

Научная статья
УДК 656.025
DOI: 10.17213/2075-2067-2022-5-147-158

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ

Марина Руслановна Караева^{1✉}, Наталья Васильевна Напхоненко²,
Ирина Юрьевна Солодовченко³

^{1,3}Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Россия

¹mari.karaeva@gmail.com✉, ORCID: 0000-0002-0645-3997,

AuthorID Scopus: 57203878647, WoS Research ID: AAY-8843-2020

²naphonenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8809-136X,

AuthorID Scopus: 57203879557, WoS Research ID: AAE-3174-2021

³irina863-timur@mail.ru

Аннотация. *Цель работы.* На современном этапе развития транспортной инфраструктуры система обслуживания населения городских агломераций нуждается в разработке эффективного комплекса мероприятий по совершенствованию процесса организации пассажирских перевозок. При этом повышение качества обслуживания пассажиров необходимо рассматривать с учетом мобильности населения и информационной доступности услуг. Целью исследования является обоснование выбора метода создания модели организации пассажирских перевозок в городских агломерациях, позволяющей учитывать максимальное количество характеристик транспортной инфраструктуры, и на его основе разработать алгоритм принятия решений, обеспечивающих повышение качества обслуживания пассажиров и транспортной подвижности населения.

Методология исследования. В статье представлены результаты использования метода генетических алгоритмов применительно к пассажирским перевозкам.

Результаты исследования. Исследование на основе метаэвристических методов позволило разработать алгоритм принятия решений с целью оптимизации функционирования системы пассажирского транспорта в масштабах агломераций, что за счет принятия рациональных решений обеспечит повышение качества транспортных услуг по перевозке пассажиров, сокращение затрат времени пассажиров на ожидание автобуса и на транспортное обслуживание.

Перспективы исследования. Специфика данного подхода позволяет расширить постановку задачи и учесть дополнительные факторы, влияющие на осуществление процесса организации транспортного обслуживания населения в агломерациях.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, услуги пассажирского транспорта, метаэвристические методы, генетический алгоритм

Для цитирования: Караева М.К., Напхоненко Н.В., Солодовченко И.Ю. Построение модели организации пассажирских перевозок в городских агломерациях // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. 2022. Т. 15, № 5. С. 147–158. <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2022-5-147-158>.

Original article

MODEL BUILDING FOR THE ORGANIZATION OF PASSENGER TRANSPORT IN URBAN AGGLOMERATIONS

Marina R. Karayeva^{1✉}, *Natalia V. Napkhonenko*², *Irina Yu. Solodovchenko*³

^{1,3}*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

²*Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

¹*mari.karaeva@gmail.com*✉, *ORCID: 0000-0002-0645-3997*,

AuthorID Scopus: 57203878647, WoS Research ID: AAY-8843-2020

²*naphonenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8809-136X*,

AuthorID Scopus: 57203879557, WoS Research ID: AAE-3174-2021

³*irina863-timur@mail.ru*

Abstract. *The purpose of the study.* There is a significant problem in the development of the transport system serving the population of large cities, which needs to develop important measures to improve the process of organizing passenger transportation. At the same time, improving the quality of passenger service is necessary, taking into account the mobility of the population and the availability of services. The aim of the study is to substantiate the choice of a method for creating a model for organizing passenger transportation in urban agglomerations, which allows taking into account the maximum number of indicators of transport infrastructure, and on its basis to develop a decision-making algorithm that improves the quality of passenger service and transport mobility of the population.

The methodological basis. The article presents the results of using the method of genetic algorithms in relation to passenger transportation.

Research results. The study made it possible, using metaheuristic methods, to develop a decision-making algorithm for the optimal functioning of the passenger transport system within the agglomerations, which will improve the quality of transport services for the transportation of passengers by making rational decisions, reduce the time spent by passengers on waiting for a bus and on transport services.

The prospect of the study. The promise of this approach allows us to expand the formulation of the problem and take into account additional factors that affect the implementation of the process of organizing transport services for the population in agglomerations.

Keywords: passenger transport, passenger transport services, metaheuristic methods, genetic algorithm

For citation: Karaeva M. R., Naphonenko N. V., Solodovchenko I. Yu. Building a model for the organization of passenger transportation in urban agglomerations // Bulletin of the South Russian State Technical University. Series: Socio-economic Sciences. 2022; 15(5): 147–158. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2022-5-147-158>.

Введение. Общественный пассажирский транспорт выполняет важную социально-экономическую функцию в развитии городов и регионов. От его качественной и стабильной работы зависит транспортная подвижность населения и полноценное развитие экономики городов, районов и городских аг-

ломераций. Особо следует подчеркнуть, что устойчивое функционирование пассажирского транспорта является одним из показателей качества жизни населения.

Непременным условием решения задачи совершенствования организации транспортного обслуживания в городских агломера-

циях являются требования снижения затрат времени пассажиров на транспортное передвижение и строгого соблюдения расписаний движения транспорта.

Исходя из этого, возникает необходимость построения транспортных моделей, позволяющих учесть особенности формирования пассажиропотоков в районах городских агломераций и организации работы общественного транспорта, с применением эффективных математических методов.

Методологическая и эмпирическая база исследования. Ряд ученых придерживается мнения, что разработку рациональной системы организации предоставления транспортных услуг населению необходимо проводить с учетом множества факторов и показателей, их характеризующих [18; 3; 8], в то время как само качество предоставления услуг зависит от качества:

- маршрутной сети, предоставляющей доступ во все районы городской агломерации;
- планирования и управления маршрутной сетью;
- транспортных средств, участвующих в предоставлении услуг;
- организации работы подвижного состава на линии;
- организации применяемой технологии транспортного сервиса;
- мониторинга и контроля работы подвижного состава на маршрутах;
- формирования информационных потоков, сопровождающих предоставление услуг, и их актуальности.

Известны исследования, направленные на решение вопросов повышения качества работы пассажирского транспорта в современных городских агломерациях с применением информационной составляющей, к ним относятся работы В.В. Зырянова, Л.Б. Миротина, А.М. Гаджинского, М.П. Улицкого, В.А. Гудкова, Г.А. Кононова, Ы.Э. Ташбаева. [18; 1; 4; 5]. Проблемам организации автомобильных перевозок и управления на транспорте посвящены работы Л.Л. Афанасьева, Г.Я. Волошина, В.А. Гудкова, В.Н. Парахиной, В.И. Сергее-

ва, И.В. Спирина, А.В. Шабанова, С.А. Ширяева, Х.Ю. Эльдарханова и др.

Наиболее перспективным в связи с недостаточной разработанностью представляется поиск путей применения современных информационных технологий, предполагающих внедрение в процесс управления интеллектуальных транспортных систем.

Однако, анализ доступных публикаций и накопленного практического опыта свидетельствует о том, что до настоящего времени единой отличительной особенностью при решении задач транспортного обслуживания является сведение общей задачи оптимизации к частной, учитывающей фиксированный набор показателей. Такое упрощение в ряде случаев не позволяет получить объективную картину с учетом множества взаимосвязей в развитии транспортной инфраструктуры. Этот класс представляют задачи оптимизации системы организации на транспорте, ставящие своей целью снижение затрат времени пассажиров на транспортное обслуживание и повышение качества их обслуживания¹ [11; 15; 7].

Целью данного исследования является обоснование метода создания модели организации пассажирских перевозок в городских агломерациях, позволяющей учитывать максимальное количество показателей транспортной инфраструктуры, и на их основе разработать алгоритм принятия решений, обеспечивающих повышение качества обслуживания пассажиров и транспортной подвижности населения.

Сложившаяся система организации перевозок, предполагает повышение плотности маршрутной сети и обеспечение регулярности движения транспорта, что не всегда решает проблему удовлетворения спроса на транспортные услуги. Кроме того, в некоторых ситуациях необходимо организовать работу транспорта таким образом, чтобы за короткий промежуток времени освоить массовые пассажиропотоки районов городских агломерации по всем направлениям и при этом обеспечить достаточно высокий уровень качества.

Известно, что разработка специальных моделей организации транспортного обслу-

¹ Официальный сайт Государственной службы статистики РФ [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/B16_5563/Main.htm (дата обращения: 26.04.2022).

живания населения даже для отдельных участков маршрутной сети представляет собой сложный процесс. В связи с этим практическое применение могут иметь модели, которые позволяют ответить на вопрос, какими будут параметры работы моделируемой системы, если формирующие их исходные показатели приобретают заданные значения. 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, изменяющимися во времени [10; 19].

При исследовании процесса транспортного обслуживания населения широкое распространение получили моделирование и алгоритмизация стратегии формулирования детерминированной задачи, а затем последующее решение полученной модели с использованием классических алгоритмов математического программирования [5; 8; 9]. Способы решения детерминированных проблем приводят к большим затратам времени на создание линейных целочисленных программ, которые могут быть эффективно решены. Такие модели полностью игнори-

руют неопределенность и ряд факторов динамических изменений, которые могут возникнуть в реальных условиях, но которыми можно пренебречь.

Наиболее распространенным подходом к моделированию распределения вычислительных ресурсов на практике является постановка задачи детерминированной проблемы и применение математических алгоритмов программирования, разработанных для определенных условий функционирования.

Этот подход дает эффективный результат при решении задач с тысячами дискретных ресурсов с десятками тысяч различных атрибутов (в сущности, вектор состояний с десятками тысяч размеров).

Кроме того, скорость сходимости функциональных значений приближений происходит достаточно быстро. Это важно, так как большие задачи могут потребовать значительных затрат времени на выполнение каждой итерации.

Из анализа разновидностей подходов к процессу оптимизации следует, что эвристический является наиболее перспективным по сравнению с прямым, косвенным и поисковым методами (табл. 1). Это объясняется разумным расходом вычислительной мощ-

Таблица 1
Table 1

Разновидности и свойства подходов оптимизации
Varieties and properties of optimization approaches

Подход к построению модели	Преимущества	Недостаток	Метод решения
Прямой	Используется для локальных и глобальных задач	Высокая вычислительная мощность, необходимы различные динамические ограничения и дискретное представление данных	Нелинейное программирование
Косвенный	Теоретически точнее, чем прямой метод	Не реализован из-за значительной вычислительной мощности	Нелинейное программирование
Поисковый	Низкая вычислительная мощность	Проблема локального минимума	Аналитический, геометрический
Эвристический	Возможность решения глобальных и локальных задач и их адаптация	Необходим набор опытов для совершенствования процесса	Искусственный интеллект

ности и преодолением проблемы локального минимума поисковых алгоритмов.

При этом для решения задач дискретной оптимизации, как правило, рассматривается лишь одна целевая функция с набором ограничений. Данный подход не позволяет учесть взаимное влияние элементов системы, что при практической реализации может привести к выработке неэффективных решений.

С целью достижения максимальной эффективности решения подобных задач возникает проблема выбора количества учитываемых при моделировании и оптимизации параметров и числа возможных состояний системы. Это связано с тем, что такая сложная система, как организация транспортных услуг в агломерациях, может быть описана с учетом сотен значимых параметров и состояний, а это в свою очередь диктует необходимость упрощения задачи, её декомпозицию и уменьшение числа учитываемых параметров [9; 12].

Модели оптимизации анализируемых систем, как правило, относятся к классу задач комбинаторной оптимизации, где решение может быть выбрано из конечного множества возможных вариантов. Однако большое количество ограничений и сложный вид целевой функции затрудняют решение задачи в комбинаторной постановке по причине «проклятия размерности».

Известны подходы к решению транспортных задач, когда в постановку задачи вводятся допущения в целях её упрощения, уменьшения размерности и сведения к известным задачам комбинаторной оптимизации либо решение задачи производится по этапам, и для каждого из них определяются частные подзадачи и частные целевые функции. Решение может быть получено на основе итерационного прохождения этапов и решения частных подзадач на каждой стадии. При таких подходах полученные решения являются приближенными, а сам процесс решения — достаточно трудоёмким.

В последние годы особую актуальность получило развитие метаэвристических методов [18; 4; 10]. Эти методы не являются законченными эвристиками, готовыми для практического применения, они представляют собой некий способ построения законченной эвристики для конкретной задачи.

Большинство этих методов основаны на наблюдениях. Их отличительная особенность заключается в способности преодоления точки локального оптимума для продолжения поиска, поэтому потенциально в сравнении с классическими эвристиками метаэвристические методы способны находить более качественные решения.

Исходя из этого, анализ подходов к решению транспортных задач показал, что наиболее перспективными являются метаэвристические методы, в частности генетические алгоритмы [18; 6; 11; 12; 16]. Этот выбор основан на том, что алгоритм обеспечивает возможность при оптимизации, во-первых, использовать целевую функцию, а не её оценки или приближения, а во-вторых, учитывать необходимое количество ограничений. В процессе работы генетический алгоритм обрабатывает множество альтернативных решений, организуя поиск перспективных вариантов с точки зрения используемого функционала и ограничений.

В качестве ограничений для создания модели организации транспортного обслуживания населения были выделены следующие:

1. Количество мест N^m :

$$N_z^m \leq N_z^{vm},$$

где N_z^{vm} — номинальная вместимость z -го автобуса.

2. Продолжительность работы маршрута M^r :

$$T_{\min}^r \leq M^r \leq T_{\max}^r;$$

$$T_{\min}^r \leq 6 \text{ ч.}, T_{\max}^r \leq 16 \text{ ч.}$$

3. Время в наряде T^n :

$$T_{\min}^n \leq T^n \leq T_{\max}^n;$$

$$T_{\min}^n \geq 8 \text{ ч.}, T_{\max}^n \leq 12 \text{ ч.}$$

4. Прохождение автобуса a_i через все последующие остановки маршрута, начиная с начальной

$$x_i, i = \overline{j, k},$$

где j — номер остановки начала движения.

5. Минимальное время пассажирообмена на остановочных пунктах t_k^α , мин:

$$t_k^\alpha \leq t_k^{os},$$

где t_k^{os} — время, отведенное для остановки по графику на k -той остановке.

6. Время движения автобуса

$$t_{i,j}^m > t_{i,j} > t_{i,j}^\alpha, \quad i = \overline{1, k-1}, \quad j = \overline{2, k}.$$

Время между остановками должно быть больше минимально разрешенного правилами дорожного движения и меньше максимально допустимого времени, обеспечивающего качество обслуживания.

7. Количество подвижного состава на линии A^m не должно превышать общего количества автобусов в парке: $A^m \leq A$.

8. Максимальное время ожидания на остановке $t_{max}^{ож}$.

Для решения рассматриваемой проблемы оптимизации организации транспортного обслуживания используем выбранный метод генетического алгоритма, адаптированный к условиям поставленной задачи. С этой целью необходимо рассмотреть понятие хромосомы, которая характеризует вариант решения и состоит из элементов — генов. Множество вариантов решения составляют популяцию [18; 13; 17; 7].

Для решения поставленной задачи и построения хромосомы в качестве входных параметров были использованы:

- время начала движения каждого автобуса на линии;
- условный номер остановки начала движения;
- количество совершаемых рейсов за время в наряде;
- количество подвижного состава на линии.

С учетом этих параметров предложенная хромосома A будет иметь вид:

$$A = (\alpha^1, \beta^1, \delta^1, \gamma_{1,2}^1, \gamma_{2,3}^1, \dots, \gamma_{i,j}^1, \dots, \gamma_{i-1,k}^1, \mu_i^1; \alpha^z, \beta^z, \delta^z, \gamma_{1,2}^z, \gamma_{2,3}^z, \dots, \gamma_{i,j}^z, \dots, \gamma_{i-1,k}^z, \mu_{k-1}^z) \alpha^v, \beta^v, \delta^v, \gamma_{1,2}^v, \gamma_{2,3}^v, \dots, \gamma_{i,j}^v, \dots, \gamma_{i-1,k}^v, \mu_j^v.$$

Ген $\alpha = (\alpha^1, \alpha^2)$ несет информацию о количестве рейсов.

Ген $\beta^v = (\beta_1^{v,N}, \beta_2^{v,N}, \dots, \beta_{14}^{v,N})$ определяет начало движения v -го автобуса в N -й рейс $v = 1, z$, где z — количество автобусов на маршруте за время в наряде.

Ген $\delta^v = (\delta_1^{v,N}, \dots, \delta_u^{v,N}, \dots, \delta_h^{v,N})$ определяет время отправления v -го автобуса в N -й рейс.

Гены

$$\begin{aligned} \gamma_{1,2}^{v,N} &= ({}^l \gamma_{1,2,1}^{v,N}, {}^l \gamma_{1,2,2}^{v,N}, {}^l \gamma_{1,2,3}^{v,N}), \dots, \\ \gamma_{j,i+1}^{v,N} &= ({}^l \gamma_{j,i+1,1}^{v,N}, {}^l \gamma_{j,i+1,2}^{v,N}, {}^l \gamma_{j,i+1,3}^{v,N}), \dots, \\ \gamma_{k-1,k}^{v,N} &= ({}^l \gamma_{k-1,k,1}^{v,N}, {}^l \gamma_{k-1,k,2}^{v,N}, {}^l \gamma_{k-1,k,3}^{v,N}) \end{aligned}$$

представляют собой векторы временных интервалов прохождения участков маршрута v -м автобусом N -го рейса, здесь $i = 1, k$.

Ген $\mu^v = (\mu_1^{v,N}, \mu_2^{v,N}, \dots, \mu_j^{v,N}, \dots, \mu_k^{v,N})$ задает место начала движения v -го автобуса $v = 1, z$, где z — количество автобусов на маршруте за время в наряде.

Сравнение хромосом осуществляется следующим образом: из анализируемой популяции $P = ({}^1A, \dots, {}^vA, \dots, {}^zA)$ лучшей считается хромосома с наименьшими нарушениями ограничений, а среди хромосом с равными нарушениями — выбирается хромосома с большим значением целевой функции $F({}^lA)$. Таким образом, получена структура хромосомы, которая представляет собой закодированный вариант движения автобуса по маршруту за время в наряде. Каждая хромосома характеризуется величиной нарушения ограничений и значением целевой функции.

Основной идеей генетических алгоритмов является организация «борьбы за существование» и «естественного отбора» среди этих решений [9; 11].

Исходя из этого, конструирование модифицированного генетического алгоритма включает два этапа.

На 1 этапе алгоритма происходит подготовка начальной популяции 0P . В качестве начальной популяции были выбраны пять групп хромосом с определенным набором генов:

$${}^0P = ({}^{q1}P, {}^{q2}P, {}^{q3}P, {}^{q4}P, {}^{q5}P),$$

где ${}^{q1}P$ — группа, в которую входят хромосомы, в которых интервал движения t^d между остановочными пунктами не должен быть меньше

$$t_{min} \leq t^d \leq t_{min} + \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{2} \right);$$

${}^{q2}P$ — интервал движения t^d между остановочными пунктами не должен превышать

$$t_{min} + \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{2} \right) \leq t^d \leq t_{max};$$

qP — интервал движения t^d между остановочными пунктами не должен превышать

$$t_{\min} \leq t^d \leq t_{\max};$$

qP — количество подвижного состава должно быть равно A_{\max} ;

qP — куда включены хромосомы, в которых начало движения автобуса осуществляется с определенных остановочных пунктов, начиная с первой и заканчивая $k — k^*$, где k^* — количество последних остановок, откуда старт запрещен.

На 2 этапе производится итеративное изменение популяции. Для этого выбираются хромосомы-родители, затем выполняется операция случайных изменений и в состав популяции включаются перспективные потомки на основе расчета целевой функции.

Шаг 2.1. Селекция — выбор родителей для операторов.

Для определения родительской хромосомы предлагается использовать один из вариантов стратегии формирования выбора родительских пар.

1. Аутбридинг. Стратегия основана на скрещивании родителей, имеющих дальнее родство. Под «родством» двух особей в данном случае понимается хэммингово расстояние между их хромосомными наборами. Эта процедура используется в целях предотвращения преждевременной сходимости алгоритма к уже найденным решениям, заставляя алгоритм просматривать новые неисследованные области.

2. Инбридинг. В отличие от аутбридинга при формировании родительских пар выбор падает на «близкородственные» особи. Инбридинг необходим для формирования локальных групп и обеспечения достаточного многообразия решений.

3. Панмиксия. Пара родителей формируется случайным образом, т.е. хромосомы, которые составляют родительскую пару, случайным образом выбираются из всей популяции, при этом любая особь может стать членом нескольких пар. Несмотря на простоту, данная стратегия универсальна при решении различных классов задач. Ее универсальность основана на «непредсказуемости» введения особи в родительскую пару. Однако такой подход достаточно критичен к численности популяций, поскольку эффективность

алгоритма, реализующего такой подход, снижается с ростом численности популяции.

Существуют и другие схемы выбора родителей, такие как турнирный, линейный, экспоненциальный ранговый отбор, отбор отсечением. Несмотря на популярность, эти схемы отбора малоэффективны для локализации нескольких глобальных решений [9; 10; 11; 12].

Шаг 2.2. При проведении численных экспериментов с генетическим алгоритмом исследуется эффективность аутбридинга и инбридинга как альтернативных стратегий выбора родительских хромосом. Для реализации этих стратегий под «родством» хромосом понимается мера близости хромосом, определяемая оператором *Select*.

Шаг 2.3. Вычисляются значения целевой функции $F({}^1C)$ и $F({}^2C)$, характеризующие эффективность сконструированного на данном шаге решения, с применением выбранной методики расчета целевой функции.

Шаг 2.4. Изменение популяции. Если полученный потомок превосходит худшую из хромосом родителей, то он занимает её место в популяции и осуществляется переход к следующему шагу.

Далее выполняются процессы итерации, где повторяются шаги 2.1–2.4.

Условием завершения вычисления целевой функции является достижение максимального количества итераций $N_{\text{итер}}$. При этом производится выбор из популяции наилучшего решения. Это решение представляет собой хромосому P^* , у которой значение целевой функции является наилучшим среди всех хромосом текущей популяции. Таким образом, получено рациональное решение, содержащее варианты организации и планирования транспортного процесса, при котором целевая функция — качество удовлетворения потребностей населения в транспортном обслуживании — стремится к максимуму.

Последовательность рассмотренных этапов работы алгоритма повторяется заданное количество раз, пока не будет определено оптимальное решение.

Выводы по результатам исследования. Таким образом, доказана актуальность и выполнена постановка задачи организации процесса предоставления услуг по перевозке

пассажиры в условиях городских агломераций с учетом транспортной подвижности населения; рассмотрены методы оптимизации транспортных задач и на их основе обоснована возможность применения генетических алгоритмов для решения транспортной задачи в условиях большой размерности, значительного количества ограничений и динамически меняющихся входных параметров. Разработан алгоритм принятия решений для оптимального функционирования системы пассажирского транспорта в рамках агломераций, что позволит за счет принятия рациональных решений повысить качество транспортных услуг по перевозке пассажиров, сократить затраты времени пассажиров на ожидание автобуса и на транспортное обслуживание. Перспективность данного подхода позволяет расширить постановку задачи и учесть дополнительные факторы, влияющие на осуществление процесса организации транспортного обслуживания населения в агломерациях.

Список источников

1. Астафьева Н. В., Пронина Е. В. Развитие государственно-частного партнерства в мезологистической системе управления пассажирскими перевозками / Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2019. Т. 14. №4. С. 621–628.
2. Вельможин А. В., Бипс В. А., Миротин Л. Б. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования транспортных процессов. Волгоград: РПК «Политехник», 2001. 179 с.
3. Гаджинский А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика. М.: ТК Велби, Издательство Авеню, 2005. 173 с.
4. Гвинн Р., Гринстед С. Набор инструментов для логистики и цепочки поставок: более 90 инструментов для управления транспортом, складированием и запасами. М.: Интеллектуальная литература, 2013. 313 с.
5. Гудкова Н. С., Банзекуливахо М. Ж. Совершенствование логистического управления пассажирскими перевозками на автотранспортном предприятии / Логистика — евразийский мост: материалы XI международной научно-практической конференции. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2018. С. 356–360.
6. Джалел Ючи. Метаэвристика для решения некоторых вариантов задач маршрутизации транспортных средств // Алгоритмы метаэвристики для оптимизации некоторых вариантов логистических и транспортных задач. М.: Наука, 2012. 412 с.
7. Жанказиев С. В. Эффективность эксплуатации и функционирования системы непрямого регулирования и контроля транспортных потоков // Международный журнал прикладных инженерных исследований. 2017. Вып. 12. С. 3645–3652.
8. Журавлев Н. П., Маликов О. Б. Транспортные и грузовые системы. М.: Маршрут, 2006. 364 с.
9. Караева М. Р., Напхоненко Н. В., Первознюк В. Управление динамически изменяющимися транспортными потоками / Международный инженерно-технологический журнал. 2018. Вып. 7. С. 222–227.
10. Колбачев Е. Б., Напхоненко Н. В., Караева М. Р., Малоштан Д. Логистическая модель терминала оперативного планирования работ [Электронный ресурс] / SHS Web of Conferences. 2019. Вып. 67: XV научно-практическая международная конференция «Международная транспортная инфраструктура, промышленные центры и корпоративная логистика» (г. Харьков, Украина, 6–8 июня 2019 г.). URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/08/shsconf_NTI-UkrSURT2019_03006.pdf.
11. Колбачев Э. Б., Напхоненко Н. В., Караева М. Р., Малоштан Д. Разработка специализированных моделей городских пассажирских перевозок [Электронный ресурс] / SHS Web of Conferences. 2019. Вып. 67: XV научно-практическая международная конференция «Международная транспортная инфраструктура, промышленные центры и корпоративная логистика» (г. Харьков, Украина, 6–8 июня 2019 г.). URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/08/shsconf_NTI-UkrSURT2019_03005.pdf.
12. Курейчик В. В., Урейчик В. М. Об управлении на основе генетического поиска // Автоматика и телемеханика. 2001. №10. С. 174–187.
13. Маликов О. Б. Склады и грузовые терминалы. М.: Бизнес-Пресса, 2005. 648 с.

14. Миротин Л.Б. Комплексная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортно-пересадочные узлы, терминалы). М.: Экспертиза, 2003. 448 с.

15. Напхоненко Н.В., Загирняк Д., Караева М.Р. Развитие логистической системы сельскохозяйственных грузовых перевозок / Международный инженерно-технологический журнал. 2018. Вып. 7. С. 185–190.

16. Напхоненко Н.В., Караева М.Р., Молоштан Д., Почтовюк А.Б. Теоретические основы оценки качества транспортно-экспедиторских услуг терминала [Электронный ресурс] // Труды — 2020: 25-я Международная конференция IEEE по проблемам автоматизированного электропривода. Теория и практика, РАЕР 2020 (г. Кременчуг, Украина, 21–25 сентября 2020 г.) / Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9240829>.

17. Полтавская Ю.О. Обзор состояния пассажирских перевозок и надежности функционирования городского транспорта на примере зарубежных государств / Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. №9. С. 200–203.

18. Финк А., Ротлауф Ф. Достижения в области вычислительного интеллекта в области транспорта, логистики и управления цепями поставок // Исследования в области вычислительного интеллекта // Springer. 2008. Т. 144. С. 131.

19. Хегай Ю.А. Зарубежный опыт транспортной политики / Теория и практика общественного развития. 2018. №8. С. 350–352.

20. Черненко-Фролова Е.В. Формирование и развитие рынка транспортных услуг городского пассажирского транспорта Российской Федерации / Ученые заметки ТОГУ. 2019. Т. 4. №4. С. 214–220.

References

1. Astaf'eva N. V., Pronina E. V. Razvitie gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v mezologisticheskoy sisteme upravlenija passazhirskimi perevozkami [Development of public-private partnership in the mesologistic passenger transportation management system]. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Serija: Jekonomika. Upravlenie. Pravo* [Saratov

University News. A new series. Series: Economics. Management. Law]. 2019; 14(4): 621–628. (In Russ.).

2. Vel'mozhin A. V., Bips V. A., Mirotin L. B. Teorija organizacii i upravlenija avtomobil'nymi perevozkami: logisticheskij aspekt formirovanija transportnyh processov [Theory of organization and management of road transport: the logistic aspect of the formation of transport processes]. Volgograd: RPK «Politehnik», 2001. 179 p. (In Russ.).

3. Gadzhinskij A. M. Sovremennij sklad. Organizacija, tehnologii, upravlenie i logistika [Modern warehouse. Organization, technology, management and logistics]. Moscow: TK Velbi, Izdatel'stvo Avenju, 2005. 173 p. (In Russ.).

4. Gvinn R., Grinsted S. Nabor instrumentov dlja logistiki i cepochki postavok: bolee 90 instrumentov dlja upravlenija transportom, skladirovaniem i zapasami [A set of tools for logistics and supply chain: more than 90 tools for transport, warehousing and inventory management]. Moscow: Intellektual'naja literatura, 2013. 313 p. (In Russ.).

5. Gudkova N. S., Banzekulivaho M. Zh. Sovershenstvovanie logisticheskogo upravlenija passazhirskimi perevozkami na avtotransportnom predprijatii [Improving the logistics management of passenger transportation at a motor transport enterprise]. *Logistika — evrazijskij most: materialy XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Logistics — Eurasian Bridge: materials of the XI International scientific and practical conference]. Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. P. 356–360. (In Russ.).

6. Dzhalel Juchi. Metajevristika dlja reshenija nekotoryh variantov zadach marshrutizacii transportnyh sredstv [Metaheuristics for solving some variants of vehicle routing problems]. *Algoritmy metajevristiki dlja optimizacii nekotoryh variantov logisticheskikh i transportnyh zadach* [Metaheuristics algorithms for optimizing some variants of logistics and transport problems]. Moscow: Nauka, 2012. 412 p. (In Russ.).

7. Zhankaziev S. V. Jeffektivnost' jekspluatacii i funkcionirovanija sistemy neprjamogo regulirovanija i kontrolja transportnyh potokov [Efficiency of operation and functioning of the system of indirect regulation and control of traffic flows]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh inzhenernyh issledovanij* [International Journal

of Applied Engineering Research]. 2017; (12): 3645–3652. (In Russ.).

8. Zhuravlev N.P., Malikov O.B. Transportnye i gruzovye sistemy [Transport and cargo systems]. Moscow: Marshrut, 2006. 364 p. (In Russ.).

9. Karaeva M.R., Naphonenko N.V., Pervoznjuk V. Upravlenie dinamičeski izmenjajushhimisja transportnymi potokami [Management of dynamically changing traffic flows]. *Mezhdunarodnyj inženerno-tehnologičeskij zhurnal [International Journal of Engineering and Technology]*. 2018; (7): 222–227. (In Russ.).

10. Kolbachev E.B., Naphonenko N.V., Karaeva M.R., Maloshtan D. Logističeskaja model' terminala operativnogo planirovanija rabot [Logistic model of the terminal of operational planning of works] [Elektronnyj resurs]. SHS Web of Conferences. 2019. Vyp. 67: XV nauchno-praktičeskaja mezhdunarodnaja konferencija «Mezhdunarodnaja transportnaja infrastruktura, promyšlennye centry i korporativnaja logistika» (g. Har'kov, Ukraina, 6–8 ijunja 2019 g.) [SHS Web of Conferences. 2019. Issue 67: XV Scientific and Practical International Conference «International Transport Infrastructure, Industrial centers and corporate Logistics» (Kharkiv, Ukraine, June 6–8, 2019)]. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/08/shsconf_NTI-UkrSURT2019_03006.pdf. (In Russ.).

11. Kolbachev Je. B., Naphonenko N.V., Karaeva M.R., Maloshtan D. Razrabotka specializirovannyh modelej gorodskih passazhirskih perevozok [Development of specialized models of urban passenger transportation] [Elektronnyj resurs] / SHS Web of Conferences. 2019. Vyp. 67: XV nauchno-praktičeskaja mezhdunarodnaja konferencija «Mezhdunarodnaja transportnaja infrastruktura, promyšlennye centry i korporativnaja logistika» (g. Har'kov, Ukraina, 6–8 ijunja 2019 g.) [SHS Web of Conferences. 2019. Issue 67: XV Scientific and Practical International Conference «International Transport Infrastructure, Industrial centers and corporate Logistics» (Kharkiv, Ukraine, June 6–8, 2019)]. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/08/shsconf_NTI-UkrSURT2019_03005.pdf. (In Russ.).

12. Kurejchik V. V., Urejchik V.M. Ob upravlenii na osnove genetičeskogo poiska [About management based on genetic search].

Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemechanics]. 2001; (10): 174–187. (In Russ.).

13. Malikov O.B. Sklady i gruzovye terminaly [Warehouses and cargo terminals]. Moscow: Biznes-Pressa, 2005. 648 p. (In Russ.).

14. Mirotin L.B. Kompleksnaja logistika nakopitel'no-raspredelitel'nyh kompleksov (sklady, transportno-peresadočnye uzly, terminaly) [Complex logistics of storage and distribution complexes (warehouses, transport hubs, terminals)]. Moscow: Jekspertiza, 2003. 448 p. (In Russ.).

15. Naphonenko N.V., Zagirnjak D., Karaeva M.R. Razvitie logističeskoj sistemy sel'skohozjajstvennyh gruzovyh perevozok [Development of the logistics system of agricultural freight transportation]. *Mezhdunarodnyj inženerno-tehnologičeskij zhurnal [International Journal of Engineering and Technology]*. 2018; (7): 185–190. (In Russ.).

16. Naphonenko N.V., Karaeva M.R., Moloshtan D., Pochtovjuk A.B. Teoretičeskie osnovy ocenki kachestva transportno-jekspeditor-skih uslug terminala [Theoretical foundations for assessing the quality of freight forwarding services of the terminal] [Elektronnyj resurs]. Trudy — 2020: 25-ja Mezhdunarodnaja konferencija IEEE po problemam avtomatizirovanogo jelektroprivoda. Teorija i praktika, PAEP 2020 (g. Kremenčug, Ukraina, 21–25 sentjabrja 2020 g.) [Proceedings — 2020: The 25th IEEE International Conference on Automated Electric Drive Problems. Theory and Practice, PAEP 2020 (Kremenčug, Ukraine, September 21–25, 2020)]. Kremenčugskij nacional'nyj universitet im. M. Ostrogradskogo. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9240829>. (In Russ.).

17. Poltavskaja Ju. O. Obzor sostojanija passazhirskih perevozok i nadezhnosti funkcionirovanija gorodskogo transporta na primere zarubezhnyh gosudarstv [Review of the state of passenger transportation and reliability of urban transport functioning on the example of foreign countries]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Angarsk State Technical University]*. 2019; (9): 200–203. (In Russ.).

18. Fink A., Rotlauf F. Dostizhenija v oblasti vychislitel'nogo intellekta v oblasti transporta, logistiki i upravlenija cepjami postavok [Achievements in the field of computational intelligence in the field of transport, logistics and

supply chain management]. Issledovaniya v oblasti vychislitel'nogo intellekta [Research in the field of computational intelligence]. Springer. 2008; (144): 131. (In Russ.).

19. Hegaj Ju. A. Zarubezhnyj opyt transportnoj politiki [Foreign experience of transport policy]. *Teorija i praktika obshhestvennogo razvitiya* [Theory and practice of social development]. 2018; (8): 350–352. (In Russ.).

20. Chernenko-Frolova E. V. Formirovanie i razvitie rynka transportnyh uslug gorodskogo passazhirskogo transporta Rossijskoj Federacii [Formation and development of the transport services market of urban passenger transport of the Russian Federation]. *Uchenye zametki TOGU* [Scientific notes of the TOGU]. 2019; 4(4): 214–220. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; одобрена после рецензирования 05.10.2022; принята к публикации 13.10.2022.

The article was submitted on 23.09.2022; approved after reviewing on 05.10.2022; accepted for publication on 13.10.2022.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Караева Марина Руслановна — кандидат экономических наук, доцент, Донской государственный технический университет. Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Marina R. Karayeva — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Don State Technical University. 132 Gagarina sq., Rostov-on-Don, Russia



Напхоненко Наталья Васильевна — кандидат экономических наук, профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Область научных интересов — логистические процессы в транспортных системах, проблемы менеджмента, экономики и организации производства на предприятиях автомобильного транспорта. Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Natalia V. Napkhonenko — Candidate of Economic Sciences, Professor, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). Area of scientific interests — logistics processes in transport systems, problems of management, economics and organization of production in automobile transport enterprises.

132 Prosveshcheniya st., Novochoerkassk, Russia



Солодовченко Ирина Юрьевна — старший преподаватель кафедры «Организация перевозок и дорожного движения», Донской государственной технической университет.

Россия, г. Ростов-на-Дону ул. 2-я Краснодарская 145/4, кв. 32

Irina Yu. Solodovchenko — Senior lecturer of the Department of Organization of Transportation and Road Traffic, Don State Technical University.

145/4 2nd Krasnodarskaya st., app. 32, Rostov-on-Don, Russia

Вклад авторов:

Караева М. Р. — концепция исследования; развитие методологии.

Напхоненко Н. В. — научное руководство; доработка текста; итоговые выводы.

Солодовченко И. Ю. — написание исходного текста, итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Karayeva M. R. — research concept; development of methodology.

Napkhonenko N. V. — scientific management; follow-on version of the text; final conclusions.

Solodovchenko I. Yu. — writing the source text, final conclusions.