

УДК 656.11

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-98-109>

НАДЕЖНОСТЬ И СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ В ГОРОДАХ С ГРАДООБРАЗУЮЩИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

В.М. Курганов¹, М.В. Грязнов², К.А. Давыдов³

¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия;

²ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

³ООО «Автодоркомплект», г. Магнитогорск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье обоснована актуальность снижения затрат на регулярные пассажирские перевозки и повышение их надежности применительно к городам с градообразующими предприятиями. Раскрыта организационно-технологическая специфика регулярной маршрутной сети городского транспорта в таких городах. Предложен способ организации маршрутов регулярных перевозок, основанный на рациональном сочетании базовых маршрутов, предполагающих посадку и высадку пассажиров только на установленных остановочных пунктах, и резервных маршрутов с посадкой-высадкой пассажиров в любом не запрещенном правилами дорожного движения месте по маршруту движения. Оптимизация маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров осуществляется с использованием предложенной экономико-математической модели с учетом затрат на формирование инфраструктуры для организации движения транспорта по резервным маршрутам, эксплуатационных затрат на перевозку, а также затрат на ликвидацию сбоев в работе городского транспорта. Разработанная математическая модель оценки надежности регулярных перевозок пассажиров отличается от известных моделей тем, что учитывает наличие резервных маршрутов в регулярной маршрутной сети. Целесообразность практической реализации предлагаемых рекомендаций доказана на примере маршрутов транспорта общего пользования г. Магнитогорска.

Материалы и методы. Анализ научной и нормативно-правовой литературы, экономико-математическое моделирование транспортных процессов, методы расчета надежности технических и транспортных систем, статистический, системный и технико-экономический анализ.

Результаты:

- обладающие научной новизной: оптимизационная экономико-математическая модель маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров в городах с градообразующими предприятиями, математическая модель оценки надежности регулярных перевозок пассажиров;

- имеющие практическую значимость: практические рекомендации по организации резервных маршрутов регулярных перевозок пассажиров на примере г. Магнитогорска.

Обсуждение и заключение. Реализация теоретических положений, математических моделей и рекомендаций, разработанных в ходе выполненных исследований, позволила получить новые научные результаты и эффект от их внедрения. На примере маршрутной сети г. Магнитогорска обосновано формирование дополнительного объема перевозок 178 тыс. пассажиров в год, увеличение скорости сообщения на 7 км/ч, снижение себестоимости перевозки одного пассажира на 7%, повышение ее надежности в 1,14 раза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской транспорт, регулярная маршрутная сеть, автобусный маршрут, надежность перевозок пассажиров, эффективность перевозки, резервирование, снижение транспортных издержек.

Поступила 20.01.2020, принята к публикации 21.02.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят научных сотрудников и специалистов-практиков, обсуждавших в формате научных конференций и семинаров результаты исследования на всех этапах его выполнения, а также рецензентов данной статьи за высказанные рекомендации и пожелания.

© Курганов В.М., Грязнов М.В., Давыдов К.А.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Курганов В.М., Грязнов М.В., Давыдов К.А. Надежность и снижение затрат на перевозки пассажиров в городах с градообразующими предприятиями. *Вестник СибАДИ*. 2020;17(1): 98-109. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-98-109>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-98-109>

CITY-FORMING ENTERPRISES: RELIABILITY AND REDUCED COSTS OF THE PASSENGERS' TRANSPORTATION

Valery M. Kurganov¹, Mikhail V. Gryaznov², Kirill A. Davydov³

¹Tver State University, Tver, Russia;

²Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia;

³"Avtodorkomplekt" enterprise, Magnitogorsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The paper substantiates the relevance of reducing costs for regular passenger traffic and increasing their reliability in relation to cities with city-forming enterprises. The organizational and technological specificity of the regular route network of urban transport in such cities is disclosed. The authors propose a method for organizing regular transportation routes based on a rational combination of basic routes that require boarding and disembarking passengers only at stopping points and backup routes with boarding and disembarking passengers in any place not prohibited by the rules of road traffic. The authors demonstrate route network optimization of the regular passenger transportation using the proposed economic and mathematical model and taking into account the costs of forming the infrastructure for organizing traffic on backup routes, operating costs of transportation, as well as the cost of eliminating failures in urban transport. The developed mathematical model for assessing the reliability of regular passenger transportation differs from the well-known models, which take into account the availability of backup routes in the regular route network. The research proves the practical implementation of the proposed recommendations by the example of public transport routes in Magnitogorsk.

Materials and methods. The authors used the analysis of scientific and regulatory literature; economic and mathematical modeling of transport processes; methods for calculating the reliability of technical and transport systems; the statistical, technical and economic system analysis.

Results. As a result, the authors revealed the optimization of the economic and mathematical model of the regular passenger transportation in cities with city-forming enterprises and a mathematical model for assessing the reliability of regular passenger transportation. Moreover, the paper presented practical recommendations on the organization of reserve routes for regular passenger transport on the example of Magnitogorsk.

Discussion and conclusions. By the implementation of theoretical principles, mathematical models and recommendations developed in the course of the research, the authors show the effect of implementation and the possibility to obtain new scientific results. Moreover, the authors demonstrate the formation of an additional volume of traffic by 178 thousand passengers a year, an increase in the speed of communication by 7 km per hour, a decrease in the cost of transporting one passenger by 7% and an increase in reliability by 1.14.

KEYWORDS: urban transport, regular route network, bus route, reliability of passenger transportation, transportation efficiency, reservation, reduction of transport costs.

Submitted 20.01.2019, revised 21.02.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors express their gratitude to the researchers and practitioners, who discuss the results of the research in the format of scientific conferences and seminars, as well as to the reviewers of the manuscript for recommendations and suggestions.

For citation: Kurganov Valery M., Gryaznov Mikhail V., Davydov Kirill A. City-forming enterprises: reliability and reduced costs of the passengers' transportation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (1): 98-109. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-98-109>

© Kurganov V. M., Gryaznov M. V., K. A. Davydov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время научной и нормативно-справочной литературой не регламентировано понятие городов с градообразующими предприятиями. Несмотря на это данный термин активно употребляется в политической сфере, в научно-производственных кругах, в прессе. Авторы статьи под градообразующим предприятием понимают производственную организацию, в которой занята значительная часть трудоспособных жителей данного населенного пункта. Градообразующее предприятие ключевым образом определяет инфраструктуру и социальную сферу города или поселка. Если такое предприятие в населенном пункте единственное, то он является моногородом. Отличительными признаками городов с градообразующими предприятиями являются [1]:

- существенная зависимость доходной части городского бюджета от деятельности одного (нескольких) ключевых предприятий;

- однородность профессионального состава города и низкая диверсификация сфер занятости;

- наличие ряда технологически связанных предприятий, которые работают на один конечный рынок, за исключением предприятий, обслуживающих внутренние нужды города.

В российских городах с градообразующими предприятиями, включая моногорода, проживает 25%¹ всего населения страны. При этом общее число таких городов составляет треть от числа городов и поселков городского типа Российской Федерации².

Градообразующее предприятие является центром притяжения массовых пассажиропотоков по маятниковому принципу. Направление пассажиропотока, его величина в разные периоды суток определяется ритмом функционирования градообразующего предприятия. Эта особенность обуславливает организационно-технологическую специфику регулярной маршрутной сети городского транспорта в городах с градообразующими предприятиями, состоящую в приоритетности обслуживания трудовых перемещений населения, низкой плотности в центральной части города и в не-

доступности удаленных городских районов. Как результат, действующая регулярная маршрутная сеть не может обеспечить приемлемый для граждан интервал движения транспорта в межпиковые периоды. Поэтому жители города для своих поездок часто выбирают личный автотранспорт, что вызывает снижение объема перевозок по регулярной маршрутной сети и утрату коммерческой привлекательности городского транспорта для бизнеса.

В современной отечественной и иностранной научной литературе предлагаются способы повышения эффективности пассажирских перевозок в городах за счет решения вопросов устойчивого развития городского транспорта [2, 3], повышения уровня информатизации транспортных процессов [4, 5, 6, 7], исследования предпочтений населения в выборе видов городского транспорта [8, 9, 10], формирования городской маршрутной сети [11, 12, 13], анализа функционирования автотранспортных компаний [14, 15, 16].

В настоящее время опубликовано большое число работ [17, 18, 19, 20], в которых предложен методический инструментарий оценки надежности транспортных процессов. Следует отметить, что предлагаемые методы расчета надежности различных объектов, включая технические и человеко-машинные системы, технологические процессы, цепи поставок, процессы грузовых и пассажирских перевозок имеют общую методологическую природу. В качестве примера работы, посвященной обоснованию справедливости данного утверждения, можно привести монографию [21].

Анализ специализированной научной литературы позволил определить, что снижение затрат на перевозки, без ущерба их объему и надежности, достигается сокращением числа структурных элементов в транспортном процессе и наращиванием у элементов функционала по взаимодублированию. В рамках действующей регулярной маршрутной сети такой эффект получается посредством резервирования, предполагающего формирование резервных каналов доставки пассажиров для компенсации потерь производительности базового вида городского транспорта, обуслов-

¹ Алушкин Ю.А. Моногорода в региональной экономике России: основные характеристики и новые условия развития / Ю.А. Алушкин // Евразийский международный научно-аналитический журнал «Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов». Проблемы современной экономики. № 3 (35). 2010. URL: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=3288>.

² Данные Всероссийской переписи населения за 2010 г. – URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm.

ленной спадом пассажиропотока или загруженностью автодорог.

Однако, несмотря на серьезную проработку, проблему обеспечения надежности пассажирских перевозок нельзя считать в полной мере решенной. В настоящее время не исследовано влияние резервных каналов доставки на надежность и эффективность регулярных пассажирских перевозок. Помимо этого, имеющиеся методы не учитывают дополнительных затрат, связанных с формированием резервных каналов доставки пассажиров в рамках действующей регулярной маршрутной сети, а также с ликвидацией последствий от сбоев в их работе. В этой связи можно утверждать, что тема настоящего исследования является актуальной.

Целью исследования является разработка методического аппарата оптимизации маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров, оценки и повышения их надежности в городах с градообразующими предприятиями, а также рекомендаций по практической его реализации.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- разработка экономико-математической модели оптимизации маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров в городах с градообразующими предприятиями;
- разработка математической модели оценки надежности регулярных перевозок пассажиров;
- обоснование практических рекомендаций по организации резервных маршрутов регулярных перевозок пассажиров с оценкой экономического эффекта на примере транспорта общего пользования г. Магнитогорска.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии теоретической базы оптимизации регулярной маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретические исследования выполнены на основе анализа научной, нормативно-технической литературы и правовой базы, положений теории надежности технических и транспортных систем, системного анализа транспортных процессов. Анализ научной, нормативно-технической и правовой литературы позволил установить глубину проработки проблемы повышения эффективности и надежности регулярных перевозок пассажиров в городах с градообразующими предприятиями, а также сформулировать цель настоящего

исследования. Изучение основных положений теории надежности технических и транспортных систем, а также системный анализ транспортных процессов позволили обосновать влияние резервных регулярных автобусных маршрутов на надежность и эффективность перевозок пассажиров в городах с градообразующими предприятиями.

Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и дорожных условиях с использованием экономико-математического моделирования, методов теории вероятности и математической статистики, компьютерного моделирования, технико-экономического анализа, анализа пассажиропотоков, натуральных наблюдений.

Посредством перечисленных методов исследований авторами были получены математические модели резервирования регулярной маршрутной сети и оценки надежности перевозки пассажиров при использовании различных схем резервирования, а также оценена адекватность предложенных математических моделей. Кроме того, с помощью компьютерного моделирования установлена зависимость скорости транспортного потока от его интенсивности и зависимость технической скорости движения автобуса по дополнительным дорогам от интенсивности потока маршрутных транспортных средств.

Исходные данные для компьютерного моделирования были получены натурными наблюдениями за транспортными потоками по городским автодорогам, а также непосредственным подсчетом корреспонденций пассажиропотоков на регулярных маршрутах городского транспорта. Техничко-экономический анализ позволил обосновать целесообразность практической реализации предлагаемого методического инструментария.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждена обоснованностью принятых допущений при разработке математических моделей, совпадением результатов собственных теоретических и экспериментальных исследований с данными известных научных работ других авторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно теории надежности, резервирование – это метод повышения надежности объектов посредством включения в их состав резервных элементов на этапе создания или эксплуатации. Резервирование регулярной маршрутной сети определяет эксплуатационные затраты и надежность перевозки пассажиров.

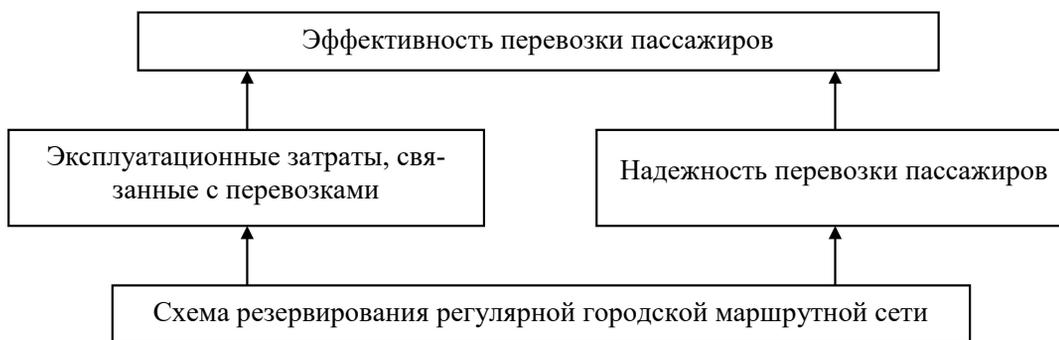


Рисунок 1 – Связь понятий схемы эффективности, эксплуатационных затрат, надежности перевозки пассажиров и схемы резервирования регулярной маршрутной сети

Figure 1 – Relations between the concepts of efficiency schemes, operating costs, reliability of passengers transportation and passengers transportation and redundancy schemes for a regular route network

Схема резервирования представляет собой совокупность основных и дублирующих (резервных) структурных элементов маршрутной сети и их соединений, называемых каналами доставки. Эксплуатационные затраты и надежность определяют эффективность перевозок: эксплуатационные затраты оказывают непосредственное влияние на эффективность, надежность – косвенное, через количество сбоев в транспортном процессе. Рассматриваемые понятия иерархически связаны (рисунок 1).

Ввод или исключение из действующей регулярной маршрутной сети городского транспорта резервных маршрутов позволяет управлять надежностью и эффективностью процесса перевозки пассажиров. В городах с градообразующими предприятиями резервные маршруты городского транспорта имеют следующие отличительные особенности:

- совпадение участков трассы и синхронизированность расписаний движения с основными (резервируемыми) маршрутами;
- организация посадки-высадки пассажиров в любом не запрещенном правилами дорожного движения месте;

- возможность управления скоростью сообщения за счет перенаправления потока маршрутных транспортных средств по дополнительным дорогам городской автодорожной сети в период ее загрузки (в случае автобусного транспорта).

Многовариантность компоновки городской маршрутной сети предполагает наличие оптимального сочетания основных и резервных маршрутов городского транспорта. Оптимизацию маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров предлагается производить посредством экономико-математического моделирования. Критерием оптимизации является минимум совокупных затрат на перевозку пассажиров ($Z_{сов.}$), включающих затраты на формирование транспортной инфраструктуры для организации движения транспорта по резервным маршрутам ($Z_{ф.}$), эксплуатационных затрат на перевозку (C) и затрат на ликвидацию сбоев в работе городского транспорта ($Z_{сб.}$). В случае организации автобусного движения по резервным маршрутам целевая функция математической модели примет вид

$$\begin{aligned}
 Z_{сов.} = Z_{ф.} + C + Z_{сб.} = & \frac{D_k}{365} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{U_{o.f.i}}{T_{пол.i}} + \\
 & + \frac{(P_{OTB} + P_{OTK} + P_{ECH} + P_T + P_{см.} + P_{a/ш} + P_{TOuP} + P_{ам.} + P_{np.}) \cdot \beta}{S} + \\
 & + \frac{Ш^{\Sigma} \cdot Ц \cdot Q_{Дк} \cdot D_k \cdot Q(t) \cdot (1 + 0,01 \cdot \gamma)^{\frac{D_k}{365}}}{100} \rightarrow \min,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где D_k – продолжительность рассматриваемого периода, дни; $Ц_о.ф.i$ – суммарная стоимость инфраструктуры, необходимой для организации движения транспорта по резервным маршрутам, руб.; $T_{пол.i}$ – срок полезного использования инфраструктуры i -й амортизационной группы, лет; k – число рассматриваемых амортизационных групп; $POTB, POTK, PECH, PT, Pсм., Pa/ш., PTO-uP, Ram., Pпр.$ – расходы соответственно на оплату труда водителей и кондукторов, отчисления во внебюджетные фонды, затраты на топливо, смазочные и эксплуатационные материалы, износ автошин, техническое обслуживание и ремонт, амортизацию, прочие расходы в сумме с кос-венными расходами по парку транспортных средств, руб./км; β – средний коэффициент использования пробега автобусов на маршрутах; S – пробег автобусов на маршрутах за период, км; $Ш\Sigma$ – суммарная величина штрафов или компенсаций за нарушения в транспортном процессе по вине перевозчика, % от платы за проезд; $Ц$ – плата за проезд и провоз багажа, руб.; $Q_{Дк}$ – объем перевозок по маршрутам за период, чел.; $Q(t)$ – вероятность сбоа в процессе перевозок; γ – годовая процентная ставка на капитал, %.

Система ограничений предусматривает соблюдение показателей качества предоставляемых транспортных услуг для городского населения, таких как соблюдение перевозчиком установленного интервала движения и количества транспорта на резервных маршрутах, недопустимость удорожания проезда в текущем отчетном периоде. Система ограничений математической модели запишется в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{предл.} \leq I_3 \\ \frac{З_{сов.}}{Q_{Дк}} \leq \frac{Ц}{(1 + 0,01 \cdot R)} \\ A_m \geq \sum_{i=1}^h A_{mi}^h + \sum_{j=1}^{l-h} A_{mj}^{l-h} \end{array} \right. , \quad (2)$$

где $I_{предл.}, I_3$ – предлагаемый и заданный интервал движения, мин; R – рентабельность перевозок, %; A_m – необходимое для обслуживания заданного объема перевозок число транспортных средств, ед.; A_m – число транспортных средств на основных маршрутах, ед.; A_m^{l-h} – число транспортных средств на резервных маршрутах, ед.; h – количество основных маршрутов, шт.; $(l-h)$ – количество резервных маршрутов, шт.; l – сумма основных и резервных маршрутов, шт.

Вероятность сбоа в процессе перевозок $Q(t)$ определяется надежностью этого процесса. Для потребителя транспортных услуг сбоем в работе городского транспорта будет опоздание прибытия транспортного средства на остановочный пункт согласно расписанию, задержки в пути следования, невозможность осуществления посадки в транспортное средство по причине отсутствия свободных мест. При отсутствии резервных маршрутов вероятность таких сбоев больше, и наоборот, наличие в действующей регулярной маршрутной сети городского транспорта резервных маршрутов практически сводит к нулю возможные сбои. Надежность перевозки пассажиров при наличии резервных маршрутов в регулярной городской маршрутной сети предлагается производить посредством расчета надежности мажоритарных схем резервирования замещением на основе формулы полной вероятности совместных событий. При равной надежной работе транспортных средств математическая модель оценки надежности регулярных перевозок пассажиров примет вид

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \left[(1 - (1 - P)^{A_m^h}) + \left(\sum_{j=1}^{l-h} P_j^{A_m^{l-h}} \cdot (1 - P_j^{A_m^{l-h}}) \right) \cdot (1 - P)^{A_m^h} \right], \quad (3)$$

где P – вероятность безотказной работы транспортного средства на основных маршрутах; P_j – вероятность безотказной работы j -го транспортного средства на резервных маршрутах.

Следует отметить, что безотказная работа транспортного средства означает не только то, что оно работает без поломок. Это понятие намного шире и включает, например, временное прекра-

щение в работе всех исправных трамваев на маршруте по причине выхода из строя одного трамвая и занятости им рельсовой колеи в ожидании прибытия ремонтной бригады.

Пассажиропоток, осваиваемый на резервных маршрутах, формируется исходя из наличия потребностей населения в трудовых перемещениях, которые не удовлетворяются основными маршрутами городского транспорта по причине больших интервалов движения либо отсутствия нужного маршрута.

Соответствие основных маршрутов городского транспорта потребностям населения в трудовых перемещениях можно оценить по формуле

$$\varphi = \frac{Q_i^{\text{комф.}}}{n}, \quad (4)$$

где $Q^{\text{комф.}}$ – количество прошедших через проходные градообразующего предприятия человек, для которых время ожидания транспортного средства на остановочных пунктах регулярной маршрутной сети не превышает времени комфортного ожидания, чел./сут; n – суммарное количество транзакций входов и выходов через проходные за сутки.

Время комфортного ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте принято в расчетах 15 мин. При наличии оцифрованной информации о прохождении через контрольно-пропускные пункты предприятия его сотрудников расчет величины (φ) легко автоматизируется. Величина (φ), меньшая 1,0, свидетельствует о несоответствии регулярной маршрутной сети городского транспорта потребностям населения в трудовых перемещениях и наличия потенциально возможного пассажиропотока, который будет освоен резервными маршрутами.

При организации резервных регулярных автобусных маршрутов имеется возможность поддержания заданного интервала движения меньшим количеством автобусов, что благоприятно сказывается на эксплуатационных затратах, связанных с перевозкой пассажиров. Этот эффект достигается управлением скоростью сообщения за счет перенаправления потока маршрутных транспортных средств по дополнительным дорогам городской дорожной сети в период ее загрузки.

Направление автобусов на дополнительные дороги, дублирующие основные транспортные магистрали, позволяет заметно увеличить скорость сообщения. Данный по-

казатель зависит от планировочных решений городской дорожной сети, наличия на ней дополнительных дорог, дублирующих основные магистрали. Планировочные решения индивидуальны для каждого населенного пункта. На примере г. Магнитогорска авторами установлено, что скорость сообщения при реализации таких возможностей увеличивается в среднем на 4 км/ч.

ОБСУЖДЕНИЕ

Поставленные в работе задачи выполнены в полном объеме. По итогам исследования получены методические рекомендации по согласованию взаимодействия заказчика и поставщика автотранспортных услуг в производственном процессе. Научная новизна исследования состоит:

- в разработке оптимизационной экономико-математической модели маршрутной сети регулярных перевозок пассажиров в городах с градообразующими предприятиями;
- в разработке математической модели оценки надежности регулярных перевозок пассажиров.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании рекомендации по организации резервных маршрутов регулярных перевозок пассажиров на примере г. Магнитогорска.

Целесообразность практической реализации предлагаемых рекомендаций обоснована на примере формирования резервного канала доставки трудящихся Магнитогорского металлургического комбината (ММК) по регулярному автобусному маршруту № 33. Ритм работы подразделений ММК определяет маятниковый принцип формирования пассажиропотока: утром в восточном направлении, вечером – в западном. Местами генерации и погашения массовых пассажиропотоков являются проходные ММК, поэтому регулярные маршруты городского транспорта пролегают по транспортным артериям, огибающим границы промышленной площадки, что обуславливает совпадение протяженных участков трассы большей части регулярных маршрутов. Поэтому большая часть трассы маршрута совпадает с трассой трамвайного маршрута № 3, являющимся в расчетах основным (рисунок 2).

Расчет по формуле (4) позволил установить, что резервируемый маршрут № 3 соответствует потребностям трудящихся ММК на 17%. Наличие общего участка трассы дает возможность обслуживания этого пассажиропотока резервным регулярным автобусным

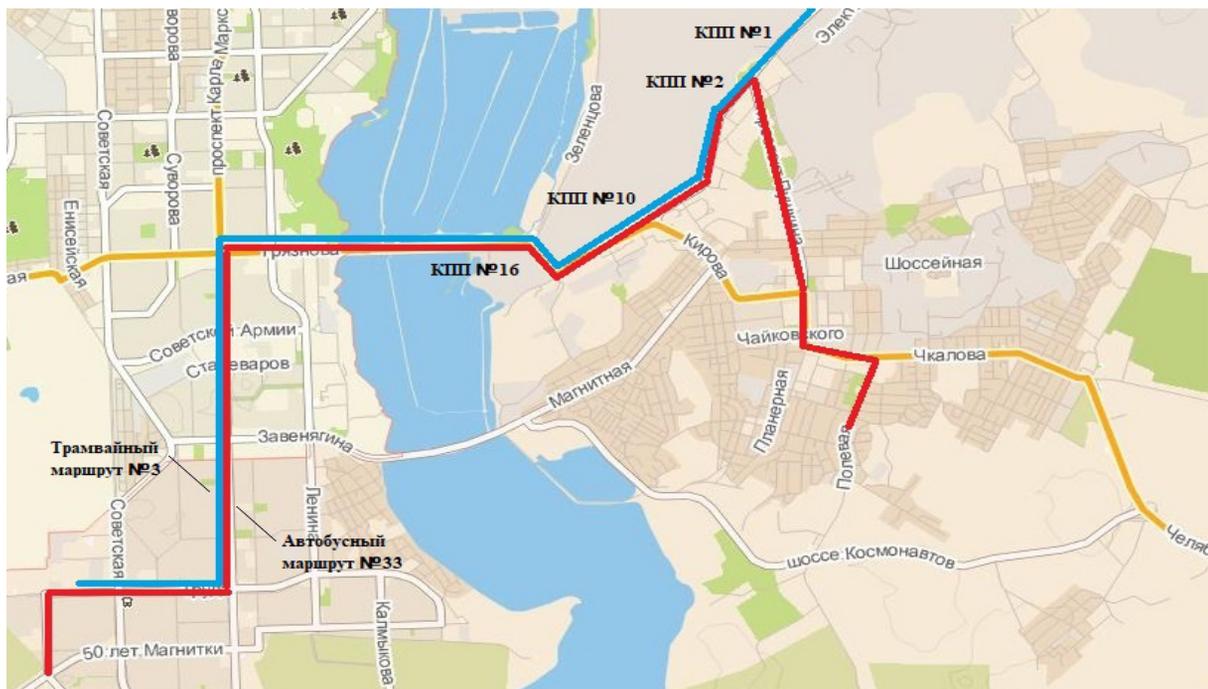


Рисунок 2 – Схема автобусного маршрута № 33 и трамвайного маршрута № 3 с остановочными пунктами, привязанными к проходным Магнитогорского металлургического комбината

Figure 2 – Scheme of the 33 bus route and the 3 tram route with stopping points to Magnitogorsk metallurgical plant

маршрутом № 33. Зная время прохода трудящихся через проходные, конечную остановку следования потенциального пассажира, с учетом затрат времени на его перемещение пешком от проходной или места жительства к ближайшим остановочным пунктам, производится детализация потенциального пассажиропотока на резервном маршруте по периодам суток. Интенсивность накопления потенциальных пассажиров на остановочных пунктах, ближайших к проходным ММК, позволяет задать интервал движения автобусов на резервном маршруте, а маршрутная скорость – рассчитать время оборота и необходимое число автобусов, что в свою очередь обеспечит составление информационного расписания.

Предложено в период с 15:00 по 18:00 по будням, соответствующий максимальной загрузке пр. Карла Маркса, по которому пролегал трасса предлагаемого резервного маршрута, на участке от ул. Сталеваров до ул. Труда перераспределять маршрутные транспортные средства на дополнительную дорогу, параллельную пр. Карла Маркса. Расчетами установлено, что такая мера обеспечит увеличение скорости сообщения до 18 км/ч, что позволит соблюдать заданный интервал движения меньшим количеством автобусов в период загрузки дорожной сети и исключить необходимость увеличения их числа на линии.

Результаты расчета экономического эффекта по вариантам перевозок приведены в таблице.

Таблица
Расчет экономического эффекта по вариантам перевозок

Table
Calculation of the economic effect on transport options

| Показатель, ед. измерения | Варианты перевозок | | |
|--|----------------------|---|---|
| | Существующий | Предлагаемые | |
| | | Наращивание численности подвижного состава на маршруте № 3 без использования дублирующего канала доставки | Формирование дублирующего канала доставки на основе автобусного маршрута № 33 |
| 1. Протяженность общего участка маршрутов № 3 и 33, км | 30 | | |
| 2. Численность парка подвижного состава, ед.: – маршрут № 3 – маршрут № 33 | 7 8 | 8 8 | 7 6 |
| 3. Марка и модель подвижного состава: – маршрут № 3 – маршрут № 33 | КТМ-5М3 ГАЗ-32212 | КТМ-5М3 ГАЗель NEXT | |
| 4. Годовой объем перевозок, чел./год: – маршрут № 3 – маршрут № 33 | 1 087 674 469 111 | 1 265 686 469 111 | 1 087 674 647 123 |
| 5. Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб./год | 39 878,3 | 43 950 | 38559,6 |
| 6. Себестоимость перевозок, руб./чел. | 25,61 | 25,33 | 22,23 |
| 7. Затраты на формирование транспортной инфраструктуры, тыс. руб. | | 0 | 2553,1 |
| 8. Затраты на ликвидацию сбоев в транспортном процессе, тыс. руб. | 7,9 | 7,2 | 9,0 |
| 9. Совокупные затраты на маршруте, руб./чел. | 25,61 | 25,34 | 23,71 |
| 10. Годовой экономический эффект, тыс. руб. | 0 | 371,4 | 3206,9 |
| 11. Эффективность перевозок, чел./руб. | 0,039 | 0,0395 | 0,042 |
| 12. Надежность перевозок пассажиров, % | 0,83 | 0,81 | 0,95 |

На основе проведенных расчетов установлено, что формирование резервного канала доставки на основе регулярного автобусного маршрута № 33 обеспечит дополнительный объем перевозок, равный 178 тыс. пассажиров в год, за счет подачи автобусов на остановочные пункты маршрута в периоды отсутствия транспортных средств на основном маршруте. Направление автобусов резервного маршрута по дополнительной дороге в периоды загрузки автодорожной сети позволит увеличить их маршрутную скорость на 7 км/ч. Использование предлагаемых результатов обеспечит снижение себестоимости перевозки одного пассажира на 7%, повышение ее надежности в 1,14 раза и обслуживания дополнительного пассажиропотока без увеличения затрат на городской транспорт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы по результатам проведенных исследований состоят в следующем:

1. Предложена математическая модель резервирования регулярной маршрутной сети, целевой функцией которой является минимум суммы затрат на формирование транспортной инфраструктуры для организации движения автобусов по резервным маршрутам, эксплуатационных затрат на перевозку и затрат на ликвидацию сбоев в работе городского транспорта. Система ограничений предусматривает соблюдение перевозчиком установленного интервала движения и количества транспорта на резервных маршрутах, недопустимость удорожания проезда в текущем отчетном периоде.

2. Предложена математическая модель оценки надежности перевозок пассажиров по

регулярным автобусным маршрутам в городах с градообразующими предприятиями с учетом схемы резервирования регулярной маршрутной сети, основанная на расчете надежности мажоритарных схем резервирования с замещением использования формулы полной вероятности совместных событий. Под сбоем в работе городского транспорта понимается опоздание прибытия транспортного средства на остановочный пункт согласно расписанию, задержки в пути следования, невозможность осуществления посадки в транспортное средство по причине отсутствия свободных мест.

3. Величина пассажиропотока на резервных регулярных маршрутах определяется по результатам анализа соответствия существующей маршрутной сети городского транспорта потребностям населения в трудовых перемещениях. Пассажиропоток, не осваиваемый основными регулярными маршрутами, после его детализации по периодам суток потенциально может быть освоен на резервных маршрутах.

4. Снижение затрат на обслуживание пассажиропотока на резервных автобусных маршрутах производится за счет поддержания заданного интервала движения меньшим количеством автобусов. Это достигается повышением маршрутной скорости движения в результате направления автобусов на дополнительные дороги в период ее загрузки.

5. Результаты расчета экономического эффекта от реализации предлагаемых рекомендаций на примере г. Магнитогорска позволяют утверждать о научной состоятельности и практической целесообразности результатов проведенного исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Другова Г.А., Тихонова М.В. Градообразующие предприятия в России: сущность, становление, перспектива // Вопросы экономики и права. Выпуск № 3. 2017. С. 98–102. <http://law-journal.ru/articles/index/201703>.
2. Сафронов К.Э., Сафронов Э.А. Повышение эффективности муниципальных и региональных маршрутных сетей // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 5. С. 162–170.
3. Grishaeva Y.M., Matantseva O.Y., Spirin I.V., Savosina M.I., Tkacheva Z.N., Nasin D.V. Sustainable development of transportation in the cities of Russia: experience and priorities. South of Russia: ecology, development, vol. 13, no. 4, 2018, pp. 24-46. ISSN 2413-0958 DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-24-46>.
4. Ефименко Д.Б., Финько Е.В. Использование навигационных диспетчерских систем для развития специализированных сервисов информирования о работе наземного городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. 2015. № 5. С. 6–10. <http://www.atp.transnavi.ru/?number=1505>.
5. Kurganov V., Gryaznov M., Dorofeev A. An ontology-driven approach for modelling TMS fuel consumption information subsystem. The 3rd International Conference on Information Processing and Control Engineering (ICIPCE 2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 630, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/630/1/012025>.
6. Lu J., Cao L. Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic. In Proceedings: IEEE Intelligent Transportation Systems, Vol. 1, 2003, pp. 50-53. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251919>. https://www.researchgate.net/publication/4048004_Congestion_evaluation_from_traffic_flow_information_based_on_fuzzy_logic.
7. Schneider W. Mobile phones as a basis for traffic state information. In Proceedings IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 782-784. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2005.1520148>. <https://www.semanticscholar.org/paper/Mobile-phones-as-a-basis-for-traffic-state-Schneider/5f176aa378dd1924953494151aafa1a444396e11>. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2005.1520148>.
8. Гудков В.А., Хьюнг Н., Дулина Н.В., Мыльников П.А. Оценка пассажирами городского общественного транспорта // Мир транспорта. 2013. № 2. С. 146–150. <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/353>.
9. Hebel K., Wolek M. Perception of modes of public transport compared to travel behaviour of urban inhabitants in light of market research. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transpor, no. 92, 2016, pp. 65-75. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.92.7>.
10. Batley R., Bates J., Bliemer J., Borjesson M., Worsley T. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. Transportation, vol. 46, 2019, pp. 583 – 621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>.
11. Арсланов М.А., Минатуллаев Ш.М., Филиппов А.А. Математическая модель организации перевозок пассажиров в остановочно-пересадочных пунктах при многократном изменении пассажиропотока // Вестник СибАДИ. 2018. № 15(3). С. 362–371. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-3-362-371>.
12. Исаков К., Стасенко Л.Н., Алтыбаев А.Ш., Даиырбекова Д. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. 2019. № 16(2). С. 146–155. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>.
13. Мочалин С.М., Колебер Ю.А. Перспективы развития методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2019. № 6(3). С. 241–255. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-241-255>.
14. Эйхлер Л.В. Использование операционного анализа при управлении финансовыми результатами автотранспортной организации // Вестник СибАДИ. 2018. № 15(1). С. 149–157. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-1-149-157>.

15. Лерман Е.Б. Организационно-экономические аспекты развития предприятий пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2015. № 5(45). С. 171–177. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5\(45\)-171-177](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-171-177).

16. Bokor Zoltan, Rita Markovits-Somogyi. Improved cost management at small and medium sized road transport companies: case Hungary. *Promet - Traffic & Transportation*, no. 27(5), 2015, pp. 417–428. https://www.researchgate.net/publication/286479239_Improved_Cost_Management_at_Small_and_Medium_Sized_Road_Transport_Companies_Case_Hungary. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i5.1719>.

17. Шаров М.И., Михайлов А.Ю. Оценка надежности функционирования городского общественного транспорта в городах Российской Федерации // Вестник СибАДИ. 2019. № 16(3). С. 302–311. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-302-311>.

18. Lukinskiy V., Lukinskiy V., Churilov R. Problems of the supply chain reliability evaluation. *Transport and Telecommunication*, no. 15(2), 2014, pp. 120–129. DOI: <https://www.doi.org/10.2478/tjt-2014-0011>.

19. Taghizadeh H., Hagezi E. The investigation of supply chain's reliability measure: A case study. *Journal of Industrial Engineering International*, 2012, pp. 8–22. DOI: <https://doi.org/10.1186/2251-712X-8-22>.

20. Vojtov V., Berezchnaja N., Kravcov A., Volkova T. Evaluation of the Reliability of Transport Service of Logistics Chains. *International Journal of Engineering & Technology*, no. 7(4.3), 2018, pp. 270–274. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19802>.

21. Курганов В.М., Грязнов М.В. Управление надежностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: монография. Магнитогорск: Изд-во «Магнитогорский Дом печати», 2013. 318 с.

REFERENCES

1. Drugova G.A., Tikhonova M.V. Gradoobrazuyushchie predpriyatiya v Rossii: sushchnost', stanovlenie, perspektiva [City-forming enterprises in Russia: essence, formation, perspective]. *Voprosy ekonomiki i prava*. 2017; 3: pp. 98–102 (in Russian).

2. Safronov K.E., Safronov E.A. Povyshenie effektivnosti municipal'nyh i regional'nyh marshrutnyh setej [Improving the efficiency of municipal and regional route networks]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii*. 2013; 5: 162–170 (in Russian).

3. Grishaeva Y.M., Matantseva O.Y., Spirin I.V., Savosina M.I., Tkacheva Z.N., Nasin D.V. Sustainable development of transportation in the cities of Russia: experience and priorities. *South of Russia: ecology, development*. 2018; 13 no. 4: 24–46. ISSN 2413-0958. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-24-46>.

4. Efimenko D.B., Finko E.V. Ispol'zovanie navigacionnyh dispetcherskih sistem dlya razvitiya specializirovannyh servisov informirovaniya o rabote nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta [Use of navigation dispatch systems for the development of specialized services for informing about the operation of ground urban passenger transport]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2015; 5: 6–10 (in Russian).

5. Kurganov V., Gryaznov M., Dorofeev A. An ontology-driven approach for modelling TMS fuel consumption information subsystem. The 3rd International Conference on Information Processing and Control Engineering (ICIPCE 2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019; 630. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/630/1/012025>.

6. Lu J., Cao L. Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic. In *Proceedings: IEEE Intelligent Transportation Systems*. 2003; Vol. 1: 50–53. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251919>.

7. Schneider W. Mobile phones as a basis for traffic state information. In *Proceedings IEEE Intelligent Transportation Systems*. 2005: 782–784. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2005.1520148>.

8. Gudkov V.A., Huong N., Dulina N.V., Mylnikov P.A. Ocenka passazhirami gorodskogo obshchestvennogo transporta [Assessment by passengers of urban public transport]. *Mir transporta*. 2013; 2: 146–150 (in Russian).

9. Hebel K., Wolek M. Perception of modes of public transport compared to travel behaviour of urban inhabitants in light of market research. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2016; 92: 65–75. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.92.7>.

10. Batley R., Bates J., Bliemer J., Borjesson M., Worsley T. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. *Transportation*. 2019; 46: 583–621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>.

11. Arslanov M.A., Minatullaev Sh.M., Filippov A.A. *Matematicheskaya model' organizacii perevozok passazhirov v ostanovochno-peresadochnykh punktah pri mnogokratnom izmenenii passazhiropotoka* [Mathematical model of passenger transportation at stopping points with multiple changes in passenger flow]. *Vestnik SibADI*. 2018; 15(3): 362–371. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-3-362-371> (in Russian).

12. Isakov K., Stasenko L.N., Altybaev A.Sh., Dayyrbekova D. *Vliyaniye parametrov cikla svetofornogo regulirovaniya na propusknyuyu sposobnost' reguliruemykh peresechenij* [Effect of traffic light cycle parameters on the throughput of regulated intersections]. *Vestnik SibADI*. 2019; no. 16(2): 146–155. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155> (in Russian).

13. Mochalin S.M., Koleber Yu.A. Perspektivy razvitiya metodov optimizacii marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta [Prospects for the development of methods for optimizing route networks of urban passenger transport]. *Vestnik SibADI*. 2019; 6(3): 241–255. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-241-255> (in Russian).

14. Eichler L. B. Ispol'zovanie operacionnogo analiza pri upravlenii finansovymi rezul'tatami avtotransportnoj organizacii [Use of operational analysis in the management of financial results of a motor transportation organization]. *Vestnik SibADI*. 2018; 15(1): 149–157. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-1-149-157> (in Russian).

15. Lerman E.B. Organizacionno-ekonomicheskie aspekty razvitiya predpriyatij passazhirskogo transporta

[Organizational and economic aspects of the development of passenger transport enterprises]. *Vestnik SibADI*. 2015; 5(45): 171–177. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5\(45\)-171-177](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-171-177) (in Russian).

16. Bokor Zoltan, Rita Markovits-Somogyi. Improved cost management at small and medium sized road transport companies: case Hungary. *Promet - Traffic & Transportation*. 2015; 27(5): 417–428. DOI: <https://doi.org/10.7307 / ptt.v27i5.1719>.

17. Sharov M.I., Mikhailov A.Yu. Ocenka nadezhnosti funkcionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta v gorodah Rossijskoj Federacii [Assessment of the reliability of urban public transport in the cities of the Russian Federation]. *Vestnik SibADI*. 2019; 16(3): 302–311. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-302-311> (in Russian).

18. Lukinskiy V., Lukinskiy V., Churilov R. Problems of the supply chain reliability evaluation. *Transport and Telecommunication*. 2014; 15(2): 120–129. DOI: <https://www.doi.org/10.2478/tj-2014-0011>.

19. Taghizadeh H., Hagezi E. The investigation of supply chain's reliability measure: A case study. *Journal of Industrial Engineering International*. 2012: 8–22. DOI: <https://doi.org/10.1186/2251-712X-8-22>.

20. Vojtov V., Berezchnaja N., Kravcov A., Volkova T. Evaluation of the Reliability of Transport Service of Logistics Chains. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018; 7(4.3): 270–274. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19802>.

21. Kurganov V.M., Gryaznov M.V. *Upravlenie nadezhnost'yu transportnyh sistem i processov avtomobil'nyh perevozok* [Reliability management of transportation systems and road transport processes]. Monografiya: Magnitogorsk: Izd-vo «Magnitogorskij Dom pečati», 2013: 318 (in Russian).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Курганов Валерий Максимович – научная редакция статьи и отчетных материалов, определение теоретических положений обеспечения надежности транспортных процессов и транспортных систем, методическая поддержка в вопросах обеспечения эффективности и надежности функционирования городского пассажирского транспорта, контроль корректности используемой терминологии и полученных результатов.

Грязнов Михаил Владимирович – научное руководство исследованием, включая формулировку проблемы, ее актуальность, идеи работы, постановку задач, формирование общей схемы проведения исследования, формулировка организационно-технологической специфики регулярной маршрутной сети городского транспорта в городах с градообразующими предприятиями, методическая поддержка в разработке экономико-математической модели оптимизации маршрутной сети.

Давыдов Кирилл Александрович – анализ научной и нормативно-правовой литературы по изучаемой проблеме, разработка оптимизационной экономико-математической модели, математической модели оценки надежности регулярных перевозок пассажиров, формирование массива исходной информации, проведение расчетов.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Valery M. Kurganov – scientific edition of the article and reporting materials; determination of the theoretical provisions for ensuring the reliability of transport processes and transport systems; methodological support in ensuring the efficiency and reliability of urban passenger transport; verifying the correctness of the terminology and results.

Mikhail V. Gryaznov – scientific management of the study, including the formulation of the problem, its relevance, ideas for work, setting objectives, forming a general scheme for conducting the study, formulating the organizational and technological specifics of the regular route network of urban transport in cities with city-forming enterprises, methodological support in the development of economic and mathematical route network optimization models.

Kirill A. Davydov – analysis of scientific and regulatory literature; development of an optimization economic and mathematical model; a mathematical model for assessing the reliability of regular passenger transportation; the formation of an array of source information; calculations.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Курганов Валерий Максимович – д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», проф. кафедры математики, статистики и информатики в экономике, ORCID 0000-0001-8494-2852 (170100, Россия, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33, glavreds@gmail.com).

Грязнов Михаил Владимирович – д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», доц. кафедры логистики и управления транспортными системами (455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, gm-autolab@mail.ru). ORCID 0000-0003-3142-1089.

Давыдов Кирилл Александрович – менеджер Магнитогорского филиала ООО «Автодоркомплект» (455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, ул. Герцена, д. 6, блок С, офис 406С, davyd_mazda@mail.ru). ORCID 0000-0002-6165-3377.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery M. Kurganov – Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Tver State University, Professor of the Department of Mathematics, Statistics and Informatics in Economics, ORCID 0000-0001-8494-2852 (170100, Russia, Tver, 33, Zhelyabova St., e-mail: glavreds@gmail.com).

Mikhail V. Gryaznov – Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Associate Professor of the Department of Logistics and Management of Transport Systems (455000, Russia, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, 38, Lenin Ave., e-mail: gm-autolab@mail.ru). ORCID 0000-0003-3142-1089.

Kirill A. Davydov – manager of the Magnitogorsk branch of “Avtodorkomplekt” (455000, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, 6, Gertsen St., block C, office 406C, e-mail: davyd_mazda@mail.ru). ORCID 0000-0002-6165-3377.