ЭКОНОМИКА: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

УДК 519.8, 656 JEL R41, C02 DOI 10.26425/1816-4277-2023-5-70-76

Задачи дискретной оптимизации поставок разнородной продукции

Егоров Владислав Валерьевич

Канд. физ.-мат. наук, доц. каф. математических методов в экономике и управлении
ORCID: 0000-0003-4735-989X, e-mail: yegoroff_vv@mail.ru

Государственный университет управления, г. Москва, Россия

Аннотация

В статье затронуты вопросы, касающиеся задач национального проекта «Умный город». Проанализирована проблема снабжения условного потребителя разнородной продукцией в соответствии с его спросом при поставках от нескольких поставщиков в ситуации с наличием фиксированных доплат, помимо затрат на покупку каждой единицы продукции. Для изучаемой ситуации построена модель редуцированного транспортного типа с разрывной кусочно-линейной целевой функцией минимизируемых суммарных затрат и системой линейных ограничений. Предложен метод нахождения оптимального решения одного из множества таких решений, основанный на идеях венгерского алгоритма, обоснование которого дано на основе соответствующей леммы. Представлено уточнение указанного метода при наличии некоторых ограничений, связанных с поставщиками. Отмечены полиномиальная сложность метода, то есть принадлежность задачи к числу быстро решаемых, и существенная ограниченность применимости метода рамками модели. Указаны последующие возможные направления исследований стохастического или нечеткого характера.

Ключевые слова

Логистика, моделирование, оптимизация, разнородная транспортная задача, фиксированные доплаты, частично целочисленное математическое программирование, дискретное программирование

Для цитирования: Егоров В.В. Задачи дискретной оптимизации поставок разнородной продукции // Вестник университета. 2023. № 5. С. 70–76.

Discrete optimizations' problems of deliveries of heterogeneous products

Vladislav V. Egorov

Cand. Sci. (Phys. and Math.), Assoc. Prof. At the Department of Mathematical Methods in Economics and Management
ORCID: 0000-0003-4735-989X, e-mail: yegoroff_vv@mail.ru

State University of Management, Moscow, Russia

Abstract

The article touches upon issues related to the tasks of the national project «Smart City». The paper analyzes the problem of supplying a conditional consumer with heterogeneous products in accordance with his demand for deliveries from several suppliers in a situation with fixed surcharges, in addition to the cost of purchasing each unit of production. For the situation under study, a model of a reduced transport type with a discontinuous piecewise linear objective function of minimized total costs and with a system of linear constraints is constructed. A method for finding the optimal solution one of the many such solutions, based on the ideas of the Hungarian algorithm is proposed, the justification of which is given on the basis of the corresponding lemma. A refinement of the method is presented in the presence of some restrictions related to suppliers. The polynomial complexity of the method, i.e. the problem is quickly solvable, and the significant limitation of the applicability of the method within the framework of the model are noted. Further possible research directions of a stochastic or fuzzy nature are indicated.

Keywords

Logistics, modeling, optimization, heterogeneous transport problem, fixed surcharges, partial integer mathematical programming, discrete programming

For citation: Egorov V.V. (2023) Discrete optimizations' problems of deliveries of heterogeneous products. *Vestnik universiteta*, no. 5, pp. 70–76.

ВВЕДЕНИЕ

Различные структуры и лица, занимающиеся вопросами снабжения на государственном, региональном, муниципальном и иных уровнях, а также связанные с бизнесом и частной сферой, часто бывают далеки от научного подхода оптимизации в отмеченной области деятельности. Нередко решения принимаются волюнтаристским образом, без достаточных расчетов, в лучшем случае основываясь на имеющихся представлениях о здравом смысле. Поэтому в рамках Национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации» и направления его деятельности «Цифровые технологии» способствование разработке и внедрению технологий информационно-аналитической направленности может помочь нахождению различных эффективных решений, экономии средств и ресурсов, особенно значимых в период неустойчивого социально-экономического состояния [1; 2].

Созданию программных комплексов, обеспечивающих конкурентоспособную, рентабельную или деятельность, как минимум влекущую снижение затрат, несомненно, должно предшествовать построение соответствующих математических моделей рассматриваемых ситуаций, поиск новых или адаптация под текущие нужды имеющихся, связанных с ними алгоритмов, которые могут быть как точными, то есть предоставляющими оптимальные решения, так и эвристическими алгоритмами, предоставляющими в некотором смысле разумные решения, когда точные алгоритмы неизвестны или недоступны.

Целью настоящей работы является изучение моделирования неклассической ситуации снабжения, выяснение возможностей нахождения локального и глобального оптимумов величины суммарных затрат и практической применимости этих методов.

Уточним проблематику. Пусть имеется один покупатель со своим набором потребностей в разнородной продукции или товаров с именами G_j ($j = 1, \dots , m$). Через d_j ($j = 1, \dots , m$) будем обозначать спрос потребителя в продукте G_j. Пусть имеется набор поставщиков P_i ($i = 1, \dots , n$) указанных продуктов. При этом можно предполагать, что потребитель рассматривает возможность работы с поставщиком, потому что у последнего имеются продукты того или иного вида, причем в достаточном для удовлетворения спроса количестве. То есть запас r_{ij} продукта G_j у поставщика P_i формально можно полагать равным ∞ или чтобы для всех поставщиков рассматривался один и тот же набор продуктов, равным d_j. Список привлекаемых поставщиков формируется потребителем с учетом того, что каждый нужный ему продукт имеется хотя бы у одного из них, а значит, множество допустимых планов снабжения в такой задаче всегда не пусто.

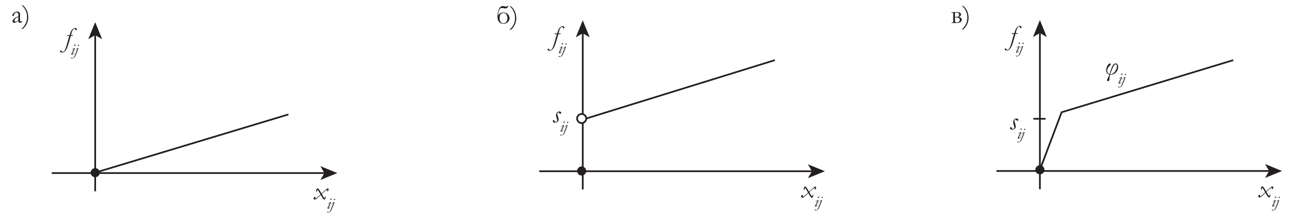
Пусть $c_{ij} \geq 0$ – цена одной единицы продукта G_j при его покупке у поставщика P_i. Кроме того, в этом случае потребитель должен будет сделать дополнительный фиксированный платеж s_{ij}, не зависящий от планируемого объема x_{ij} покупки. Такими доплатами могут быть расходы на поездку к поставщикам, затраты от аренды грузового транспорта, плата за хранение зарезервированного продукта и прочее. Тогда оптимальное решение понимается как план снабжения, минимизирующий суммарные затраты при удовлетворении требуемых объемов поставок разнородной продукции.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение ситуации базируется на методах исследования операций, связанных с оптимизационными моделями транспортного типа. Классическими подходами к нахождению оптимальных решений в таких моделях являются метод потенциалов, венгерский алгоритм, их аналоги и модификации [3]. Однако эти методы в общем случае уже не подходят, когда в некоторых ситуациях в транспортные расходы следует включать так называемые фиксированные доплаты или платежи s_{ij}, не зависящие от объемов перевозок x_{ij}, приводящие к частично целочисленным задачам математического программирования [4]. Если все s_{ij} равны, что, очевидно, бывает довольно редко, то задача становится тривиальной, так как тогда множество ее оптимальных решений совпадает с имеющимся в задаче, где все $s_{ij} = 0$. И потому полагаем, что, вообще говоря, не все s_{ij} одинаковы.

В результате формализации задачи возникает целевая функция, в общем случае равная сумме разрывных вогнутых (выпуклых вверх) кусочно-линейных функций $f_{ij} = f_{ij}(x_{ij})$, зависящих от соответствующих планируемых объемов $x_{ij} \geq 0$ перевозок, что отражает рис. 1Б (в отличие от классического случая, отмеченного на рис. 1А).

Аппроксимация указанных разрывных функций непрерывными кусочно-линейными функциями φ_{ij} (рис. 1В) или иными вогнутыми функциями с целью применить к их сумме классические подходы приводит, вообще говоря, к получению локально оптимальных решений [4].



Составлено автором по материалам источника [4]

Рис. 1. Аддитивные составляющие целевой функции

Получаемую в результате модель можно свести к целочисленной задаче линейного программирования с размерностью существенно большей исходной, из-за чего применение типичных методов нахождения оптимального решения наталкивается, в частности, на проблему «невозможности большого перебора» за обозримое время. Поэтому первоначально разрабатывались специализированные приближенные методы, современное состояние и примеры которых представлены в работах зарубежных исследователей [5–9]. Использование точных алгоритмов также возможно, но с достаточно ограниченным количеством выходных и входных направлений потоков продуктов [10].

В настоящей работе рассматривается несколько поставщиков и один потребитель, но с запросами различных продуктов или товаров в том или ином их количестве согласно спросу. Например, некоторому лицу требуется приобрести лекарства в заданных количествах, имеющиеся в разных аптеках, цены в которых ему известны, как и стоимость проезда до этих аптек. Такая ситуация в отсутствие ограничений на поставщиков существенно редуцируется, а при наличии данных ограничений сводится к задаче описанного транспортного типа и потому может решаться отмеченными способами. Однако, при использовании для этого любого из соответствующих алгоритмов следует понимать и учитывать временные ограничения его применимости, в первую очередь, когда имеется относительно большое количество возможных направлений перевозок порядка 5 000, исходя из расчетов [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Математическая модель описанной ситуации имеет следующий вид, подобный описанному в классическом случае, когда говорят не про одного потребителя, а про несколько пунктов спроса, но дополнительно учитывают фиксированные доплаты:

$$\begin{cases} \sum\limits_{\substack{i=\overline{1,n}\\ j=\overline{1,m}}} f_{ij}\left(x_{ij}\right) = \sum\limits_{\substack{i=\overline{1,n}\\ j=\overline{1,m}}} \left(s_{ij}\delta_{ij} + c_{ij}x_{ij}\right) \overset{def}{=} f(x) \to \min \\ \sum\limits_{i=\overline{1,n}} x_{ij} = d_j \ (j=\overline{1,m}) \\ x_{ij} \geq 0 \ (i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}), \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 0, & x_{ij}=0 \\ 1, & x_{ij}>0 \end{cases} \end{cases} \tag{1}$$

В данную модель мы не включаем ограничения на количество продукта, планируемого для вывоза от того или иного поставщика, поскольку, как было отмечено ранее, продукта у поставщика либо нет (и в таком случае в модели полагаем, что соответствующая цена c_{ij} достаточно велика или формально $c_{ij} = \infty$), либо имеется, можно считать, в достаточно большом количестве. И, кроме того, в отличие от классической транспортной задачи, ориентируясь исключительно на нужды потребителя, мы не требуем организовывать вывоз продуктов от поставщиков, чтобы по возможности реализовать имеющееся у них предложение, даже если оно ограничено.

Заметим, что если все фиксированные доплаты s_{ij} равны или приблизительно равны (что иногда можно допускать в целях упрощения при выборе между желанием получения точного оптимального решения с большими затратами для его нахождения или приближенного решения, в несущественной степени отличающегося от точного), и, следовательно, при поиске оптимального решения они могут не учитываться, тогда, полагая их в модели равными по 0, приходим к методу, основанному на следующем очевидном условии оптимальности, используемом при применении венгерского алгоритма.

ЛЕММА ОБ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Если искомый набор x_{ij} назначений объемов перевозок, удовлетворяющий системе ограничений модели, такой, что ненулевые объемы x_{ij} перевозок запланированы лишь для перевозок с нулевыми стоимостями $c_{ij} = 0$, то суммарные затраты равны $f = 0$ и меньше быть не могут, так как все $c_{ij} \geq 0$ и нет $c_{ij} < 0$.

Поскольку среди исходных стоимостей c_{ij} нулевых значений может не быть в достаточном количестве или они могут вовсе отсутствовать, то исправить ситуацию помогут эквивалентные, то есть не меняющие множества оптимальных решений преобразования матрицы величин c_{ij}, влекущие появление в каждом ее столбце нулевых значений. После их применения для каждого продукта уже можно указать, у какого потребителя имеет смысл его приобретать. В рассматриваемой задаче такими эквивалентными преобразованиями являются вычитания одного и того же значения c из всех элементов выбранного для этих действий столбца. Действительно:

$$\begin{aligned}\tilde{f}(x) &= c_{11}x_{11} + \ldots + \left((c_{1j} - c)x_{1j} + \ldots + (c_{nj} - c)x_{nj}\right) + \ldots + c_{nm}x_{nm} = \\ &= \sum_{\substack{i=\overline{1,n} \\ j=\overline{1,m}}} c_{ij}x_{ij} - c \cdot (x_{1j} + \ldots + x_{nj}) = \sum_{\substack{i=\overline{1,n} \\ j=\overline{1,m}}} c_{ij}x_{ij} - c \cdot d_j = f(x) - c \cdot d_j\end{aligned} \tag{2}$$

Данные тривиальные выкладки демонстрируют, что целевая функция для матрицы стоимостей, полученная после эквивалентного преобразования того или иного j-го столбца, отличается от исходной целевой функции на константу, а значит тогда множество оптимальных решений осталось прежним. Фактически в такой ситуации для поиска оптимального решения даже не нужно применять какой-либо алгоритм из числа стандартных. Достаточно создать в каждом столбце матрицы стоимостей хотя бы по одному нулю вычитанием из элементов этих столбцов их минимальных значений, а затем в каждом таком столбце j можно сделать лишь по одному назначению перевозки в объеме d_j с нулевой стоимостью этой перевозки. По сути, это есть редуцированная модификация венгерского алгоритма.

Дальнейший простой анализ показывает, что на самом деле в описанной ситуации, в том числе когда s_{ij} различны, одним из множества оптимальных решений будет указание закупать каждый продукт G_j в требуемом количестве d_j у поставщика с номером:

$$i^*\ (j) = \arg\min_i \{s_{ij} + c_{ij} \cdot 1\}. \tag{3}$$

И тогда затраты на указанную часть от всех закупок составят $s_{i^*(j),j} + c_{i^*(j),j} \cdot d_j$ денежных единиц, а общие затраты, являющиеся минимальными, составят:

$$f_{\min} = \sum_{j=\overline{1,m}} \left(s_{i^*(j),j} + c_{i^*(j),j} \cdot d_j\right). \tag{4}$$

Если немного усложнить задачу с учетом того, что у поставщика $P_{i^*(j)}$ может не оказаться продукта G_j в полном объеме d_j единиц, то тогда для каждого j упорядочим суммы $s_{ij} + c_{ij}$ ($i = 1, \ldots, n$) по неубыванию:

$$s_{i_1(j),j} + c_{i_1(j),j} \leq s_{i_2(j),j} + c_{i_2(j),j} \leq \ldots \leq s_{i_n(j),j} + c_{i_n(j),j}, \tag{5}$$

затем укажем закупать данный продукт у поставщика i_1 в количестве $d_j^1 = \min\left\{r_{i_1(j),j};\, d_j\right\}$ единиц, у поставщика i_2 – в количестве $d_j^2 = \min\left\{r_{i_2(j),j};\, d_j - d_j^1\right\}$ единиц, у поставщика i_3 – в количестве $d_j^3 = \min\left\{r_{i_3(j),j};\, d_j - d_j^1 - d_j^2\right\}$ единиц и так далее, пока соответствующий спрос в продукте не будет полностью удовлетворен. Напомним, что список поставщиков составляется потребителем и, очевидно, этот список всегда может быть дополнен так, чтобы любой продукт так или иначе, но всегда мог быть в сумме приобретен. Затраты на такие закупки продукта G_j составят:

$$f_{\min}^{j} = \sum_{k=\overline{1,n}} \left(s_{i_k(j),j} \cdot \delta_j^k + c_{i_k(j),j} \cdot d_j^k \right), \tag{6}$$

где $\delta_j^k = \begin{cases} 0, & d_j^k = 0 \\ 1, & d_j^k > 0 \end{cases}$. В итоге $f_{\min} = f_{\min}^{1} + \ldots + f_{\min}^{m}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная задача с учетом возможных сортировок значений цен решается не более чем за полиномиальное время, а потому относится к числу так называемых быстро решаемых задач [11].

Описанный подход к получению минимальных затрат в общем случае будет неприменим, если в рассмотренной модели предполагать, что под словом «потребитель» на самом деле подразумевается несколько лиц (например, физических или представляющих собой элемент организационной структуры) и, кроме того, образует вместе с поставщиками единую производственную или экономическую систему, в соответствии с чем требуется добавить ограничения, связанные с необходимостью реализации как можно большего количества продукции, в идеале равного предлагаемому поставщиком. Фактически тогда возникает несколько частично целочисленных транспортных задач отмеченного ранее типа с фиксированными доплатами [4].

Поскольку жизнедеятельность как всевозможных социально-экономических образований, так и отдельных компаний и граждан осуществляется в динамично меняющемся мире с массой влияющих на происходящие процессы факторов скрытых или явных, случайных или детерминированных с ограниченно известными интенсивностями, то полезными продолжениями исследований по развитию настоящей проблематики могут стать вопросы обобщения моделей предложенного транспортного типа с фиксированными доплатами на случаи, например, когда имеет место стохастически-неопределенный спрос и затраты или когда те или иные параметры модели представляются в виде нечетких или интервальных значений [12; 13]. Разумеется, такие обобщения предполагают разработку собственных оптимизационных алгоритмов, которые в зависимости от целей бенефициара, могут быть направлены на поиск решения, связанного с получением экстремальных значений некоторых характеристик случайных или нечетких величин, возникающих при моделировании, либо с установлением для них требуемых границ.

Написание открытого программного кода (необходимость которого связана с целесообразностью повышения уровня доверия предлагаемым IT-разработкам), обеспечивающего помощь в принятии снабженческих решений, возможности согласования его с базами данных всевозможных и заинтересованных в продажах поставщиков различной продукции, размещение соответствующего программного сервиса, в частности, в информационно-аналитических разделах официальных сайтов, порталов региональных властей – вполне можно рассматривать как помощь в развитии стратегии «Умный город» [14; 15]. Например, в Москве уже реализуется проект «Портал поставщиков», который мог бы включать в себя еще и вышеупомянутые возможности [16].

Библиографический список

1. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. *Национальный проект «Цифровая экономика РФ»*. https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/ (дата обращения: 08.03.2023).
2. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. *Направление деятельности «Цифровые технологии» национального проекта «Цифровая экономика РФ»*. https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/ (дата обращения: 08.03.2023).
3. Korte B., Vygen J. *Combinatorial Optimization. Theory and Algorithms*. Heidelberg: Springer Berlin; 2013. 686 c. https://doi.org/10.1007/978-3-662-21708-5
4. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. *Дискретное программирование*. М.: Наука; 1969. 368 с.
5. Balinski M.L. Fixed-cost transportation problems. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1961;8(1):41–54 c. https://doi.org/10.1002/nav.3800080104
6. Göthe-Lundgren M., Larsson T. A set covering reformulation of the pure fixed charge transportation problem. *Discrete Appl. Math*. 1994;48(3):245–259 c. https://doi.org/10.1016/0166-218X(92)00177-N
7. Kowalski K., Lev B. On step fixed-charge transportation problem. *Omega*. 2008;36(5):913–917 c. https://doi.org/10.1016/j.omega.2007.11.001

8. Raj K.A.A.D., Rajendran C. Fast heuristic algorithms to solve a single-stage Fixed-Charge Transportation Problem. *International Journal of Operational Research*. 2009;6(3):304–329 с. https://doi.org/10.1504/IJOR.2009.026936
9. Agarwal Y., Aneja Y. Fixed-charge transportation problem: Facets of the projection polyhedron. *Operational Research*. 2012;60(3):638–654 с. https://doi.org/10.1287/opre.1120.1041
10. Roberti R., Bartolini E., Mingozzi A. The Fixed Charge Transportation Problem: An Exact Algorithm Based on a New Integer Programming Formulation. *Management Science*. 2014;61(6):1275–1291 с. https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1947
11. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. *Алгоритмы: построение и анализ*. М.: Вильямс; 2013. 1328 с.
12. Bertazzi L., Maggioni F. A stochastic multi-stage fixed charge transportation problem: Worst-case analysis of the rolling horizon approach. *European Journal of Operational Research*. 2017;267(2):555–569 с. https://doi:10.1016/j.ejor.2017.12.004
13. Sudha G., Ganesan K. Interval-Fuzzy Fixed Charge Transportation Problems. *International Journal of Fuzzy System Applications*. 2022;11(3):1–14 с. http://doi.org/10.4018/IJFSA.306281
14. Cavada M., Rogers C., Hunt D. Smart Cities: Contradicting Definitions and Unclear Measures. *Proceedings of the 4th World Sustainability Forum, 1–30 November 2014*. Basel: MDPI; 2014. 12 с. https://doi.org/10.3390/wsf-4-f004
15. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. *Национальный проект «Умный город»*. https://russiasmartcity.ru/about (дата обращения: 12.03.2023).
16. Департамент города Москвы по конкурентной политике, Департамент информационных технологий города Москвы. *Портал поставщиков. Оперативные закупки товаров, работ и услуг*. https://zakupki.mos.ru/ (дата обращения: 14.03.2023).

References

1. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. *National project "Digital Economy of the Russian Federation"*. https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/ (accessed 08.03.2023). (In Russian).
2. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. *Direction of activity «Digital technologies» of the national project «Digital Economy of the Russian Federation»*. https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/ (accessed 08.03.2023). (In Russian).
3. Korte B., Vygen J. *Combinatorial Optimization. Theory and Algorithms*. Heidelberg: Springer Berlin; 2000. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-662-21708-5
4. Korbut A.A., Finkelshtein Yu.Yu., *Discrete programming*. Moscow: Nauka; 1969. (In Russian).
5. Balinski M.L. Fixed-cost transportation problems. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1961;8(1):41–54 pp. https://doi.org/10.1002/nav.3800080104
6. Göthe-Lundgren M., Larsson T. A set covering reformulation of the pure fixed charge transportation problem. *Discrete Appl. Math*. 1994;48(3):245–259 pp. https://doi.org/10.1016/0166-218X(92)00177-N
7. Kowalski K., Lev B. On step fixed-charge transportation problem. *Omega*. 2008;36(5):913–917 pp. https://doi.org/10.1016/j.omega.2007.11.001
8. Raj K.A.A.D., Rajendran C. Fast heuristic algorithms to solve a single-stage Fixed-Charge Transportation Problem. *International Journal of Operational Research*. 2009;6(3):304–329 pp. https://doi.org/10.1504/IJOR.2009.026936
9. Agarwal Y., Aneja Y. Fixed-charge transportation problem: Facets of the projection polyhedron. *Operational Research*. 2012;60(3):638–654 pp. https://doi.org/10.1287/opre.1120.1041
10. Roberti R., Bartolini E., Mingozzi A. The Fixed Charge Transportation Problem: An Exact Algorithm Based on a New Integer Programming Formulation. *Management Science*. 2014;61(6):1275–1291 pp. https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1947
11. Cormen T.H., Leiserson Ch.E., Rivest R.L., Stein C. *Introduction to Algorithms*. The MIT Press; 2022. (In Russian).
12. Bertazzi L., Maggioni F. A stochastic multi-stage fixed charge transportation problem: Worst-case analysis of the rolling horizon approach. *European Journal of Operational Research*. 2017;267(2):555–569 pp. https://doi:10.1016/j.ejor.2017.12.004
13. Sudha G., Ganesan K. Interval-Fuzzy Fixed Charge Transportation Problems. *International Journal of Fuzzy System Applications*. 2022;11(3):1–14 pp. http://doi.org/10.4018/IJFSA.306281
14. Cavada M., Rogers C., Hunt D. Smart Cities: Contradicting Definitions and Unclear Measures. *Proceedings of the 4th World Sustainability Forum, 1–30 November 2014*. Basel: MDPI; 2014. 12 p. https://doi.org/10.3390/wsf-4-f004
15. Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation. *National project «Smart City»*. https://russiasmartcity.ru/about (accessed 12.03.2023). (In Russian).
16. Russian Federation. Department of the City of Moscow on competition Policy, Department of Information Technologies of the city of Moscow. *Supplier portal. Operational purchases of goods, works and services.*https://zakupki.mos.ru/ (accessed 14.03.2023).