

УДК 523.21

Многокритериальный подход при решении задачи размещения

Гургов Борис Шамуэльевич,

Младший научный сотрудник Учебно-научного института информатики и систем управления ФГБОУ РТУ МИРЭА. Москва, Россия.

Статья исследует многокритериальный подход при решении задачи размещения недвижимостью. Дана краткая систематика многокритериального анализа. Описаны классификации многокритериального анализа, основанная на учете количества целей и критериев принятия решений, рассматриваемых в управлении. Многокритериальный анализ не представляет собой какой-то один конкретный метод. Его следует рассматривать как общий подход для ряда различных методов и инструментов, с помощью которых множественные цели и критерии принятия решений могут быть формально включены в анализ сложной проблемы. Представляет интерес использование методов многокритериального анализа в геоинформатике. Эта область связана с пространственным анализом и приводит к понятию пространственный многокритериальный анализ. Дано практическое решение задачи размещения с использованием метода многокритериального анализа. Рассмотрено три интервальных критерия и семь возможных мест размещения.

Ключевые слова: управление, управление недвижимостью, региональное управление, информационное моделирование, геоинформатика, цифровые активы, пространственное моделирование.

Multicriteria approach to solving the placement problem

Gurgov Boris Sh,

Junior researcher of the Educational and Scientific Institute of Informatics and Control Systems

Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

The article explores a multi-criteria approach to solving the real estate placement problem. A brief systematics of multicriteria analysis is given. The classification of multicriteria analysis is described, based on taking into account the number of goals and decision-making criteria considered in management. Multicriteria analysis does not represent any one specific method. It should be seen as a general approach to a range of different methods and tools by which multiple objectives and decision criteria can be formally incorporated into the analysis of a complex problem. It is of interest to use multicriteria analysis methods in geoinformatics. This area is related to spatial analysis and leads to concepts. Spatial multicriteria analysis. A practical solution to the placement problem is given using the multi-criteria analysis method. Three interval criteria and seven possible placements were considered.

Keywords: management, real estate management, regional management, information modeling, geoinformatics, digital assets, spatial modeling.

Введение

Решение задачи размещения пространственных объектов является важной составляющей регионального управления. Для решения этой задачи применяют разные методы. Одним из таких методов является многокритериальный анализ.

Многокритериальный анализ (Multi-criteria analysis, MCA) [1], в литературе известный также под названиями мульти критериальный анализ принятия решений (multiple-criteria decision-making, MCDM), многокритериальный анализ решений (multiple-criteria decision analysis, MCDA), многокритериальный анализ решений (multi-objective decision analysis, MODA), многоатрибутный анализ принятия решений (multiple-attribute decision-making, MADM) или многомерное принятие решений (multi-dimensional decision-making, MDDM) включает в себя различные классы методов, техник и инструментов с разной степенью сложности, которые явно

учитывают несколько целей и критериев (или атрибутов) в задачах принятия решений. В простых ситуациях, когда есть один входной и один выходной параметр, такой анализ не нужен. Когда на входе множество параметров, а разные их комбинации приводят к разным результатам, многокритериальный подход является единственным методом, связывающим входные параметры с выходными. С конца 20-го века методы МСА вызвали растущий интерес среди исследователей и практиков, работающих в ряде областей, включая транспорт, политику и планирование. Будучи чрезвычайно полезным для формулирования и структурирования сложных проблем, МСА не всегда является синонимом лучших и глобальных решений. Тем не менее, исследование многокритериального анализа является актуальным

Особенности применения МСА.

Существуют преимущества и ограничения МСА, что требует выбрать сбалансированную и объективную позицию по этому подходу. Одна из простейших схем классификации МСА основана на количестве целей и критериев принятия решений, рассматриваемых при анализе. С этой точки зрения можно провести различие между двумя семействами методов, хотя их границы часто размыты

Монокритериальные методы, которые оценивают план действий по отношению к одной и конкретной цели. Это семейство включает, например, анализ затрат и результатов (cost-benefit analysis, CBA), который оценивает план в первую очередь с точки зрения экономической эффективности. Точнее на основе соотношения выгод и затрат или чистой приведенной стоимостью плана, переводя все воздействия в дисконтированные денежные условия.

Многокритериальные методы, которые оценивают план, принимая во внимание одновременно различные критерии, взаимодействие между несколькими целями, которые могут быть альтернативными или противоречить друг другу.

Следовательно, вопреки общепринятому мнению, многокритериальный анализ не представляет собой какой-то один конкретный метод. Его следует

рассматривать как общий термин для ряда различных методов и инструментов, с помощью которых множественные цели и критерии принятия решений (или атрибуты) могут быть формально включены в анализ сложной проблемы

На протяжении десятилетий на эволюцию МСА прямо или косвенно влияли исследования в различных областях (теория полезности [2], теория предпочтений [3], теория социального выбора, теории игр, теории нечетких множеств). В настоящее время информационное поле МСА включает в себя множество подполей и различных школ

Методы МСА вызывают растущий интерес у исследователей и у практиков, работающих в различных дисциплинах. В первую очередь это можно объяснить все большим осознанием того факта, что многие современные проблемы планирования и политики, стоящие перед обществом, носят многоаспектный характер и поэтому требуют тщательного изучения множества различных, часто конфликтующих точек зрения и аспектов.

Методы МСА постепенно стали использовать для оценки в ряде областей, включая экологию, устойчивое развитие и науку об окружающей среде, решения в области здравоохранения, производство банковское дело и финансы, городское и региональное планирование

Представляет интерес использование методов в геоинформатике, где пока они находятся в зачаточном состоянии. Эта область МСА связанная с пространственным анализом. Исследования исследований в области пространственного многокритериального анализа привели к понятию (Spatial Multicriteria Analysis, SMCA). Большинство исследований по пространственному многокритериальному анализу (SMCA) были пространственно неявными [4]. Обычно в SMCA используются обычные многокритериальные методы анализа и решения пространственных задач, без использования геоданных.

Тенденцией в SMCA является концептуализация многокритериальных пространственных проблем с получением географически различных

результатов и локальном ситуационном анализе. В работе [4] определяются направления исследований, связанные с интеграцией концепций и подходов из двух различных областей: ГИС и многокритериального анализа.

Специалисты по устойчивому управлению рисками стихийных бедствий утверждают, что территориальное планирование играет важную роль в интегрированном управлении рисками стихийных бедствий [5], особенно благодаря его потенциальному вкладу в долгосрочное смягчение последствий бедствий. Основой такого планирования является SMCA

Практическое решение задачи размещения

В практике управления разными организациями, например, вузом возникает важная задача выбора места размещения учебного объекта [6], например, общежития (учебных мастерских) в соответствии с максимальной рациональностью. Задачи рационального размещения ресурсов решаются более двух столетий, начиная с работ Иоганна фон Тюнена (1826 г.) [7]. Задача рационального размещения недвижимости является многокритериальной.

Эта задача существует в пространстве параметров и в реальном пространстве. Она решается по-разному. Для размещения пространственных объектов при наличии информации о статистических потоках применяют теорию массового обслуживания [8, 9]. Общим недостатком ряда методов размещения является требование четкой информации, что в современных условиях динамики и роста сложности ситуаций не всегда выполнимо. Поэтому решение задачи размещения с использованием нечеткой информации и многих критериев представляет практический и теоретический интерес.

Модель задачи размещения объектов в пространстве параметров или на местности требует выбора критериев, которые будут определять полезность размещения. Затем для каждого критерия задают значений лингвистических переменных, описывающих оценки мест размещения. Можно говорить о ситуациях в которой происходит размещение. Нечеткая информация влечет появление нечеткой ситуации. Нечеткая информационная ситуация m , как и положено нечеткой модели, описывает отдельные аспекты ситуации. При этом

в качестве значений она использует не точечные значения, а интервальные, трапециевидные или треугольные. Она характеризуется лингвистическими переменными y , значения которых имеют различные степени истинности или принадлежности базовому множеству значений [10] U .

$$m = \{(\mu_s(y_k)), y_k \in U, (1)$$

Выражение (1) говорит о том, что нечеткая информационная ситуация m характеризуется критериями y_k и функцией принадлежности $\mu_s(y_k)$, описывающей эти критерии. Обычно функция принадлежности выражается через значения термов (T^k_l)

$$\mu_s(y_k) = \{\mu_{s(ykl)}(T^k_l)\}; \mu_s \in [0, 1] (2)$$

В выражении (2) индексы показывают $k = 1, \dots, P$; -множество критериев оценки ситуации $l = 1, \dots, q_k$, - множество термов данного критерия; Двойными фигурными скобками $\{ \}$ обозначают вектор данных

$$\{a\} = a_1, a_2, a_3, \dots, a_n (3)$$

Каждое место размещения будет характеризоваться набором значений критериев, описывающих места размещения. Совокупность критериев задает, нечеткую ситуацию $mi, i=1 n$

$$mi = \{(\mu_s(x_k)), = \{\mu_{s(xkl)}(T^k_l)\} (4)$$

Нечеткость обусловлена использованием для критериев интервальных или трапециевидных оценок. Кроме того места размещения являются альтернативными. С позиций многокритериального анализа это означает наличие альтернативных целей. Рассмотрим множество n альтернативных мест размещения объектов: $X = \{x_1, x_2, x_3, x_n\}$

Полезность или предпочтительность [3] размещения оценивается на основе множества критериев $K = K_1, K_2, \dots, K_P$.

Поскольку исходные условия не являются четкими, то итоговое решение будет условно оптимальным или рациональным. Анализ, который применяется в данной модели является сравнительным. Это означает, что он не требует абсолютных количественных значений критериев. В этом его преимущество. В отличие от глобального экстремума, сравнительная

рациональность является локальным максимумом или минимумом, то есть условной и может измениться при изменении совокупности критериев.

Нечеткая ситуация (4) выражается через термальное множество (T^k). В этом выражении $\{\mu_s(x_k)\}$ лингвистическая оценка места x_i по критерию K_k . Значения оценок μ вычисляются с учетом типа критерия. Критерии имеют два типа. Один направлен на максимум (прибыль), другой на минимум (издержки). В силу этого в одних случаях находят максимум в других минимум. Возможны и более сложные минимаксные или максиминимумные варианты [11].

Значения оценок лингвистических переменных $\{\mu_{s(xkl)}(T^k_l)\}$, $k=1, \dots, P$ вычисляются по формулам [12] для двух типов. При требовании минимизации (издержки) критерия, описываемого лингвистической переменной y_k применяют формулу (5)

$$\begin{aligned} \mu_{\bar{y}_i}(y_k) = & \frac{q_k}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_1^k) + \frac{q_k - 1}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_2^k) + \\ & + \frac{q_k - 2}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_3^k) + \dots + \frac{1}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_{q_k}^k) \end{aligned} \quad (5)$$

При требовании максимизации (полезность) критерия, описываемого лингвистической переменной y_k применяют формулу (6)

$$\begin{aligned} \mu_{\bar{y}_i}(y_k) = & \frac{q_k}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_{q_k}^k) + \frac{q_k - 1}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_{q_k-1}^k) + \\ & + \frac{q_k - 2}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_{q_k-2}^k) + \dots + \frac{1}{q_k} \cdot \mu_{\mu_{s_i}(y_k)}(T_1^k) \end{aligned} \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) величина q_k определяется количеством термов для критерия K . Если имеется P критериев: $K=K_1, K_2, \dots, K_P$, лучшей считается альтернатива, удовлетворяющая большему числу критериев. Отсюда [13] правило для выбора наилучшей альтернативы может быть записано в виде пересечения соответствующих множеств. Операции пересечения нечетких множеств соответствует операция \min , выполняемая над их функциями принадлежности:

$$\mu_D(x_i) = \min_{k=1, \dots, P} \mu_{\bar{y}_i}(y_k), \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

В качестве лучшей альтернативы будет выбираться объект x^* , имеющий наибольшее значение функции принадлежности

$$\mu_D(x^*) = \max \mu_D(x_i); i=1 \dots n \quad (8)$$

Рассмотрим метод на примере размещения общежития для студентов вуза. Задача найти место для строительства общежития или место размещения общежития в уже существующем здании.

На первом этапе выбирают или задают критерии. В нашем случае для простоты рассмотрим три критерия размещения места строительства общежития: стоимость размещения (строительства), отдаленность от учебных (производственных) корпусов, социальная инфраструктура. На рис.1. приведена лингвистическая переменная, характеризующая первый критерий – стоимость размещения (строительства).

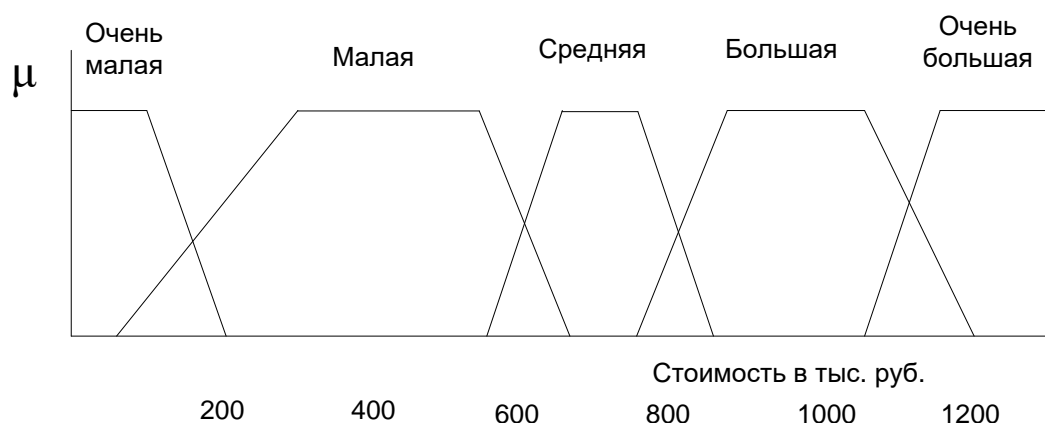


Рис.1. Стоимость размещения общежития

Первый критерий характеризуется 5-ю терминами трапециевидных значений. Каждое значение является трапециевидным. Оно имеет качественную характеристику, которой соответствует множество количественных значений.

На рис.2. приведена лингвистическая переменная, характеризующая второй критерий – отдаленность от учебных корпусов. Отдаленность может быть выражен в значениях расстояний или в условных сравнительных единицах. На рис.2 использованы сравнительные единицы. Малая

отдаленность характеризует пешую доступность. Все остальные доступность с использованием транспорта. Первый и второй критерий имеют качественные и объективные количественные значения. Качественные значения не меняются, а количественные с течением времени могут варьироваться. Например, при проведении занятий в Мурманске для заочников, имеющих машины, малая доступность составляла 20 км, а очень большая 60 км.

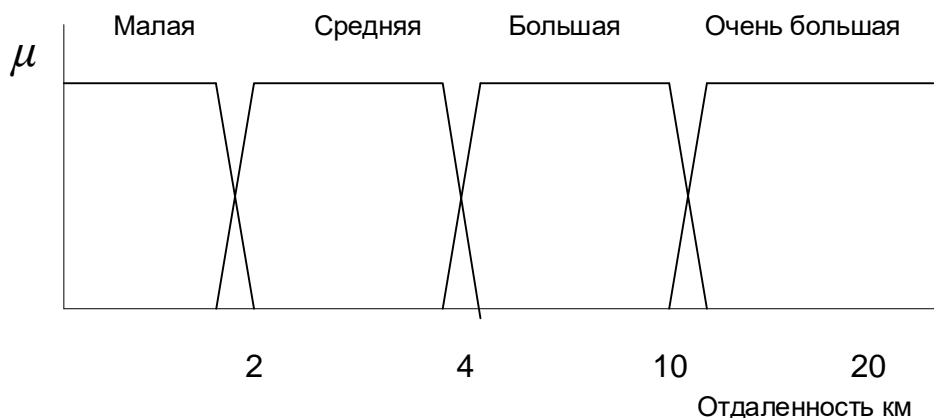


Рис.2. Терм-множество лингвистической переменной «отдаленность»

На рис.3. приведена лингвистическая переменная, характеризующая третий критерий — социальная инфраструктура. Студенты (специалисты) должны иметь возможность купить продукты, сходить на почту, сходить в кинотеатр, библиотеку, отдохнуть в парке. В зоне общежития должно быть интернет кафе и т.п. Значимость инфраструктуры выражена в экспертных баллах. Эти количественные оценки являются субъективными.

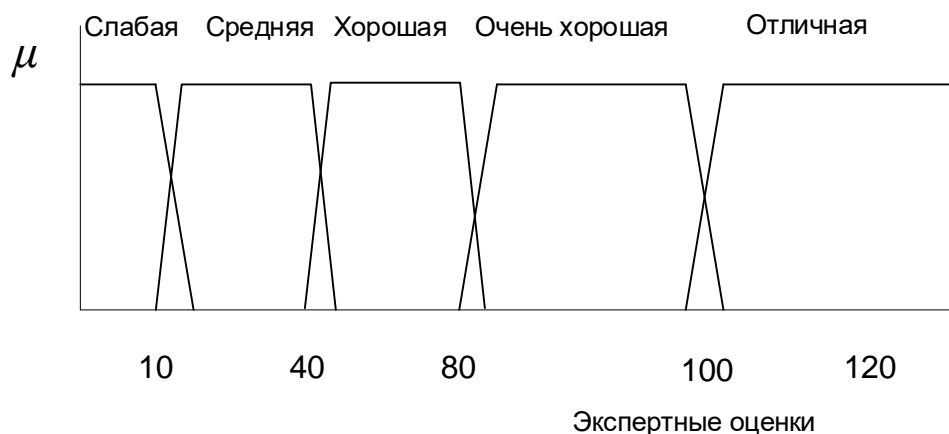


Рис.3. Терм-множество лингвистической переменной «социальная инфраструктура»

инфраструктура»

Третий критерий является чисто качественным, поскольку экспертные оценки условные. Они могут быть выражены в любой шкале.

На следующем этапе определяют условно семь возможных мест размещения. После этого места размещения оценивают в соответствии с выбранными критериями. В реальной практике критериев может быть больше. Ограничение обусловлено только вычислительными ресурсами. Результаты предварительной оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры мест размещения.

<i>Места</i>	<i>Стоимость размещения я</i>	<i>отдаленнос ть</i>	<i>инфраструктура</i>
x_1	малая	средняя	очень хорошая
x_2	большая	малая	очень хорошая
x_3	очень малая	большая	очень хорошая
x_4	очень большая	средняя	очень хорошая
x_5	большая	малая	слабая
x_6	средняя	очень большая	очень хорошая
x_7	малая	большая	отличная

На следующем этапе задают нечеткие ситуации для каждого из мест размещения общежития.

$$m_{11} = \{ [(0/ом), (1/м), (0/с), (0/б), (0/об)] \}$$

$$m_{12} = \{ [(0/м), (1/с), (0/б), (0/об)] \} \quad (9)$$

$$m_{13} = \{ [(0/нз), (1/с), (0/з), (1/в), (0/об)] \}$$

$$m_{21} = \{ [(0/ом), (0/м), (0/с), (1/б), (0/об)] \}$$

$$m_{22} = \{ [(1/м), (0/с), (0/б), (0/об)] \} \quad (10)$$

$$m_{23} = \{ [(1/нз), (0/с), (0/з), (1/в), (0/об)] \}$$

$$m_{31} = \{ [(1/ом), (0/м), (0/с), (0/б), (0/об)] \}$$

$$m_{32} = \{ [(/м), (0/с), (1/б), (0/об)] \} \quad (11)$$

$$m_{33} = \{ [(0/нз), (1/с), (0/з), (1/в), (0/об)] \}$$

$$m_{41} = \{ [(0/ом), (0/м), (0/с), (0/б), (1/об)] \}$$

$$m_{42} = \{ [(0/м), (1/с), (0/б), (0/об)] \} \quad (12)$$

$$m_{43} = \{ [(0/нз), (0/с), (1/з), (1/в), (0/об)] \}$$

$$m_{51}=\{[(0/om), (0/m), (0/c), (1/б), (0/об)]\}$$

$$m_{52}=\{[(1/m), (0/c), (0/б), (0/об)]\} \quad (13)$$

$$m_{53}=\{[(1/нз), (0/c), (0/з), (0/в), (0/об)]\}$$

$$m_{61}=\{[(0/om), (0/m), (1/c), (0/б), (0/об)]\}$$

$$m_{62}=\{[(1/m), (0/c), (0/б), (1/об)]\} \quad (14)$$

$$m_{63}=\{[(0/нз), (0/c), (0/з), (1/в), (0/об)]\}$$

$$m_{71}=\{[(0/om), (1/m), (0/c), (0/б), (0/об)]\}$$

$$m_{72}=\{[(0/m), (0/c), (1/б), (0/об)]\} \quad (15)$$

$$m_{73}=\{[(0/нз), (0/c), (0/з), (0/в), (1/об)]\}$$

В формулах от (9) до (15) описаны нечеткие ситуации. Каждая строка соответствуют критерию. Первая первому, вторая второму, третья третьему. В (9)-(15) обозначения соответствуют терминам, приведенным на рис.1-3. Сокращения следующие. Первый критерий: ом- очень малая, м – малая, с – средняя, б – большая, об – очень большая. Второго критерия имеет такие сокращения: м – малая, с- средняя, б – большая, об – очень большая. Для третьего критерия использованы следующие обозначения: сл – слабая, с- средняя, х – хорошая, ох – очень хорошая, от – отличная. Принципиальным является то, что всем качественным критериям соответствуют термы множества, которые приведены на рис.1-3. Названия термов могут быть любые. Главное - это количественное определение лингвистической переменной.

Следующий этап расчетный. Для каждой ситуации и для каждой лингвистической переменной рассчитаем значения $\mu_{s_i(y_k)}(y_k)$, $k=1, \dots, P$, по формулам (5) – (6), а также найдем пересечение нечетких множеств по формуле (7). Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2. Расчет лингвистических переменных для нечетких ситуаций

Места	Стоимость размещения	Отдаленность	Инфраструктура	$\mu_D(x_i)$
x_1	малая	средняя	Очень хорошая	
$\mu_{m1}(y_k)$	4/5	2/4	2/5	2/5
x_2	большая	малая	Очень хорошая	
$\mu_{m2}(y_k)$	2/5	1/4	1/5	1/5
x_3	очень малая	большой	Очень хорошая	
$\mu_{m3}(y_k)$	1	3/4	2/5	2/5
x_4	очень большая	небольшой	Очень хорошая	
$\mu_{m4}(y_k)$	2/5	1/4	4/5	1/4
x_5	большая	малый	слабая	
$\mu_{m5}(y_k)$	2/5	1/4	1/5	1/5
x_6	небольшая	Очень большой	Очень хорошая	
$\mu_{m6}(y_k)$	3/5	1/4	4/5	1/4
x_7	малая	большой	отличная	
$\mu_{m7}(y_k)$	4/5	3/4	1	3/4

На следующем этапе на основе данных таблицы 2 выбираем место размещения.

Согласно формуле (8), наилучшей будет альтернатива x_7 , так как значение $\mu_D(x^*) = \max \mu_D(x_i) = 3/4$. Таким образом, анализ нечетких информационных ситуаций дает возможность выбрать место наиболее целесообразного размещения пространственного объекта.

Это решение получено в предположении того что критерии выбора мета K_1, K_2, K_3 - равнозначны. Обычно неравнозначность может быть заложена в термы. Однако на практике, при проектировании или строительстве, возможны ситуации, когда факторы экономической целесообразности становятся менее значимы, чем социальные факторы. Или наоборот экономическая целесообразность важнее социальных факторов. В этом случае для перераспределения результатов вводят веса факторов. В этом случае, если

критерии имеют разную важность, каждому из них приписывается вес $1 > \alpha_k > 0$, чем важнее критерий, тем больше вес α_k .

Для определения веса вводят коэффициенты N относительной важности на основе экспертного оценивания. Важность может быть оценена любой экспертной оценкой. Эти оценки нормируют и превращают в сравнительные оценки. Учитывают влияние весов α_k на соответствующие значения лингвистических переменных путем вычисления взвешенных функций

$$\mu^*_{mI}(y_k) = \alpha_k \mu_{mI}(y_k) \quad (16)$$

Дополним рассмотренный пример условием различной важности критериев. Оценим важность критерия 1 значением $N=7$, важность критерия 2 оценим значением $N=1$, важность критерия 3 оценим значением $N=2$. Нормировка даст значения весов α_k : 0.7, 0.1, 0.2. Пересчитываем таблицу 2 на основе формулы (16). Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения лингвистических переменных с учетом важности критериев

<i>Места</i>	<i>Стоимость размещения я</i>	<i>Объем работ</i>	<i>Важность</i>	$\mu_D(x_i)$
$\mu^*_{m1}(y_k)$	0,56	0,05	0,08	0.05
$\mu^*_{m2}(y_k)$	0,28	0,025	0,04	0,025
$\mu^*_{m3}(y_k)$	0,7	0,075	0,08	0.075
$\mu^*_{m4}(y_k)$	0,28	0,025	0,16	0.025
$\mu^*_{m5}(y_k)$	0,28	0,025	0,04	0.025
$\mu^*_{m6}(y_k)$	0,42	0,025	0,16	0.025
$\mu^*_{m7}(y_k)$	0,56	0,075	0,2	0.075

По формуле (8) максимальное из всех значений будет равно 0,075. Это соответствует двум местам размещения x_3 и x_7 . Для дополнительного анализа учтем то, что в данном случае критерий 1 более важен, чем критерий 3. По этому критерию (таблица 1) место x_3 предпочтительнее x_7 . В итоге выбираем место x_3 для размещения общежития.

Обсуждение.

Предложенный метод фактически решает задачу размещения образовательных ресурсов. Он позволяет принимать решения, когда значения задаются не одним числом, а интервалами. Интервал значений означает неопределенность информации. Это задает условность многокритериального анализа при информационной неопределенности. Результаты анализа являются условно предпочтительными и относятся только к исследуемой совокупности объектов. Поэтому результат решения задачи многокритериального анализа не является оптимальными, а условно оптимальными или рациональным. Нечеткость информации сопоставима с погрешностью вычислений, поэтому выбор вариантов решения в таких случаях аналогичен расчетам с дополнительным расчетом погрешности результата. Если функция полезности не является унимодальной, то даже незначительная погрешность может привести к определению не самого оптимально решения. Такое решение является одним из оптимальных, но не самым оптимальным. Поэтому решения, находимые с помощью теории многих критериев, следует называть целесообразными или нечетко оптимальными. Перспективным следует считать применение информационного [14] или имитационного [15] моделирования и метода агентов [16] для получения решения при большом количестве критериев и термов.

Заключение.

При многокритериальном анализе при наличии нечеткой (интервальной) информации необходимо отказаться от понятия «оптимальный» и заменить его на «рациональный» или «целесообразный». То же самое относится при наличии альтернативных или противоречивых целей. Рассмотренная задача размещения приемлема как для пространства параметров, так и для реального пространства. Введение весов для критериев может существенно изменить рациональное (предпочтительное) решение. Данный многокритериальный метод дает решения при соблюдении ряда условий. Необходимо описать совокупность ситуаций с использованием выбранных критериев значимости

ситуации. Каждая качественная характеристика описывает множество количественных значений. Каждая качественная характеристика описывается не непрерывным набором значений, терм-множеством лингвистической переменной для каждого критерия. Дальнейшие расчеты используют теоретико-игровой подход. Важным в данной задаче и других задачах является введение понятия информационная ситуация. информационная ситуация локализует множество параметров и уменьшает информационный объем исследований.

Литература

1. Broniewicz E., Ogrodnik K. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects //Transportation research part D: transport and environment. – 2020. – Т. 83. – С. 102351
2. Allah Bukhsh Z., Stipanovic I., Doree A. G. Multi-year maintenance planning framework using multi-attribute utility theory and genetic algorithms //European transport research review. – 2020. – Т. 12. – №. 1. – С. 1-13.
3. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. 1(3), - pp.34-42.
4. Malczewski J., Jankowski P. Emerging trends and research frontiers in spatial multicriteria analysis //International Journal of Geographical Information Science. – 2020. – Т. 34. – №. 7. – С. 1257-1282.
5. Ogato G. S. et al. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia //Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2020. – Т. 27. – С. 100659.
6. Камынина Н. Р., Цветков В. Я., Ознамец В. В. Применение нечеткого ситуационного анализа для решения задачи размещения // Информация и космос. 2021. - №3. –с .70-77

7. Горбунов В. С. Использование модели Й. фон Тюнена в современной региональной экономике //Московский экономический журнал. – 2017. – №. 2. – С. 1-1.
8. Цветков В.Я. Геомаркетинг: Прикладные задачи и методы. - М.: Финансы и статистика, 2002. – 240 с.
9. Ознамец В.В. Размещение пространственных объектов с использованием теории массового обслуживания // ИТНОУ. 2018. № 3. С. 95-100
10. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ.– мат. лит, 1990. – 272с.
11. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: МАКС Пресс, 2001. -312с
12. Розенберг И. Н., Старостина Т. А. Решение задач размещения с нечеткими данными с использованием геоинформационных систем. – М.: Научный мир, 2006. -208с.
13. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184с
14. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2001. - №1. - с.102-106.
15. Акопов А. С. Имитационное моделирование. – Москва.: Юрайт. 2019. -389с.
16. Nguyen T. T., Nguyen N. D., Nahavandi S. Deep reinforcement learning for multiagent systems: A review of challenges, solutions, and applications //IEEE transactions on cybernetics. – 2020. – Т. 50. – №. 9. – С. 3826-3839.

1. Broniewicz E., Ogrodnik K. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects //Transportation research part D: transport and environment. – 2020. – T. 83. – C. 102351
2. Allah Bukhsh Z., Stipanovic I., Doree A. G. Multi-year maintenance planning framework using multi-attribute utility theory and genetic algorithms //European transport research review. – 2020. – T. 12. – №. 1. – C. 1-13.
3. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. 1(3), - pp.34-42.
4. Malczewski J., Jankowski P. Emerging trends and research frontiers in spatial multicriteria analysis //International Journal of Geographical Information Science. – 2020. – T. 34. – №. 7. – C. 1257-1282.
5. Ogato G. S. et al. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia //Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2020. – T. 27. – C. 100659.
6. Kamynina N. R., Tsvetkov V. YA., Oznamec V. V. Primenenie nechetkogo situacionnogo analiza dlya resheniya zadachi razmeshcheniya // Informaciya i kosmos. 2021. - №3. –s .70-77
7. Gorbunov V. S. Ispol'zovanie modeli J. fon Tyunena v sovremennoj regional'noj ekonomike //Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. – 2017. – №. 2. – S. 1-1.
8. Tsvetkov V.YA. Geomarketing: Prikladnye zadachi i metody. - M.: Finansy i statistika, 2002. – 240 s.
9. Oznamec V.V. Razmeshchenie prostranstvennyh ob"ektov s ispol'zovaniem teorii massovogo obsluzhivaniya // ITNOU. 2018. № 3. S. 95-100
10. Melihov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.YA. Situacionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoj logikoj. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.– mat. lit, 1990. – 272s.
11. Tihonov A.N., Tsvetkov V.YA. Metody i sistemy podderzhki prinyatiya

reshenij. - M.: MAKS Press, 2001. -312s

12. Rozenberg I. N., Starostina T. A. Reshenie zadach razmeshcheniya s nechetkimi dannymi s ispol'zovaniem geoinformacionnyh sistem. – M.: Nauchnyj mir, 2006. -208s.

13. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie reshenij na osnove nechetkih modelej. Primery ispol'zovaniya. – Riga: Zinatne, 1990. – 184s

14. Maksudova L.G., Tsvetkov V.YA. Informacionnoe modelirovanie kak fundamental'nyj metod poznaniya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka. - 2001. - №1. - s.102-106.

15. Akopov A. S. Imitacionnoe modelirovanie. – Moskva.: YUrajt. 2019. - 389s.

16. Nguyen T. T., Nguyen N. D., Nahavandi S. Deep reinforcement learning for multiagent systems: A review of challenges, solutions, and applications //IEEE transactions on cybernetics. – 2020. – T. 50. – №. 9. – C. 3826-3839.