5.

Распределение пассажиропотока по вагонам разных типов

тип вагона		номер участка			
		1	2	3	
1	плацкартный	1	10 000	2000	8 000
		2	0	0	100
		3	0	0	900
2	купейный	1	15000	4000	0
		2	0	0	1100
		3	0	0	900
3	люкс	1	8000	5000	0

	2	купей- ный	0	0	100
	3	люкс	0	0	900

В табл. 4 приведено оптимальное число, назначения и композиции составов пассажирских поездов на заданном направлении. Результаты расчетов показывают, что весь пассажиропоток при получении максимальной прибыли может быть освоен поездами трех назначений.

Общее число вагонов в составе пассажирских поездов некоторых назначений ниже нормы. Это обусловлено величиной пассажиропотока на расчетном направлении.

Результаты, представленные в табл. 5, отражают степень удовлетворения спроса на перевозку пассажиров в вагонах разных типов и позволяют сделать вывод о потребности в парке этих вагонов.

METHODS FOR CALCULATING OF THE TRAIN NUMBERS, DESTINATIONS AND TRAIN SETS WITH THE MAXIMIZING THE TRAVELLING COMPANY'S PROFIT

Y. O. Pazoyskiy., O.N. Panova
pk_miit@mail.ru

Prof. Y. O. Pazoyskiy, DSc, Assoc. Prof. O.N. Panova, PhD
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) , Moscow
RUSSIA

Abstract: *The paper presents the importance of the marketing surveys for the improvement of operational technology, the efficiency of using passenger rolling stock and the quality of passenger trains management as a whole. Related to that, a mathematical model of calculating the train numbers, destinations and train sets has been developed.*

Key words: *Marketing surveys, railway transport, passenger transport.*