

УДК 330:65.011.4

DOI: 10.26140/anie-2021-1002-0021



©2021 Контент доступен по лицензии CC BY-NC 4.0
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

УПРАВЛЕНИЕ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ РАСПИСАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

© Автор(ы) 2021

SPIN: 2954-7104

AuthorID: 467608

ГАЛАКТИОНОВА Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Организация перевозок и управление на транспорте»

SPIN: 4778-6803

AuthorID: 1014138

ORCID: 0000-0002-4984-0057

КОРЫТОВА Татьяна Валентиновна, магистрант кафедры «Управление качеством
и производственными системами»

SPIN: 3306-9206

AuthorID: 253866

ORCID: 0000-0002-8201-7134

АВАДЭНИ Юлия Ивановна, кандидат экономических наук, доцент кафедры
«Управление качеством и производственными системами»

SPIN: 8670-8497

AuthorID: 1063401

ГРАМАТЧИКОВА Виктория Евгеньевна, магистрант кафедры «Управление
качеством и производственными системами»

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
(644080, Россия, Омск, проспект Мира, 5, e-mail: viktoriya_gramat@mail.ru)*

Аннотация. С помощью математических методов и информационных технологий возможно оптимизировать грузоперевозки. Решение задач построения расписания грузоперевозок позволяет провести оптимизацию деятельности автотранспортных предприятий. Задача построения расписаний решалась на примере отправки грузов мелкими отправлениями, то есть доставка небольших партий продукции (до 20 т.) от одного производителя одним транспортным средством конечному числу разных грузополучателей. Исследование проводилось на примере города, было выделено два типа городов с учетом особенностей грузоперевозок в них. На основании анализа автотранспортных предприятий в городах первого и второго типа выполнена общая постановка задачи в терминах бинарного программирования построения оптимального расписания при перевозке грузов мелкими отправлениями в городе. Построение расписаний осуществлялось с применением генетических алгоритмов в Matlab 2009. С применением разработанного генетического алгоритма построено 100 расписаний для первого и второго варианта. Анализ результатов применения генетического алгоритма позволил сделать вывод, что при любом отдельном запуске программы может быть получено оптимальное по значению целевой функции решение. Построены диаграммы с количеством и процентами чисел машин, выпускаемых в отдельную смену отдельного дня недели, для двух тысячекратных запусков (для городов первого и второго классов). Различие между построенными расписаниями заключалось в том, что для городов первого класса максимальное число машин, выпускаемых (согласно оптимизированному расписанию) в отдельную смену отдельного дня недели, может достигать 4 (максимально), а для городов второго класса – только 3 (максимально). С применением кластерного анализа проводился анализ различий. Построенные расписания в большинстве случаев уникальны, любое из них может быть использовано при организации грузоперевозок мелкими отправлениями в городах первого и второго типа, что позволяет сократить временные и другие ресурсы автотранспортных предприятий в рамках их деятельности.

Ключевые слова: автотранспортные предприятия, управление, расписания, теория расписаний, генетические алгоритмы.

MANAGEMENT OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES USING SCHEDULE THEORY AND GENETIC ALGORITHMS

© The Author(s) 2021

GALAKTIONOVA Elena Sergeevna, candidate of technical sciences, associate professor
at the department of "Organization of transportation and management of transport"

KORYTOVA Tatyana Valentinovna, undergraduate of the department of «Quality management
and production systems»

AVADENI Yulia Ivanovna, candidate of economic sciences associate professor at the department
of «Quality management and production systems»

GRAMATCHIKOVA Victoria Evgenievna, undergraduate of the department of «Quality management
and production systems»

Siberian State Automobile and Highway University

(644080, Russia, Omsk, prospect Mira 5, e-mail: viktoriya_gramat@mail.ru)

Abstract. With the help of mathematical methods and information technology, it is possible to optimize cargo transportation. Solving the problems of constructing a cargo transportation schedule allows you to optimize the activities of road transport enterprises. The task of constructing schedules was solved by the example of sending goods in small shipments, that is, the delivery of small batches of products (up to 20 tons) from one manufacturer by one vehicle to a finite number of different consignees. The study was carried out on the example of a city; two types of cities were identified, taking into account the peculiarities of cargo transportation in them. Based on the analysis of road transport enterprises in cities of the first and second types, a general formulation of the problem in terms of binary programming for constructing an optimal schedule for the transportation of goods in small shipments in the city is carried out. The construction of schedules was carried out using genetic algorithms in Matlab 2009. Using the developed genetic algorithm, 100 schedules were constructed for the first and second options. The analysis of the results of the application of the genetic algorithm made it possible to conclude that with any separate launch of the program, an optimal solution in terms of the value of the objective function can be obtained. Diagrams with the number and percentage of the number of cars produced in a separate shift of a single day of the week for two thousand-fold launches (for cities of the first and second classes) are built. The difference between

the constructed schedules was that for first-class cities, the maximum number of cars produced (according to the optimized schedule) on a single shift of a particular day of the week can reach 4 (maximum), and for second-class cities - only 3 (maximum). Differences were analyzed using cluster analysis. The constructed schedules are in most cases unique, any of them can be used when organizing cargo transportation in small consignments in cities of the first and second types, which makes it possible to reduce the time and other resources of road transport enterprises in the framework of their activities.

Keywords: trucking companies, management, timetables, timetable theory, genetic algorithms.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время становятся актуальными вопросы оптимизации в области грузоперевозок [1, 2], в том числе с применением математических методов и информационных технологий [3]. Бурно развиваются технологии построения интеллектуальных систем мониторинга и управления в транспорте [4, 5, 6, 7].

В России разработана транспортная стратегия, определяющая основные тренды развития в указанной сфере до 2030 года [8]. Приоритетами развития транспортной системы в нашей стране является формирование единого транспортного пространства на базе оптимально сформированной транспортной инфраструктуры, что обеспечит доступность, качество и конкурентоспособность в области оказания транспортных услуг [8].

Все указанное создает необходимость реформирования деятельности автотранспортных предприятий в условиях современной интеллектуализации и цифровизации экономики. Одним из направлений оптимизации деятельности данных предприятий является решение задач построения расписания грузоперевозок, которые должны соответствовать принципу «доставить груз потребителю без повреждений точно в срок» с минимальным количеством используемых ресурсов, в том числе автомобильного транспорта [9, 10, 11].

Но в настоящее время в недостаточной степени решена задача учета особенности деятельности автотранспортных предприятий в различных населенных пунктах (в крупных промышленных центрах, поселках городского типа и пр.), учета индивидуальных предпочтений водителей. В большинстве случаев расписания грузоперевозок строятся с применением направления оптимизации «сокращение издержек на перевозку грузов, что отрицательно сказывается на деятельности сотрудников автотранспортных предприятий [10, 12].

МЕТОДОЛОГИЯ

Задача построения расписаний решается на примере отправки грузов мелкими отправлениями, то есть доставка небольших партий продукции (до 20 т.) от одного производителя (продавца) одним транспортным средством конечному числу разных грузополучателей [13, 14].

Исследование проводилось на примере города. Под городом понимается компактное сосредоточение больших масс людей (не менее 12 тыс. человек), занятых преимущественно вне сельскохозяйственного труда и большого количества объектов, придающих городу значение промышленного или культурно-научного центра [15]. Могут быть выделены два типа городов с учетом особенностей грузоперевозок в них:

- города первого типа – это города с промышленностью, в основном связанной с переработкой местной сельскохозяйственной продукции, с относительно небольшими объемами грузопотоков, несколькими (около 5) мелких автотранспортных предприятий (до 5-6 единиц подвижного состава), с транспортными средствами, представленными, в основном, бортовыми автомобилями, или фургонами, без возможности привлечения дополнительных транспортных средств. Такие города, характеризуются стабильностью грузопотоков, определяемой их незначительными объемами. Как правило, это небольшие внутриобластные города или крупные поселки;

- города второго типа – города с большим числом жителей, а также одним или несколькими крупными производствами, и, как следствие, большими объемами грузопотоков, также характеризующиеся наличием большого числа автотранспортных предприятий, в том

числе крупных, осуществляющих как городские, так и междугородные перевозки с разнотипным подвижным составом. Такие населенные пункты также характеризуются стабильностью грузопотоков. Как правило, к этой группе относятся крупные мегаполисы федерального значения.

Краткая характеристика автотранспортных предприятий в городах первого и второго типа представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика автотранспортных предприятий в городах первого и второго типа

Классификационный показатель	Класс города	
	I	II
Количество автотранспортных предприятий, ед.	около 5-10	около 100
Количество автомобилей в автотранспортных предприятиях, ед.	около 5-15	От 1 до 60-70
Количество специализированных автомобилей, %	0-20	50-80
Наличие стабильных грузопотоков мелких отправок	есть	есть
Возможность привлечения сторонних автотранспортных средств	Нет или очень мала	есть

В зависимости от того, какая ситуация сложилась в том или ином городе, можно определить уровень требований, предъявляемых к перевозчикам мелкопартионных грузов.

Так, в первой ситуации, требования, как правило, не жесткие, главное для клиента, чтобы груз был перевезен в течение заявленной даты, с обеспечением сохранности груза (можно только внешней, т.е., например, точное соблюдение температурного режима не обязательно). Отказов в обслуживании прибывшего автомобиля из-за опоздания не будет. Вероятность отказа от работы с данным перевозчиком из-за несоблюдения договоренностей тоже не высока, т.к. либо обращаться больше не к кому, либо результат будет таким же.

Во второй ситуации требования к срокам жесткие: возможность опоздания ограничивается 1 часом, а зачастую и несколькими минутами (около 15 минут), с отказом в обслуживании опоздавшего автомобиля, штрафах, необходимостью возмещения понесенных расходов клиенту, и в конечном итоге – потерей клиента.

Сказанное определяет требования, предъявляемые к расписаниям: в городах, относящихся к первому классу расписания гибкие, сроки прибытия АТС к клиенту строго не указываются, также не определяется последовательность их объезда. Основное назначение таких расписаний – перечисление клиентов, которых необходимо обслужить.

В городах второго класса расписания составляются жестко с четким указанием последовательности объезда клиентов и сроков прибытия к каждому из них.

Во всех ситуациях существуют стабильные в течение недели грузопотоки мелкопартионных перевозок, например, ежедневно, не значительно меняясь в объеме, возникает потребность в сборе и вывозе твердых коммунальных отходов, в развозе и сборе почтовых отправлений, в перевозке молочной и хлебобулочной продукции и т.п.

Принято в качестве допущения, что у перевозчика количество водителей и автомобилей совпадают, следовательно, расписание работы автомобилей будет совпадать с расписанием работы водителей. Перевозчик оказывает перевозочные услуги 6 дней в неделю, при этом, продолжительность смены водителя составляет 10 часов, что определяет возможность работы водителя не более 4 дней подряд. При этом рабочий день разбит на 2 смены: утреннюю и вечернюю.

Следовательно, можно сформулировать следующие ограничения задачи:

- количество автомобилей должно быть достаточ-

ным, чтобы обеспечить выполнение поступивших заявок;

- количество назначений на работу одного автомобиля (а, следовательно, и водителя) не более заданного количества раз в смену;

- минимальное количество автомобилей не может быть меньше расчетной минимальной потребности в транспортных средствах и превышать возможностей перевозчика;

- количество смен, которые может подряд отработать автомобиль не может превышать заданного числа, определяемого требованиями труда и отдыха водителей.

На основании вышесказанного выполним общую постановку задачи построения оптимального расписания при перевозке грузов мелкими отправлениями в городе.

Задача сформулирована в терминах бинарного программирования.

Пусть N – количество суток в рассматриваемом периоде, тогда конкретные сутки будут обозначаться $n=1, \dots, N$. Расписание строится для одного автотранспортного предприятия, имеющего в парке заданное количество автомобилей, следовательно, K – общее число автомобилей на предприятии, $k=1, \dots, K$.

Поскольку в ограничениях оговаривается, что один автомобиль может назначаться только на одну смену, необходимо определить число смен в сутках: $s=1, \dots, S$.

На основании исходных данных формируется матрица смен A^n , в которой каждый элемент $a_{ij}^n \in \{0, 1\}$ является бинарной переменной, равной 1, если автомобиль принадлежит данной смене и 0 в противном случае. Вид матрицы определяет режим работы предприятия и возможные режимы работы автомобилей.

Введем обозначение для количества автомобилей в смене: $K_s^{\min n}, K_s^{\max n}$ – минимальное и максимальное число автомобилей, которые могут быть привлечены в смену s в сутки n . Минимальное число автомобилей, которое может быть привлечено для работы равно 0, максимальное определяется числом автомобилей, годных к эксплуатации и необходимых для выполнения требований заказчика, то есть спросом.

Исходя из вышесказанного, целевая функция имеет вид:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S K_s^n \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K_s^n – количество автомобилей в смене s в сутки n .

При этом груз заказчика должен быть перевезен в полном объеме в одну смену с учетом сроков доставки и времени ожидания, то есть:

$$K_s^n \cdot q = W_s, \quad (2)$$

где q – грузоподъемность (грузовместимость) автомобиля, т.

W_s – объем заявки на перевозку, т.

Ограничение на количество одновременно работающих автомобилей в смене:

$$K_s^{\min n} \leq K_s^n \leq K_s^{\max n}, \quad (3)$$

Ограничение на количество смен в сутки для каждого автомобиля:

$$\sum_{s=1}^S x_{sk} \leq S_{\text{ном}}, \quad (4)$$

где x_{sk} – количество смен в сутки, которые может отработать i -й автомобиль;

$S_{\text{ном}}$ – установленное количество смен.

В качестве наиболее распространенного примера, в общей постановке задачи рассматривается расчетный случай, когда количество рабочих смен в сутки равняется двум, а рабочих дней в неделе – 6, тогда значение $K_s^{\max n}$ для каждой смены приведен в табл. 2.

Таблица 2 – K_s^{\max} для двух рабочих смен

День недели	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
Смена 1	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
Смена 2	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}

функции) матрицу смен A^n .

Построение расписаний осуществляется с применением генетических алгоритмов в Matlab 2009. Применение данного алгоритма позволяет построить заданное количество расписаний, соответствующее заданным критериям. Для решения задачи группировки построенных расписаний и поиска в них закономерностей использован кластерный анализ – алгоритм k-means [16]. Количество кластеров определено с применением Davies-Bouldin Index [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Расписания строятся для автотранспортного предприятия, имеющего 10 автомобилей. Возможны два варианта: данное предприятие находится в городе первого или второго типа. При построении расписаний для варианта, когда автотранспортное предприятие находится в городе первого типа, учитывалось, что для таких городов необходимы гибкие расписания, сроки прибытия автотранспортных средств к клиенту строго не указываются, также не определяется последовательность их объезда, расписания составляются только с учетом соблюдения необходимых требований (обеспечение необходимого количества выходных дней в неделю). Для автотранспортных предприятий, расположенных в городах второго типа, необходимы жесткие расписания с четким указанием последовательности объезда клиентов и сроков прибытия к каждому из них, также уделяется большее внимание социальной политике и обеспечению полноценного отдыха, в связи с чем, работникам могут назначить два выходных дня подряд.

Количество смен на исследуемом предприятии – 2, расписание работы автомобилей не меняется в зависимости от смены. Расписание является фиксированным. Количество рабочих суток в неделю – 6.

Значения $K_s^{\max n}$ для каждой смены приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значение K_s^{\max} для каждой смены

День недели	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
Утренняя смена	5	4	4	2	3	2
Вечерняя смена	3	2	3	2	2	2

Формализация поставленной задачи для двух классов городов описана соотношениями (5) и (6) соответственно, с учетом сформулированных требований:

$$\begin{cases} x_1 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 5; \\ x_2 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 4; \\ x_1 + x_3 + x_5 + x_6 \geq 4; \\ x_1 + x_2 + x_4 + x_5 \geq 2; \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_5 \geq 3; \\ x_2 + x_3 + x_4 + x_6 \geq 2, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_1 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 5; \\ x_1 + x_2 + x_5 + x_6 \geq 4; \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_6 \geq 4; \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \geq 2; \\ x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 3; \\ x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 2, \end{cases} \quad (6)$$

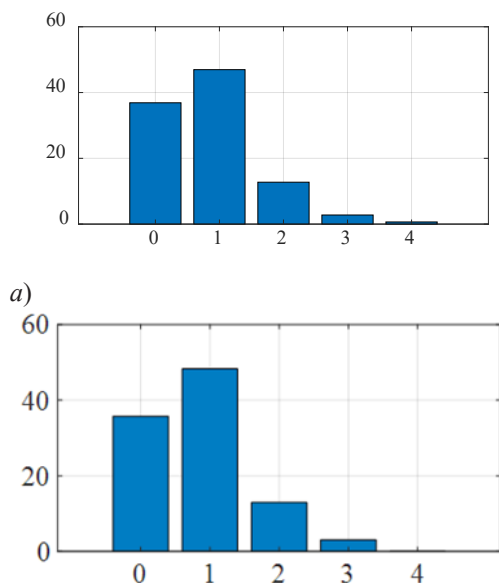
где x_i – количество автомобилей, заступающих в текущую смену на ближайшие смены.

С применением разработанного генетического алгоритма построено 100 расписаний для первого и второго варианта.

Минимизируемая функция суммы автомобилей, заступающих на смены во все рабочие дни недели, во всех 100 случаях запуска принимала значение 10.

Анализ результатов применения генетического алгоритма позволяет сделать выводы, что при любом отдельном запуске программы может быть получено оптимальное по значению целевой функции решение. Но конкретному числу автомобилей, задействованных в разные смены разных дней, эти решения будут отличаться друг от друга. Решения имеют большую степень разнообразия и уникальности. Полные повторения ре-

шений (идентичность количества запусков автомобилей по дням и сменам) имеют место, хотя и очень редки. На рис. 1 приведены диаграммы с количеством и процентами чисел машин, выпускаемых в отдельную смену отдельного дня недели, для двух тысячекратных запусков (для городов первого и второго классов).



а) для города первого типа
б) для города второго типа

Различия между построенными расписаниями для городов первого и второго класса заключается в следующем: для городов первого класса максимальное число машин, выпускаемых (согласно оптимизированному расписанию) в отдельную смену отдельного дня недели, может достигать 4 (максимально), а для городов второго класса – только 3 (максимально). В остальном результаты по городам двух классов отличаются очень незначительно.

Для более глубокого анализа различий построенных расписаний применен кластерный анализ. На рис. 2 приведена диаграмма значений Davies-Bouldin Index для различного числа кластеров для расписаний города первого и второго типов. На основании анализа полученных значений Davies-Bouldin Index оптимальное количество кластеров для расписаний для города первого типа – 82, для города второго типа – 75 (минимальные значения Davies-Bouldin Index равны для первого и второго случая 0).

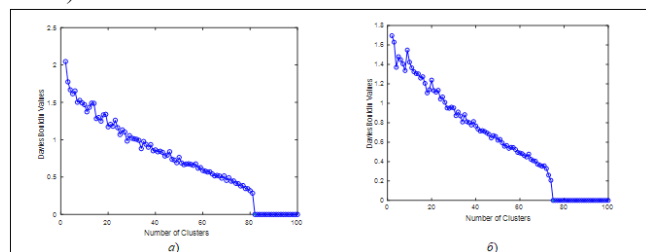


Рисунок 2 – Значения Davies-Bouldin Index для различного числа кластеров (максимальное количество кластеров 100)

а) для города первого типа
б) для города второго типа

ВЫВОДЫ

Поскольку количество выделенных кластеров для расписаний городов первого и второго типа незначительно отличаются от количества построенных расписаний, можно сделать вывод, что построенные расписания в большинстве случаев уникальны, и не обязательно

генерировать значительное количество таких расписаний, любое из них может быть использовано при организации грузоперевозок мелкими отправлениями в городах первого и второго типа. Это позволит сократить временные и другие ресурсы данных предприятий в рамках их деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мишин А. И. Сравнительный анализ современных систем оптимизации грузоперевозок // Новое слово в науке: стратегии развития: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции. Чебоксары: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2019. С. 157-160.
2. Козлов А. В., Тамер О. С., Лантеева С. В. Организационно-методические подходы по оптимизации системы транспортно-логистических услуг компаний, осуществляющих деятельность в арктических условиях // Вестник ВУТ. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-metodicheskie-podhody-po-optimizatsii-sistemy-transportno-logisticheskikh-uslug-kompaniy-osushchestvlyayuschih> (дата обращения: 05.06.2020).
3. Михалева А. В. Использование математической модели многокритериальной оптимизации в области транспортных грузоперевозок // Сборник трудов Всероссийской конференции по математике с международным участием «МАК-2019» / АлтГУ [и др.]. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2019. С. 155-156.
4. Соболевская Е. Ю., Глушков С. В., Левченко Н. Г. Разработка интеллектуальной системы морских грузоперевозок в арктических условиях: формирование базы правил нечетких продукций на базе системы нечеткого вывода типа Мамдани // Транспортное дело России. 2019. №. 2. С. 154-158.
5. Кравец Ю. А. Спутниковый мониторинг как аспект автотранспортной безопасности // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т. 7. № 1 (22). С. 362-364.
6. Ефимов И. В., Касьянов В. В. К вопросу об автоматизации определения места судна и оценки его точности // Морской вестник. 2015. №. 3. С. 67-71.
7. Володина Е. Е., Девяткин Е. Е., Суходольская Т. А. Анализ развития интеллектуальных транспортных систем // Экономика и качество систем связи. 2017. №1 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-razvitiya-intellektualnykh-transportnykh-sistem> (дата обращения: 03.06.2020).
8. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года Распоряжение от 22 ноября 2008 года №1734-р: официальный сайт федерального транспортного агентства Росавтодор [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda> (дата обращения: 03.06.2020).
9. Егоров С. Я., Салих Х. С. Подход к созданию системы поддержки принятия решений при управлении распределением ресурсов автотранспортного предприятия // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. №. 4. С. 35-36.
10. Губина А. И., Ильичева В. В. Моделирование грузоперевозок на основе теории очередей // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. №. 2. С. 10-13.
11. Есикова Т. Н., Вахрушева С. В. Оценка последствий реализации инфраструктурных мегапроектов на базе агентного подхода: топология мультиагентной системы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-posledstviy-realizatsii-infrastrukturyh-megaproektov-na-baze-agentnogo-podhoda-topologiya-multiagentnoy-sistemy> (дата обращения: 05.06.2020).
12. Самарская Н. А. Влияние условий и охраны труда на качество трудовой жизни работников в современной России // Научное признание 2019: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2019. С. 18-23.
13. Шаповал Д. В., Киришова А. С. Практика организации и планирования централизованных перевозок мелкопартионных грузов в городе Омске // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2020. С. 88-92.
14. Лебедь И. Г., Ануфриева Т. Г., Ткаченко С. П. Исследование методов организации перевозок мелкопартионных грузов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2019. №. 1. С. 70-72.
15. Засуройко И. Ю., Главацкий В. Б. Определение понятия «город» как концептуальная основа разработки механизмов устойчивого развития моногородов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. №15. С. 29-32.
16. Huang J. Z. et al. Automated variable weighting in k-means type clustering // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2005. Т. 27. №. 5. С. 657-668.
17. Сивоголовко, Е. В. Методы оценки качества четкой кластеризации / Е. В. Сивоголовко // Компьютерные инструменты в образовании. 2011. №. 4. С.14-16.

Статья поступила в редакцию 02.02.2021

Статья принята к публикации 27.05.2021