

УДК 519.876.2: 004.942:504.03

Н. П. Садовникова, Н. П. Жидкова

ВЫБОР СТРАТЕГИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА И СЦЕНАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложен подход к построению и оценке стратегий развития территорий с использованием когнитивного анализа и сценарного моделирования. Определены основные положения методологии комплексного анализа эффективности стратегических проектов на основе методов оценки устойчивости развития города.

К л ю ч е в ы е с л о в а: территориальное планирование, устойчивое развитие, когнитивное моделирование, нечеткие когнитивные карты, сценарное моделирование.

The approach to the development and evaluation of territorial development strategies with the use of cognitive analysis and scenario modeling has been proposed in the article. The fundamental basics of the methodology used in complex analysis of the effectiveness of strategic projects based on the methods of assessing the sustainability of the city development have been defined.

K e y w o r d s: territorial planning, sustainable development, cognitive modeling, fuzzy cognitive maps, scenario modeling.

Планирование территориального развития крупного города представляет собой особый вид практической деятельности — плановой работы, состоящей в разработке стратегических решений (в форме прогнозов, проектов, программ и планов), предусматривающих выдвижение таких целей и стратегий поведения, реализация которых обеспечивает эффективное функционирование города в долгосрочной перспективе.

Этот процесс является сложным и ресурсоемким как во временном, так и финансовом смысле, и определяется экономическими, экологическими, управленческими установками, закрепленными в нормативных актах. Разработка и согласование схем территориального планирования ведется в условиях конфликта интересов между согласующими субъектами.

Несмотря на то, что практика градостроительного планирования имеет богатый опыт, существует большое количество задач, решение которых вызывает значительные сложности. Прежде всего это задачи согласования целей и увязка их с общими задачами развития территорий [1].

В результате принятия и осуществления ошибочных решений нарушаются принципы устойчивого развития, появляются опасности, угрожающие жизнеспособности города. В связи с этим для формирования научно обоснованного подхода к принятию управленческого решения по реализации намечаемых планов развития городских территорий необходимо найти технологии, позволяющие формировать и анализировать различные альтернативные варианты и оценивать их эффективность.

Город является динамически развивающейся сложной системой, включающей природные, архитектурно-планировочные и социальные подсистемы. Информация, описывающая функционирование этих подсистем, как правило, велика по объему, неоднородна и зачастую не имеет количественной интер-

претации. Построение моделей таких систем, отображение качественных переходов элементов и системы из одного состояния в другие представляет значительную трудность.

Традиционные методы, в силу своей аксиоматики, не приспособлены к решению подобного рода задач. Исключение из рассмотрения качественной информации, источником которой, зачастую, является богатый опыт и интуиция квалифицированных специалистов, в значительной степени влияет на адекватность модели, существенно упрощая ее, что ведет к снижению достоверности получаемых результатов [2]. В связи с этим для обработки данных и формирования стратегий целесообразно использовать методы нечеткого когнитивного анализа и сценарного моделирования [3, 4].

Последовательность задач для реализации предлагаемого подхода может быть определена следующим образом [5]:

- выявление базовых ориентиров, характеризующих развитие территории;
- выявление взаимовлияний факторов;
- построение когнитивной модели;
- выявление возможных сценариев развития;
- определение критериев оценки сценариев;
- оценка сценариев и выявление наилучшего с точки зрения выбранных критериев;
- формирование стратегии развития на основе выбранного сценария.

Под устойчивым градостроительным развитием территории подразумевается способность планировочной и социальной организации города сохранять динамическое равновесие в ходе резких изменений процесса ее развития, иными словами, способность сохранять структуру при воздействии возмущающих факторов или возвращаться в прежнее состояние после нарушения [1]. Для определения обобщенного показателя устойчивого развития города как системы была выбрана методика Х. Боссея [6], в соответствии с которой анализируется следующий набор подсистем:

- экономическая;
- социальная;
- подсистема «Инфраструктура»;
- экологическая;
- подсистема «Индивидуальное развитие»;
- подсистема «Ресурсы».

На основе принципов, сформулированных Х. Босседем [6], были определены ориентиры и соответствующие им показатели (табл.). Выбранная система показателей не является уникальной и статичной. В другой интерпретации и по мере накопления новых знаний она может быть переработана и дополнена.

Ориентиры и показатели устойчивого развития города

3

Ориентиры	Подсистемы					
	Экономическая	Социальная	Подсистема «Инфраструктура»	Экологическая	Подсистема «Индивидуальное развитие»	Подсистема «Ресурсы»
Существование	x_1 — доходы бюджета, x_2 — валовой городской продукт	y_1 — доля населения с доходами ниже прожиточного минимума, y_2 — доля ветхого и аварийного жилищного фонда	z_1 — показатели изношенности инфраструктуры	e_1 — объемы отходов, e_2 — объем сброса загрязненных сточных вод, e_3 — количество загрязняющих веществ в атмосфере	g_1 — коэффициент демографической нагрузки	q_1 — численность населения, q_2 — стоимость природных ресурсов
Эффективность	x_3 — прибыль прибыльных организаций, x_4 — эффективность использования территорий	y_3 — общий коэффициент естественного прироста	z_2 — нерациональные потери тепла	e_4 — доля утилизируемых отходов	g_2 — индекс развития человеческого потенциала	q_3 — эффективность использования ресурсов
Свобода действий	x_5 — объем инвестиций, x_6 — расходы на развитие и поддержку малого и среднего предпринимательства	y_4 — соотношение величины зарплаты и прожиточного минимума	z_3 — средние затраты времени на трудовые передвижения в один конец	e_5 — резерв снабжения (вода, энергия и пр.), e_6 — доля земель в естественном состоянии	g_3 — средний уровень образования	q_4 — общая площадь муниципальной территории
Безопасность	x_7 — количество убыточных организаций, x_8 — объем резервных фондов	y_5 — уровень социальной безопасности	z_4 — коэффициент износа основных фондов	e_7 — уровень экологической безопасности, e_8 — число умерших от болезней	g_4 — уровень преступности, g_5 — количество суицидов	q_5 — общий коэффициент рождаемости
Адаптируемость	x_9 — среднемесячная заработная плата, x_{10} — доля предприятий малого бизнеса	y_6 — уровень институциональной бюрократии	z_5 — протяженность транспортных сетей, z_6 — плотность жилой застройки	e_9 — доля экологических налогов, e_{10} — доля альтернативных источников энергии	g_6 — число лечебно-профилактических учреждений	q_6 — средства, выделяемые из государственного бюджета
Сосуществование	x_{11} — коэффициент дифференциации доходов	y_7 — миграционный прирост	z_7 — доля населения, охваченная централизованным теплоснабжением	e_{11} — интенсивность истощения невозобновляемых ресурсов	g_7 — число учреждений культурно-досугового типа	q_7 — доля использования ресурсов, относящихся к объектам всеобщего пользования
Психологические потребности	x_{12} — темпы роста денежных доходов	y_8 — процент населения, проживающего в условиях социальной дискриминации	z_8 — доступность зеленой зоны	e_{12} — процент населения, которое переехало бы в другой регион	g_8 — индекс личной удовлетворенности	q_7 — число трудоспособного населения

На следующем этапе решается задача построения формальной модели. Учитывая слабую структурированность исследуемой ситуации, неопределенность факторов и связей между ними, возможную изменчивость структуры модели, необходимо использовать методы, основанные на «нечетком моделировании». Моделируемая ситуация может быть представлена в виде нечеткой когнитивной карты (рис. 1) [3], которая иллюстрирует множественные связи и характер взаимодействия выделенных факторов.

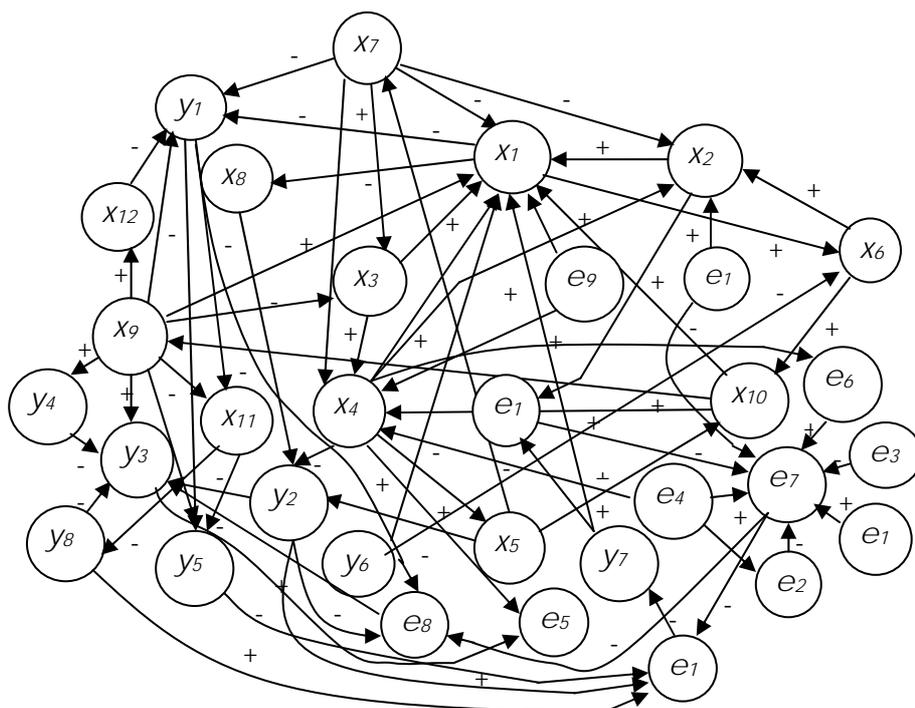


Рис. 1. Часть когнитивной карты развития территории, отражающая взаимодействие факторов экономической, экологической и социальной подсистем

Знаком «+» обозначается положительная связь, т. е. увеличение значения фактора-причины влечет за собой увеличение значения фактора-следствия, знаком «-» — отрицательная связь, увеличение значения фактора-причины влечет за собой уменьшение значения фактора-следствия.

Задачу определения взаимовлияний выявленных факторов можно решить с помощью попарного сравнения. Связь фактора-причины с фактором-следствием оценивается по 9-балльной шкале Саати [7]. Полученные оценки заносятся в матрицу парных сравнений (Λ), что позволяет упорядочить факторы-причины по силе влияния. Для фактора-причины, имеющего максимальную силу связи, определяется сила влияния как передаточный коэффициент

$$w_{ij} = \frac{p_i^p}{p_j^r},$$

где p_i^p — приращение фактора-причины; p_j^r — приращение фактора-следствия; i, j — номер фактора.

Сила влияния остальных факторов определится из соотношения

$$w_{il} = w_{ij} \frac{\lambda_l}{\lambda_j},$$

где l — номер фактора.

Учет воздействий второго порядка (косвенных, синергетических и т. д.) целесообразно проводить с помощью взвешенной аддитивной свертки

$$w_j = \sum_{i=1}^n \beta_i w_i,$$

где n — количество факторов-причин, влияющих на выбранный фактор-следствие; β_i — весовые коэффициенты ($0 \leq \beta_i \leq 1$), удовлетворяющие усло-

вию $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$.

Выявление возможных сценариев развития ведется на основе сценарного моделирования [4].

Будем считать, что время дискретно, а начальному состоянию системы соответствует нулевой момент времени. Моменты дискретного времени будем обозначать $t, t = 0, 1, 2, \dots$. Приращение значений факторов в дискретные моменты времени можно выразить в виде линейной зависимости:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in I_i} a_{ij} (x_j(t) - x_j(t-1)), \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

при известных начальных значениях факторов $(x_i(0))_{i \in N}$ и их начальных приращениях $(x_i(0) - x_i(-1))_{i \in N}$.

Здесь $x_i(t+1)$ и $x_i(t)$ — значения i -го фактора соответственно в моменты времени $t+1$ и t ; $x_j(t) - x_j(t-1) = \Delta x_j(t)$ — приращение фактора x_j в момент времени t ; a_{ij} — вес влияния фактора x_j на фактор x_i ; I_i — количество факторов, непосредственно влияющих на фактор x_i ; N — количество факторов (вершин графа).

Если ввести импульсы («скорости») $p_j(t) = \Delta x_j(t)$, то динамика системы может быть описана следующим уравнением:

$$p_i(t+1) = \sum_{j \in I_i} a_{ji} p_j(t) + p_j^0(t), \quad (2)$$

где $p_j^0(t)$ — внешний импульс, вносимый в вершину i в момент t .

Если обозначить через u_i внешний вход в вершину i , получим

$$p_i^0(t+1) = u_i(t+1) - u_i(t). \quad (3)$$

Будем считать, что

$$x_i(t) = 0, \quad t < 0, \quad i = 1, \dots, N,$$

а внешние импульсы подаются, начиная с $t = 0$. Тогда в соответствии с (2) и (3) получим

$$x_i(t+1) = \sum a_{ij} x_j(t) + u_j^0(t), i = 1, \dots, N \quad (4)$$

или в матричной форме

$$x(t+1) = (I + A)x(t) + Bu(t), \quad (5)$$

где $A = \|a_{ij}\|$ — матрица смежности размера $N \times N$ графа когнитивной карты; I — единичная ($N \times N$) матрица, $u = (u_1, \dots, u_M)^T$ — вектор управлений (внешних управляющих воздействий); $B = (0, 1)$ — матрица размера $N \times M$, ненулевые элементы которой указывают точки приложения управлений.

В случае, когда матрица A неустойчива (т. е. некоторые из ее собственных значений по модулю больше 1), необходимо преобразовать исходную матрицу в устойчивую. Для этого можно умножить каждый столбец (строку) матрицы A на число $\frac{1}{s_i + \varepsilon}$, где s_i — число ненулевых элементов i -го столбца (строки), а ε — малое число.

Описав взаимосвязи между факторами с помощью уравнений (4) и (5) полученной динамической модели, задав начальные значения факторов и начальные приращения, можно анализировать динамику изменения факторов и развития системы в целом.

Для того чтобы сформировать возможные стратегии развития системы, необходимо в первую очередь прогнозировать ее саморазвитие, т. е. изучить динамику изменения значений базовых ориентиров при отсутствии внешних управляющих воздействий. В результате такого прогноза мы получаем вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ значений факторов в момент времени t .

На основе полученных значений можно построить «звезды ориентиров» (рис. 2) для каждой подсистемы [5]. Они отражают устойчивость подсистемы. На каждом луче откладывается значение изменения показателя подсистемы за выбранный период. Для приведения к единым единицам измерения рассчитываются относительные величины (отношение показателя к его значению за предыдущий период). Чем ближе точки на лучах «звезды» к 1, тем более устойчива система.

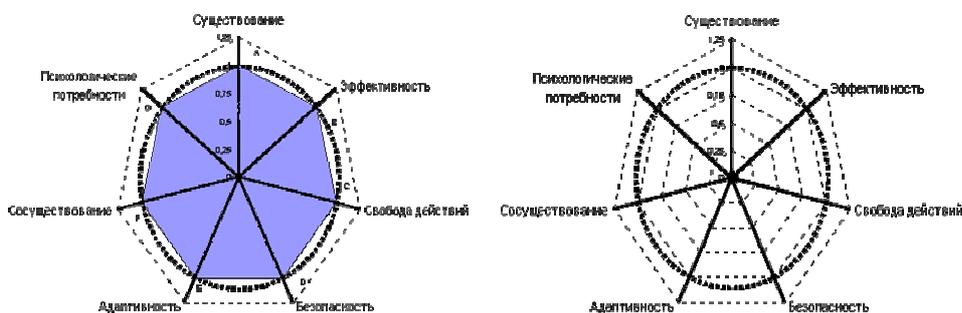


Рис. 2. «Звезды ориентиров». Слева устойчивая система с максимальной жизнеспособностью, справа неустойчивая система с минимальной жизнеспособностью

Факторы, нуждающиеся в корректировке, отображаются на «звезде» в виде «провалов». На них необходимо подавать управляющие воздействия с целью выравнивания «звезды» и приведения системы в устойчивое положение. Выбирая различные комбинации управляющих воздействий, можно отслеживать динамику развития системы в зависимости от выбранного сценария. Выявить наилучший сценарий можно, анализируя площадь и форму построенных «звезд». Количественная оценка обобщенного критерия может быть получена на основе принципа максимизирующего решения в задаче с нечеткими целями и нечеткими ограничениями [8].

Интеграция технологий когнитивного анализа и нечеткого моделирования позволяет решить задачу согласования целей при решении задачи выбора стратегий развития городских территорий и получить количественные характеристики для оценки альтернативных решений. Реализация представленного подхода осуществляется в рамках проекта «Разработка системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий», поддержанного грантом РФФИ (№ 11—07—97010 p_поволжье_a).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В.* Устойчивое развитие города и социальные аспекты градостроительной политики // Социология города. 2010. № 3. С. 5—9.
 2. *Садовникова Н. П., Ермощенко А. К.* // Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности // Известия Волгогр. гос. техн. ун-та. Т. 9. № 11. С. 94—97.
 3. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. Vol. 43. No. 11. November 1994. P. 1329—1333.
 4. *Максимов В. И.* Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций // Проблемы управления. 2005. № 3. С. 30—38.
 5. *Sadovnikova N. P.* Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Civil Engineering Informatics. Issue: 5(14), 2011. Режим доступа : www.vestnik.vgasu.ru.
 6. *Боссель Х.* Показатели устойчивого развития: теория, метод, практическое использование. Отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы / пер. с англ. ; под ред. В. Р. Цибульского. Тюмень : ИПОС СО РАН, 2001. 123 с.
 7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. М. : Радио и связь, 1993. 320 с.
 8. *Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П.* Согласование целей при эколого-экономическом обосновании градостроительного проекта с учетом ограничений на значения характеристик, входящих в систему средств, в условиях нечеткой информации // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и арх. 2011. Вып. 21(40). С. 151—159.
-
1. *Antyufeev A. V.* Ustoychivoe razvitie goroda i sotsialnye aspekty gradostroitelnoy politiki // Sotsiologiya goroda. 2010. № 3. S. 5—9.
 2. *Sadovnikova N. P., Ermoshchenko A. K.* // Obshchie voprosy primeneniya metodologii imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti proektov gradostroitelnoy deyatel'nosti // Izvestiya Volgogr. gos. tekhn. un-ta. T. 9. № 11. S. 94—97.
 3. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. Vol. 43. No. 11. November 1994. P. 1329—1333.
 4. *Maksimov V. I.* Strukturno-tselevoy analiz razvitiya sotsialno-ekonomicheskikh situatsiy // Problemy upravleniya. 2005. № 3. S. 30—38.
 5. *Sadovnikova N. P.* Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Civil Engineering Informatics. Issue: 5(14), 2011. Rezhim dostupa : www.vestnik.vgasu.ru.

6. *Bossel Kh.* Pokazateli ustoychivogo razvitiya: teoriya, metod, prakticheskoe ispolzovanie. Otchet, predstavlenyy na rassmotrenie Balatonskoy grupy / per. s angl. ; pod red. V. R. Tsibul'skogo. Tyumen : IPOS SO RAN, 2001. 123 s.

7. *Saati T.* Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy / per. s angl. M. : Radio i svyaz, 1993. 320 s.

8. *Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P.* Soglasovanie tseley pri ekologo-ekonomicheskom obosnovanii gradostroitel'nogo proekta s uchetom ogranicheniy na znacheniya kharakteristik, vkhodyashchikh v sistemu sredstv, v usloviyakh nechetkoy informatsii // Vestnik VolgGASU. Ser. : Str-vo i arkh. 2011. Вып. 21(40). S. 151—159.

© *Садовникова Н. П., Жидкова Н. П., 2012*

*Поступила в редакцию
в июне 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Садовникова Н. П., Жидкова Н. П. Выбор стратегий территориального развития на основе когнитивного анализа и сценарного моделирования // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 7(21). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.