



11. Khomenko A.P., Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Comparative analysis of simulation results and test of the dynamics of the wheelset. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017. Vol. 12. No. 23. pp. 13773-13778.
12. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Karlina Yu.I., Karlina A.I., Artyunin A.I. Automation of the motion process of the materials which are subject to the incoming quality control. *Advances and Applications in Discrete Mathematics*. 2018. Vol. 19. No. 3, pp. 289-297.
13. Gurov L.V., Dumnov G.E., Ivanov A.V. Primenenie vychislitel'nogo kompleksa FLoEFD dlya rascheta aerodinamiki letatel'nykh apparatov s gazostruinymi organami upravleniya [Application of the FLoEFD computing complex for calculating aerodynamics of aircraft with gas-jet controls]. *Vestnik kontserna PVO Almaz-Antei [The Bulletin of the Almaz-Antey Air Defense Concern]*. Moscow: VKO Almaz-Antei Publ., 2015, pp. 61-68.
14. Defoe G. L. A comparison of the aerodynamic characteristics of the normal and three reflexed airfoils in the variable density. *Technical notes*. Washington: Langley Memorial Aeronautical Laboratory, 1931. 13 p.
15. Krivel' S.M. Dinamika poleta. Raschet letno-tekhnicheskikh i pilotazhnykh kharakteristik samoleta [Flight dynamics. Calculation of the flight technical and aerobatic characteristics of the aircraft]. Moscow: Lan' Publ., 2016. 25 p.
16. Mednikov V.N. Dinamika poleta i pilotirovanie samoletov. Uchebnik [Flight dynamics and piloting of aircraft]. Monino: Yu.A. Gagarin VVA Publ., 1976. 155 p.
17. Mueller T. J., DeLaurier J. D. Aerodynamics of small vehicles. *Annual review of fluid mechanics*, 2003. Vol. 35. No. 1, pp. 89-111.
18. Karlina A.I., Gozbenko V.E. Modelirovanie ob'ektov mashinostroeniya dlya snizheniya vliyaniya vneshnikh vibratsionnykh vozdeistvii [Modeling the objects of mechanical engineering to reduce the influence of external vibration influence]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2016. Vol. 20. No. 10 (117), pp. 35-47.
19. Shyy W. et al. A study of flexible airfoil aerodynamics with application to micro aerial vehicles. *28th Fluid Dynamics Conference*, 1997, pp. 1933.

Информация об авторах

Смирнов Антон Николаевич – техник кафедры самолетостроения и эксплуатация авиационной техники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: horror512@yandex.ru

Говорков Алексей Сергеевич – к. т. н., доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: govorkov_as@istu.edu

Authors

Anton Nikolaevich Smirnov – technician, the Subdepartment of Aircraft Engineering and Aircraft Operation, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: horror512@yandex.ru

Aleksei Sergeevich Govorkov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Aircraft Engineering and Operation of Aviation Equipment, Head of Department of Supervisory Activities, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: govorkov_as@istu.edu

Для цитирования

Смирнов А. Н. Определение внешних силовых факторов, действующих на беспилотный летательный аппарат на критических режимах полета / А. Н. Смирнов, А. С. Говорков // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 125–131. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 125-131

For citation

Smirnov A. N., Govorkov A. S. Opredeleniye vneshnikh silovykh faktorov, deystvuyushchikh na bespilotnyy letatel'nyy apparat na kriticheskikh rezhimakh poleta [Determination of external power factors acting on unmanned aerial vehicle on critical flight modes]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 125–131. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 125-131

УДК 656.2

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).131–137

О. А. Лебедева¹, В. Е. Гозбенко^{1,2}, С. К. Каргапольцев²

¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 16 сентября 2019 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРОДСКИХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ЭНТРОПИИ

Аннотация. Грузовые автомобили совершают длительные поездки, состоящие из нескольких туров, которые не связаны логистическими решениями. Для прогнозирования спроса на городские грузовые перевозки необходимы разработка и апробация альтернативных моделей, так как не все варианты транспортировки подчиняются традиционному четырехэтапному подходу. Приведены два основных варианта применения энтропии в транспортном моделировании. Обозначены аспекты и ограничения, которые необходимо учесть при разработке алгоритма. Из всех способов распределения транспортных потоков самыми вероятными будут те, которые позволяют сгенерировать наибольшее количество решений с учетом ограничений. Ограничения включают общее количество поездок транспортных средств в каждом узле. Рассматриваемая в статье модель максимизации энтропии на основе тура, предназначена для прогнозирования грузовых потоков с учетом информации о совокупном спросе (количество произведенных или привлеченных к каждому узлу поездок). Она апроби-



рована на реальных данных. Расчетные результаты показывают точность и эффективность подхода, предполагаемые потоки соответствуют наблюдаемым значениям. Не менее важно, что параметры модели и параметры, полученные в результате распределения длины поездки были концептуально обоснованными, чем больше продолжительность тура, тем меньше вероятность того, что потоки будут распределены на этот тур. Это согласуется с тем аспектом, что экономически выгоднее маршруты с минимальной протяженностью. В результате применения энтропийной модели прогнозирования спроса на грузовые поездки в городских районах возможно нахождение потоков транспортных средств, которые соответствуют реальным схемам движения грузов.

Ключевые слова: грузовые перевозки; модель максимизации энтропии; энтропия; транспорт.

*O. A. Lebedeva*¹, *V. E. Gozbenko*^{1,2}, *S. K. Kargapol'tsev*²

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: September 16, 2019

OPTIMIZING URBAN TRANSPORTATION USING ENTROPY MODEL

Abstract. Trucks make long trips consisting of several tours that are not connected by logistic solutions. To predict the demand for urban transportation, it is necessary to develop and test alternative models, since not all options for transporting goods follow the traditional four-stage approach. The article presents two main applications of entropy in transport modeling, indicating the aspects and limitations that should be taken into account when developing the algorithm. Of all the methods for distributing traffic flows, the most likely ones will be those that make it possible to generate the greatest number of solutions, taking into account limitations. The limitations include the total number of vehicle rides at each node. The paper considers a model of entropy maximization based on the trip, designed to predict freight flows taking into account information about aggregate demand (the number of trips made or attracted to each node). It is tested on real data. The calculated results show the accuracy and efficiency of the approach. The estimated flows correspond to the observed values. It is equally important that the model parameters and the resulting distribution of the trip length were conceptually justified. The longer the trip, the less likely it is that the flows will be distributed on this trip, which is consistent with the aspect that routes with a minimum length are economically more profitable. As a result of applying the entropy model to forecast the demand for freight trips in urban areas, it is possible to find vehicle flows that correspond to real freight traffic patterns.

Keywords: transport network planning; freight transportation; the model of maximization of entropy; entropy; transport.

Введение

Грузовой подвижной состав совершает длительные поездки, состоящие из нескольких туров, которые не связаны логистическими решениями. Эти туры не подчиняются традиционному четырехэтапному подходу, который предполагает, что поездки независимы, и взаимодействие между парой «отправитель – получатель» связано только с зоной отправления и соответствующими парами пунктов. Таким образом, для прогнозирования спроса на городские перевозки необходимы разработка и апробация альтернативных моделей [1–3].

Анализируя тенденции развития грузового движения последних десятилетий можно отметить одну из уникальных особенностей – создание цепочки поездок, которым уделяется все больше внимания. Распределение товаров среди поставщиков и потребителей представляет собой последний сегмент цепочки поставок и является ключевым компонентом городских грузовых перевозок. Модели, разработанные на сегодняшний день для распределения товаров в цепочке, могут быть классифицированы на основе товаров, подвижного состава и непосредственно процесса

транспортировки [4–6]. Товарный подход позволяет моделировать количество груза, которое перемещается между каждой парой пунктов отправления / назначения в цепочке. Его преимущество – моделирование на основе спроса.

Преобразование товарных потоков в транспортные является критическим шагом в подходе, поскольку требуется моделирование поездок. Самый простой способ выполнить этот шаг – предположить, что происходят только прямые поставки, т. е. одна доставка за тур. Однако эмпирические данные свидетельствуют о том, что это не так в ряде цепочек. Для решения этой задачи предлагается либо конверсия, либо энтропийный подход. Существует два основных способа применения энтропии:

1. Как мера вероятности макросостояний системы: максимальная энтропия наиболее вероятное макросостояние, основанное на статистической механике.

2. Как мера неопределенности распределения вероятности. Максимальное распределение вероятности энтропии – это наибольшая неопределенность при условии неполной информации о системе. Этот вариант основан на теории информации.



В области транспортного моделирования используется первое представление об энтропийной концепции для обеспечения теоретической основы гравитационных моделей; оценки наиболее вероятных матриц, восстанавливаемых по транспортным потокам.

В модели оценки матрицы потоков в рамках подхода на основе товаров используется второе из двух представлений о концепции энтропии. Модель сформулирована как задача максимизации энтропийной целевой функции с ограничениями линейного равенства и неотрицательности для переменных решений. Этот класс задач широко изучается как с теоретической, так и с вычислительной точек зрения. Оптимальное решение является уникальным, если допустимая область не пуста. Для получения эффективных алгоритмов предлагается обозначить некоторые аспекты:

- поставки товаров происходят в зонах движения;
- сеть представлена графом, состоящим из узлов, которые включают в себя центроиды;
- возможный маршрут порядка r – это упорядоченная последовательность объезда узлов;
- набор возможных туров позволяет определить матрицы инцидентности зоны и тура;
- каждый тур имеет вероятность существования в реальной транспортной сети;
- количество поездок конкретного тура пропорционально его вероятности;
- матрицу с учетом потоков обхода возможно получить с помощью системы структурных уравнений, где коэффициенты являются элементами матрицы инцидентности;
- тур строится по маршруту относительно минимальной стоимости объезда каждой пары пунктов;
- стоимость тура является аддитивной по отношению к составляющим звеньям;
- основными переменными являются вероятности тура.

Применяется два набора ограничений. Первый представляет структурные свойства: вероятности обхода (неотрицательности). Второй представляет информацию, необходимую для моделирования матрицы потоков – количество поставщиков / потребителей. Эта информация преобразуется в набор ограничений на спрос при определении потоков объезда.

Количество туров должно быть максимальным сокращено для определения набора с ненулевой вероятностью совершения. Для этого необходимо проанализировать выборку туров для каждой цепочки, обеспечивающую распределение регуля-

ности туров и их количество по отдельным зонам, максимальное число заездов в зону во время совершения тура. Необходимо учитывать ограничение затрат, которые включают две или более зоны, и может быть получено из выборки средней стоимости тура.

Модель имеет два нестандартных решения:

1. Когда все туры имеют один и тот же порядок объезда, включая только одну зону, решение получается непосредственно из ограничений спроса и равняется решению с минимальными затратами.

2. Когда все туры имеют одинаковый порядок объезда, рассматриваются все возможные варианты, ограничение затрат не включено, решение представляет собой мультипропорциональную модель [7, 8].

Для проверки эффективности работы моделей часто используют искусственные сети. Данный подход делает очевидным ограничение в использовании только искусственных сетей. Подобно гравитационным моделям в предложенных вариантах используются данные, полученные из выборок, которые приведены в ограничениях модели.

Для того чтобы решить эту задачу, было разработано несколько вариантов моделирования городских грузовых перевозок:

- маршрутизация транспортных средств на дезагрегированном уровне;
- использование вероятностей, генерируемых набором моделей с дискретным выбором;
- гибридная структура микромоделирования для туров, которые удовлетворяют известный поток товаров матрицы в городской транспортной сети [9–16].

Эти дезагрегированные модели с одной стороны способны произвести процесс принятия решений на транспортном средстве, с другой стороны – у них есть некоторые ограничения, относительно применения в крупных городах. К ним относятся процедуры сбора данных, время вычислений и сильная зависимость от ограничений, сделанных в отношении логистических операций.

В отличие от дезагрегированного метода, подход на основе совокупного тура может использоваться в качестве альтернативного способа моделирования городских перевозок грузов, учитывая не столь высокие требования к исходным данным, меньшее время обработки и зависимость от поведения пользователей. Однако в этом направлении известно единственное исследование, связанное с разработкой трех типов моделей комбинированного сетевого равновесия, которые учиты-



вают поведение цепочки поездок, но не могут прогнозировать спрос.

Для разработки модели совокупного спроса на грузовые перевозки можно применить метод максимизации энтропии, который эквивалентен традиционной гравитационной модели. Основное отличие состоит в том, что гравитационная модель оценивает потоки от пункта отправления i до пункта получения j , а предлагаемая модель решает задачу относительно всего тура, состоящего из нескольких пунктов. Максимизация энтропии предполагает, что при отсутствии данных о грузовом движении в транспортной сети все потоки считаются равновероятными, если нет других условий.

Из всех способов распределения транспортных потоков самыми вероятными будут те, которые позволят сгенерировать наибольшее количество решений с учетом ограничений. Ограничения включают общее количество поездок транспортных средств в каждом узле. В результате применения энтропийной модели возможно нахождение потоков транспортных средств, которые соответствуют реальным схемам движения грузов.

Постановка задачи

Перед постановкой задачи важно определить понятия «тур», «поток тура» и «поездка».

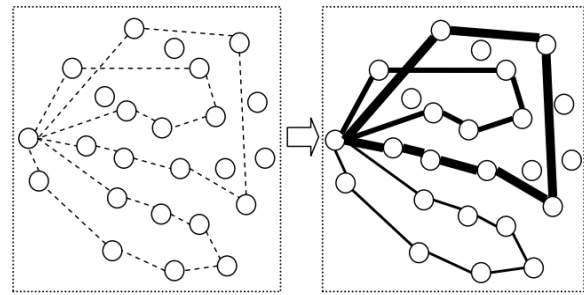
«Тур» определяется как последовательность объезда узлов транспортными средствами, пунктом отправления / получения которых является логистический центр. Поездки, осуществляемые в определенной последовательности через одинаковый интервал времени, называются «потоком тура». Движение отдельных транспортных средств, в процессе которого соединяются последовательные узлы, называется «поездкой».

Целью данного исследования является оценка грузового движения в городских районах. Поскольку путь представляет собой последовательность физических узлов, в которых возникают потоки, их необходимо указать до того, как будет произведена оценка путей объезда. Для решения этой задачи предлагается последовательное моделирование, которое состоит из выбора тура и оценки потока тура (рис. 1).

Модель «выбор тура» создает эффективный набор, который имитирует цепочку поездок транспортных средств. На данном этапе возникают следующие проблемы:

- создание индивидуальных туров;
- осуществление выбора таким образом, чтобы распределение исключало альтернативные туры (количество туров в большой сети – астро-

номическое).



Модель выбора тура

Модель распределения турпотока

Рис. 1. Структура моделирования городских грузовых перевозок

При решении задачи моделирования с дискретным выбором может использоваться генерация путем выбора места остановки и необходимости возврата на базовое предприятие. Для решения второй задачи предлагается эвристический алгоритм, основанный на моделях оценки выбора поведения. Результатом исследований является получение эффективного набора туров.

Рассмотрим модель максимизации энтропии на основе тура. Ее применение направлено на решение задачи распределения потока туров в городских районах. Для моделирования определены три состояния городской системы грузовых перевозок (табл. 1).

Таблица 1

Состояния городской грузовой системы

Состояние (структура)	Используемый показатель (переменная)
Микро	Индивидуальный тур, начинающийся и заканчивающийся на базе предприятия следующим туром m
Мезо	T_m – количество поездок после тура m ; O_i – общее количество поездок, в узле i ; D_j – общее количество поездок, привлеченных к узлу j
Макро	C – сопротивление между двумя узлами тура в транспортной сети
Ограничения	$M = \{1, 2, \dots, M\}$, а M – общее количество туров

Формулировка энтропии может быть записана как эквивалентная программа минимизации:

$$\min z = \sum_{m=1}^M (t_m \cdot \ln t_m - t_m), \quad (1)$$

при условии, что

$$\sum_{m=1}^M \alpha_{im} t_m = Q_i(\lambda_i), \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^M c_m t_m = C(\beta), \quad (3)$$

$$t_m \geq 0, \quad \forall m \in \{1, 2, \dots, M\}, \quad (4)$$

где λ_i – множитель Лагранжа, связанный с i ограничением поездки; β – множитель Лагранжа, связанный с ограничением сопротивления между двумя узлами.

Приведенная формулировка состоит из одной целевой функции и четырех групп ограничений.

Целевая функция – это энтропия, измеряющая неопределенность, связанную с распределением вероятностей тура. Для решения задачи необходимы функции, которые удовлетворяют набору необходимых свойств меры неопределенности. Функции этого семейства уникальны с точностью до мультипликативной константы.

Уравнение (1) указывает на то, что целью решения задачи является поиск наиболее вероятных способов распределения транспортных потоков. Первая группа ограничений, уравнение (2) – это ограничения на потребителей / поставщиков при выполнении поездки. Оно указывает, что суммирование транспортных потоков, проходящих через узел, должно быть равно общему количеству поездок, произведенных или привлеченных к этому узлу. Уравнение (3) – это ограничение полного сопротивления. Это означает, что сумма

сопротивлений потока равна общему сопротивлению в сети. Последняя группа ограничений, т. е. уравнение (4), представляет собой неотрицательные ограничения, которые означают, что результирующие потоки должны быть равны или превышать ноль.

Для того чтобы понять характеристики модели максимизации энтропии, получены условия первого порядка (условия Каруша – Куна – Такера) (ККТ) и условия второго порядка (матрица Гесса). Условия первого порядка приводят к оптимальной модели распределения потока тура:

$$t_m^* = \exp\left(\sum_{i=1}^N \lambda_i^* \alpha_{im} + \beta^* C_m\right) \quad (5)$$

Число потоков объезда, введенных в последовательность узлов t_m^* , является экспоненциальной функцией множителей Лагранжа, связанных с путем объезда и сопротивлением (C_m). На потоки влияют как уровень генерации поездки, так и стоимость тура, а воздействие количественно определяется соответствующими множителями Лагранжа (λ_i и β).

Матрица Гессе определена целевой функцией, ограничения линейные, функция выпуклая, что указывает на уникальность оптимальных решений для потока тура.

Модель протестирована на следующих данных: полные туры и соответствующее время в пути, представляющие в общей сложности 60 000 туров в день. Из-за сложности энтропийной модели был применен алгоритм решения крупномас-

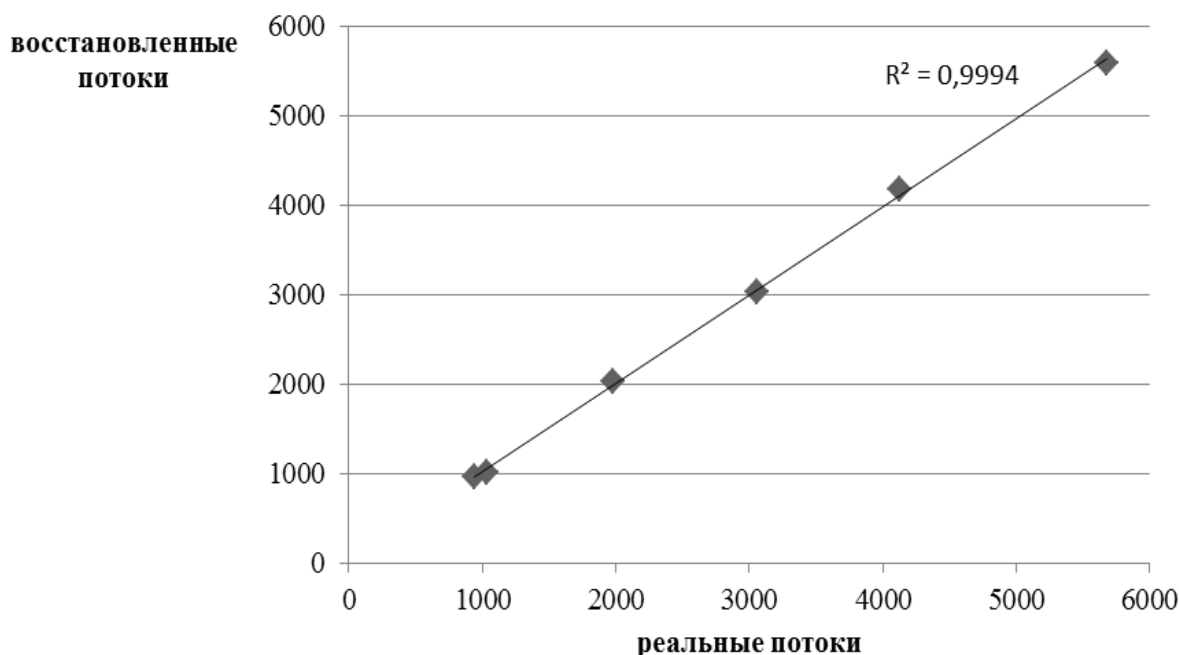


Рис. 2. Расчетные (восстановленные) и реальные транспортные потоки



штабных задач максимизации энтропии. Время нахождения оптимального решения – менее одной минуты.

Расчетные результаты показывают точность и эффективность подхода. Как показано (рис. 2) предполагаемые потоки соответствуют наблюдаемым значениям. Не менее важно, чтобы параметры модели и полученные в результате распределения длины поездки были концептуально обоснованными. Чем больше продолжительность тура, тем меньше вероятность того, что потоки тура будут распределены на этот тур. Это согласуется с тем аспектом, что экономически выгоднее туры с минимальным расстоянием.

Эти результаты дают четкое представление о модели прогнозирования спроса на грузовые поездки в городских районах.

Заключение

В статье рассматривается модель максимизации энтропии на основе тура, которая предназначена для прогнозирования грузовых потоков с учетом информации о совокупном спросе (ко-

личество произведенных или привлеченных к каждому узлу поездок; сопротивление в городских районах). Условия первого и второго порядка были получены для формулировки максимизации энтропии. Условия первого порядка выводят оптимальную модель распределения грузового потока, которая имеет сходную функциональную форму с традиционной гравитационной моделью, но фокусируется на турах, а не на поездках. Эта модель распределения потока туров показывает, что поток транспортных средств, совершающих движение по данному маршруту, является функцией множителя Лагранжа, связанного с числом поездок, произведенных или привлеченных каждым узлом тура. Условия второго порядка указывают на единственность оптимальных решений. Исследование показывает точность и эффективность этого подхода: расчетные потоки почти соответствуют наблюдениям со средней абсолютной ошибкой около 7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедева О.А. Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны // Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та. 2018. С. 125–130.
2. Лебедева О.А., Антонов Д.В. Моделирование грузовых матриц корреспонденций гравитационным и энтропийным методами // Вестник Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. №5 (100). С. 118–122.
3. Крипак М.Н., Лебедева О.А. Моделирование грузовых перевозок в транспортной сети // Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та. 2016. № 10. С. 182–184.
4. Полтавская Ю.О. Теоретические аспекты сегментации улично-дорожной сети при проведении транспортных обследований / Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та. 2018. № 12. С. 199–201.
5. Гозбенко В.Е. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков / В.Е. Гозбенко ; ИрГУПС. Иркутск, 2008. с. 76. Деп. в ВИНТИ. 15.04.2008, №330-В2008.
6. Крипак М. Н. Оптимизация транспортного обслуживания грузовладельцев в пределах крупного города (городской агломерации) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск. 2009. 20 с.
7. Holguín-Veras, J., Thorson, E. Modeling Commercial Vehicle Empty Trips with a First Order Trip Chain Model, Transportation Research. 2003. Part B. Vol. 37. P. 129–148.
8. Holguín-Veras, J., Patil, G.R. Observed Trip Chain Behavior of Commercial Vehicles, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2005. №. 1906. P. 74–80.
9. Urban freight transport demand modelling: a state of the art / A. Comi et al. European Transport 2012. № 51. P 7.
10. Russo F., Comi A. A modelling system to simulate goods movements at an urban scale. Transportation 2010. № 37(6). 987–1009.
11. Wilson A.G. The use of the concept of entropy in system modelling. Operational Research Quarterly 1970. № 21(2). 247–265.
12. Jaynes E.T. Information theory and statistical mechanics. Physical Review 1957. № 106(4). 620–630.
13. Van Zuylen H. J., Willumsen H.G. The most likely trip matrices estimated from traffic counts. Transportation Research. 1980. В 14(3). 281–293.
14. Fisk C.S. On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment. Transportation Research 1988. В 22(1). 69–79.
15. Wang Q., Holguín-Veras J. Tour-based entropy maximization formulations of urban commercial vehicle movements // Proceedings of the Association for European Transport (AET) : conference 2008, Leeuwenhorst Conference Centre. The Netherlands, 2008.
16. Fang S.-C., Rajasekera J.R., Tsao H.-S. J. Entropy Optimization and Mathematical Programming. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.

REFERENCES

1. Lebedeva O.A. Transportnaya infrastruktura kak osnovopolagayushchii faktor effektivnogo funktsionirovaniya ekonomiki strany [Transport infrastructure as a fundamental factor in the effective functioning of the country's economy]. Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of research papers of the Angarsk State Technical University], 2018, pp. 125-130.



2. Lebedeva O.A., Antonov D.V. Modelirovanie gruzovykh matrits korrespondentsii gravitatsionnym i entropiynym metodami [Modeling of freight correspondence matrices by gravity and entropy methods]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2015. No.5 (100), pp. 118-122.
3. Kripak M.N., Lebedeva O.A. Modelirovanie gruzovykh perezovok v transportnoi seti [Modeling freight transportation in the transport network]. Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The bulletin of the Angarsk State Technical University], 2016. No. 10, pp. 182-184.
4. Poltavskaya Yu.O. Teoreticheskie aspekty segmentatsii ulichno-dorozhnoi seti pri provedenii transportnykh obsledovaniy [Theoretical aspects of the segmentation of the road network during transport surveys]. Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The bulletin of the Angarsk State Technical University], 2018. No. 12, pp. 199-201.
5. 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 optimization of the transport network taking into account the capacity of passenger and cargo flows]. IrGUPS – Irkutsk, 2008, pp. 76. Dep. in VINITI. 15.04.2008, No.330-V2008.
6. Kripak M. N. Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev v predelakh krupnogo goroda (gorodskoi aglomeratsii). Avtoreferat [Optimization of transport services for cargo owners within a large city (urban agglomeration). Abstract]. Angarsk State Technical Academy Publ., Irkutsk. 2009.
7. Holguín-Veras J., Thorson E. Modeling Commercial Vehicle Empty Trips with a First Order Trip Chain Model. Transportation Research, 2003, Part B, Vol. 37, pp. 129-148.
8. Holguín-Veras J., Patil G.R. Observed Trip Chain Behavior of Commercial Vehicles, Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, 2005, No. 1906, pp. 74-80.
9. Comi A., Delle Site P., Filippi F., Nuzzolo A. Urban freight transport demand modelling: a state of the art. European Transport 51, paper 7, 2012.
10. Russo F., Comi A, A modelling system to simulate goods movements at an urban scale. Transportation 37(6), 987-1009, 2010.
11. Wilson A.G. The use of the concept of entropy in system modelling. Operational Research Quarterly 21(2), 247-265, 1970.
12. Jaynes E.T. Information theory and statistical mechanics. Physical Review 106(4), 620-630, 1957.
13. Van Zuylen H. J., Willumsen H.G. The most likely trip matrices estimated from traffic counts. Transportation Research B 14(3), 281-293, 1980.
14. Fisk C.S. On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment. Transportation Research B 22(1), 69-79, 1988.
15. Wang Q., Holguín-Veras J. Tour-based entropy maximization formulations of urban commercial vehicle movements. Proceedings of the Association for European Transport (AET) Conference 2008, Leeuwenhorst Conference Centre, The Netherlands, 6-8 October 2008.
16. Fang S.-C., Rajasekera J.R., Tsao H.-S. J. Entropy Optimization and Mathematical Programming. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.

Информация об авторах

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

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д. т. н., профессор, профессор кафедры математики, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, профессор кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Каргапольцев Сергей Константинович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail.ru: kck@irgups.ru.

Authors

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

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

Sergei Konstantinovich Kargapol'tsev – Doctor of Engineering Science, Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ksk@irgups.ru

Для цитирования

Лебедева О. А. Оптимизация городских грузовых перевозок с использованием модели энтропии / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко, С. К. Каргапольцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 131–137. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 131-137

For citation

Lebedeva O. A., Gozbenko V. E., Kargapol'tsev S. V. Opredeleniye vneshnikh silovykh faktorov, deystvuyushchikh na bespilotnyy letatel'nyy apparat na kriticheskikh rezhimakh poleta [Optimizing urban transportation using entropy model]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 131–137. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 131-137