



## Разработка концептуальной проблемно-ориентированной метамодел образного представления сложной системы на основе геоинформационной системы

*Л.А. Гинис, Л.В. Гордиенко, С.В. Левонюк*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** В работе предлагается использовать метасистемный подход к построению модели сложной системы, отличительной особенностью которого является возможность синтеза количественных и качественных моделей отдельных подсистем в виде метамодел сложной системы, с последующей возможностью разрабатывать и корректировать как цели функционирования системы, так и пути их достижения. Центральным звеном метамодел является модель геоинформационной системы, которая интегрирует, обрабатывает и отслеживает пространственно-временную и координатную информацию. Модель геоинформационной системы представлена как совокупность модели измерения состояния системы и модели измерения состояния окружающей среды, в том числе наборы правил, процедур, измерительных средств. Отдельно в статье рассмотрен вопрос об избыточности данных, для решения которого предлагается использовать платформу National Instruments PXI.

**Ключевые слова:** метамодел, сложная система, геоинформационная система, сжатие данных

В последнее время одним из наиболее перспективных направлений прикладных исследований в области моделирования сложных систем, неотъемлемой составляющей которых является наличие неопределенности, является метасистемный подход (System of system, SoS – «система систем») [1, 2]. Неопределенность, которая присутствует в силу природы сложной системы, затрудняет, а часто исключает применение точных количественных методов и подходов. Метасистемный подход позволяет идентифицировать сложную систему, использовать теоретико-множественное описание на основе нечеткой логики, уточнять модель по данным экспертных оценок, объединять количественные и качественные данные для моделирования и изучения поведения сложных многофакторных систем.

При построении формализованной модели сложной системы необходимо учитывать достаточно большой перечень элементов и



составляющих, выраженных как в количественной, так и в качественной формах, при условии адекватного отображения всей глубины исследования системы.

Для реализации вышеназванных требований и предлагается использовать метасистемный подход, отличительной чертой которого является учет когнитивного подхода, позволяющего прогнозировать структурное и образное представление сложной системы в развитии, возможность разрабатывать интеллектуальные информационно-управляющие системы, учитывающие критерии эффективности применяемых технических и программных средств с целью прогнозирования, планирования и управления [3], а также использование метаэвристик [4].

Целью данной работы является моделирование структуры и отдельных элементов функциональности образного представления сложной системы на примере геоинформационной системы в виде наборов метамоделей.

Итак, когнитивная теоретико-множественная мета модель исследуемой сложной системы, основы которой заложены в работе [5] и развита в [6, 7] описывается следующим образом:

$$M = \{M_O, M_E, M_{OE}, M_D, M_{ГИС}, Q, M_{ПР}, M_U, M_H, A\}, \quad (1)$$

где:  $M_O$  – идентифицирующая модель системы (модель объекта);  $M_E$  – модель окружающей среды;  $M_{OE}$  – модель взаимодействия объекта и среды;  $M_D$  – модель поведения системы, в том числе, в виде импульсных процессов, реализуемых при моделировании возмущающих и управляющих воздействий на когнитивной модели;  $M_{ГИС}$  – модель геоинформационной системы (ГИС);  $Q$  – возмущающие/управляющие воздействия;  $M_{ПР}$  – модель принятия решений;  $M_U$  – модель управляющей системы;  $M_H$  – модель «наблюдателя» (инженера, эксперта, оператора);  $A$  – правила объединения моделей и выбора процессов изменения объекта.

---



Все вышеперечисленные математические модели и в отдельности и в совокупности, во-первых, это когнитивные модели [8], во-вторых, они, в свою очередь, могут быть описаны как метамодели, что приведет к формализации иерархической составляющей сложной системы. Следует отметить, что взаимодействия между вершинами когнитивной модели могут быть представлены системами уравнений, описанными на языке теории вероятностей и нечетких множеств, допускается использование нечеткой логики и метаэвристик для нахождения оптимального решения (пути между вершинами). Покажем это на примере ГИС.

Современные геоинформационные системы являются ярким примером сложной системы и используются в самых разнообразных сферах человеческой деятельности. Например, в [9] описываются возможности ГИС для систематизации параметров и характеристик, отражающих экологическую обстановку, состав питьевой воды, климатогеографические условия и в совокупности влияющих на уровень стоматологических проблем граждан. В статье [10] предложен метод, основанный на теоретико-множественном представлении и анализе пространственных данных, позволяющий сформировать непротиворечивую структуру распределенной базы данных с учетом ГИС.

Особое внимание в данной статье мы хотим уделить элементу  $M_{ГИС}$  из (1). Модель геоинформационной системы в свою очередь может быть описана следующим образом:

$$M_{ГИС} \in (M_{МО}, \cap M_{МЕ}) \quad (2)$$

где  $M_{МО}$  – модель измерения состояния системы,  $M_{МЕ}$  – модель измерения состояния окружающей среды, в том числе наборы правил, процедур, измерительных средств и может быть представлена следующим кортежем:

$$M_{ГИС} = \langle S, H, D, V \rangle, \quad (3)$$



где  $S$  – система сбора информации,  $H$  – система хранения информации,  $D$  – система обработки результатов измерений,  $V$  – система визуализации.

На этапе сбора и хранения информации, модели  $S$  и  $H$ , объем поступающей измерительной информации оказывается значительным. В то же время основная доля данной информации является избыточной, поэтому актуальной становится задача сжатия данных. Основным интерес представляет обратимое сжатие на основе апертурных интерполяционных и экстраполяционных алгоритмов нулевого и первого порядков, в результате которого исходные сигналы могут быть в дальнейшем восстановлены как функции времени с заданной погрешностью. В работе [11] рассмотрена возможность использования для сжатия данных платформы National Instruments PXI, включающей реконфигурируемый модуль ввода-вывода (модуль R-серии).

В свою очередь модель системы сбора информации, это:

$$S = \langle P, W, C, T \rangle, \quad (4)$$

где  $P$  – пространственно-координатные данные,  $W$  – данные о времени,  $C$  – семантические данные,  $T$  – топологические данные.

В разрабатываемую ГИС предлагается включать реализацию следующих измерительных функций:

- 1)  $K$  - Контроль протекающих процессов, выявление возможных отклонений. Данный функционал предполагает получение сигнала, сравнение его с допустимым диапазоном значений, и, в зависимости от полученного значения, сохранение в памяти, либо оповещение об отклонении.
- 2)  $L$  - Локализация и предотвращение аварийной ситуации. ГИС отображает на карте местоположение всех датчиков и связанных с ними объектов и/или элементов мониторинга, что позволяет



оперативно определить локализацию аварийной ситуации и предпринять меры для ее подавления.

- 3) *Md* - Моделирование развития ситуации. Данный функционал предполагает анализ картографической информации, что является более естественным и привычным для эксперта. Функции пространственного анализа ГИС: картометрические операции, построение буферных зон, топологический анализ и т.д. позволяют оценить развитие той или иной ситуации. Например, зная месторасположение датчика и объекта, с которым он связан, ГИС строит буферную зону вокруг данного объекта в зависимости от влияния различных критериев: вещество, температура, форма поверхности, уклон и т.д., что позволяет определить объекты, попадающие в зону распространения аварии и минимизировать риск их аварийности.
- 4) *Pr* - Прогнозирование и снижение риска аварийных ситуаций.

Таким образом, модель *D* из (3) содержит следующий функциональный набор:  $D = \langle K, L, Md, Pr \rangle$ .

В работе ГИС следует выделить общий алгоритм функционирования системы, отвечающий за сбор и анализ данных, выработку управленческих и прогнозирующих решений. Алгоритм возможно описать следующей моделью:

$$AF = \langle R_s, R_D, N, V_O, P_K, X, Y, Ob^{St}, Ob^{Dm} \rangle, \quad (5)$$

где  $R_s$  – отправная точка в ГИС;  $R_D$  – область поставок некоторого объекта;  $N$  – транспортная сеть;  $V_O$  – временная область;  $P_K$  – набор показателей качества объекта;  $X$  – некоторый объект для перемещения (или мониторинга);  $Y$  – набор внешних воздействий;  $Ob^{St}$  – статические объекты –  $o \in Ob^{St}, St_j: x_k, x_k \leq x_k^{opt}$ . Каждый объект из множества  $Ob^{St}$  характеризуется следующим набором параметров:  $o \in Ob^{St}: x_k$ . К статическим объектам



относятся объекты, положение которых не изменяется в процессе функционирования системы: агрегаты, турбины, печи, станки, емкости и т.д.;  $Ob^{Dm}$  – динамические объекты (объекты, которые могут изменять свое положение) –  $od \in Ob^{Dm}$ ,  $Dm_l: x_m, x_m \leq x_m^{opt}$ . Каждый объект из множества  $Ob^{Dm}$  характеризуется следующим набором параметров:  $o \in Ob^{Dm}: x_m$ . Подробно алгоритм рассмотрен в [12].

Метасистемный подход позволяет синтезировать метамоделли сложных систем (1)-(5), которые дают возможность вырабатывать и корректировать как цели функционирования систем, так и пути их достижения.

Метасистемный подход, обладающий когнитивным свойством можно считать некой разновидностью концептуального моделирования в части создания более иерархических формальных описаний предметных областей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-07-00336 «Развитие теории и применение метаэвристических моделей, методов и алгоритмов для трансвычислительных задач принятия оптимальных решений».

### Литература

1. Звягин Л.С. Метасистемный подход в экономике и управлении // Вопросы экономики и управления. 2016. №4. С. 6-11.
2. System of Systems Modeling and Analysis / James E. Campbell, Dennis E. Longsine, Donald Shirah, and Dennis J. Anderson. Springfield, VA, 2005, 135 p.
3. Бушуев В.В., Сокотущенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование. М: ИД «Энергия», 2016 164 с.
4. Tuukka Puranen. Metaheuristics Meet Metamodels. A Modeling Language and a Product Line Architecture for Route Optimization Systems. University of Jyväskylä. 2012. 270 p.



5. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.С. Ковалевский, С.А. Косяченко, Р.М. Нижегородцев, И.В. Чернов. М.: ИПУ РАН, 2002. 122 с.

6. Инновационное развитие социально-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования / Под ред. Г.В. Гореловой, Н.Д. Панкратовой. Киев: Наукова думка, 2015 – 464 с.

7. Ginis L.A., Gorelova G.V., Kolodenkova A.E. Cognitive and simulation modeling of development of regional economy system / // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. Vol. 6, No 5S, pp. 97-103.

8. Гинис Л.А. Методологические основы нечеткого когнитивного моделирования иерархических проблемно-ориентированных систем // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326)

9. Иванова Е.А., Трифонов А.А. Использование географических информационных систем для оптимизации профилактических мероприятий в области стоматологии // Инженерный вестник Дона, 2016, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/3645](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/3645).

10. Павлов С.В., Самойлов А.С. Проектирование структуры распределенной базы пространственных данных в сложно структурированных иерархических географических информационных системах // Инженерный вестник Дона, 2015, №1-1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2755).

11. Левонюк С.В. Совместное моделирование устройства сбора и обратимого сжатия измерительной информации в среде LabVIEW и в системе Multisim // Труды XII международной конференции «Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments-2013». Москва, 28-29 ноября 2013. С. 278-280.



12. Гинис Л.А., Гордиенко Л.В. Моделирование сложных систем: когнитивный теоретико-множественный подход. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 160 с.

### References

1. Zvyagin L.S. Voprosy jekonomiki i upravlenija. 2016. №4. pp. 6-11.
2. System of Systems Modeling and Analysis. James E. Campbell, Dennis E. Longsine, Donald Shirah, and Dennis J. Anderson. Springfield, VA, 2005, 135 p.
3. Bushuev V.V., Sokotushchenko V.N. Intellectual'noe prognozirovanie [Intellectual forecasting]. M: PH «Energiya», 2016. 164 p.
4. Tuukka Puranen. Metaheuristics Meet Metamodels. A Modeling Language and a Product Line Architecture for Route Optimization Systems. University of Jyväskylä. 2012. 270 p.
5. Stsenarnyy analiz dinamiki povedeniya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [Scenario analysis of dynamics of behavior of social and economic systems]. V.V. Kul'ba, D.A. Kononov, S.A. Kosyachenko, S.S. Kovalevskiy, R.M. Nizhegorodtsev, I.V. Chernov. Moscow: IPU Press, 2002. 122 p.
6. Innovatsionnoe razvitie sotsial'no-ekonomicheskikh sistem na osnove metodologiy predvideniya i kognitivnogo modelirovaniya [Innovative development of socio-economic systems based on foresight and cognitive modeling methodologies]. G.V. Gorelova, N.D. Pankratova. Kiev: Naukova dumka, 2015. 464 p.
7. Ginis L.A., Gorelova G.V., Kolodenkova A.E. Cognitive and simulation modeling of development of regional economy system. International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. Vol. 6, No 5S, pp. 97-103.
8. Ginis L.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326)





9. Ivanova E.A., Trifonov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 2.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/3645](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/3645)
10. Pavlov S.V., Samoylov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, № 1-1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2755)
11. Levonyuk S.V. Mezhdunarodnaya konferentsiya «Inzhenernye i nauchnye prilozheniya na baze tekhnologiy National Instruments-2013»: trudy (Proc. «NI technologies engineering and scientific applications-2013»). Moscow, 2013. pp. 278-280.
12. Ginis L.A., Gordienko L.V. Modelirovanie slozhnykh sistem: kognitivnyy teoretiko-mnozhestvennyy podkhod [Modeling of complex systems: cognitive set-theoretic approach]. Taganrog: SFEdU, 2016. 160 p.