

Применение нечеткого моделирования для качественной оценки свойств земельных участков

М.А. Балакин

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново

Аннотация: В статье представлено применение нечеткого моделирования для решения системной задачи качественной оценки свойств земельных участков экспертным методом с использованием нечеткого моделирования. Набор факторов, по которым оценивается пригодность участка, зависит от целей девелоперского проекта. Методика включает декомпозицию модели на аддитивные модели внутренних и внешних факторов и объединяющую мультипликативную модель, что уменьшается размерность задачи по оценке свойств участка. На втором этапе формируется нечеткая модель экспертной оценки свойств земельных участков. Она включает блок фазификации с использованием линейных функций принадлежности, max-min технологию нечеткого вывода и дефазификация - методом высот, что наиболее адекватно переводить нечеткие экспертные в четкие численные (бальные) величины. На третьем этапе определяются коэффициенты доли вклада каждого фактора в оценку свойств участков методом анализа иерархии с использованием шкалы нечетких попарных сравнений. Результирующая оценка в бальной форме вычисляется методом взвешенной суммы величины влияния отдельных факторов с учетом коэффициентов доли влияния. В итоге выбирается тот участок, у которого выше бальный результат.

Ключевые слова: земельный участок, индивидуальная оценка, экспертный метод, нечеткое моделирование.

Введение

Принципы и методики качественной и стоимостной оценки земельных участков после перехода на рыночные отношения практически не изменились. Они регламентировались и регламентируются распоряжениями и приказами Минимущества, Минэкономразвития РФ (см., например, Приказ Росреестра от 04.08.2021 №П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке»). Основные положения и теоретические основы оценки стоимости земельных участков, а также особенности земли как объекта оценки достаточно подробно рассмотрены в ряде пособий [1, 2]. В основном используются методы экспертных оценок; методы аналогов; комплексная оценка по основным факторам; оценка по доминирующему (основному) фактору [3, 4]. За основные факторы чаще всего берутся: местоположение или удаленность от социально-

экономического центра урбанизированной территории; степень развития инженерных сетей и коммуникаций; развитость социально-бытовой инфраструктуры; транспортная доступность; экология; историко-архитектурная значимость. При более детальной оценке набор факторов зависит от целей, для каких планируется использовать земельный участок [5,6].

Актуальность темы статьи определяется тем, что практически все методы оценки земельных участков основываются на экспертных технологиях, которые отличаются нечеткостью суждений и определений. В связи с этим для повышения качества этих оценок целесообразно использовать методы нечеткого моделирования. Особенно это относится к задачам разработки девелоперских проектов, когда требуются индивидуальные оценки участков. Об актуальности данной проблемы свидетельствуют ряд исследований, в которых отмечается необходимость применения новых методов для экспертной оценки и переоценки кадастровой и рыночной стоимости объектов недвижимости [7].

Для уменьшения размерности модели оценки предлагается ее декомпозиция на модель влияния собственных и модель влияния внешних факторов. Представлена технология формирования нечеткой модели экспертной оценки свойств земельных участков. Предложенный метод нечеткого моделирования позволяет более качественно проводить индивидуальную оценку свойств территории. Это делает проблематику статьи оригинальной и перцептивную для практического применения.

Методы и способы исследования

Оценка земельных участков при реализации, например, девелоперских проектов проводится с разными целями: для определения наиболее эффективного использования или для определения цены или стоимости. Такая оценка представляет собой системную многофакторную задачу. При

сравнении участков с целью уменьшения размерности задачи целесообразно раздельно определять влияние факторов свойства самого участка и внешних факторов. Для декомпозиции этой системной задачи целесообразно применить комплексную модель, включающую аддитивную модель, которая описывает раздельно влияния внутренних и внешних факторов:

$$Y = k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n, \quad (1)$$

где $x_i, i = 1, \dots, n$ – количественная величина i -ого фактора по оценочной шкале, k_i – коэффициент значимости этого фактора (от 0 до 1).

Для объединения моделей используется мультипликативную модель:

$$Y = k_1x_1 * k_2x_2 * \dots * k_nx_n, \quad (2)$$

В результате объединение моделей (1) и (2) получается результирующая модель следующего вида:

$$Y_p = (k_{c1}x_{c1} + \dots + k_{ci}x_{ci} + \dots + k_{cn}x_{cn}) * (k_{b1}x_{b1} + \dots + k_{bj}x_{bj} + \dots + k_{bm}x_{bm}), \quad (3)$$

где k_{ci} и $x_{ci}, (i = 1, \dots, n)$ – коэффициент значимости и количественная величина влияния i -ого внутреннего фактора на свойства участка, k_{bj} и $x_{bj}, (j = 1, \dots, m)$ – коэффициент значимости и количественная величина j -ого «внешнего» фактора.

Если принять, что для двух сравниваемых участков значения аддитивных составляющих отличаются на ΔY_{c2} и ΔY_{b2} , то коэффициенты предпочтительности по внутренним и внешним факторам второго участка по сравнению с первым будут определяться следующим образом:

$$K_c = \frac{\Delta Y_{c2}}{Y_{c1}} \text{ и } K_b = \frac{\Delta Y_{b2}}{Y_{b1}}.$$

Сравнивание альтернативных участков непосредственно по количественным величинам значимых факторов не всегда возможно, так как ряд факторов описываются с помощью качественных характеристик. Поэтому оценку необходимо производить по относительной бальной шкале:

$$B_o = \frac{\sum_{i=1}^n B_i k_{vi}}{\sum_{i=1}^n K_{vi}}, \quad (4)$$

где B_i - значимость или вес i -того фактора в баллах, k_{vi} – доля влияния этого фактора в общей (интегральной) оценке B_o .

Основной задачей является определение коэффициентов в выражении (4). В большинстве случаев методики разработаны для определения кадастровой, усреднённой оценке участков. В тоже время при разработке девелоперских проектов требуются индивидуальные оценки. В первую очередь они необходимы для выбора участка для определенных целей (жилищное или производственное строительство, возведение спортивного сооружения и т.д.), или для наиболее рационального использование имеющихся свободных территорий. Такие индивидуальные оценки, как правило, осуществляются экспертным методом. Экспертные оценки наиболее часто выражаются в лингвистической форме и отличаются нечеткостью или размытостью, поэтому необходимо, как уже отмечалось, применение нечеткого (fuzzy) моделирования [8 - 10].

Результаты по разработке модели

Входной вектор нечеткой модели для оценки свойств земельных участков определяется выражением:

$$X = \{(x_i, L_i, \{T_{xi}^1, T_{xi}^2, \dots, T_{xi}^k\} \{ \mu_{xi}^1, \mu_{xi}^2, \dots, \mu_{xi}^k \})\}_{i=1,2,\dots,n}, \quad (5)$$

где x_i – входная численная (количественная) или L_i лингвистическая (качественная) переменные i -того фактора; $\{T_{xi}^1, T_{xi}^2, \dots, T_{xi}^k\}$ – множество термов

входной величины; $\{\mu_{xi}^1, \mu_{xi}^2, \dots, \mu_{xi}^k\}$ – множество функций принадлежности, соответствующих определенному терму.

В рассматриваемых задачах применимы типовые L - R функции многоугольного вида для минимального, среднего и максимального значений интервалов определения термов:

$$\mu_{\min} = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq e, \\ \frac{e-x}{a-e}, & \text{if } e < x \leq a; \\ 0, & \text{if } x \geq a \end{cases}$$
$$\mu_c = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a, x \geq c, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a < x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{if } b \leq x < c \end{cases}; \quad \mu_{\max} = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq b, \\ \frac{x-b}{d-b}, & \text{if } b < x \leq d. \\ 1, & \text{if } x \geq d \end{cases} \quad (6)$$

Выходное значение от отдельного входного фактора определяется с помощью max-min технологии вывода (степени принадлежности):

$$\mu_{Ri} = \max \left(\min(\mu_{xi}^1, \mu_{xi}^2, \dots, \mu_{xi}^k) \right) \quad (7)$$

с дальнейшей дефазификацией методом высот:

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^3 Y_i \mu_{Ri}}{\sum_{i=1}^3 \mu_{Ri}}, \quad (8)$$

где Y_i – величина в баллах, определяемая правилами нечетких выводов.

Таким образом, выражение (8), полученное с помощью нечеткого метода, совпадет с выражением (4), полученное традиционным четким (crisp) методом. Однако нечеткая технология более адекватно соответствует экспертным оценкам.

Для нахождения коэффициента доли влияния или вклада k_{vi} каждого фактора также используется система экспертных оценок. Наиболее подходит метод анализа иерархии (МАИ), с помощью которого путем попарных сравнений определяются относительные доли вкладов факторов [11,12]. В

МАИ используется 9-ти бальная шкала попарных сравнений альтернатив. При применении нечеткого метода эту шкалу целесообразно заменить на четыре терма с диапазоном ± 1 и одним одноточечным множеством «Факторы равнозначны» (Таблица 1).

Таблица 1

Шкала нечетких попарных сравнений

Лингвистическое определение	c_i	x_{min}	x_{max}
Факторы равнозначны	1	0	0
Небольшое превосходство	2	1	3
Существенное превосходство	4	3	5
Значительное превосходство	6	5	7
Абсолютное превосходство	8	7	9

Такая шкала позволяет получить как однозначные четкие оценки, используя медианное значение c_i или значение переменной x , при которой функция принадлежности максимальна: $\mu(c_i) = 1$. При использовании всего диапазона определения функции принадлежности получится нечеткое значение коэффициента k_{vi} , которое будет отражать нечеткость экспертных оценок. Очевидно, что диапазон нечеткости будет зависеть от квалификации экспертов и полноты исходной информации.

Ниже рассмотрен упрощенный пример оценки участка по влиянию внешних факторов: УЦ – удаленность от центра; ЭС – экологическая ситуация; ТД – транспортная доступность.

Для фактора УЦ используется три терма: если расстояние 10 км, то близко; если расстояние 30 км, то не далеко; если расстояние 50 км, то

далеко. Используем функции принадлежности применим функции многоугольного вида (6). Для УЦ они будут иметь следующие параметры:

$$\mu_{min}: e=10, a=30; \mu_c: a=10, b=30, c=50; \mu_{max}: b=30, d=50.$$

Правило вывода для УЦ заключается в следующем: если далеко, то это оценивается $Y=2$ баллами, если не далеко, то - $Y_2=4$ баллами, и если близко, то - $Y_3=6$ баллами. Рассматриваемый участок находится на расстоянии 35 км. В результате фазификации получаются следующие значения функций принадлежности: $\mu_{35}^1=0$; $\mu_{35}^2=0,75$; $\mu_{35}^3=0,25$.

Величина фактора УЦ определяется по max-min технологии вывода (6) и дефазификацией методом высот (7):

$$B_{уц} = \frac{2 * 0 + 4 * 0,75 + 6 * 0,25}{0 + 0,75 + 0,25} = 3,5.$$

Фактор ЭС представляется качественной переменной, определяемой двумя термами: удовлетворительное, нормальное. Этим термам соответствуют угловые функции принадлежности $\mu_c: e_y=2, b_y=4; a_n=2, d_n=4$.

Для рассматриваемого участка фактор ЭС определяется как нормальный:

$$B_{эс} = \frac{2 * 0 + 4 * 1}{0 + 1} = 4.$$

Фактор ТД также представляется качественной переменной, определяемой тремя термами: не значительная, удовлетворительная, хорошая. Этим термам соответствуют угловые и треугольные функции принадлежности: $\mu_c: e_n=2, b_n=4; a_y=2, b_y=4, c_y=6; b_x=4, d_x=6$. Для рассматриваемого участка фактор ТД является удовлетворительным, поэтому

$$B_{тд} = \frac{2 * 0 + 4 * 1 + 6 * 0}{0 + 1 + 0} = 4.$$

Для определения долей вкладов k_{vi} факторов формируется обратносимметричная матрица экспертных попарных оценок путем

использования нечеткой шкалы в однозначном варианте. Результат представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Матрица попарных сравнений.

	УЦ	ЭС	ТД	λ_i	k_{vi}
УЦ	1	2	4	2	0,57
ЭС	0,5	1	2	1	0,285
ИК	0,25	0,5	1	0,5	0,145

Коэффициенты доли вклада сравниваемых факторов находятся как отношение собственных значений матрицы λ_i к их сумме $k_{vi} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$. В свою очередь собственные значения λ_i обратносимметричной матрицы определяются как среднегеометрическая величина значений попарных сравнений a_{ij} строк этой матрицы $\lambda_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}$.

В результате получится интегральная численная (балльная) оценка влияния внешних факторов для рассматриваемого земельного участка:

$$Y = k_{v1}B_{УЦ} + k_{v2}B_{ЭС} + k_{v3}B_{ТД} = 0,57 \cdot 3,5 + 0,285 \cdot 4 + 0,145 \cdot 4 = 3,72 \text{ балла.}$$

Таким же методом определяется оценка влияния собственных факторов. Затем эти оценки рассчитываются для других альтернативных участков. В итоге выбирается тот участок, у кого выше балльный результат.

Обсуждение

Рассмотренная методика включает три основных этапа. На первом этапе за счет применения декомпозиционной модели, включающей аддитивные модели внутренних и внешних факторов, определяющих свойства земельных участков, и объединяющей мультипликативной модели существенно уменьшается размерность задачи по оценке свойств участка.

На втором этапе формируется нечеткая модель экспертной оценки свойств земельных участков. Она включает блок фазификации с использованием L - R функций принадлежности, блок нечетких выводов и блок дефазификации методом высот. Такая нечеткая модель позволяет наиболее адекватно переводить нечеткие экспертные оценки влияния отдельных факторов в четкие численные (балльные) величины.

На третьем этапе методом анализа иерархии с использованием шкалы нечетких попарных сравнений определяются коэффициенты доли вклада каждого фактора в оценку свойств участков. Применение такой шкалы позволяет получить как однозначные четкие оценки, так и нечеткие значения этих коэффициентов, отражая тем самым нечеткость экспертных оценок. При этом можно менять величину диапазона нечеткости в зависимости от квалификации экспертов и полноты исходной информации, определяя этим доверительный интервал получаемых оценок.

Результирующая балльная оценка свойств рассматриваемого участка определяется методом взвешенной суммы величины влияния отдельных факторов. В итоге выбирается тот участок, у которого выше балльный результат.

Заключение

Предложенный метод нечеткого моделирования позволяет наиболее адекватно отражать результаты экспертных оценок свойств территории. Функции принадлежности, с помощью которых производится перевод в числовые (балльные) величины лингвистические, а, следовательно, размытые или нечеткие экспертные заключения, делают возможным сравнивать между собой земельные участки по большому количеству факторов и определять за счет этого наиболее подходящие участки для воплощения девелоперских проектов.

Литература

1. Чулкова Г.В. Основы кадастровой оценки земель и недвижимости. Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2019. 100 с.
2. Жулькова Ю.Н., Орлова О.О., Куделина Д.А. Оценка стоимости земельных участков. Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. 101 с.
3. Лелюхина А.М. Технология оценки городских земель. изд. 1-е М.: МИИГА и К. 2000. 87стр.
4. Скатов, М.А. Эволюция института кадастровой и рыночной стоимости объектов недвижимости в России // Финансовые рынки и банки. 2022. № 5. С. 133-139.
5. Глушкова О.В., Гагина И.С. Анализ методики государственной кадастровой оценки земель населённых пунктов на примере г. Саратова // Агрофорсайт. 2021. № 1. URL: agroforsait.ru.
6. Аверин А. Факторы, влияющие на стоимость земельных участков. URL: vesco.ru/blog/. (дата публикации 07.08.2013).
7. Москвин В.Н., Соколова Т.А., Беристенов А.Т. Специфика экспертной оценки и переоценки кадастровой и рыночной стоимости объектов недвижимости // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 5. С. 113–118.
8. Huang W., Sun M., Zhu L., Oh S.-K., Pedrycz W. Deep Fuzzy Min–Max Neural Network: Analysis and Design // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2022. Vol. 33, No. 12. pp. 1–12.
9. Корячко В.П., Бакулева М.А., Орешков В.И. Интеллектуальные системы и нечеткая логика // М.: Курс. 2023. 353 с.
10. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Лаборатория знаний. 2024. 801 с.

11. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. 1989. 316 с.

12. Дегтярев А.Н., Мухаметзянов И.З., Рожкова Н.В. Методология построения иерархической системы показателей развития в сфере туристического бизнеса на основе нечетко-логических процедур принятия решений // Теоретическая и прикладная экономика. 2016. URL: e-notabene.ru/etc/contents_2016_1.html.

References

1. Chulkova G.V. Osnovy kadaastrovoy otsenki zemel' i nedvizhimosti [Fundamentals of cadastral valuation of land and real estate]. Smolensk: FGBOU VO Smolenskaya GSKHA, 2019. 100 p.

2. Zhul'kova YU.N., Orlova O.O., Kudelina D.A. Otsenka stoimosti zemel'nykh uchastkov [Valuation of land plots]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. N.Novgorod: NNGASU, 2016. 101 p.

3. Lelyuxina A.M. Tekhnologiya ocenki gorodskix zemel'. Uchebnoe posobie [Technology of Urban Land Valuation. Textbook]. Izd. 1-e M.: MIIGA i K. 2000. 87p.

4. Skatov, M.A. Finansovy`e ry`nki i banki. 2022. № 5. pp. 133-139.

5. Glushkova, O.V., Gagina I.S. Agroforst. 2021. № 1. URL: agroforsait.ru

6. Averin A. URL: vesco.ru/blog/. (data publikacii 07.08.2013).

7. Moskvina V.N., Sokolova T.A., Beristenov A.T. Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka. 2015. № 5. pp. 113–118.

8. Huang W. Sun M., Zhu L., Oh S.-K., Pedrycz W. Deep Fuzzy Min–Max Neural Network: Analysis and Design. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2022. Vol. 33, No. 12. pp. 1–12.

9. Koryachko V.P., Bakuleva M.A., Oreshkov V.I. Intellektual'ny'e sistemy i nechetkaya logika [[Intelligent systems and fuzzy logic]. M.: Kurs. 2023. 353 p.
10. Pegat A. Nечеткое моделирование и управление [Fuzzy modeling and control]. M.: Laboratoriya znaniy. 2024. 801 p.
11. Saati T.L. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxij [Decision-making. Method of hierarchy analysis]. M.: Radio i svyaz'. 1989. 316 p.
12. Degtyarev A.N. Teoreticheskaya i prikladnaya e'konomika. 2016. URL: e-notabene.ru/etc/contents_2016_1.html.

Автор согласен на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 10.08.2025

Дата публикации: 26.09.2025