

УДК 519.876.2: 004.942:504.03

Д. С. Парыгин, Н. П. Садовникова, Н. П. Жидкова

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СЦЕНАРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Рассмотрен подход к построению и оценке стратегий развития территорий на основе сценарного моделирования. Построена когнитивная модель развития города, которая может быть применена для корректировки планов и программ развития, сравнения альтернативных стратегий, выбора управляющих воздействий.

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

The approach to the construction and evaluation of territorial development strategies based on scenario modeling is considered in the article. The cognitive model of city development that can be applied for development plans and programs adjustment, and comparison of alternative strategies, the choice of control actions.

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

Изучение законов развития города лежит в основе формирования стратегий, позволяющих целенаправленно изменять жизненные приоритеты и создавать новые способы организации городского пространства, обеспечивающие эффективное взаимодействие и сбалансированное развитие всех сфер жизни и города.

Единственно возможным инструментом изучения этих законов является моделирование. Оно не гарантирует полную защиту от возможных ошибок при принятии решений, но позволяет выявить различные проблемы, проанализировать последствия принятия решений, прогнозировать развитие ситуаций.

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

Одним из эффективных подходов к исследованию поведения сложных слабоструктурированных систем является когнитивное моделирование. Методология когнитивного моделирования, предназначенная для анализа и принятия решений в плохо определенных ситуациях, была предложена американским исследователем Р. Аксельродом [1]. Методология когнитивного моделирования ориентирована на работу с экспертными знаниями и

обеспечивает необходимый инструментарий для выявления, анализа и согласования представлений, характеризующих мнения и взгляды лиц, вовлеченных в процесс управления развитием.

Этапы когнитивного моделирования.

1. Формирование понятийной модели в виде набора понятий и причинно-следственных связей между ними.

1.1. Определение зависимостей и тенденций в исследуемых процессах.

1.2. Определение ограничений, условий и требований.

1.3. Выделение базисных факторов, по мнению экспертов характеризующих ситуацию:

выделение базисных, описывающих суть проблемы;

выделение в совокупности базисных факторов целевых факторов;

выделение в совокупности базисных факторов управляющих факторов;

определение связей между факторами;

определение направления влияний и взаимовлияний между факторами.

2. Построение когнитивной карты (графа) ситуации.

3. Практическое изучение ситуации с позиции заданной цели:

прогноз развития ситуации без воздействия;

прогноз развития ситуации с выбранным комплексом мероприятий (прямая задача);

синтез комплекса мероприятий для достижения необходимого изменения состояния ситуации (обратная задача).

Третий этап методологии когнитивного анализа подразумевает применение сценарных методов прогнозирования. В отличие от классических методов прогнозирования, в которых основное внимание уделяется оценке наиболее вероятного варианта развития системы, при сценарном прогнозировании исходят из представления о неопределенности и неоднозначности траектории этого развития.

Сценарное прогнозирование позволяет одновременно рассматривать несколько вариантов развития ситуации, анализировать возможности и риски.

В контексте рассматриваемых задач под сценарием будем понимать «динамическую последовательность возможных событий, фокусирующую внимание на причинно-следственной связи между этими событиями и точками принятия решений, способных изменить их ход и траекторию движения во времени всей рассматриваемой системы в целом или отдельных ее подсистем» [2].

Сценарный подход не задает определенный набор действий по созданию прогноза, а определяет совокупность разнообразных техник, приемов и механизмов, позволяющих синтезировать сценарии.

Одной из главных задач сценарного прогнозирования является обнаружение таких факторов, заложенных в текущих условиях и ситуациях, которые позволят создать механизм воздействия на будущие состояния системы.

Современный сценарный подход имеет в своем арсенале целый ряд методов. Однако считать методологию сценарного планирования до конца оформленной нельзя, так как методы и инструменты совершенствуются и адаптируются к определенным прикладным задачам.

Варианты реализации сценарного прогнозирования в рамках когнитивного анализа предложены в работах [3—8].

Рассмотрим задачу анализа стратегии «Открытый город» для Волгограда. Фактор «Открытая городская среда» является агрегирующим для факторов, представленных в табл. 1. Учитывая опыт реализации проектов в рамках программы Open cities [9], можно предположить, что увеличение фактора «открытости» города должно планомерно улучшать значения факторов, отражающих целевые показатели развития. Для построения когнитивной карты и сценариев развития используется система «Стратег» [10]. Система позволяет представлять когнитивную карту в табличном и графическом виде, строить сценарии (саморазвитие, управляемое развитие), определять взаимовлияние факторов. Оценка значений факторов проводится на основе статистической информации, опубликованной на официальных интернет-порталах г. Волгограда [11]. Методы анализа изложены в [12, 13].

Таблица 1

Факторы, определяющие управляющие воздействия

№ п/п	Название составляющих аспектов	Степень влияния
1	Развитие международного партнерства (открытие представительств крупных НК, ТНК)	0,70
2	Развитие творческого сектора экономики	0,50
3	Развитие сектора экономики здоровья (биотехнологии, фармацевтика, медицинская техника и услуги)	0,35
4	Развитие рынка недвижимости	0,35
5	Финансирование федеральным бюджетом спецпроектов развития	0,65
6	Многонациональный состав населения и уровень миграции	0,65
7	Развитие культурных центров (музеи, картинные галереи, театры, оркестры)	0,30
8	Организация крупных мероприятий международного значения	0,55
9	Повышение уровня высшего образования и развитие исследовательских центров	0,35
10	Повышение уровня коммуникации на языках международного общения	0,25
11	Повышение спортивной активности (инфраструктура, спортивные мероприятия)	0,55
12	Развитие транспортной инфраструктуры	0,60
13	Развитие телекоммуникационной инфраструктуры	0,55
14	Снижение энергоемкости производства и внедрение энергосберегающих технологий	0,40
15	Повышение эффективности использования территорий	0,30
16	Развитие общественных пространств	0,40
17	Развитие системы общественного питания	0,25
18	Внедрение механизмов экосистемного регулирования	0,40

Задача определения взаимовлияния факторов может быть решена на основе корреляционного анализа или с помощью методов экспертного оценивания, в частности может использоваться метод парных сравнений [14]. 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 — номер фактора.

Сила влияния остальных факторов определится из соотношения

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

где λ_i — оценка фактора в матрице парных сравнений Λ .

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 условию

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1.$$

Приращение значений факторов в дискретные моменты времени выражается в виде линейной зависимости [3]:

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

при известных начальных значениях факторов $(x(0))_{i \in N}$ 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

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

Будем считать, что

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

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

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

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, задав веса этих взаимовлияний (табл. 2) и указав значения начальных приращений факторов, можно анализировать динамику изменения факторов и развития системы в целом.

Когнитивная карта анализируемой ситуации представлена на рис. 1.

Для того чтобы сформировать возможные стратегии развития, 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 .

Динамика свободного движения состояния $x(t)$ описывается уравнением

$$x(t) = (I_N + A + A^2 + \dots + A_t)x(0). \quad (6)$$

Определение искомой совокупности управляющих воздействий производится путем решения обратной задачи управления, суть которой состоит в следующем. Выберем каждое управляющее воздействие $g(t)$ в виде «мгновенного» импульса величины $g(0)$, подаваемого в момент $t = 0$. Тогда динамика системы может быть описана уравнением [6].

$$x(t) = (I_N + A + A^2 + \dots + A^t)x(0) + (I_N + A + A^k + \dots + A^{i-1})Bg(0). \quad (7)$$

Таблица 2

Значения целевых факторов

Наименование фактора	Начальные значения	Тенденция свободного развития	Тенденция управляемого развития
Объем произведенной продукции (работ, услуг)	Незначительно увеличивается (0,15)	Существенно увеличивается (0,64)	Сильно увеличивается (0,89)
Доходы населения (всего)	Слабо увеличиваются (0,30)	Умеренно увеличиваются (0,51)	Умеренно увеличиваются (0,52)
Ввод в эксплуатацию жилых домов за счет всех источников финансирования	Незначительно увеличивается (0,15)	Слабо увеличивается (0,32)	Умеренно увеличивается (0,54)
Валовой продукт	Незначительно уменьшается (−0,05)	Слабо увеличивается (0,36)	Существенно увеличивается (0,63)
Уровень безработицы	Незначительно увеличивается (0,10)	Незначительно уменьшается (−0,01)	Незначительно уменьшается (−0,06)
Здоровье населения	Незначительно увеличивается (0,05)	Незначительно уменьшается (−0,08)	Незначительно увеличивается (0,08)
Численность населения	Незначительно уменьшается (−0,05)	Незначительно уменьшается (−0,09)	Незначительно уменьшается (−0,02)
Условия проживания населения	Незначительно увеличивается (0,05)	Незначительно уменьшается (−0,09)	Незначительно увеличивается (0,04)
Экологическая обстановка в городе	Незначительно уменьшается (−0,15)	Слабо уменьшается (−0,26)	Незначительно уменьшается (−0,17)

Задачу управления будем считать решенной, если найден вектор $g^*(0)$ управляющих воздействий такой, что значения целевых координат в установившемся состоянии модели совпадают с заданными целевыми значениями (координатами вектора y^*), что можно записать с учетом (7) так:

$$y_{уст} = Cx_{уст} = CQx(0) + CQBg(0) = y^*, \quad (8)$$

где элементы матрицы C указывают, какие из факторов модели являются целевыми; $x_{уст}$ — установившееся состояние модели; y^* — заданный вектор цели.

Результаты моделирования представлены в табл. 1 и на диаграмме (рис. 2).

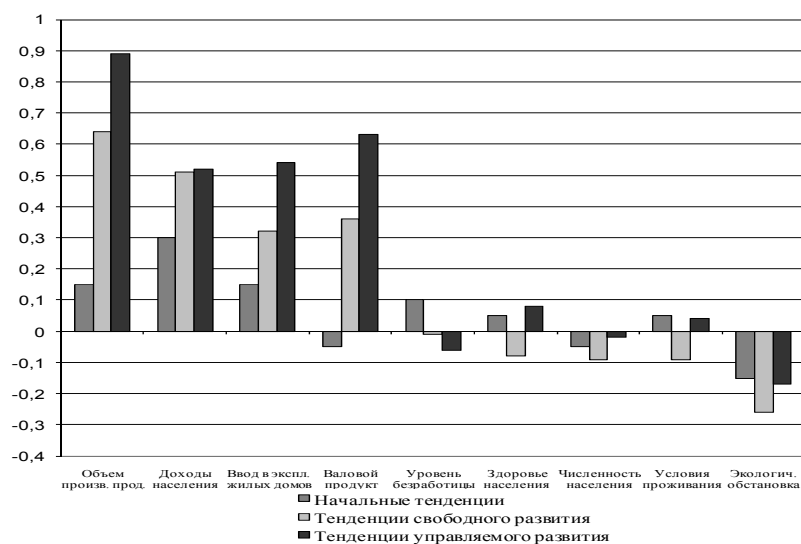


Рис. 2. Диаграмма обобщенных результатов моделирования

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы. Повышение степени «открытости» города дает значительное увеличение экономических показателей (валовой продукт, объемы произведенной продукции и услуг, введенные в эксплуатацию жилые площади). При этом удается сдерживать безработицу, а также снижение численности постоянного населения и ухудшение экологической обстановки в городе. Свою положительную динамику сохраняют социальные составляющие — здоровье и условия проживания населения. В итоге получены благоприятные тенденции, соответствующие принципам устойчивого развития.

Данный пример демонстрирует возможность применения построенной модели для корректировки планов и программ развития, сравнения альтернативных стратегий, выбора управляющих воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton : University Press, 1976. 405 p.
2. *Ахременко А. С.* Сценарнотехника в аналитическом обеспечении процедуры принятия политических решений // Вестник Московского университета. Сер. 12 : Политические науки, 1997. № 5.
3. *Максимов В. И.* Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций // Проблемы управления. 2005. № 3.
4. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, С. А. Косяченко, А. Н. Шубин. М. : СИНТЕГ, 2004. 296 с.
5. *Авдиенко Н. В., Горелова Г. В.* Проблема комплексных исследований и когнитивного моделирования устойчивого развития социально-экономической системы // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2004. Т. 39. № 4. С. 172—177.
6. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций : материалы 1-й международной конференции. М. : ИПУ, 2001. 196 с.
7. *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 (12.06.2012).
8. *Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П.* Применение методов мягких вычислений и когнитивного моделирования в задачах прогнозирования экологической безопасности строительства // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 4. С. 36—40.
9. Сайт международного проекта Open cities [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://opencities.net> (15.08.2012).
10. *Заболотский М. А., Тихонин А. В., Полякова И. А.* Аналитическая программная система «Стратег» — инструмент целеполагания и анализа сложных систем и ситуаций // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. Т. 2. № 4. С. 65—68.
11. Официальный информационно-справочный портал администрации Волгограда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.volgadmin.ru/ru/> (12.06.2012).
12. Жизненное пространство крупного города в восприятии его жителей / Н. В. Дулина [и др.] ; под ред. Н. В. Дулиной. Волгоград : ВолгГТУ, 2004. 362 с.
13. *Шаховская Л. С.* Теория и методология исследования социально-экономического потенциала Волгограда. Волгоград : ВолгГТУ, 2002. 166 с.
14. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. М. : Радио и связь, 1993. 320 с.

1. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton : University Press, 1976. 405 p.
2. *Akhremenko A. S.* Stsenariotekhnika v analiticheskom obespechenii protsedury prinyatiya politicheskikh resheniy // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 12: Politicheskie nauki, 1997. № 5.
3. *Maksimov V. I.* Strukturno-tselevoy analiz razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh situatsiy // Problemy upravleniya. 2005. № 3.

4. Metody formirovaniya stsensariy razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem / V. V. Kul'ba, D. A. Kononov, S. A. Kosyachenko, A. N. Shubin. M. : SINTEG, 2004. 296 s.
5. *Avdienko N. V., Gorelova G. V.* Problema kompleksnykh issledovaniy i kognitivnogo modelirovaniya ustoychivogo razvitiya sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2004. T. 39. № 4. S. 172—177.
6. Kognitivnyy analiz i upravlenie razvitiem situatsiy : materialy 1-y mezhdunarodnoy konferentsii. M. : IPU, 2001. 196 s.
7. *Sadovnikova N. P., Zhidkova N. P.* Vybory strategiy territorial'nogo razvitiya na osnove kognitivnogo analiza i stsennarnogo modelirovaniya // *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel. informatika*. 2012. Vyp. 7(21). Rezhim dostupa: www.vestnik.vgasu.ru (12.06.2012).
8. *Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P.* Primenenie metodov myagkikh vychisleniy i kognitivnogo modelirovaniya v zadachakh prognozirovaniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva // *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2011. № 4. S. 36—40.
9. Sayt mezhdunarodnogo proekta Open cities [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://opencities.net> (15.08.2012).
10. *Zabolotskiy M. A., Tikhonin A. V., Polyakova I. A.* Analiticheskaya programnaya sistema «Strateg» — instrument tselepolaganiya i analiza slozhnykh sistem i situatsiy // *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008. T. 2. № 4. S. 65—68.
11. Ofitsial'nyy informatsionno-spravochnyy portal administratsii Volgograda [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.volgadmin.ru/ru/> (12.06.2012).
12. Zhiznennoe prostranstvo krupnogo goroda v vospriyatii ego zhiteley / N. V. Dulina [i dr.] ; pod red. N. V. Dulinoy. Volgograd : VolgGTU, 2004. 362 s.
13. *Shakhovskaya L. S.* Teoriya i metodologiya issledovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo potentsiala Volgograda. Volgograd : VolgGTU, 2002. 166 s.
14. *Saati T.* Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy : per. s angl. M. : Radio i svyaz', 1993. 320 s.

© Парыгин Д. С., Садовникова Н. П., Жидкова Н. П., 2012

Поступила в редакцию
в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Парыгин Д. С., Садовникова Н. П., Жидкова Н. П. Построение траекторий территориального развития на основе методов сценарного прогнозирования // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8 (24). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.