

УДК 519.863

О.В. Косенко**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЦЕНТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
РЕСУРСОВ**

Предложено решение задачи рационального размещения промежуточных центров с учетом недетерминированности параметров задачи. Для решения задачи по размещению промежуточного центра распределения ресурсов с учетом неопределенности спроса необходим метод, который бы учитывал возможность размещения нескольких промежуточных центров, с возможностью корректировки координат их расположения в зависимости от спроса области потребления. Предложен метод, построенный на основе модификации горного метода, позволяющего определить оптимальное число промежуточных центров распределения ресурсов с учетом не только расстояния между объектами группирования, но и с учетом спроса в областях потребления, и метода центра тяжести, используемого для корректировки координат расположения центра в соответствующей области группирования. Существенное отличие предложенного метода заключается в определении параметров задачи в виде нечетких интервалов. Неопределенные точно, значения спроса, заданные в виде интервалов, на границах которых параметрам соответствуют значения, определенные с достаточной степенью достоверности либо по статистическим данным, если их накоплено достаточно для определения параметров, либо руководствуясь накопленным опытом и интуитивными предположениями экспертов. Принципиальное достоинство теории нечетких множеств, определяющее целесообразность ее практического применения для исследования систем, функционирующих в условиях неопределенности, основывается на возможности адекватного представления переменных. Результат решения задачи размещения промежуточных центров будет представлять собой множество нечетких интервалов – координат размещения центров в зависимости от нечеткого спроса каждой подобласти и емкости (пропускной способности) промежуточных центров распределения ресурсов. Место расположения промежуточного центра определится не конкретными числовыми значениями, а нечетким интервалом, определяющим наилучшее возможное расположение промежуточного центра распределения ресурсов, характеризующееся не только расстоянием между объектами, но спросом, заданным в виде нечеткого интервала. Определение значений координат размещения в виде нечетких интервалов позволяет определить область для варьирования данными в зоне наилучших решений.

Промежуточные центры; распределение ресурсов; группирование; недетерминированная величина; нечеткие интервалы; спрос; область потребления; координаты; потенциал кластера; рациональное расположение.

O.V. Kosenko**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS FOR SOLVING
A LOCATION OF INTERMEDIATE DISTRIBUTION CENTERS RESOURCES**

In the article the problem of optimal placement of the intermediate centres, taking into account nondeterminism of task parameters. To solve the problem by placing an intermediate centre with the uncertainty of demand required a method that would take into account the ability to host multiple transitional centres, with the possibility of adjusting the coordinates of their location depending on demand consumption. A method is proposed, based on modification of the mining method to determine the best number of distribution centers resources, taking into account not only the distances between objects clustering, but also to meet consumer demand in the areas of consumption, and the method of gravity center, used to adjust the coordinates of the location of the center in the appropriate area grouping. The essential difference of the proposed method is to determine the parameters of the problem in the form of fuzzy intervals. Uncertain exactly the values of the demand raised in the form of intervals on which the parameters correspond to the values

determined with a sufficient degree of reliability on statistical data if they are sufficient to determine the parameters or on the basis of experience and intuitive assumptions of experts. The principal advantage of fuzzy set theory, which determines the feasibility of its practical application to the analysis of systems operating under uncertainty conditions, based on adequate representation of the variables using these sets. The result of solving the problem of placing intermediate certificate will represent a set of fuzzy intervals the location coordinates of centers depending on the fuzzy demand of each subarea. The location of the intermediate center will not make specific numeric values and fuzzy intervals, determining the best possible location of the interim centre, which provides not only distances between objects, but the demand specified as fuzzy intervals. The determination of the values of location coordinates in the form of fuzzy interval allows you to define the scope for variation in the data area of the best solutions.

Intermediate centers; resource allocation; grouping; non-deterministic value; fuzzy intervals, demand; consumption; the coordinates; the potential of the cluster; efficient.

Введение. Промежуточные центры распределения ресурсов являются одним из основных элементов логистической структуры, регулирующих распределение товаропотока. Анализ практической реализации транспортно-логистических систем показывает, что промежуточные центры обычно создаются по следующим причинам [1]:

- ◆ большие потери материальных и трудовых ресурсов;
- ◆ слабая информационная поддержка сбытовой деятельности;
- ◆ отсутствие опыта в управлении материальными потоками;
- ◆ потери, связанные с рассредоточением товаров.

При изменении количества и месторасположения промежуточных центров издержки на доставку товаров к потребителям могут быть значительно снижены [2], следовательно, вопрос о рациональном расположении и количестве промежуточных центров является принципиальным.

Как показано в работах [3–8] обязательными условиями, существенно повышающими эффективность методов определения расположения промежуточных центров распределения являются:

- ◆ возможность выбора количества промежуточных центров распределения;
- ◆ возможность определения области размещения промежуточных центров;
- ◆ возможность учета характера ожидаемого спроса потребителя.

Постановка задачи. Неопределенность параметров задачи является одной из основных проблем при решении задач планирования транспортировок груза. Источниками неопределенности могут служить колебания спроса, изменения тарифов перевозки, ошибки прогнозов, вывод из строя ресурсов, неточность данных, ошибочные решения менеджеров, изменения погодных условий [9].

Для определения области рационального расположения промежуточных центров предлагается метод, учитывающий:

- ◆ возможность определения месторасположения нескольких промежуточных центров распределения ресурсов;
- ◆ возможность корректировки координат размещения промежуточного центра после закрепления подобластей спроса;
- ◆ неопределенность параметров задачи.

При разработке метода, учет данных факторов позволит определить количество и область рационального размещения промежуточных центров распределения ресурсов, которые обеспечат минимальные затраты по распределению ресурсов от производителей к потребителям.

Анализ методов определения принадлежности объекта к центру распределения ресурсов. Одним из возможных методов определения мест расположения на определенной территории промежуточных центров распределения ресурсов

является метод полного перебора всех возможных вариантов. Однако, при необходимости размещения нескольких промежуточных центров, число вариантов расположения промежуточных центров распределения ресурсов значительно возрастает и перебор становится затруднительным. Также, при использовании данного метода отсутствует возможность интерпретации огромного количества вариантов группирования, многие из которых совпадают друг с другом, либо не удовлетворяют каким-либо формальным критериям (минимизация расстояния между промежуточными центрами и т.д.). Следовательно, данный метод целесообразно применять только при небольшом числе объектов (не более 10 объектов) [10].

Чтобы избежать перебора всех вариантов, возможно применение метода «центра тяжести поставок и спроса». При этом декартовы координаты расположения (x^u, y^u) промежуточного центра распределения ресурсов рассчитываются в соответствии с ожидаемым спросом i -го потребителя и его географическим расположением [15]:

$$x^u = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i}, \quad y^u = \frac{\sum y_i Q_i}{\sum Q_i}, \quad (1)$$

где x^u, y^u – координаты центра тяжести, который определяет месторасположение промежуточного центра; x_i, y_i – координаты i -го потребителя; Q_i – ожидаемый спрос от i -го потребителя.

Таким образом рассмотренный метод позволяет рассчитать координаты расположения только одного промежуточного центра распределения ресурсов. В методе не учитывается возможность выбора количества промежуточных центров распределения ресурсов, а также не учитывается характер спроса i -го потребителя.

В работах [11–17] показано, что наиболее эффективным методом объединения нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами, является кластеризация. В нашем случае под кластером будем понимать совокупность однородных потребителей ресурсов, закрепленных за одним промежуточным центром распределения ресурсов.

Различные алгоритмы группирования отличаются друг от друга способом выбора центров группирования, метрикой, в которой вычисляется расстояние, и способом присоединения объектов к образованным группам [11, 19].

Расширением алгоритмов группирования, основанных значениях расстояния между объектами, является алгоритм, предложенный Р. Ягером и Д. Филевым в 1993 г. [21]. При данном подходе на начальном шаге кластеризации определяют точки, которые могут быть вероятными (возможными) центрами группирования. На втором шаге для каждой такой точки, помимо расстояния до центра группирования вычисляется значение потенциала, указывающего на возможность формирования кластера в ее окрестности. Потенциал кластера согласно методу, рассчитывается следующим образом [21]:

$$P(Z_k) = \sum_{q=1}^N \exp(-\alpha * D(Z_k, x_q)), \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

где Z_k – потенциальный k -й центр группирования; α – положительная константа; $D(Z_k, x_q)$ – расстояние между потенциальным центром группирования и объектом группирования.

Чем плотнее расположены объекты в окрестности потенциального центра кластера, тем выше значение его потенциала. После этого итерационно выбирают центры кластеров среди точек с максимальными потенциалами [21].

Несмотря на возможность выбора количества промежуточных центров распределения, недостатком данного метода является то, что при расчете потенциалов определяющим параметром является только расстояние между центрами группирования и объектами группирования, что не в полной мере может характеризовать адекватность образования кластеров при построении логистической структуры. Расширяя возможности данного метода в работе [22] предложено рассчитывать потенциалы учитывая стохастичность параметров спроса:

$$W_{kq} = \frac{z_k m_q}{R_{kq}^2}, \quad (3)$$

где z_k – количество товара в k -м промежуточном центре; m_q – математическое ожидание спроса в q -й подобласти; R_{kq} – расстояние от k -го промежуточного центра до q -й подобласти реализации товара. После вычисления потенциалов отыскивается набор, соответствующий:

$$(k_0, q_0) = \arg \max W_{kq}. \quad (4)$$

Далее q_0 – я подобласть приписывается k_0 – му промежуточному центру и исключается из дальнейшего рассмотрения, а процедура (4) повторяется. Таким образом, по каждому промежуточному центру формируется набор элементарных квадратов, в соответствии с (4).

Но спрос не вполне корректно считать случайной величиной, так как плотности распределения этой величины не существует ввиду неконтролируемого изменения механизма ее формирования по множеству трудно прогнозируемых причин [22]. В этой ситуации естественный путь моделирования состоит в использовании нечетких описаний параметров задачи, точное задание которых невозможно. Корректный учет неопределенности спроса, основанный на информационной технологии сбора и обработки соответствующих реальных данных, позволяет получить не только решение, минимизирующее суммарную стоимость транспортировки, но и возможность планирования ресурсов, необходимых для удовлетворения спроса. Планирование ресурсов распространяется не только на определение емкости промежуточного центра, количества и грузоподъемность транспортных средств, участвующих в перевозке грузов, но и позволит рационально организовать производство продукции, в соответствии со спросом.

Применение методов интервального анализа для решения задачи размещения промежуточных центров. В ситуациях, когда невозможно вероятностное задание параметров решаемой задачи, интервальный анализ позволяет довольно просто описывать неопределенности в системе – в виде интервалов, и представляет, достаточно удобный и адекватный математический аппарат для исследования таких систем [23].

Неопределенные точно, значения спроса, будут заданы в виде интервалов, на границах которых параметрам соответствуют некоторые значения. Эти границы всегда можно оценить с достаточной степенью достоверности по статистическим данным, если их накоплено достаточно для определения параметров или руководствуясь накопленным опытом и интуитивными предположениями экспертов. Если строго определить границы интервальных оценок, то существует вероятность того, что границы могут быть или завышенными, или заниженными, что вызовет сомнение в результатах расчетов.

Задание параметров задачи в виде нечеткого интервала будет одновременно и завышенным, и заниженным, а носитель нечеткого интервала будет выбран так, что ядро содержит наиболее правдоподобные значения, и будет гарантировано нахождение рассматриваемого параметра в требуемых пределах [24]. Нечеткий интервал задается на множестве Q четверкой параметров:

$$\tilde{Q} = (\alpha, \beta, A, B), \quad (5)$$

где α – левый коэффициент нечеткости; β – правый коэффициент нечеткости, которые также задаются экспертами; A – нижнее модальное значение; B – верхнее модальное значение нечеткого интервала;

Разработка метода решения задачи расположения промежуточных центров с учетом задания параметров задачи в виде нечетких интервалов. В основу разрабатываемого метода рационального расположения промежуточных центров распределения ресурсов RR положен принцип, объединяющий следующие методы:

$$RR = \{\langle G \rangle, \langle V \rangle, \langle Z \rangle, \langle NI \rangle\},$$

где G – горный метод, позволяющий определить центры группирования путем вычисления потенциалов каждой точки [21]; V – метод, позволяющий определять центры группирования с учетом недетерминированности значений спроса [16, 22], Z – метод центра тяжести, позволяющий скорректировать положение центра группирования в зависимости от расположения закрепленных подобластей [4, 8], NI – метод нечетко-интервального задания параметров, соответствующий интуитивным представлениям экспертов о прогнозируемых параметрах [18].

Данное объединение методов позволит определить не только необходимое количество промежуточных центров распределения ресурсов и рациональную область размещения распределительного центра, но и учесть неопределенность параметров задачи.

Сформулируем постановку задачи определения рационального расположения промежуточных центров следующим образом.

Пусть дана некоторая ограниченная область S , на множестве точек которой с координатами (x, y) . Для определения рационального расположения промежуточных центров в условиях задания параметров задачи в виде нечетких интервалов необходимо: 1. Определить начальную (предварительную) принадлежность потребителя к промежуточному центру распределения ресурсов. Для этого требуется:

- ♦ разбить исходное множество на кластеры (подобласти s_{ij} области S , $S = \sum_{i,j} s_{ij}$), задаваемые, например, в виде элементарных квадратов;
- ♦ у каждого кластера определить условный центр с координатами (x_i, y_i) .

Впишем область S в прямоугольник со сторонами a и b , который разбит на квадраты со стороной l (рис. 1).

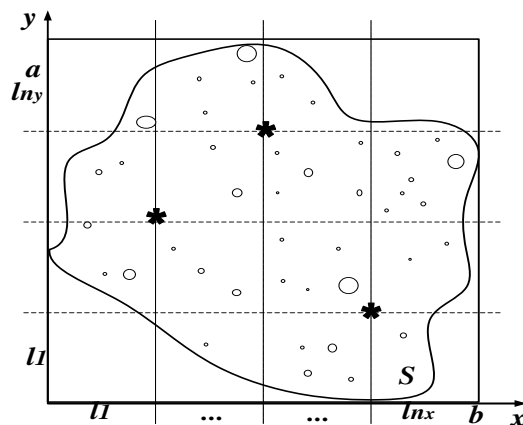


Рис. 1. Размещение промежуточных центров распределения ресурсов в области S

Спрос на товар всех потребителей, размещенных в каждом элементарном квадрате (i,j) , для каждого потребителя определим как q_{ij} в виде нечеткого интервала вида (5). При этом для суммарного спроса в области S выполняется условие (6).

$$\tilde{Q} = \sum_{i,j} \tilde{q}_{ij}. \quad (6)$$

Пусть число промежуточных центров задано и равно K . Декартовы координаты промежуточных центров определим как $(x_1^{(u)}, y_1^{(u)}), (x_2^{(u)}, y_2^{(u)}), \dots, (x_K^{(u)}, y_K^{(u)})$.

2. Задать число промежуточных центров распределения ресурсов (экспертным путем).

3. Определить (экспертным путем) начальное расположение промежуточных центров в пределах области S и распределение товара (мощность) между промежуточными центрами как $\tilde{Z} = (\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_k)$.

4. Вычислить потенциалы для каждой пары (k,m) , где k – определенный промежуточный центр, а m – определенный элементарный квадрат реализации товара:

$$\tilde{P}_{km} = \frac{\tilde{z}_k \tilde{q}_m}{\tilde{R}_{km}^2}, \quad (7)$$

где \tilde{z}_k – нечеткое множество, заданное на множестве действительных чисел и определяющее нечеткое количество товара в k -м промежуточном центре; \tilde{q}_m – нечеткое множество, заданное на множестве действительных чисел и определяющее нечеткое значение спроса m -го элементарного квадрата; \tilde{R}_{km} – расстояние от k -го промежуточного центра до m -го квадрата реализации товара.

Далее отыскивается $(k,m) = \operatorname{argmax} P_{km}$ и по результатам нахождения максимального значения потенциала для каждой пары (k,m) m – й квадрат приписывается k – му промежуточному центру, и исключается из дальнейшего рассмотрения, а процедура повторяется до окончания закрепления всех элементарных квадратов за промежуточными центрами.

5. По результатам решения задачи кластеризации произвести уточнение положения промежуточных центров. Координаты определяются следующим образом

$$\tilde{x}_k^{(u)} = \frac{\sum_{m=1}^N \tilde{x}_m \tilde{q}_m}{\sum_{m=1}^N \tilde{q}_m}, \quad \tilde{y}_k^{(u)} = \frac{\sum_{m=1}^N \tilde{y}_m \tilde{q}_m}{\sum_{m=1}^N \tilde{q}_m}. \quad (7)$$

6. Результаты решения задач четвертого и пятого шагов задают распределение элементарных квадратов по подобластям и положение промежуточных центров в них. Далее, решается задача определения общей стоимости перевозки грузов от промежуточных центров к закрепленными за ними областями сбыта товара

$$\tilde{F} = \sum_{m=1}^N \tilde{c}_{km}^* \tilde{r}_m^*, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (8)$$

где \tilde{c}_{km}^* – средняя стоимость перевозки единицы товара от k -го промежуточного центра к m -й области потребления товара; \tilde{r}_m^* – нечетких интервал, определяющий количество поставляемого груза в m -ю область потребления товара.

Первая итерация завершена. Последующие итерации начинаются с выполнения третьего этапа с учетом найденного на предыдущей итерации расположения промежуточных центров и распределения заданного объема товаров \tilde{Q} между ними. Процедура завершается, если результаты текущей и предыдущей итераций совпадают. При этом поставленная задача для заданного числа K промежуточных центров решена. Далее решение повторяется для нового числа промежуточных центров, перебор по которым обеспечивает новое решение задачи.

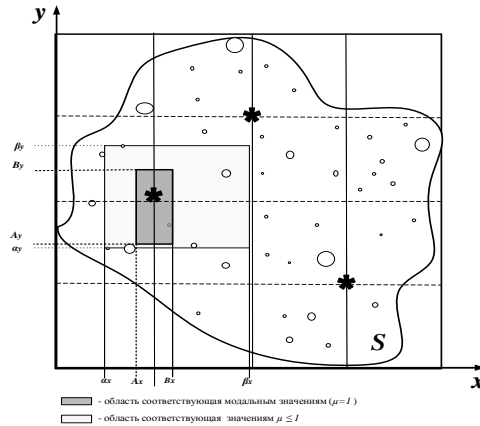


Рис. 2. Определение координат расположения промежуточного центра в виде нечетких интервалов

Результат решения задачи размещения промежуточных центров будет представлять собой множество нечетких интервалов – координат размещения центров в зависимости от нечеткого спроса каждой подобласти. Место расположения промежуточного центра определится не конкретными числовыми значениями, а нечетким интервалом (рис. 2), определяющим наилучшее возможное расположение промежуточного центра.

Выполним экспериментальную проверку предложенного метода на примере оптимального распределения ресурсов в промежуточных центрах с целью минимизации общей стоимости транспортировки. Дана область размером 12×12 , которая разбивается на квадраты со стороной 4 –подобласти спроса (рис. 3).

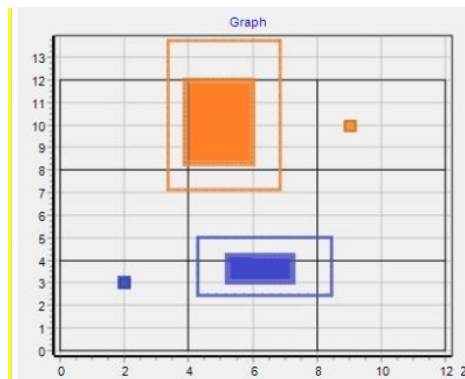


Рис. 3. Область распределения ресурсов

Каждой подобласти соответствуют значения спроса, заданные в виде нечетких интервалов. Экспертным путем заданы число, координаты и емкость (товарооборот) промежуточных центров распределения ресурсов. Для закрепления подобластей спроса за конкретным промежуточным центром вычисляются потенциалы (рис. 4).

В результате вычислений выдаются рекомендации по закреплению подобластей и корректируется местоположение промежуточных центров распределения ресурсов.

Параметры
A: 12 B: 12 L: 4 Разбить на квадраты

№	x	y	α	β	A	B
1	2	2	2	2	25	27
2	6	2	5	2	30	40
3	10	2	4	1	41	45
4	2	6	1	3	20	26
5	6	6	2	2	30	32
6	10	6	2	3	10	14
7	2	10	4	4	42	46
8	6	10	2	2	45	55
9	10	10	1	2	10	16

Промежуточные центры
2 Потенциалы

№	x	y	α	β	A	B
1	2	3	5	10	1300	1400
2	9	10	10	12	500	700

К центру №1 относятся: 1 2 3 4 5 6
К центру №2 относятся: 7 8 9
Рекомендовано разместить промежуточный центр 1 в области соответствующей координатам:
(1,0, 1,2, 5,2, 7,2,)
(0,5, 0,8, 3,0, 4,2,)
Рекомендовано разместить промежуточный центр 2 в области соответствующей координатам:
(0,5, 0,8, 3,9, 6,0,)
(1,2, 1,7, 8,3, 12,1,)
ОБЩАЯ СТОИМОСТЬ ТРАНСПОРТИРОВКИ:
1) после группирования: (17 29 1008 1401)
2) после корректировки координат: (18 18 872 1114)

Рис. 4. Программная реализация предложенного метода

Результатом корректировки является рекомендуемая область размещения промежуточных центров, которая обеспечивает оптимальное значение стоимости перераспределения ресурсов. Результаты проведенных экспериментов, направленных на расчет и сравнительный анализ общей стоимости транспортировки товаров потребителю через промежуточные центры распределения, показал, что корректировка расположения промежуточных центров позволяет снизить стоимость перевозки приблизительно на 27–30 %.

Заключение. Результатом исследований, выполненных в данной статье является разработка метода формализации и решения задачи рационального размещения промежуточных центров. Предложен метод позволяющий определить оптимальное количество распределительных центров в заданной области с учетом не только расстояний между потенциальным центром группирования [11, 15, 21] и подобластями потребления, но и с учетом спроса, определяющего потребление каждой подобласти. Определены параметры модели в виде нечетких интервалов, что соответствует более полной их формализации, в отличие от задания параметров задачи в детерминированной постановке [6, 8, 11]. Определение значений в виде нечетких интервалов позволяет определить область для варьирования данными в зоне наилучших решений. Корректный учет неопределенности спроса, основанный на информационной технологии сбора и обработки соответствующих реальных данных, позволит получить не только решение, минимизирующее суммарную стоимость транспортировки, но и возможность планирования ресурсов, необходимых для удовлетворения спроса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rushton A., Croucher Ph., Baker P. The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain. – 5th ed. – Kogan Page, 2014. – 720 p.
2. Gudehus T., Kotzab H. Comprehensive Logistics Springer, 2012. – 933 p.
3. Лукинский В.С., Цвиринько И.А., Малевич Ю.В. Модели и методы теории логистики. – СПб.: ПИТЕР, 2003. – 175 с.

4. *Богданов С.И., Петров А.В.* Эффективные процессы распределения товаров: концепции, модели, методы реализации. – Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2008. – 162 с.
5. *Бердышев С.Н., Улыбина Ю.Н.* Искусство управления складом. – М.: Ай Пи Эр Медиа, 2011. – 304 с.
6. *Wiesmeth H.* Environmental Economics: Theory and Policy in Equilibrium Springer, 2012. – 328 p.
7. *Chapman Randall G.* LINKS Supply Chain Management Simulation Randall G. Chapman, 2015. – 131 p.
8. *Алесинская Т.В.* Основы логистики. Общие вопросы логистического управления. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 121 с.
9. *Иванов Д.А.* Управление цепями поставок. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 660 с.
10. *Преснухин Л.Н., Воробьев Н.В., Шишкевич А.А.* Расчет элементов цифровых устройств: пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.
11. *Everitt B.S., Landau S., Leese M., Stahl D.* Cluster Analysis. – 5th Ed. – Wiley, 2011. – 346 p.
12. *Кузнецов Д.Ю., Трошина Т.Л.* Кластерный анализ и его применение // Ярославский педагогический вестник. – 2006. – Вып. 4. – С. 103-107.
13. *Höppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T.* Fuzzy Cluster Analysis. West Sussex, England.: John Wiley & Sons, LTD, 2014. – 288 p.
14. *Wardlow D. L., Wood Donald F., Johnson James, Murphy P.* Modern logistic: Trudged., Publ. house "Williams", 2002. – 624 p.
15. *Константинов П.В.* Проектирование оптимальной складской сети // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 4. – С. 243-250.
16. *Ritter G.* Robust Cluster Analysis and Variable Selection. – N.-Y.: Chapman and Hall/CRC, 2014. – 392 p.
17. *Бериков В.С., Лбов Г.С.* Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 26 с.
18. *Севастьянов П. В.* Оптимизация деятельности дистрибьютора в условиях неопределенности // Маркетинг в России и за рубежом. – 2001. – № 1. – С. 72-80.
19. *Серая О.В., Бачкир Л.В.* Стохастическая кластеризация в задачах большой размерности // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 4/3.
20. *Roth V., Lange V., Braun M., Buhmann J.* Stability-based validation of clustering solutions // Neural Computation. – 2004. – No. 16 (6). – P. 1299-1323.
21. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2007. – 288 с.
22. *Серая О.В.* Многомерные модели логистики в условиях неопределенности: монография. – Х.: ФОП Стеценко И.И., 2010. – 512 с.
23. *Домбровский В.В., Чаусова Е.В.* Динамическая сетевая модель управления запасами с интервальной неопределенностью спроса // Вычислительные технологии. – 2001. – Т. 6, Ч. 2. – С. 271-274.
24. *Борисова Е.А., Финаев В.И.* Трехиндексные распределительные задачи с нечеткими параметрами. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. - 190 с.

REFERENCES

1. *Rushton A., Croucher Ph., Baker P.* The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain. 5th ed. Kogan Page, 2014, 720 p.
2. *Gudehus T., Kotzab H.* Comprehensive Logistics Springer, 2012, 933 p.
3. *Lukinskiy V.S., Tsvirin'ko I.A., Malevich Yu.V.* Modeli i metody teorii logistiki [Models and methods of logistics theory]. St. Petersburg: PITER, 2003, 175 p.
4. *Bogdanov S.I., Petrov A.V.* Effektivnye protsessy raspredeleniya tovarov: kontseptsii, modeli, metody realizatsii [Efficient processes for the distribution of goods: concepts, models, methods of realization]. Ekaterinburg: Izd-vo UrGEU, 2008, 162 p.
5. *Berdyshev S.N., Ulybina Yu.N.* Iskusstvo upravleniya skladom [The art of warehouse management]. Moscow: Ay Pi Er Media, 2011, 304 p.
6. *Wiesmeth H.* Environmental Economics: Theory and Policy in Equilibrium Springer, 2012, 328 p.
7. *Chapman Randall G.* LINKS Supply Chain Management Simulation Randall G. Chapman, 2015, 131 p.

8. *Alesinskaya T.V.* Osnovy logistiki. Obshchie voprosy logisticheskogo upravleniya [Fundamentals of logistics. General questions of logistics management]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2005, 121 p.
9. *Ivanov D.A.* Upravlenie tsepyami postavok [Supply chain Management]. St. Petersburg: Izd-vo Politekh. un-ta, 2009, 660 p.
10. *Presnukhin L.N., Vorob'ev N.V., Shishkevich A.A.* Raschet elementov tsifrovyykh ustroystv [Calculation of the elements of digital devices]: translated from the German. Moscow: DMK Press, 2008, 832 p.
11. *Everitt B.S., Landau S., Leese M., Stahl D.* Cluster Analysis. 5th Ed. Wiley, 2011, 346 p.
12. *Kuznetsov D.Yu., Troshina T.L.* Klasternyy analiz i ego primeneniye [Cluster analysis and its application], *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik* [Yaroslavl Pedagogical Bulletin], 2006, Issue 4, pp. 103-107.
13. *Höppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T.* Fuzzy Cluster Analysis. West Sussex, England.: John Wiley & Sons, LTD, 2014, 288 p.
14. *Wardlow D. L., Wood Donald F., Johnson James, Murphy P.* Modern logistic: Trudged., Publ. house "Williams", 2002, 624 p.
15. *Konstantinov R.V.* Proektirovaniye optimal'noy skladskey seti [Designing the optimal], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2011, No. 4, pp. 243-250.
16. *Ritter G.* Robust Cluster Analysis and Variable Selection. N.-Y.: Chapman and Hall/CRC, 2014, 392 p.
17. *Berikov V.S., Lbov G.S.* Sovremennyye tendentsii v klasternom analize [Modern trends in cluster analysis], *Vserossiyskiy konkursnyy otkor obzorno-analiticheskikh statey po prioritnomu napravleniyu «Informatsionno-telekommunikatsionnyye sistemy», 2008* [All-Russian competitive selection of survey and analytical articles on priority direction "Information-telecommunication systems", 2008], 26 p.
18. *Sevast'yanov P.V.* Optimizatsiya deyatelnosti distrib'yutora v usloviyakh neopredelennosti [Distributor optimization activities in the face of uncertainty], *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and Abroad], 2001, No. 1, pp. 72-80.
19. *Seraya O.V., Bachkir L.V.* Stokhasticheskaya klasterezatsiya v zadachakh bol'shoy razmernosti [Clustering in large-scale problems], *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [East European journal of advanced technologies], 2008, No. 4/3.
20. *Roth V., Lange V., Braun M., Buhmann J.* Stability-based validation of clustering solutions, *Neural Computation*, 2004, No. 16 (6), pp. 1299-1323.
21. *Shtovba S.D.* Proektirovaniye nechetkikh sistem sredstvami MATLAB [Design of fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow: Goryachaya Liniya - Telekom, 2007, 288 p.
22. *Seraya O.V.* Mnogomernyye modeli logistiki v usloviyakh neopredelennosti: monografiya [A Multidimensional model of logistics in conditions of uncertainty]. Kh.: FOP Stetsenko I.I., 2010, 512 p.
23. *Dombrovskiy V.V., Chausova E.V.* Dinamicheskaya setevaya model' upravleniya zapasami s interval'noy neopredelennost'yu sprosa [Dynamic network model of inventory management with interval uncertainty], *Vychislitel'nye tekhnologii* [Computational Technologies], 2001, Vol. 6, Part 2, pp. 271-274.
24. *Borisova E.A., Finaev V.I.* Trekhindeksnyye raspredelitel'nye zadachi s nechetkimi parametrami [Three-index distribution problem with fuzzy parameters]. Taganrog: TTI YuFU, 2007, 190 p.

Статью рекомендовал опубликованию д.т.н., профессор С.А. Арустамов.

Косенко Олеся Валентиновна – Южный федеральный университет; e-mail: o_kosenko@mail.ru; 347900, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; старший преподаватель.

Kosenko Olesya Valentinovna – Southern Federal University; e-mail: o_kosenko@mail.ru; 347900, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634361789; the department of automatic control systems, senior teacher.