УДК 656.135

JEL O3

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-5-123-131

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

© *М.Р. Караева, Н.В. Напхоненко* 2019

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский политехнический институт) имени М.И.Платова
г. Новочеркасск, Россия*

Выполнен анализ проблем развития транспорта, организации и управления городскими пассажирскими перевозками в условиях постоянно меняющихся пассажиропотоков. Обоснована целесообразность применения логистического подхода при решении транспортных задач, позволяющего установить связи между пассажирообразующими пунктами и участниками процесса предоставления услуг. Выявлена актуальность разработки новых математических моделей и методов, учитывающих причинно-следственные связи между входными и полученными параметрами. Показаны преимущества и перспективы применения метаэвристических методов генетических алгоритмов при решении задач большой размерности, характерных для динамически меняющихся транспортных потоков и работы пассажирского транспорта.

Ключевые слова: *городские пассажирские перевозки; логистические модели; пассажиропотоки; методы оптимизации; метаэвристические методы; генетический алгоритм; хромосома; ген; популяция.*

METHODS OF FORMATION OF MODELS OF THE ORGANIZATION OF PASSENGER TRANSPORTATIONS

© *M.R. Karaeva, N.V. Napkhonenko* 2019

*Platov South-Russian State Polytechnic University
(Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia*

The analysis of transport development problems, the organization and management of city passenger traffic in the conditions of constantly changing passenger traffics is made. The expediency of application of the logistic approach at the solution of transport tasks allowing to establish connection between passenger created points and participants of services provision process is proved. The relevance of development of the new mathematical models and methods considering relationships of cause and effect between the entrance and received parameters is revealed. Advantages and the prospects of genetic algorithms metaheuristic methods application s are shown at the solution of the problems of dynamically changing traffic flows and passenger transport work big dimension characteristic.

Key words: *city passenger perevozok; logistic models; passenger traffics; optimization methods; metaheuristic methods; genetic algorithm; chromosome; gene; population.*

В стратегических программах развития транспортных систем любого города особое внимание уделяется управлению транспортными потоками, повышению пропускной способности улично-дорожной сети и обеспечению безопасности движения. При этом городской пассажирский транспорт (ГПТ) всегда является одной из главных составляющих транспортной инфраструктуры и оказывает существенное влияние на социальную стабильность [1]. Как известно, основным видом ГПТ является автобусный транспорт, который способен в наибольшей степени обеспечить необходимую мобильность граждан, и поэтому совершенствование организации его работы имеет приоритетное значение.

Принципиальные положения по управлению пассажирским транспортом и совершенствованию его функционирования с применением логистических технологий рассматривались многими авторами [3, 4, 5, 7]. Теоретические основы организационно-экономической деятельности пассажирских автотранспортных предприятий (АТП), касающиеся обеспечения бесперебойного и безопасного движения автобусов по всем маршрутам, исследованы в работах отечественных и зарубежных специалистов [1, 4, 6].

Известно, что транспортные услуги по перевозке пассажиров имеют ряд особенностей, при этом на них воздействует множество различных и часто неуправляемых факторов, которые необходимо учитывать при построении логистических моделей организации и управления пассажирскими потоками [10]. При этом необходимо объединить разрозненные элементы перевозочного процесса в единую систему, способную предоставлять качественные услуги населению при минимальных затратах. Основой логистического подхода применительно к пассажирскому транспорту является выявление кратчайших связей между основными пассажирообразующими пунктами, учет объемов пассажиропотоков и требований комфортного проезда при выборе типа и расчете потребного количества транспортных средств [7].

Из обширного анализа публикаций [1, 5, 8, 9] и накопленного опыта работы передовых пассажирских автотранспортных предприятий можно сделать вывод о том, что до настоящего времени остается недостаточно изученной проблема совершенствования логистического обслуживания общественного пассажирского транспорта с учетом специфики технико-эксплуатационных и экономических показателей АТП всех форм собственности. Следует подчеркнуть, что особое внимание при решении задач управления городскими пассажирскими перевозками должно уделяться вопросам снижения затрат времени пассажиров на транспортное обслуживание, а следовательно, соблюдения графика движения автобусов на

маршрутах. Несмотря на возрастающий объем исследований по данной тематике, проблемы контроля и управления пассажирским транспортом в городах, особенно в мегаполисах, недостаточно освещены в научной литературе; кроме того, в них практически не рассматриваются вопросы формирования потоков пассажиров на остановочных пунктах и способы воздействия пассажирских предприятий на потери от непредоставленных во время услуг [2, 7, 9].

Целью настоящего исследования является построение логистической модели работы пассажирского транспорта и городской инфраструктуры, позволяющей установить функциональные связи между основными пассажирообразующими пунктами. Необходимым условием реализации модели является оборудование этих пунктов соответствующими сооружениями для учета объемов пассажиропотоков и требование комфортного проезда при расчете необходимого количества и выборе подвижного состава.

На основе изучения проблем функционирования подвижного состава выделены основные этапы построения модели управления перевозками в условиях нестабильных пассажиропотоков:

- выбор критерия оценки работы АТП;
- построение логистической модели городских пассажирских перевозок;
- выбор математических методов для решения поставленных задач;
- формирование исходных данных оптимизационной задачи;
- конструирование алгоритмов управления;
- расчет модели;
- апробирование модели и анализ результатов;
- корректировка входящих параметров и выбор варианта оптимального функционирования системы.

На основе проведенного анализа сделан вывод о необходимости создания на АТП эффективной функциональной системы, которая требует определенного материального, технологического, финансового и информационного обеспечения [1]. При этом должны учитываться интересы каждого участника системы пассажирских перевозок, а они зачастую являются противоречивыми. Например, сокращение времени ожидания пассажиров очевидным образом связано с увеличением количества подвижного состава на маршруте, а следовательно, со снижением его загруженности и экономической выгоды от использования [4, 11]. Но стремление увеличить прибыль транспортными организациями может привести к отказу населения от услуг перевозчика и появлению конкурирующих организаций.

Разработка специализированных моделей городских пассажирских перевозок даже на отдельных маршрутах представляет собой сложный процесс, в связи с чем практическое применение имеют такие из них, которые позволяют ответить на вопрос, какими будут характеристики работы

моделируемой системы, если исходные параметры, которые их формируют, приобретут плановые значения. В существующих моделях такие описания выполняются на производственно-технологическом уровне в укрупненных показателях [4, 7, 11]. Этим объясняется необходимость разработки моделей более высокого класса, которые не только описывают процесс перевозки и отдельные этапы его организации, но и отражают причинно-следственную связь между характеристиками процесса и выходными параметрами.

Выбор численного метода решения задачи оптимизации управления предполагает реализацию следующих этапов:

- выбор метода решения дифференциальных уравнений, и/или интегрирования функций;
- обоснование метода решения систем нелинейных алгебраических уравнений и задачи оптимизации;
- составление имитационной или математической модели.

Применение дифференциальных уравнений требует для всех численных методов оптимального управления. В косвенном подходе численные решения дифференциальных уравнений сочетаются с методами нелинейных уравнений, а в прямом – с методами решения нелинейных задач оптимизации.

Алгоритмы, предлагаемые [3, 5, 6] для решения масштабных задач динамического распределения ресурсов на транспорте, являются переформулированием динамических уравнений программирования в терминах «состояния после-решения». Они предполагают постановку аппроксимаций и алгоритмов исполнения, которые соответствуют архитектуре приближения к целевой функции – минимизации издержек на перевозку.

Два класса архитектур аппроксимаций были успешно использованы для решения различных задач транспортной логистики:

- линейные архитектуры:

$$\bar{V}^x R_t, v_t = \sum_{a \in A} v_{ta}; \quad (1)$$

- вогнутые (нелинейные) архитектуры;

$$\bar{V}^x R_t, v_t = \sum_{a \in A} \sum_{i=1}^{|R_{ta}|} v_{tai} + R_{ta} - |R_{ta}| v_{taR_{ta}}. \quad (2)$$

Исходя из этого, линейные приближения обеспечивают преимущества по отношению к алгоритмам вычисления соответствующих параметров v_t . Линейные приближения, как правило, следует использовать на начальном этапе реализации сложных стратегий, но иногда они могут «плохо» работать. В таких случаях необходимо перейти к более сложной архитектуре и алгоритмам аппроксимации [6].

Для решения задач транспорта и логистики наиболее распространенным является моделирование и алгоритмизация стратегии формулирования детерминированной задачи с последующим использованием классиче-

ского алгоритма математического программирования. Детерминированные задачи отличаются большими затратами времени на разработку линейных целочисленных моделей, которые могут быть эффективно решены. Кроме того, они полностью игнорируют неопределенность и сложную динамику, которые возникают в реальных условиях.

Наиболее распространенным подходом к решению проблемы моделирования распределения ресурсов на практике является постановка детерминированной задачи и применение математических алгоритмов программирования, разработанных для выделенного параметра.

Динамические задачи распределения ресурсов, как правило, приводят к высокой размерности стохастического динамического программирования. Существуют алгоритмы аппроксимации, которые успешно применялись в приложениях для транспорта и логистики [6]. Они построены на нескольких ключевых идеях, которые решают проблемы размерности. Среди этих идей: переформулирование классических задач динамического программирования вокруг переменной рекурсии, в состоянии принятия «после-решения»; моделирование на основе методов стохастической аппроксимации и непрерывных приближений архитектур функциональных форм, которые облегчают программные решения для оптимизации решения подзадач [6].

Анализ методов решения задач управления городским пассажирским транспортом показал, что наиболее перспективными являются метаэвристические методы, а точнее – генетические алгоритмы (ГА) [5, 6]. Главной особенностью, которых является возможность при оптимизации, во-первых, использовать целевую функцию, а не её оценки или приближения, а во-вторых, учитывать необходимое количество ограничений и неограниченное количество параметров системы.

Применение генетического алгоритма позволяет получить множество возможных вариаций решений удовлетворяющих целевой функции и ограничениям модели.

Оптимизация процесса освоения динамически меняющихся пассажиропотоков требует использования данного метода, адаптированного к условиям поставленной задачи. При этом рассмотрение понятий хромосомы, гена, популяции и операторов случайных изменений предполагает конструирование алгоритма [6].

Закодированный вариант решения задачи представляет собой хромосому и состоит из элементов решения – генов. Множество таких вариантов решения составляет популяцию. Для конструирования хромосом существуют различные подходы, однако наиболее эффективными являются следующие [3, 4, 5, 6].

Первый – используется, когда решение имеет вид совокупности элементов, принимающих значения в непрерывной области. В таком случае каждому элементу ставится в соответствие ген, представляющий его в

двоичном виде. В целях уменьшения длины гена решение может быть закодировано.

Второй подход целесообразно применять в случае дискретного решения, для которого пространство состояний можно описать в двоичном виде [6]. Тогда длина хромосомы соответствует размерности пространства состояний системы в двоичном виде.

Выявлено, что для решения рассматриваемой задачи целесообразно использовать второй подход, а, следовательно, необходимо выполнить конструирование генов для каждой, введенной в модель булевой переменной (x_{ij} , y_j , z_j , ...). Эти гены, согласно принятому подходу, должны иметь размерность соответствующих переменных. В этом случае использование такого подхода приведет к получению большого количества отброшенных решений, полученных в результате выполнения операторов случайных изменений, поскольку существуют ограничения на количество «единиц» в одном гене. Так, в соответствии с этими ограничениями ген $\alpha_{i,j}$ может содержать одну единицу в какой-либо j -й позиции (0001000).

Хромосома A состоит из $(m+2)$ гена:

$$A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_j, \dots, \alpha_m, \beta, \gamma, \quad (3)$$

где гены α_i представляют собой векторы, определяющие временные интервалы между остановочными пунктами, $\alpha_i = \text{bin } j^i$, здесь j^i – условный номер временных интервалов прохождения маршрута, $x_{ij} = 1$. Функция bin осуществляет преобразование аргумента в двоичную форму. Таким образом, ген α_i имеет вид $\alpha_i = \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{iq}, \dots, \alpha_{iq}$, $i = \overline{1, k}$, где q – количество бит, необходимое для двоичного представления числа n временных интервалов: $q = \log_2 n$, округление дробной части производится до ближайшего большего целого.

Ген β определяет $\beta = z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n$; ген $\alpha = \alpha^1, \alpha^2$ несет информацию о количестве рейсов; ген $\beta^v = \beta_1^{v,N}, \beta_2^{v,N}, \dots, \beta_{14}^{v,N}$ несет информацию о начале движения v -го автобуса в минутах за N -й рейс $v = \overline{1, z}$, где z – количество подвижного состава на линии за время в наряде; в гене $\delta^v = \delta_1^{v,N}, \delta_u^{v,N}, \dots, \delta_h^{v,N}$ закодировано время начала движения v -го автобуса в минутах за N -й рейс, $v = \overline{1, z}$.

Гены

$$\gamma_{1,2}^{v,N} = {}^l \gamma_{1,2,1}^{v,N}, {}^l \gamma_{1,2,2}^{v,N}, {}^l \gamma_{1,2,3}^{v,N}, \dots, \quad (4)$$

$$\gamma_{j,i+1}^{v,N} = {}^l \gamma_{j,i+1,1}^{v,N}, {}^l \gamma_{j,i+1,2}^{v,N}, {}^l \gamma_{j,i+1,3}^{v,N}, \dots, \quad (5)$$

$$\gamma_{k-1,k}^{v,N} = \gamma_{k-1,k,1}^{v,N}, \gamma_{k-1,k,2}^{v,N}, \gamma_{k-1,k,3}^{v,N} \quad (6)$$

выступают как векторы временных интервалов прохождения отдельных перегонов на маршруте v -м автобусом N -го рейса, где $i = \overline{1, k}$.

Ген $\mu^v = \mu_1^{v,N}, \mu_2^{v,N}, \dots, \mu_i^{v,N}, \dots, \mu_k^{v,N}$ задает место начала движения v -го автобуса, $v = \overline{1, z}$.

Сравнение хромосом осуществляется следующим образом: из анализируемой популяции $P = A_1, \dots, A_t, \dots, A_z$ лучшей считается хромосома A_i с наименьшей величиной нарушения ограничений $\Delta(A_i)$, а среди хромосом с равным нарушением ограничений выбирается хромосома с наибольшим значением целевой функции $F(A_i)$.

Для определения величины нарушения ограничений $\Delta(A_i)$ вводятся следующие переменные:

$$\begin{aligned} d_1 &= \left(\max \left(0, \left(z_j y_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} - P^{hub,j} \right) \right) \right)^2; \\ d_2 &= \sum_{i=1}^m \left(\max \left(0, \left(\bar{y}_j z_j \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} - P^{sw} \right) \right) \right)^2; \\ d_3 &= \sum_{i=1}^m \left(\max \left(0, \bar{y}_j z_j \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} \right) - P_{mag}^{sw} \right) \right)^2; \\ d_4 &= \bar{\eta} \sum_{i=1}^m \left(0, z_j \max_j \left(y_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} + \bar{y}_j \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m x_{ij} \lambda_{ik} \right) - P_{mag}^{sw} \right) \right)^2; \\ d_5 &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \max \left(0, l_{ij} z_j - L^{\max} \right)^2; \quad d_6 = \sum_{j=1}^m \max \left(0, b_{\mu j} z_j - L^{\max} \right)^2; \\ d_7 &= \left(\max \left(0, \sum_{j=1}^n \gamma_j - n \right) \right)^2; \quad d_8 = \max \left(0, \mu - n \right)^2, \end{aligned}$$

где все гены принадлежат хромосоме A_i .

Величина нарушения ограничений равна сумме введенных переменных: $\Delta A_i = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8$.

Таким образом, может быть получена структура хромосомы, которая представляет собой закодированный вариант движения автобуса в реальном времени в зависимости от дорожной ситуации. Структура сформированной хромосомы позволяет без потери точности работать с уменьшен-

ным пространством состояний по сравнению с исходной моделью оптимизации, а также упрощает вид некоторых ограничений.

Реализация данного алгоритма позволяет:

- определить оптимальное количество подвижного состава на линии за время работы маршрута;
- установить необходимое количество подвижного состава на линии в «часы пик»;
- составить оптимальное расписание для каждого автобуса за время в наряде;
- оценить дорожную ситуацию в данный момент времени;
- корректировать график движения подвижного состава в зависимости от дорожной ситуации;
- задавать скорость движения на перегонах маршрута;
- принимать эффективные решения при «форс-мажорных» обстоятельствах;
- определить причины сбоя графика движения.

Предложенные методы построения логистических моделей управления пассажирскими перевозками апробированы при совершенствовании работы подвижного состава ОАО АТП-3 «Транссервис» г. Ростова-на-Дону. Экономическая эффективность за время внедрения системы составила 10,83%, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения на практике разработанного алгоритма.

В развитии предложенной методики построения логистических моделей управления пассажирскими перевозками видится перспективным использование рангового анализа (ценологического подхода), сущность и принципы которого выступают как новое направление, обещающее высокие практические результаты.

Литература

1. Караева М.Р. Managing Dynamically Changing Traffic Flows / М.Р. Караева, Н.В. Напхоненко, В. Перевознюк // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Is. 4.3. – P. 222-227.
2. Караева М.Р. Применение математического инструментария для решения задач организации и управления городскими пассажирскими перевозками / М.Р. Караева // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2015. – № 1 (49). – С. 31-36.
3. Караева М.Р., Напхоненко Н.В. Оптимизация организации и управления системой пассажирских перевозок транспортным предприятием / М.Р. Караева, Н.В. Напхоненко // Вестн. ЮРГТУ (НПИ). Сер. Соц.-экон. науки. – 2015. – № 2. – С. 29-31.
4. Курейчик В.В., Курейчик В.М. Об управлении на основе генетического поиска // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 10.
5. Напхоненко Н.В. Agricultural Cargo Transportation Logistics System Development / Н.В. Напхоненко, Д.М. Загирняк, М.Р. Караева // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Is. 4.3. – P. 185-190.
6. Напхоненко Н.В. К вопросу расчета экономии затрат времени населением при поезд-

- ках на городском пассажирском транспорте / Напхоненко Н.В. // Изв. Тульского гос. ун-та. Сер. Автомобильный транспорт. – 2000. – Вып. 4. – С. 13-14.
7. Ставничий Ю.А. Транспортные системы городов / Ю.А. Ставничий. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
 8. Andreas Fink, Franz Rothlauf. Advances in Computational Intelligence in Transport, Logistics, and Supply Chain Management (Studies in Computational Intelligence Volume 144- Springer). – 2008. – С. 131.
 9. Zhankaziev S.V. Efficiency of operation and functioning of the system of an indirect transport flow regulation and control / [et al] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12, Is. 13. – P. 3645-3652.
 10. Gwynne Richards, Susan Grinstead. The Logistics and Supply Chain Toolkit: Over 90 Tools for Transport, Warehousing and Inventory Management. 2013. 313 P.
 11. Hans-Otto Gtinter, Kap Hwan Kim. Container Terminals and Automated Transport Systems: Logistics Control Issues and Quantitative Decision Support. Springer 2010. – 359 p.
 12. Issa Baluch and Charles H.W. Edwards. Transport Logistics: The Wheel of Commerce. 2010.

Поступила в редакцию

15.08.2019

Кареева Марина Руслановна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Международные логистические системы и комплексы», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск, Россия.

Karaeva Marina R. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor in Department of « International logistics systems and complexes», South-Russian state Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Напхоненко Наталья Васильевна – кандидат экономических наук, профессор кафедры «Производственный и инновационный менеджмент», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск, Россия.

Napkhonenko Natalia V. – Candidate of Economic Sciences, Professor in the Department of «Production and Innovation Management», South-Russian state Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132, str. Prosveshcheniya, Novocherkassk, 346428, Russia
e-mail: mari.karaeva@gmail.com
e-mail: econ_avto@list.ru