



manuilov@mail.ru

*Дульский Евгений Юрьевич* – к. т. н., доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: E.Dul'skiy@mail.ru

*Худоногов Игорь Анатольевич* – д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: hudonogov@irgups.ru

*Dul'skii Evgenii Yur'evich* – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: E.Dul'skiy@mail.ru

*Khudonogov Igor' Anatol'evich* – Doctor of Engineering Science, Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: hudonogov@irgups.ru

#### Для цитирования

Иванов П. Ю. Определение причин самопроизвольных срабатываний тормозов поезда в границах Красноярской железной дороги / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский, И. А. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 59, № 3. - С. 68–76. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76.

#### For citation

Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Dul'skii E. Yu., Khudonogov I. A. Improving the controllability of brakes of trains. *Modern technologies. System analysis Modeling*, 2018, Vol. 59, No. 3, pp. 68–76. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76.

УДК 656.2:621.01

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).76-82

**О. А. Лебедева, Ю. О. Полтавская, В. Е. Гозбенко**

*Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация*

*Дата поступления: 07 сентября 2018*

### ВЫБОР МАРШРУТА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

**Аннотация.** *Определение маршрута передвижения в системе метрополитена – один из путей повышения эффективности работы железной дороги, связанный с определением оптимального количества подвижного состава на линии и учетом интервалов движения, что в итоге может привести к снижению общего времени на передвижения. Системы метрополитена играют важную роль в удовлетворении спроса на городские перевозки в крупных городах. Задача восстановления матрицы корреспонденций на железнодорожном транспорте имеет большое значение для оптимального управления транспортным процессом, что включает в себя увеличение пропускной способности, оптимальное составление расписания движения, возможность моделирования в режиме реального времени. Внедрение новых систем оплаты проезда предоставляет возможность получить информацию о времени входа/выхода со станции. Но выбор поезда или/и маршрута передвижения остаются неизвестны. В статье представлен вариант решения задачи, не требующий затрат на дополнительное оборудование, кроме системы учета оплаты проезда, которая уже внедрена на железной дороге повсеместно. Проведен анализ существующих моделей, которые определяют основные факторы, влияющие на величину пропускной способности железнодорожных станций и степень их значимости. Анализ помог определить основные несоответствия сети железных дорог, ошибки, которые могут возникать в результате сбора данных, и пути их калибровки. В результате предлагается использовать вероятностную модель, которая может быть применена для проведения экспериментального анализа, касающегося восстановления матрицы корреспонденций.*

**Ключевые слова:** *железнодорожный транспорт, метрополитен, модель, смарт-карты, анализ, интеллектуальные транспортные системы, выбор маршрута.*

**О. А. Lebedeva, J. O. Poltavskaya, V. E. Gozbenko**

*Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation*

*Received: September 07, 2018*

### SELECTING A TRANSPORTATION ROUTE IN THE METROPOLITAN SYSTEM

**Abstract.** *Determining the transportation route in the metropolitan system is one of the ways to improve the efficiency of the railway, associated with determining the optimal number of rolling stock on the line and taking into account the intervals, which can eventually lead to a decrease in the total travel time. Metropolitan systems play an important role in meeting the demand for urban transport in major cities. The task of restoring the correspondence matrix in railway transport is important for optimal control of the transport process, which includes increasing the capacity, optimizing the timetable, and the ability to simulate in real time. The introduction of new payment systems provides an opportunity to obtain information about the time of entry / exit to the station. But the choice of the train and / or the route of transportation remains unknown. The article presents a solution to the problem, which does not require the cost of additional equipment, except for the fare accounting system, which has already been universally implemented in the railway. The analysis of existing models that determine the main factors affecting the size of the capacity of railway stations and the degree of their significance are analyzed. The analysis helped to identify the main inconsistencies in the railway network, errors that may arise as a result of data collection, and ways of their calibration. As a result, it is proposed to use a probabilistic model that can be used to carry out an experimental analysis of the restoration of the correspondence matrix.*

**Keywords:** *railway transport, metropolitan railway, model, smart cards, analysis, intelligent transport systems, route selection.*

**Введение**

Метрополитен в крупных городах играет важную роль в удовлетворении потребностей населения в перевозках городским общественным транспортом. Высокая скорость доставки, большой объем перевозок и соблюдение расписания движения позволяют данному виду транспорта лидировать при выборе варианта перемещения. В г. Санкт-Петербурге в 2018 году ежедневно совершается около 2 миллионов поездок на метро, что составляет около трети всего пассажиропотока

(67 станций, 1600 вагонов ежедневно курсируют по пяти линиям).

На рис. 1 показана схема метрополитена. С дальнейшим расширением метрополитена количество пассажиров будет быстро возрастать. С одной стороны, увеличение пассажиропотока на метрополитене поможет эффективно снизить транспортные потоки на дорогах. С другой стороны, это приведет к резкому увеличению спроса на системы метрополитена [1–3].



Рис. 1. Схема метрополитена г. Санкт-Петербурга



Транспортные модели крупных систем метрополитена, как правило, очень сложные. Обычно имеется несколько маршрутов, связывающих станцию посадки и станцию назначения в транспортных системах. Это означает, что неизвестно, как пассажиры распределяются по маршрутам и поездам. Данная информация важна как для пассажиров, так и для диспетчеров, организующих бесперебойную работу железной дороги. С точки зрения диспетчерского пункта, понимание распределения пассажиропотока по всей сети метрополитена важно для повышения надежности обслуживания [4–7].

Традиционные подходы не являются масштабируемыми. Чтобы понять поведение пассажира при выборе маршрута, можно использовать один из традиционных методов – проведение полевых съемок на вокзалах путем опроса пассажиров [8]. Существуют ограничения этого метода. Во-первых, во время таких обследований возможно опросить только часть пассажиров (невозможно опросить всех пассажиров, то есть масштаб и точность обследования относительно). Во-вторых, это достаточно трудоемкий процесс.

Автоматизированные системы сбора платы за проезд открывают новые возможности для анализа сети метро: транзакционные записи могут определить станцию посадки/высадки, поскольку пассажиры используют смарт-карты или билеты при каждом входе/выходе со станции [9, 10]. Тем не менее эти данные не могут гарантированно показать вариант перемещения, даже когда рассматривается уникальный маршрут, так как существует множество факторов, которые могут повлиять на окончательный план поездки пассажира. Например, если поезд не имеет достаточной пассажироместимости для размещения всех пассажиров, ожидающих на платформе, такой вариант называется «пассажир, оставленный позади» – он довольно часто встречается в часы пик или на больших станциях. Также существуют дисбалансы географического распределения пассажиров, времени подхода к платформе.

Рассмотрим вариант решения, который не нуждается в дополнительном оборудовании, кроме таблицы времени работы поездов и данных записей смарт-карт. Сопоставляя записи со смарт-карт пассажиров с таблицей времени работы поездов, возможно сузить круг поиска маршрута [11, 12].

#### Построение математической модели

Рассмотрим вероятностную модель, которая может эмпирически оценить, как пассажирские потоки распределяются между различными маршрутами и поездами.

Для решения поставленной задачи требуются два типа данных: данные транзакций смарт-карт и данные о работе поезда. Запись со смарт-карт включает следующую информацию:  $id$  поля – определяется, когда пассажир проходит через турникет, приложив смарт-карту (уникальный идентификатор смарт-карты),  $s$  (станция метро),  $t$  (время транзакции) и тип (вход/выход). Информация о работе поезда –  $sq$  (последовательность движения поезда),  $l$  (линия метро),  $s$  (станция метро),  $t$  (время транзакции) и тип (прямое/обратное направление).

Для поездки  $x$  пассажира мы можем наблюдать за временем поездки  $x.b$ , которое состоит из начала поездки  $x.o$  и времени ее окончания  $x.e$  и пункта назначения  $x.d$ . Если имеются пересадки во время поездки  $i$ , то мы предполагаем, что у поездки есть  $i$  частей. Первая часть – получение посадочного талона при входе в систему метро. Последняя часть – пассажир выходит из метро.

Предположим, что существует набор эффективных маршрутов  $R$ , в котором  $O$  – станция отправления,  $D$  – станция прибытия. Таким образом,  $R = \{R1, R2, \dots, RZ\}$ . Для простоты мы делим один день на фиксированные интервалы времени  $\delta$ , равные 30 минутам. Затем один день можно разбить как  $I = \{I1, I2, I3, \dots, I48\}$ . Мы предполагаем, что, учитывая интервал  $\delta$ , вероятность того, что каждый маршрут будет выбран, стабильна в каждом временном интервале. Далее мы определяем, что маршруты, выбранные в конкретном временном интервале  $Ij$ , подчиняются полиномиальному распределению с параметром  $aj = \{aj, 1, aj, 2, \dots, aj, Z\}$ , где  $z = 1$ . Для вычисления  $aj$  необходимо учитывать расписание движения поезда  $Tab$  и набор поездок пассажиров  $X = \{x1, x2, x3, \dots, xQ\}$ , которые начинаются во временном интервале  $Ij$  [13–15].

Для решения примем следующие допущения:

- время, которое пассажир тратит на подход к платформе, незначительно;
- большинство пассажиров покинет станцию метро как можно скорее после того, как поезд достигнет места назначения.

Основываясь на этих предположениях, мы можем заключить, что при поездке пассажира маршрут и поезд, которые он выбирает в последней части поездки, будут определены однозначно.

Маршрут передвижения  $\zeta = (s, l, j)$  учитывает пассажиров, которые входят в метрополитен на станции  $s$  линии метро  $l$ , во временном интервале  $j$ .

Маршрут передвижения с пересадкой  $\eta = (s, l, l'', j)$ , учитывает пассажиров  $\eta$ , которые произ-

водят пересадку с линии  $l$  на  $l''$  (на другую станцию) во временном отрезке  $j$ .

Для восстановления матрицы необходимо найти пары станций входа/выхода/пересадки  $aj$  со всеми возможными эффективными маршрутами. Должны быть известны все возможные маршруты  $R$ , все поездки  $X$ , начинающиеся на временном интервале  $I_j$  от станции отправления  $O$  до станции прибытия  $D$ , и расписание движения поезда  $Tab$ . Для вычисления  $aj$  мы используем функцию максимального правдоподобия, где  $Pr(x^q, e, Tab, x^q, b, R_z)$  – это возможность, что пассажир  $x^q$  проходит через выход в момент времени  $x^q, e$  в соответствии с расписанием движения поезда  $Tab$ ,  $x^q, b$  и выбранным маршрутом  $R_z$ .

$$L(X, Tab, a_j) = \ln \prod_{x^q \in X} \left( \sum_{R_z \in R} R_z(a_{j,z} \times \Pr(x^q, e | Tab, x^q, b, R_z)) \right) = \ln \sum_{x^q \in X} \sum_{R_z \in R} R_z(a_{j,z} \times \Pr(x^q, e | Tab, x^q, b, R_z)). \quad (1)$$

В результате мы можем найти все возможные комбинации поездов, которые пассажир может использовать в период своей поездки. Таким образом,  $Pr(x^q, e | Tab, x^q, b, R_z)$  может быть рассчитан путем суммирования вероятностей всех возможных комбинаций. Чтобы получить вероятность выбора каждого варианта, необходимо изначально выявить число поездов, в которые пассажир может осуществить посадку во время ожидания. Затем мы определяем количество ожидающих пассажиров ( $\zeta$ ), которое подчиняется полиномиальному распределению с параметром  $\theta\zeta = \{\theta\zeta(1), \theta\zeta(2), \dots, \theta\zeta(n)\}$ , и количество поездов, которые может ожидать пассажир ( $\eta$ ), подчиняющееся также полиномиальному распределению с параметром  $\beta\eta = \{\beta\eta(1), \beta\eta(2), \dots, \beta\eta(n)\}$ . В процессе поездки пассажира  $\beta$  зависит от  $\theta$ . Поскольку все пары станций (входа/выхода) имеют несколько маршрутов, поездки с одним маршрутом и без пересадки могут использоваться для оценки  $\theta\zeta$  (так как данный маршрут уникален). Затем, рассматривая  $\theta\zeta$  как предварительные данные, для оценки  $\beta$  можно использовать поездки с одним маршрутом и несколькими пересадками. Наконец, учитывая, что  $\theta\zeta$  и  $\beta$  априорные значения,  $aj, z$  можно оценить, максимизируя функцию (1) [16–19].

### Обработка данных

Рассмотрим схему процесса обработки данных. В данных смарт-карт можно выделить несколько наиболее часто встречающихся вариантов ошибок, например, отсутствие необходимых данных, дублирование данных или данные с логическими ошибками. Таким образом, на этапе предварительной обработки данных проводится процедура отсеивания данных, имеющих ошибки. На

этапе генерации маршрутов мы используем алгоритм нахождения кратчайших путей  $k$  всех пар  $OD$  (матрицы корреспонденций), предложенный автором D. Borahakur [20]. Затем выделяем маршруты, которые по времени никак не могли использовать пассажиры. Условно мы можем классифицировать эти маршруты следующим образом: «нет пересадок – один маршрут», «одна пересадка – один маршрут», «несколько пересадок – один маршрут», «несколько маршрутов» (рис. 2).

На следующем шаге проводится анализ выбора маршрутов относительно расписания движения поездов. Для оценки  $\theta$  и  $\beta$  используются поездки без пересадок. Затем вычисляем вероятность выбора каждого маршрута для  $OD$  пар с несколькими маршрутами. Наконец, анализируются пассажиропотоки. Выбираются все возможные варианты, которые могут быть выбраны пассажирами.

Поездку пассажира в метрополитене условно можно разделить на 5 этапов:

- 1) прохождение через турникет и подход к платформе;
- 2) ожидание поезда на платформе;
- 3) посадка в вагон и сам процесс перемещения, пока поезд не достигнет пункта назначения;
- 4) процесс пересадки на другой поезд, если это необходимо;
- 5) выход из метрополитена.

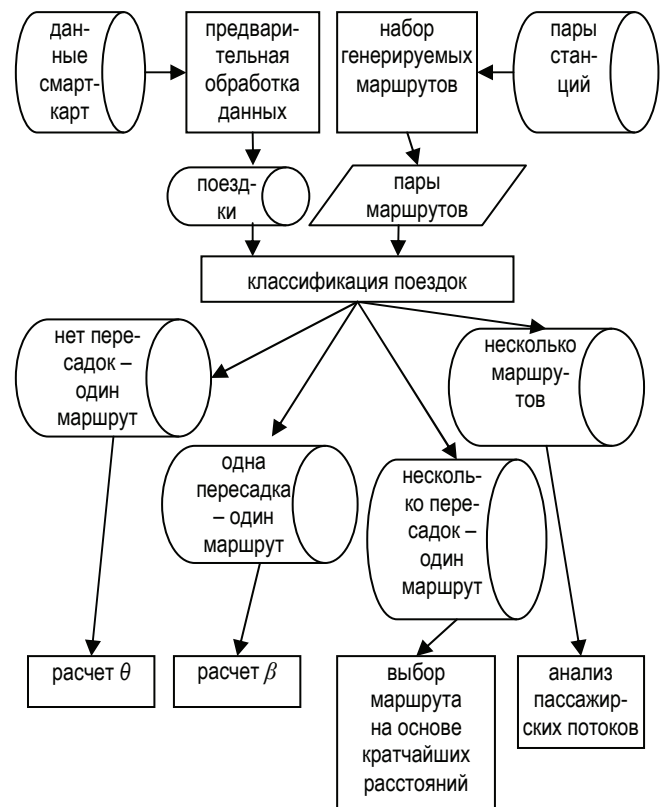


Рис. 2. Процесс обработки данных



Анализируя имеющиеся данные, можно выделить на рис. 3 два очевидных пиковых периода 7:00 – 9:00 и 18:00 – 20:00. Так как большинство населения отправляются к местам приложения труда и обратно в утренние и вечерние часы пик, то в этот временной промежуток пассажироместимость поезда может не соответствовать фактическим требованиям.

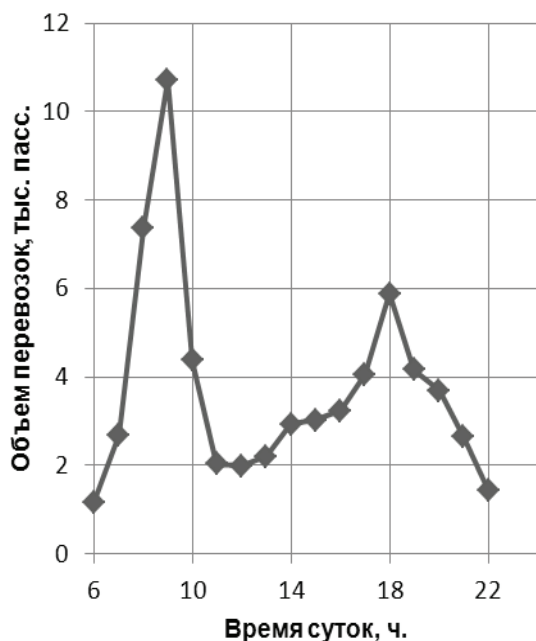


Рис. 3. Объем перевезенных пассажиров по часам суток

В часы пик должно отправляться большее число поездов. Еще один момент, который заслуживает дальнейшего пояснения, состоит в том, что даже во время непиковых периодов, когда подвижной состав не должен быть переполненным, не все пассажиры совершают посадку в первый подошедший поезд, так как заботятся о комфорте и ожидают, что в следующем поезде будут доступны сидячие места. В связи с этим также

наблюдается увеличение среднего времени ожидания подхода поезда в пиковые периоды (рис. 4).

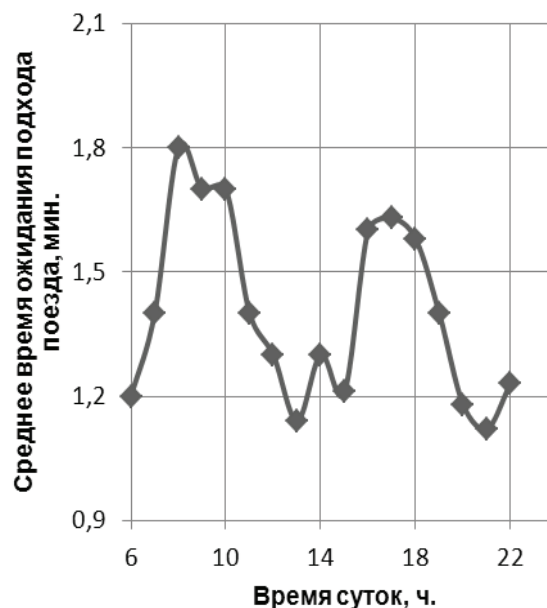


Рис. 4. Динамика изменения среднего времени ожидания подхода поезда

#### Заключение

Определение маршрута передвижения в системе метрополитена – на наш взгляд, один из путей повышения эффективности работы железной дороги, с определением оптимального количества подвижного состава на линии и учетом интервалов движения, что в итоге приведет к снижению общего времени на передвижения. Заинтересованность в определении комбинаций маршрутов/поездов испытывают диспетчеры, операторы подвижного состава и непосредственно сами пассажиры для оказания/получения качественных услуг с высоким уровнем комфорта.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крипак М.Н., Колесник А.И. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в современных городах // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1. С. 194–198.
2. Крипак М.Н., Лебедева О.А. Оценка состояния улично-дорожной сети крупного города // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 171–174.
3. Гозбенко В.Е. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажиро и грузопотоков / В.Е. Гозбенко, М.Н. Крипак, А.С. Пашкова, А.Н. Иванков // ИрГУПС. – Иркутск, 2008. С. 76. Деп. в ВИНТИ. 15.04.2008, № 330-В2008.
4. Михайлов А.Ю., Копылова Т.А. Система критериев оценки качества функционирования интермодальных узлов пассажирского транспорта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 6 (11). С. 73–80.
5. Матвеева М.А., Ковалева Т.С., Шаров М.И. Повышение качества функционирования интермодальных узлов пригородного железнодорожного пассажирского транспорта Иркутской агломерации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 6 (11). С. 115–122.
6. Крипак М.Н., Гозбенко В.Е., Колесник А.И. Оптимизация структуры транспорта как мера повышения эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта. // Материалы 10-й ежегодной реги-он. научно-практ. конф. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2013.



7. Михайлов А.Ю., Копылова Т.А. Разработка оценочной шкалы продолжительности пересадок в интермодальных узлах городского пассажирского транспорта // Вестник ИрГТУ. 2015. № 12 (107). С. 258–263.
8. Лебедева О.А. Поведенческая модель выбора маршрута в метрополитене // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 110–111.
9. Лебедева О.А. Методика применения системы оплаты смарт-картами в общественном транспорте // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 106–107.
10. Полтавская Ю.О. Данные смарт-карт как источник информации о транспортных передвижениях на общественном транспорте // Современные технологии и научно-технический прогресс. Тезисы докладов ежегодной международной научно-технической конференции имени В.Я. Баденикова. Ангарск, АнГТУ, 2018. С. 119–120.
11. Карелин Н.И., Шаров М.И. К вопросу повышения эффективности работы интермодальных узлов пригородного железнодорожного пассажирского транспорта Иркутской агломерации // В сборнике: РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2016. С. 46–52.
12. Оленевич В.А., Гозбенко В.Е. Анализ причин нарушения безопасности работы железнодорожной транспортной системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 1 (37). С. 180–183.
13. Kusakabe T., Iryo T., Asakura Y. Estimation method for railway passengers' train choice behavior with smart card transaction data // Transportation, vol. 37, no. 5, pp. 731–749, 2010.
14. Sheffi Y. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods // 1985, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, c 1985.
15. Nakayama S., Kitamura R. Route choice model with inductive learning, pp. 63–70, 2000.
16. Bagchi M., White P. The potential of public transport smart card data // Transport Policy, vol. 12, no. 5, pp. 464–474, 2005.
17. Agard B., Morency C., Trépanier M. Mining public transport user behaviour from smart card data // in 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing-INCOM, 2006, pp. 17–19.
18. Pelletier M.-P., Trépanier M., Morency C. Smart card data use in public transit: A literature review // Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 19, no. 4, pp. 557–568, 2011.
19. Jin J.G., Tang L.C., Sun L., Lee D.-H. Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 63, pp. 17–30, 2014.
20. Borthakur D. Hdfs architecture guide," HADOOP APACHE PROJECT <http://hadoop.apache.org/common/docs/current/hdfs-design.pdf>, 2008.

## REFERENCES

1. Kripak M.N., Kolesnik A.I. Problemy i perspektivy razvitiya transportnoi infrastruktury v sovremennykh gorodakh [Problems and prospects for the development of transport infrastructure in modern cities]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of the Angarsk State Technical University]*, 2014, Vol. 1, pp. 194–198.
2. Kripak M.N., Lebedeva O.A. Otsenka sostoyaniya ulichno-dorozhnoi seti krupnogo goroda [Assessment of the state of the road network of a large city]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2016, No. 3 (51), pp. 171–174.
3. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Pashkova A.S., Ivankov A.N. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s ucheto moshchnosti passazhiro i gruzopotokov [Methods of forecasting and optimizing the transport network taking into account passenger and cargo traffic]. IrGUPS Publ., Irkutsk, 2008, p. 76. Dep. in VINITI. 15.04.2008, No. 330-V2008.
4. Mikhailov A.Yu., Kopylova T.A. Sistema kriteriev otsenki kachestva funktsionirovaniya intermodal'nykh uzlov passa-zhirskogo transporta [The system of criteria for assessing the quality of functioning of intermodal passenger transport hubs]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' [Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate]*, 2014, No. 6 (11), pp. 73–80.
5. Matveeva M.A., Kovaleva T.S., Sharov M.I. Povyshenie kachestva funktsionirovaniya intermodal'nykh uzlov prigorodnogo zheleznodorozhnogo passazhirskogo transporta Irkutskoi aglomeratsii [Improving the quality of functioning of the intermodal nodes of the suburban railway passenger transport of the Irkutsk agglomeration]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' [Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate]*, 2014, No. 6 (11), pp. 115–122.
6. Kripak M.N., Gozbenko V.E., Kolesnik A.I. Optimizatsiya struktury transporta kak mera povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta [Optimization of the transport structure as a measure to improve the efficiency of the urban passenger transport system]. *Materialy 10-oi ezhegodnoi region. nauchno-prakt. konf. [Materials of the 10th annual region. scientific and practical conf.]*. Angarsk: AGTA Publ., 2013.
7. Mikhailov A.Yu., Kopylova T.A. Razrabotka otsenochnoi shkaly prodolzhitel'nosti peresadok v intermodal'nykh uzlakh gorodskogo passazhirskogo transporta [Development of the estimated scale of the duration of transfers in the intermodal nodes of urban passenger transport]. *Vestnik IrGTU [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2015, No. 12 (107), pp. 258–263.
8. Lebedeva O.A. Povedencheskaya model' vybora marshruta v metropolitene [Behavioral model of the choice of route in the metro]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress [Modern technologies and scientific and technical progress]*, 2018, Vol. 1, pp. 110–111.
9. Lebedeva O.A. Metodika primeneniya sistemy oplaty smart-kartami v obshchestvennom transporte [Methods of using the smart card payment system in public transport]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress [Modern technologies and scientific and technical progress]*, 2018, Vol. 1, pp. 106–107.
10. Poltavskaya Yu.O. Dannye smart-kart kak istochnik informatsii o transportnykh peredvizheniyakh na obshchestvennom transporte [Smart-card data as a source of information about transport movements on public transport]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress. Tezisy dokladov ezhegodnoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii imeni V.Ya. Badenikova [Modern technologies and scientific and technical progress. Abstracts of reports of the Badenikov annual international scientific and technical conference]*. Angarsk, AnGTU Publ., 2018, pp. 119–120.



11. Karelin N.I., Sharov M.I. K voprosu povysheniya effektivnosti raboty intermodal'nykh uzlov prigorodnogo zhelezno-dorozhnogo passazhirskogo transporta Irkutskoi aglomeratsii [On the issue of improving the efficiency of intermodal nodes of the suburban railway passenger transport of the Irkutsk agglomeration]. *V sbornike: REZUL'TATY NAUCHNYKh ISSLEDOVANIЙ Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [In the collection: RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. In: Sukiasyan A.A. (ed.-in-chief), 2016, pp. 46–52.
12. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Analiz prichin narusheniya bezopasnosti raboty zheleznodorozhnoi transportnoi sistemy [Analysis of the causes of violation of the safety of the railway transport system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2013, No. 1 (37), pp. 180–183.
13. Kusakabe T., Iryo T., Asakura Y. Estimation method for railway passengers' train choice behavior with smart card transaction data. *Transportation*, vol. 37, no. 5, pp. 731–749, 2010.
14. Sheffi Y. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. 1985, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, c 1985.
15. Nakayama S., Kitamura R. Route choice model with inductive learning, pp. 63–70, 2000.
16. Bagchi M., White P. The potential of public transport smart card data. *Transport Policy*, vol. 12, no. 5, pp. 464–474, 2005.
17. Agard B., Morency C., Trépanier M. Mining public transport user behaviour from smart card data. *In 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing-INCOM*, 2006, pp. 17–19.
18. Pelletier M.-P., Trépanier M., Morency C. Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 19, no. 4, pp. 557–568, 2011.
19. Jin J.G., Tang L.C., Sun L., Lee D.-H. Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 63, pp. 17–30, 2014.
20. Borthakur D. Hdfs architecture guide. HADOOP APACHE PROJECT <http://hadoop.apache.org/common/docs/current/hdfs-design.pdf>, 2008.

### Информация об авторах

### Authors

Лебедева Ольга Анатольевна – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: kravhome@mail.ru

Полтавская Юлия Олеговна – к. т. н., ассистент кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д. т. н., профессор, кафедра «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Lebedeva Ol'ga Anatol'evna – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: kravhome@mail.ru

Poltavskaya Yuliya Olegovna – Ph.D. in Engineering Science, Asst. at the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Gozbenko Valerii Erofeevich – Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

### Для цитирования

### For citation

Лебедева О. А. Выбор маршрута передвижения в системе метрополитена / О. А. Лебедева, Ю. О. Полтавская, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 59, № 3. – С. 76–82. – DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).76-82.

Lebedeva O. A. Poltavskaya Yu. O., Gozbenko V. E. Selecting a transportation route in the metropolitan system. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2018, Vol. 59, No. 3, pp. 76–82. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).76-82.

УДК 656.021.2:004

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).82-91

**А. А. Ветрогон, М. Н. Крунак**

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

Дата поступления: 15 сентября 2018

## ТРАНСПОРТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

**Аннотация.** Отмечены транспортные проблемы организации жизненного пространства крупных городов. Отражен современный опыт разрешения транспортных проблем. Приведены мероприятия, нацеленные на решение проблемы дорожных заторов. Отмечено, что большую роль в улучшении транспортной ситуации играет компьютерное моделирование дорожного движения. Результаты моделирования объективны, способствуют нахождению оптимального решения транспортных задач (реконструкция городской дорожной сети (УДС), установка дорожных знаков, организация парковочных мест).

Рассмотрены транспортные модели с точки зрения математического аппарата и способа привязки к улично-дорожной сети. Произведен обзор программных пакетов, реализующих микро-, мезо- и макро моделирование автотранспортных сетей и потоков. Выбран проектировочный программный пакет для моделирования проблемных участков крупного города.