

УДК 502.5:519.816

Б. Х. Санжапов, Т. В. Кузнецова

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕЧЕТКИХ ОТНОШЕНИЙ

Предлагается метод, базирующийся на потенциальных функциях, применение которого позволяет уточнить существующие мнения экспертов по экологической ситуации, представленной в виде нечеткого орграфа, и проранжировать факторы по степени их важности среди большого количества исходных данных. Наиболее важные факторы могут быть использованы при построении когнитивной карты анализа экологической безопасности городской среды.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, нечеткие когнитивные карты, экологическая безопасность.

In this paper, we propose a method, based on the potential functions, the use of which allows us to refine the existing opinions of experts on the environmental situation presented in the form of fuzzy digraph and rank the factors according to their importance of large amounts of raw data. The most important factors may be used to construct cognitive maps of analysis of environmental safety of urban environment.

Key words: cognitive modeling, fuzzy cognitive maps, environmental safety.

Применение когнитивного моделирования играет большую роль при анализе экологических задач. Например, задачи стратегического управления различными экологическими объектами. Разработка когнитивных карт и моделирование на их основе различных сценариев позволяет анализировать возможные развития ситуации и предпринять меры по снижению степени экологических рисков.

Подходы к моделированию развития урбанизированных территорий описаны в работах Д. Форрестера, В. А. Путилова, А. В. Горохова, В. Б. Силова, В. И. Максимова и др. Однако в большинстве случаев целью моделирования являлось прогнозирование социально-экономического развития. Оценке экологической составляющей не уделялось должного внимания [1].

Аналізу экологической безопасности урбанизированных территорий в нечетких условиях посвящены работы [1], [2], [3] и др.

Когнитивный подход к поддержке принятия решений ориентирован на то, чтобы выразить свое представление проблемной ситуации в виде формальной и, в значительной степени, субъективной модели. В качестве такой модели обычно используется когнитивная карта ситуации, которая представляет известные субъекту основные законы и закономерности наблюдаемой ситуации в виде ориентированного знакового или взвешенного графа.

Входными данными для когнитивного моделирования являются базисные факторы, тенденции их изменения и силы взаимного влияния фактора на фактор, полученные в ходе сбора и обработки информации. Особенностью применения когнитивного моделирования для идентификации поведения природно-технических систем является неопределенность состава факторов и связей между ними. Значения факторов чаще всего представлены в виде лингвистических переменных или интервальных оценок. Кроме того, структура модели может меняться в процессе исследования. Моделируемая ситуация описывается с помощью нечетких когнитивных карт [4], которые представ-

ляют собой графы причинно-следственных отношений и иллюстрируют множественные связи между антропогенными факторами, природоохранной деятельностью и компонентами (характеристиками) окружающей среды и поэтому особенно полезны для выявления и отображения воздействий второго порядка (косвенных, синергетических и т. д.) [5].

При анализе экологических задач на начальных этапах используется большое количество факторов, которые анализируются экспертами. Данные представляются в виде взвешенного орграфа. Важную роль при этом играет определение весов дуг. В работе [4] для определения силы влияния (веса ребер) используются методы прямого оценивания, парного сравнения, расчета коэффициента корреляции.

Зачастую в исходных данных присутствуют критерии, которые оказывают незначительное влияние на рассматриваемую ситуацию, к тому же данное отношение может не обладать необходимыми свойствами и быть несогласованным. Для того чтобы выделить наиболее значимые факторы предлагается метод на основе потенциальных функций, который производит ранжирование данных по степени важности их влияния.

В задачах упорядочения объектов при наличии нескольких нечетких отношений предпочтения основной проблемой является построение решающего правила, позволяющего ввести вместо рассматриваемых отношений одно результирующее, обладающее теми или иными свойствами. К таким свойствам относятся, например, транзитивность, наличие множества четко детерминируемых объектов и др., которые и позволяют упорядочить (полностью или частично) множество объектов.

Для этого вводятся потенциальные нечеткие отношения, которые характеризуются тем, что позволяют определить относительные «веса» объектов и на их основе произвести упорядочение. Так как исходные нечеткие отношения не всегда являются потенциальными, то на первом этапе предлагается аппроксимировать каждое исходное нечеткое отношение потенциальным нечетким отношением. Введем определение потенциальных нечетких отношений.

Пусть $X = \{1, 2, \dots, n\}$ — конечное множество объектов, $A = \{((x, y), \mu_A(x, y)) | x, y \in X\}$ — нечеткое отношение (НО) на X с функцией принадлежности $\mu_A : X \times X \rightarrow [0, 1]$.

Нечеткое отношение A назовем потенциальным НО (ПНО), если существует такая функция $v_A : X \rightarrow (-\infty, +\infty)$, что $\mu_A(x, y) - \mu_A(y, x) = v_A(x) - v_A(y)$, $\forall x, y \in X$.

Величины $v_A(x)$ будем называть потенциалами объектов $x \in X$, а их множество $V_A = \{v_A(x) | x \in X\}$ — системой потенциалов ПНО.

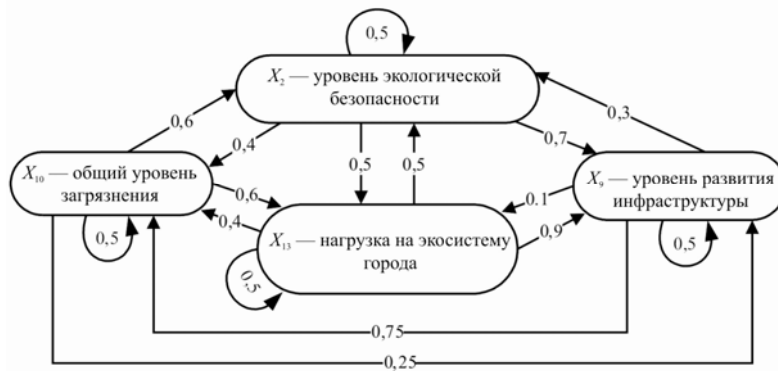
При добавлении константы ко всем потенциалам $v_A(x)$ получим новую систему потенциалов того же ПНО. Добавление этой константы обеспечивает то, что для всех объектов x было справедливо $0 \leq v_A(x) \leq 1$. Поэтому если под $v_A(x)$ ($v_A(y)$) понимать степень проявления у объекта $x(y)$ некоторого свойства, а под $\mu_A(x, y)$ ($\mu_A(y, x)$) — оценку степени уверенности в том, что рассматриваемое свойство сильнее выражено у объекта $x(y)$, чем у объекта $y(x)$, то разность указанных степеней достоверности равна разности степени проявления рассматриваемого свойства.

Использование НО в задачах упорядочения связано с изучением определяемых ими четких отношений. Бинарное четкое отношение R на множестве X называется квазисерией, если оно антирефлексивно, транзитивно и отношение $R \cup R^{-1}$ есть отношение эквивалентности. R является квазисерией тогда и только тогда, когда существует такая функция $\varphi: X \rightarrow (-\infty, +\infty)$, что $(x, y) \in R \Leftrightarrow \varphi(x) > \varphi(y)$.

При наличии одного ПНО предпочтения A на множестве X задача упорядочения объектов решается просто — соответствующее упорядочение задается квазисерией R_A . Подробное описание метода рассматривается в [5].

Но в отличие от их подхода, предлагаемый метод применим для любых функций принадлежности, что обеспечивает универсальность его приложения.

Для иллюстрации приведен фрагмент экологической ситуации развития города, которая представлена в виде графа на рис.



Граф, описывающий экологическую ситуацию развития города

Здесь представлена лишь часть взаимосвязанных факторов, которые участвуют при рассмотрении экологической задачи развития города.

Для построения когнитивной карты из всего множества исходных факторов могут быть использованы те, которые являются наиболее значимыми. Это позволяет не учитывать критерии, которые оказывали малое воздействие на систему и являются несущественными. К тому же, рассматриваемое отношение не удовлетворяет всем необходимым условиям и не является согласованным. Поэтому его необходимо преобразовать, что позволит выявить степени важности факторов и отбросить наименее значимые из них. Для этого применяется метод на основе потенциальных функций.

Сама же когнитивная карта представляет собой взвешенный оргграф $G(V, X)$, с помощью которого определены отношения между факторами системы, в котором:

1) множество вершин взаимно однозначно соответствует совокупности V рассматриваемых факторов;

2) если влияние фактора x_i на фактор x_j положительно (отрицательно), то в графе G проводится дуга a_{ij} с весом $+w_{ij}$ ($-w_{ij}$) от вершины x_i к x_j . Число $w_{ij} \in [0, 1]$ — оценка степени воздействия фактора x_i на x_j .

Таким образом, выявление наиболее значимых вершин играет важную роль в когнитивном моделировании и при рассмотрении различных сценариев развития экологической безопасности городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Садовникова Н. П. Применение когнитивного моделирования для анализа эколого-экономической эффективности градостроительных проектов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2011. Вып. 5 (14). Режим доступа: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadovnikova-2011_5\(14\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadovnikova-2011_5(14).pdf) (дата обращения: 05.05.2014).

2. Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б. Оценка экологической безопасности автотранспортной системы города // Интернет-вестник ВолгГАСУ : Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Режим доступа: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SanzhapovMuradovSanzhapov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SanzhapovMuradovSanzhapov-2013_2(27).pdf) (дата обращения: 05.05.2014).

3. Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б. Оценка риска реализации программы стратегического развития урбанизированной территории. Вестник ВолгГАСУ : Сер.: Стр-во и архит. Вып. 32(51). 2013. С. 289—294.

4. Kosko V. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. Issue 1. P. 65—75.

5. Жуковин В. Е., Макеев С. П., Шахнов И. Ф. Потенциальные нечеткие отношения и их использование в задачах упорядочения объектов // Техническая кибернетика. 1988. № 5. С. 182—189.

1. Sadovnikova N. P. Primenenie kognitivnogo modelirovaniya dlya analiza ekologo-ekonomicheskoi effektivnosti gradostroitel'nykh projektov // Internet-Vestnik VolgGASU. 2011. Vyp. 5(14). Rezhim dostupa: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadovnikova-2011_5\(14\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadovnikova-2011_5(14).pdf) (data obrashcheniya: 05.05.2014).

2. Sanzhapov B. Kh., Muradov A. A., Sanzhapov R. B. Otsenka ekologicheskoi bezopasnosti avtotransportnoi sistemy goroda // Internet-Vestnik VolgGASU. 2013. Vyp. 2(27). Rezhim dostupa: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SanzhapovMuradovSanzhapov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SanzhapovMuradovSanzhapov-2013_2(27).pdf) (data obrashcheniya: 05.05.2014).

3. Sanzhapov B. Kh., Muradov A. A., Sanzhapov R. B. Otsenka riska realizatsii programmy strategicheskogo razvitiya urbanizirovannoi territorii. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. Vyp. 32(51). 2013. S. 289—294.

4. Kosko V. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. Issue 1. P. 65—75.

5. Zhukovin V. E., Makeev S. P., Shakhnov I. F. Potentsial'nye nechetkie otnosheniya i ikh ispol'zovanie v zadachakh uporyadocheniya ob'ektov // Tekhnicheskaya kibernetika. 1988. № 5. S. 182—189.

© Санжапов Б. Х., Кузнецова Т. В., 2014

Поступила в редакцию
в мае 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Санжапов Б. Х., Кузнецова Т. В. Анализ экологической безопасности городской среды на основе использования потенциальных нечетких отношений // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика. 2014. Вып. 11(32). Ст. 2. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Sanzhapov B. Kh., Kuznetsova T. V. [Analysis of environmental security of urban environment on the basis of potential fuzzy relations]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 11(32), paper 2. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>