



## Решение задачи формирования распределительной системы в условиях неопределенности

*А.В. Боженьюк, О.В. Косенко, Е.Ю. Косенко*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** Значительная часть ресурсов при перемещении от производителя к потребителю распределяется через соответствующие центры. В статье предлагается метод решения задачи эффективного закрепления зон спроса за конкретным распределительным центром. При этом предложено учитывать не только расстояние между распределительными центрами и зонами спроса, но также и объемы спроса закрепляемых зон, и пропускную способность распределительных центров. При решении задачи учитывается неопределенность исходных параметров задачи. Разработано программное приложение позволяющее вводить параметры в нечетко-интервальном виде, на основе которых формируются результаты решения задачи.

**Ключевые слова:** распределительные центры, спрос, неопределенность исходных параметров, нечеткие интервалы, потенциалы взаимосвязи, группирование.

### Введение

Развитие производственных отношений и технологий распределения ресурсов привело к необходимости создания центров, которые бы осуществляли аккумуляцию и перераспределение ресурсов [1]. Функции этих распределительных центров могут выполнять, в зависимости от задачи, которая должна быть достигнута, различное технологическое оборудование предприятий, банк производственных операций, серверы и т.п. [2]. Общей особенностью распределительных центров является накопление, хранение ресурсов, и когда необходимо – решение задачи эффективного управления производством и потреблением этих ресурсов на других уровнях.

Среди задач распределения особое место занимают задачи оперативного планирования и управления, математической моделью которых является транспортная задача линейного программирования [3]. На практике не всегда возможно решить задачу эффективного перемещения неоднородных ресурсов различными видами транспорта (передающими

---

элементами), опираясь на классическую транспортную теорию, поскольку не все исходные данные учитываются [4]. Одним из подходов к оптимизации взаимодействия нескольких видов транспорта и внедрения передовых бизнес-технологий транспортного процесса является создание сети распределительных центров. Цель создания распределительных центров заключается в сокращении времени и общих затрат отправителей и получателей ресурсов. Движение ресурсов в текущих рыночных условиях невозможно без концентрации в определенных местах необходимых резервов, для хранения которых предназначены распределительные центры. Расположение данных центров по отношению к потребителям и производителям является важной частью логистической задачи, где необходимо найти местоположение распределительных центров таким образом, чтобы общие расходы по перемещению ресурсов были минимальными. Величина расходов значительно варьируется в зависимости от местоположения распределительных центров. В работах [5 – 6] показано, что эффективное расположение центра позволяет снизить стоимость распределения ресурсов до 30%.

Механизмы планирования и управления процессом распределения ресурсов имеют особое значение в случае многоступенчатой технологической обработки ресурса, поступающего от источника в распределительный центр, а затем к потребителю. С точки зрения организации распределения желательно проанализировать весь процесс транспортировки от «двери» отправителя ресурса до «двери» получателя ресурса [7].

Распределительный центр является одним из основных элементов распределительной системы, который формирует структуру перемещения ресурсов. На него возлагается функция обеспечения эффективного распределения потока ресурсов. Анализ систем распределения показывает,

---

что рассматриваемые центры обычно создаются по следующим причинам [8 – 9]:

- значительные потери материальных и трудовых ресурсов;
- слабая информационная поддержка маркетинговой деятельности;
- отсутствие опыта управления потоками материалов;
- потери, связанные с рассредоточением ресурсов.

С изменением количества и местоположения распределительных центров стоимость доставки ресурсов потребителям значительно изменяется, поэтому вопрос эффективного размещения центров является принципиальным. Эта задача становится особенно актуальной при проектировании новой распределительной системы или расширении уже существующей.

### **Постановка задачи**

В современных условиях движение ресурса от источника (производителя) к потребителю осуществляется двумя способами: «производитель - потребитель» и «производитель - распределительный центр - потребитель» [10]. Транспортная задача с распределительными центрами была сформулирована в [11] как метод борьбы с высокой размерностью задачи данного класса и эффективный способ снижения общих транспортных издержек.

Поставка ресурсов через центр к потребителю требует создания модели многоэтапной задачи распределения, в которой обычно принимается в качестве критерия оптимальности минимальное значение общей стоимости затрат, связанных с распределением ресурсов [3 – 4, 8].

Анализ классификации мер, направленных на снижение стоимости функционирования распределительной системы, показал, что существенно влияют на эффективность решения [6, 10]:

- многофакторность параметров при распределении в постановке «производитель – распределительный центр - потребитель»;
- эффективность размещения распределительных центров.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия элементов системы «производители – распределительные центры - потребители».

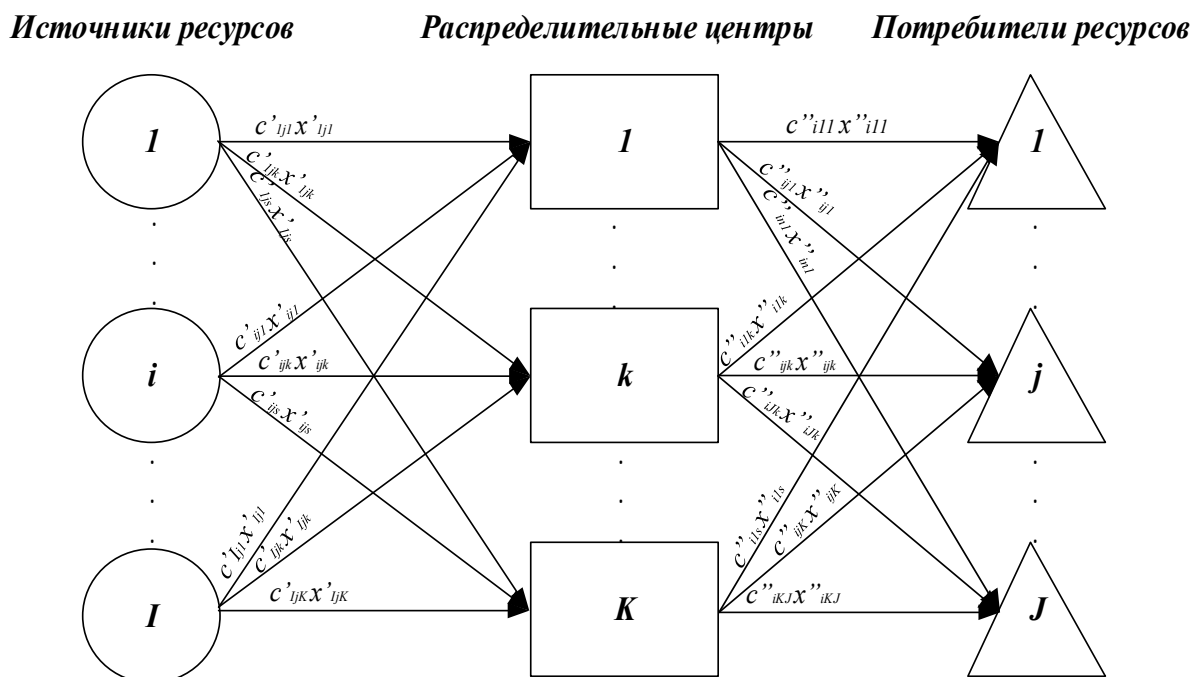


Рис. 1 – Схема взаимодействия элементов распределительной системы

Формальная постановка данной задачи имеет следующий вид [3].

Имеется  $I$  пунктов источников (производителей) ресурсов, где  $a_i$  ( $i=1,2,\dots,I$ ) набор, определяющий распределение ресурса по производителям, и  $J$  пунктов потребления этого ресурса, где  $b_j$  ( $j=1,2,\dots,J$ ) – набор, задающий величину спроса. Даны  $K$  распределительных центров и задана матрица стоимостей  $C=(c_{ijk})$ , где  $c_{ijk}$  - стоимость перемещения единицы ресурса от  $i$ -го источника к  $j$ -му потребителю, через  $k$ -й центр.

Матрица  $X=(x_{ijk})$  определяет вектор количества ресурсов, предназначенных для перемещения от  $i$ -го источника к  $j$ -му потребителю, через  $k$ -й центр. Задача состоит в отыскании матрицы  $X=(x_{ijk})$ , минимизирующей суммарную стоимость перевозок

$$F(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{ijk} x_{ijk} \rightarrow \min$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{ijk} = a_i, i = 1, 2, \dots, I,$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{ijk} = b_j, j = 1, 2, \dots, J,$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ijk} \leq d_k, k = 1, 2, \dots, K,$$

$$x_{ijk} \geq 0, i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K,$$

где  $d_k$  - емкость соответствующих центров.

Для решения задачи эффективного функционирования распределительной системы необходимо определить местоположение распределительных центров и определить, какие зоны спроса будут закреплены за конкретным центром. То есть необходимо определить те зоны спроса, которые вместе с распределительным центром будут выступать в качестве эффективно функционирующей единицы распределительной системы. В настоящее время для решения данной задачи предложено немало аналитических и экспертных методов. В [12 – 14] показано, что эффективным методом объединения нескольких однородных элементов, которые можно было бы рассмотреть как независимую единицу с определенными свойствами, является кластеризация. При решении задачи определения рационального местоположения распределительного центра под кластером будем понимать совокупность однородных потребителей ресурсов, закрепленных за одним центром. Базовый алгоритм построения кластера представлен следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Выбор центров группирования.

Шаг 2. Определение расстояний от всех предполагаемых объектов кластера до каждого из центров группирования.

Шаг 3. Закрепление предполагаемого объекта за центром группирования, расстояние до которого минимально.

Таким образом, различные алгоритмы кластеризации отличаются друг от друга тем, как они выбирают центры группирования, метрикой, в которой вычисляется расстояние, и способом привязки объектов к сформированным группам [13, 15].

Недостатком рассмотренных методов является то, что единственным параметром определения принадлежности к центру группировки является расстояние, которое не может в полной мере характеризовать адекватность формирования кластеров при построении распределительной структуры. Для рационального местоположения распределительных центров необходимо разработать методику, учитывающую спрос объектов потребления ресурсов и пропускную способность распределительных центров, что может существенно повлиять на эффективность функционирования системы в целом.

Следует учесть, что распределительные системы характеризуются большим числом элементов и связей между ними, высокой степенью динамичности. Это приводит к тому, что система работает в условиях неопределенности во внешней и внутренней среде. Неопределенность начальных параметров распределительной задачи определяется колебаниями спроса, изменениями тарифов на перемещение ресурсов, условиями распределения, неточностью данных и может существенно повлиять на конечный результат. Это обстоятельство предопределяет использование интеллектуальных технологий, таких как теория нечетких множеств.

## Описание разработанного метода

Корректный учет неопределенности спроса при сборе и обработке реальных данных, позволит получить решение, минимизирующее суммарную стоимость перемещения, и планировать распределение ресурсов, необходимых для удовлетворения спроса.

Для определения эффективного местоположения распределительных центров при условии задания параметров задачи в виде нечетких интервалов предлагается следующий алгоритм:

Шаг 1. Определение границ зон спроса. Предполагаемую область функционирования распределительной системы необходимо разбить на территориальные зоны спроса.

Шаг 2. Задание предполагаемого числа распределительных центров.

Шаг 3. Определение (экспертным путем) предполагаемого местоположения распределительных центров и задание параметра, определяющего емкость (пропускную способность) каждого центра.

Шаг 4. Расчет потенциала взаимосвязи между зонами спроса и распределительными центрами, на основе которых можно выполнить закрепление зоны спроса за конкретным центром.

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

где  $m$  – определенная зона спроса.  $\tilde{z}_k$ ,  $k \in K$  – количество ресурса в  $k$ -м центре распределения;  $\tilde{q}_m$  – значение спроса  $m$ -й зоны;  $\tilde{R}_{km}$  – расстояние от  $k$ -го центра распределения ресурсов до  $m$ -й зоны спроса.

Далее отыскивается  $(k, m) = \arg \max \tilde{P}_{km}$  и по результатам нахождения максимального значения верхнего модального значения потенциала для каждой пары  $(k, m)$   $m$ -я зона закрепляется за  $k$ -м центром распределения ресурсов.

Шаг 5. Корректировка местоположения распределительного центра, относительно закрепленных зон, в соответствии с результатами выполнения предыдущих шагов алгоритма.

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

где  $\tilde{x}_k^{(z)}, \tilde{y}_k^{(z)}$  – координаты местоположения соответствующего центра распределения ресурсов

Шаг 6. Определение стоимости перемещения ресурсов.

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

где  $\tilde{c}_{km}^*$  – стоимость перемещения единицы ресурса от  $k$ -го центра распределения ресурсов к  $m$ -ой зоне спроса.

Выполнение этапов 1-6 соответствует первой итерации решения проблемы рационального расположения распределительных центров. Последующие итерации начинаются с реализации третьего шага с учетом расположения распределительных центров, найденных на предыдущей итерации, и распределения количества ресурсов между ними. Решение повторяется для нового числа центров, перебор по которым обеспечивает решение задачи эффективного закрепления зон спроса за распределительными центрами.

Полученные значения позволяют на следующем шаге основного алгоритма определить для  $i$ -й итерации значение  $\tilde{F}_i$  – общую стоимость распределения ресурсов от распределительных центров к зонам спроса ресурсов при закреплении их положения. Цикл завершается если результаты



группирования (закрепление зон спроса за центрами) до корректировки и после корректировки координат расположения центров совпадают.

Набор потенциалов, рассчитанный на основе предложенного метода, позволяет определить степень оценки взаимосвязи между зонами потребления ресурсов, характеризующимися спросом, с распределительными центрами, характеризующимися емкостью (пропускной способностью), с учетом расстояния между ними.

Применение теории нечетких множеств для определения зон группирования, в отличие от детерминированных методов, позволяет одной и той же  $q$ -й зоне потребления ресурсов одновременно принадлежать нескольким центрам, но с разной степенью принадлежности.

При указании параметров задачи группирования в виде четких значений матрица принадлежности  $q$ -й зоны потребления ресурсов к  $k$ -му кластерному центру  $W$  определяется следующим образом:

$$W = \left[ \begin{array}{c|cccccc} k/q & 1 & . & . & . & . & m \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right],$$
$$W = [\eta_{kq}], \eta_{kq} \in \{0,1\} \quad k=1,\dots,K, \quad q=1,\dots,m,$$
$$\sum_{k=1}^K \eta_{kq} = 1, \quad k=1,\dots,K, \quad 0 < \sum_{q=1}^m \eta_{kq} < m, \quad q=1,\dots,m, \quad (1)$$

где  $\eta_{kq}$  – четкое значение (0 или 1), определяющее принадлежность  $q$ -й зоны потребления ресурса к  $k$ -му центру группирования.

То есть матрица  $W$  содержит значения, согласно которым можно точно сказать, принадлежит ли зона потребления ресурса к центру группирования. И если искомая зона присваивается некоторому центру ( $\eta_{kq}=1$ ), то данная она не может принадлежать другому центру распределения ( $\eta_{kq}=0$ ). То есть в

матрице  $W$  содержатся значения  $\eta_{kq}$ , согласно которым можно точно сказать принадлежит ли данная зона спроса центру распределения.

При задании параметров задачи группирования в виде нечетких значений матрица принадлежности  $q$ -й зоны потребления ресурсов к  $k$ -му группирующему центру определяется следующим образом:

При задании параметров задачи группирования в виде нечетких величин матрица принадлежности  $q$ -й зоны потребления ресурса к  $k$ -му центру распределения  $\tilde{W}$  определится следующим образом:

$$\tilde{W} = \left[ \begin{array}{c|cccccc} k/q & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & m \\ \hline 1 & \mu_{11} & \mu_{1q} & \mu_{1q} & \mu_{1q} & \mu_{1q} & \mu_{1m} \\ \vdots & \mu_{k1} & \mu_{kq} & \mu_{kq} & \mu_{kq} & \mu_{kq} & \mu_{km} \\ K & \mu_{K1} & \mu_{Kq} & \mu_{Kq} & \mu_{Kq} & \mu_{Kq} & \mu_{Km} \end{array} \right],$$
$$\tilde{W} = [\mu_{kq} J, \mu_{kq} \hat{I} [0,1], k = 1, \dots, K, q = 1, \dots, m,$$
$$\sum_{k=1}^K \mu_{kq} = 1, k = 1, \dots, K, 0 < \sum_{q=1}^m \eta_{qk} < m, q = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где  $\mu_{kq}$  – нечеткое значение, определяющее принадлежность  $q$ -й зоны спроса к  $k$ -му центру распределения. Матрица содержит значения степени принадлежности зон спроса к тому или иному центру группирования. Для нечетких задач зона потребления может принадлежать с некоторой степенью  $\mu_{kq}$  одному центру распределения, а с некоторой  $1 - \mu_{kq}$  – другому центру.

В задаче закрепления зон спроса за конкретным распределительным центром важно не только расстояние между центром и объектом группирования, но и потребность зоны спроса, а также так называемая емкость распределительного центра, характеризующая его пропускную способность.

С учетом этих условий предлагается использовать среднее значение потенциалов  $P_{kq}^{cp}$ , которое будет определяться как центр тяжести трапеции

[16], построенной по соответствующим значениям  $P_{kq}$ . Тогда функция принадлежности  $q$ -й зоны потребления ресурсов  $k$ -му центру распределения определится как:

$$\mu_{kq} = \frac{P_{kq}^{cp}}{\sum_{k=1}^K P_{kq}^{cp}}, \quad q = 1, \dots, m; k = 1, \dots, K.$$

Использование потенциальных значений позволяет избежать сложности нечеткого разбиения, отмеченного в [17], относительно зон, удаленных от всех центров кластеризации.

Результат определения значений членства в зонах потребления в центрах группировки показан на рис. 2, где

- а) определяет четкое задание параметров, согласно (1);
- б) задание параметров в виде нечетких интервалов, согласно (2).

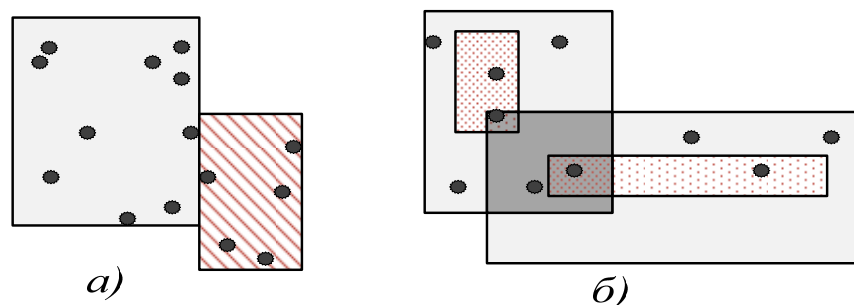


Рис. 2 - Результат определения принадлежности зон потребления ресурсов к центрам группирования

Задание параметров задачи в виде нечетких значений дает возможность описания исходных данных в соответствии с тем, что параметры реальных проблем в результате влияния различных факторов не являются точными и учитывают неопределенности, связанные с неполнотой и неточностью исходных данных.

## Программная реализация предложенного метода

Для разработки рекомендаций по определению местоположения и количества распределительных центров в условиях неопределенности в рассматриваемом регионе в среде Delphi 10 Seattle было разработано программное приложение, позволяющее вводить исходные данные в виде нечетких интервалов, на основе которых определяется географическое местоположение (координаты) распределительных центров и общая стоимость перемещения ресурсов через центры (рис. 3).

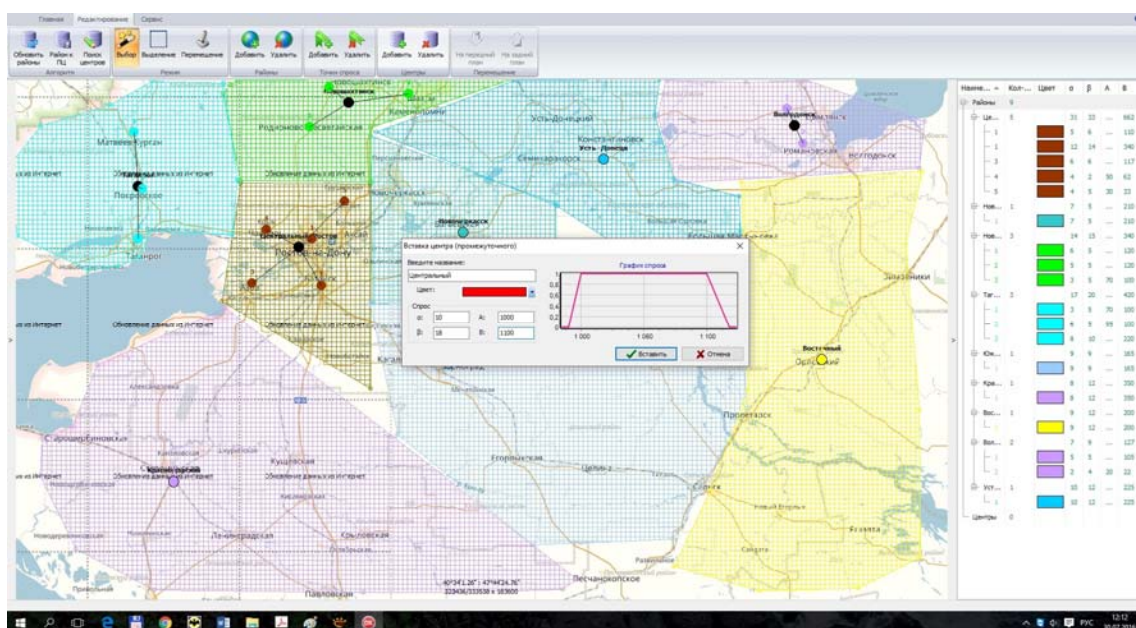


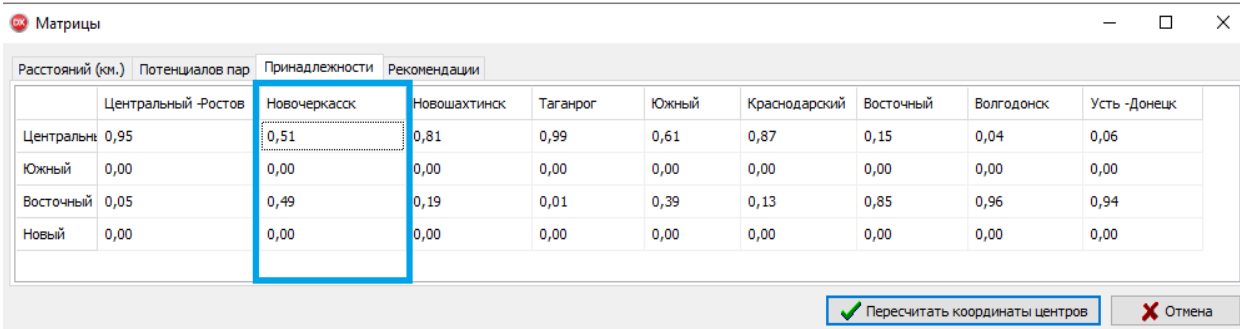
Рис. 3 – Окно ввода параметров проектируемой распределительной системы

Результатом решения задачи определения эффективного местоположения распределительных центров является набор нечетких интервалов – координат, определяющих местоположение в зависимости от параметров задачи: спрос потребителей, емкость распределительных центров, расстояние между потребителями ресурса и центром. Расположение распределительного центра будет определяться не конкретными численными значениями, а нечетким интервалом, который определит наилучшее местоположение центра.

Разработанное приложение, основанное на предлагаемом методе и алгоритмах, вычисляет и представляет пользователю для анализа следующие параметры:

- расстояние от каждого распределительного центра до центра зоны спроса;
- потенциал взаимосвязи между центрами распределения ресурсов с зонами спроса, на основе которых зоны спроса закреплены за распределительными центрами;
- значение степени принадлежности зоны спроса к распределительным центрам.

Используя (3) для каждой зоны спроса, можно определить степень принадлежности зон спроса к каждому из центров. Пример определения степени принадлежности представлен на рис. 4.



	Центральный -Ростов	Новочеркасск	Новошахтинск	Таганрог	Южный	Краснодарский	Восточный	Волгодонск	Усть -Донецк
Центральный	0,95	0,51	0,81	0,99	0,61	0,87	0,15	0,04	0,06
Южный	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Восточный	0,05	0,49	0,19	0,01	0,39	0,13	0,85	0,96	0,94
Новый	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Рис. 4 - Значения степени принадлежности зон спроса к распределительным центрам

Итак, для зоны спроса «Новочеркасск» степень принадлежности к центру «Центральный» составляет 0,51, а к центру «Восточный» 0,49, в результате чего эта зона закрепляется за центром «Центральный».

Для оценки эффективности предложенного метода эффективного размещения центров распределения сравним полученные результаты по определению общей стоимости перемещения ресурсов с помощью классического метода кластеризации, в котором учитывается только расстояние до объектов группирования и предложенного метода, в котором

дополнительно предлагается учитывать величину спроса зоны потребления и емкость распределительных центров. Результаты представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Результаты сравнительной оценки методов группирования

Распределительные центры	Стоимость распределения при данных методах группирования, у.е		Сравнение результатов, %
	Классический метод	Предложенный метод	
1. Центральный Восточный Южный	150222	116175	↓23%
2. Центральный Восточный Южный Новый	131605	97760	↓26%
3. Центральный Восточный	157892	116002	↓26%
4. Центральный Восточный (увеличение емкости)	156308	121604	↓22%
5. Центральный	221943	164237	↓26%

Как показывают результаты расчетов, приведенные в таблице № 1 применение предложенного метода обеспечивает снижение общей стоимости перемещения ресурсов в среднем на 25 %, что говорит об эффективности учета дополнительных параметров распределительной системы.

### Заключение

Эффективным способом сокращения затрат и времени перемещения ресурсов является наличие распределительных центров. Поскольку распределительный центр является неотъемлемой частью цепи доставки ресурсов от производителей потребителям, задача его эффективного

размещения является важной составляющей задачи распределительной системы. В статье предлагается метод группирования зон спроса, учитывающий не только расстояние между объектами группирования, но также спрос потребителей и пропускную способность распределительных центров. Особое внимание уделено неопределенности исходных параметров задачи. Предлагается нечетко-интервальный подход, который позволяет получить адекватные результаты при отсутствии возможности четко указывать величину спроса в определенной зоне потребления ресурсов и определять наличие допусков для изменения соответствующих величин.

Приведено определение параметров функции принадлежности зон спроса, позволяющее определить степень принадлежности каждой из зон спроса к распределительным центрам.

Разработано программное приложение, которое включает в себя совокупность модулей, позволяющих вводить исходные данные в виде нечетких интервалов, на основе которых определяется географическое местоположение (координаты) распределительных центров и общая стоимость перемещения ресурсов. Решение, полученное с помощью предложенного метода, обладает значительно большей информативностью, чем при применении классических методов решения задач распределения ресурсов, что говорит о перспективности применения теории нечетких множеств при моделировании распределительных задач.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00023а*

### **Литература**

1. Миронюк В.П. Методика определения положения транспортно-логистических центров на территории Ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2012. № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/732](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/732)

2. Рудь Д.Е. Технологии топологической оптимизации трафика информационных потоков в телекоммуникационных сетях. // Инженерный вестник Дона. 2010. № 2. С. 95-107.

3. Раскин Л.Г. Многоиндексные задачи линейного программирования / Л.Г. Раскин, И.О. Кириченко. М.: Радио и связь, 1982. 240 с.

4. Серая О.В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности. Х.: ФОП Стеценко И.И., 2010. 512 с.

5. Kosenko O.V., Sinyavskaya E.D., Shestova E.A., Kosenko E.Yu., Antipin S.O. “Method of rational placement of intermediate centers with setting parameters in the form of the fuzzy intervals” // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016 (IEEE), St. Petersburg, 2016. pp. 186-189.

6. Kosenko O. V., Shestova E. A., Sinyavskaya E. D., Kosenko E. Y., Nomerchuk A. Ya., Bozhenyuk A. V. Development of information support for the rational placement of intermediate distribution centers of fuel and energy resources under conditions of partial uncertainty. // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017(IEEE), St. Petersburg, 2017. pp. 224-227.

7. Gudehus T. Comprehensive Logistics / T. Gudehus, H. Kotzab. Springer, 2012. 933 p.

8. Ghiani G. Introduction to Logistics Systems Planning and Control / G. Ghiani, G. Laporte, R. Musmanno. Wiley, 2004. 367 p.

9. Числов О.Н., Люц В.Л. Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем. // Инженерный вестник Дона, 2012. № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420)

---



10. Косенко О.В. Повышение эффективности методов решения многоиндексных задач распределения ресурсов. // Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. № 4. С. 73-81.
11. Corban A. A. Multidimensional transportation problem / Rev. Roum. Appl., 1964. №8. pp. 14-27.
12. Everitt B.S. Cluster Analysis / B.S. Everitt, S. Landau, M. Leese, D. Stahl. 5th Edition. Wiley, 2011. 346 p.
13. Ritter G. Robust Cluster Analysis and Variable Selection / N.-Y.: Chapman and Hall/CRC, 2014. 392p.
14. Макаров Е.И., Гамов А.Н. Расчеты характеристик уровня системности в транспортно-логистическом кластере. // Инженерный вестник Дона, 2014. № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2222](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2222)
15. Höppner F. Fuzzy Cluster Analysis / F. Höppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2014. 288 p.
16. Янпольский А.Р. Гиперболические функции / М.: ФИЗМАТГИЗ, 1960. 195 с.
17. Прохоров Е.И., Перевозников А.В., Пономарева Л.А., Кумсков М.И. Нейронная сеть как инструмент реализации кусочно-линейного классификатора при 34 массовом скрининге молекул в задаче «структурасвойство» // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2010. № 3. С. 39-45.

### References

1. Mironyuk V.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/732](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/732)
  2. Rud' D.E. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010. № 2. pp. 95-107.
  3. Raskin L.G. Mnogoindeksnyye zadachi linejnogo programmirovaniya [Multi-index linear programming problems]. M.: Radio i svyaz', 1982. 240 p.
-

4. Seraya O.V. *Mnogomernye modeli logistiki v usloviyah neopredelennosti*. [A multidimensional model of logistics in conditions of uncertainty] H.: FOP Stecenko I.I., 2010. 512 p.
  5. Kosenko O.V., Sinyavskaya E.D., Shestova E.A., Kosenko E.Yu., Antipin S.O. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016 (IEEE), St. Petersburg, 2016*. pp. 186-189.
  6. Kosenko O. V., Shestova E. A., Sinyavskaya E. D., Kosenko E. Y., Nomerchuk A. Ya., Bozhenyuk A. V. *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017(IEEE), St. Petersburg, 2017*. pp. 224-227.
  7. Gudehus T. *Comprehensive Logistics*. Springer, 2012. 933 p.
  8. Ghiani G. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Wiley, 2004. 367 p.
  9. Chislov O.N., Lyuc V.L. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*. 2012. № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420)
  10. Kosenko O.V. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*. 2016. № 4. pp. 73-81.
  11. Corban A. A. *Multidimensional transportation problem*. *Rev. Roum. Appl.*, 1964. №8. pp. 14-27.
  12. Everitt B.S. *Cluster Analysis*. 5th Edition. Wiley, 2011. 346 p.
  13. Ritter G. *Robust Cluster Analysis and Variable Selection*. N.-Y.: Chapman and Hall/CRC, 2014. 392p.
  14. Makarov E.I., Gamov A.N. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*. 2014. № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2222](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2222)
  15. Höppner F. *Fuzzy Cluster Analysis*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2014. 288 p.
  16. Yanpol'skij A.R. *Giperbolicheskie funkicii [Hyperbolic functions]*. M.: FIZMATGIZ, 1960. 195 p.
-



17. Prohorov E.I. Nejrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye, 2010. № 3. pp. 39-45.