

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

УДК 004.94

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-4

Жихарев А.Г.<sup>1</sup>  
Маматов Р.А.<sup>2</sup>

**СИСТЕМО-ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД  
В КОНТЕКСТЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, Белгород, 308012, Россия

<sup>2</sup> Управление Росгвардии по Белгородской области, ул. Преображенская, 60А, Белгород, 308009, Россия

*e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru*

### Аннотация

В статье рассматривается соотношение системно-объектного подхода и метода агентного имитационного моделирования. Проводится анализ основных структурных элементов и механизмов агентного подхода, на основании которого авторы предлагают новый способ формального описания агента средствами исчисления систем как функциональных объектов. Рассматривается структура агента в терминах вышеупомянутого исчисления и механизмы описания его поведения. Также рассмотрен модифицированный алгоритм системно-объектного имитационного моделирования с точки зрения построения агентной модели.

**Ключевые слова:** система, организационная система, метод системного анализа, агентный подход, имитационная модель.

**Для цитирования:** Жихарев А.Г., Маматов Р.А. Системно-объектный подход в контексте агентного моделирования // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №2, 2021. – С. 25-31. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-4

Zhikharev A.G.<sup>1</sup>  
Mamatov R.A.<sup>2</sup>

**THE RATIO OF THE SYSTEM-OBJECT AND AGENT-BASED  
APPROACHES TO THE CONSTRUCTION OF SIMULATION MODELS**

<sup>1</sup> Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russia

<sup>2</sup> Rosgvardia Directorate for the Belgorod Region, st. Preobrazhenskaya, 60A, Belgorod, 308009, Russia

*e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru*

### Abstract

The article discusses the relationship between the system-object approach and the method of agent-based simulation. The analysis of the main structural elements and mechanisms of the agent-based approach is carried out, on the basis of which the authors propose a new way of formal description of the agent by means of calculating systems as functional objects. The structure of an agent in terms of the above-mentioned calculus and mechanisms for describing its behavior are considered. A modified algorithm of system-object simulation modeling from the point of view of building an agent-based model is also considered.

**Keywords:** system, organizational system, system analysis method, agent-based approach, simulation model.

**For citation:** Zhikharev A.G., Mamatov R.A. The ratio of the system-object and agent-based approaches to the construction of simulation models // Research result. Information technologies. – Т.6, №2, 2021. – P. 25-31. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-4

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня, практически во всем мире можно наблюдать беспрецедентное развитие производственно-технологических секторов национальных экономик. Это связано с бурным развитием научно-технических отраслей, с возрастающими запросами со стороны потребления, да и пандемия, вызванная новой коронавирусной инфекцией, также внесла весомый вклад в роботизацию многих производственно-технологических систем. В тоже время, несправедливо говорить о том, что исключительно пандемия 2020-2021 года привела к сплошной роботизации производственных и организационно-деловых процессов. Естественно, это не так, этот процесс начался достаточно давно, еще в период появления первых технических средств автоматизации, однако пандемия послужила своего рода, катализатором процессов вытеснения человека из производственно-технологических и организационно-деловых процессов. Комплексная автоматизация и роботизация любых процессов, в том числе и производственно-технологических требует высокого уровня информационно-аналитического обеспечения, причем не только на этапах реорганизации процессов, но и на этапах, связанных с их эксплуатацией. Для создания такого информационно-аналитического обеспечения используются различные методы и технологии. К отдельной категории информационно-аналитического обеспечения процессов можно отнести методы построения имитационных моделей, позволяющих прогнозировать поведение той или иной системы при прочих равных условиях. Одним из, относительно, современных подходов является агентный подход [1], который показал себя эффективным инструментарием во многих областях народного и мирового хозяйства. В литературе [2-4] отмечается, что появление агентного моделирования связано, в первую очередь, с нарастающей сложностью моделируемых систем. Агентный подход позволяет моделировать поведение системы в целом за счет описания ее участников – агентов. Ключевой задачей агентного моделирования при исследовании систем является прогнозирование поведения системы за счет моделирования децентрализованных агентов, участвующих в реализации функционального запроса надсистемы. Здесь можно выявить противоречие с точки зрения общей теории систем. Противоречие заключается в том, что система – есть целостный объект, в то время как агентное моделирование представляет моделируемую область в виде децентрализованных агентов. В этом, по мнению авторов, заключаются ключевые проблемы, связанные с использованием агентного подхода, касающиеся, в свою очередь, методов и подходов к построению агентных систем. В связи с вышесказанным, актуальной является задача создания методологии агентного моделирования, позволяющей ввести конкретные формальные правила описания агентов как составных частей моделируемой системы, при этом методология должна обеспечивать учет общесистемных принципов и закономерностей.

## **МЕТОДЫ**

Рассмотрим метод системно-объектного имитационного моделирования в контексте агентного подхода.

Ранее авторским коллективом был разработан системно-объектный метод представления организационных знаний [5], который в дальнейшем получил развитие в качестве метода системно-объектного имитационного моделирования [6].

С формальной точки зрения системно-объектная модель любой предметной области может быть представлена комбинацией УФО-элементов, базовой иерархией связей [7] предметной области и множеством связей УФО-элементов [8], таким образом, системно-объектная модель, с формальной точки зрения, может быть определена тремя компонентами:

- (потокные объекты системы) иерархия связей системы;
- узловые объекты системы;
- связи системы.

Потоковый объект системно-объектной модели – частный случай объекта в терминах теории объектов [9], представляющий собой именованный набор свойств реального объекта моделируемой предметной области. Например, потоковый объект, описывающий «жидкость», скорее всего, будет иметь такие поля (свойства), как: плотность, температура, цвет и т.п. Набор существенных свойств моделируемого объекта реального мира будет зависеть от целей моделирования.

Узловой объект системно-объектной модели – именованный объект в терминах теории объектов [9], представляющий собой формальное определение системы моделируемой предметной области. Узловой объект содержит две группы полей: поля, описывающие интерфейсные характеристики (узел); поля, описывающие объектные характеристики (объект). Кроме того, в качестве метода узлового объекта выступает функция системы (функция).

Связь системы – именованное ребро, связывающее два узловых объекта предметной области.

Далее рассмотрим формальное определение компонентов системно-объектной модели. Системно-объектная модель  $M$  имеет вид, как показано в выражении 1.

$$M = \langle L, S, C \rangle, \quad (1)$$

где:

- $L$  – множество потоковых объектов модели  $M$  (иерархия связей системно-объектной модели);
- $S$  – множество узловых объектов модели  $M$ ;
- $C$  – множество связей системно-объектной модели  $M$ .

Множество потоковых объектов содержит, во-первых, базовую иерархию связей – статическая часть множества (неизменна для любой системно-объектной модели), во-вторых, потоковые объекты моделируемой предметной области (динамическая часть множества).

В общем виде множество потоковых объектов имеет следующее определение:

$$L = \{l | l = [r_1, \dots, r_n]\}, \quad (2)$$

где:  $l$  – представляет собой именованный потоковый объект, который, в свою очередь содержит множество пар  $r_n$  следующего формата – «идентификатор: значение».

Следует отметить, что множество  $L$  содержит, фактически, именованные множества, представляющие собой потоковые объекты, причем, размеры потоковых объектов (мощности множеств  $l$ ) разные, в зависимости от моделируемого объекта предметной области и количества выделенных существенных его свойств.

Таким образом, множество  $L$  складывается из двух подмножеств: множество базовых потоковых объектов (статическая часть иерархии потоковых объектов) и множество потоковых объектов предметной области (динамическая часть иерархии потоковых объектов). Таким образом любое множество потоковых объектов имеет следующую структуру:

$$L = (l_p, l_e, l_d, l_c, l_1, \dots, l_n), \quad (3)$$

где:  $l_p$  – потоковый объект родитель, представляющий собой класс вещественных объектов;  $l_e$  – потоковый объект родитель, представляющий собой класс энергетических объектов;  $l_d$  – потоковый объект родитель, представляющий собой класс информационных объектов;  $l_c$  – потоковый объект родитель, представляющий собой класс информационных управляющих объектов.  $n$  – количество потоковых объектов системно-объектной модели.

Далее в рассматриваемых формализмах первая часть множества потоковых объектов будет опущена, так как она неизменна для любой системно-объектной модели.

Множество узловых объектов  $S$  соответствует множеству систем как УФО-элементов. Система как УФО-элемент представляет собой триединую конструкцию, где должны быть учтены структурные характеристики системы, определяющиеся перекрестком входящих и исходящих связей системы. Таким образом, структурные характеристики системы, представляют собой интерфейс системы, за счет которого она может рассматриваться в контексте некоторой

надсистемы. Функциональные характеристики системы определяются запросом надсистемы – внешняя детерминанта системы, которая формально представлена как раз в виде интерфейса УФО-элемента (далее – узловой объект). Также функциональная характеристика определяется конкретными процедурами преобразования входных связей узлового объекта в выходные. Объектные характеристики узлового объекта представляют собой набор параметров той субстанции, которая реализует функцию узлового объекта. Таким образом, множество узловых объектов системно-объектной модели представлено в следующем формальном виде:

$$S = \{s_1, \dots, s_n\}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество узловых объектов (систем);  $s_n$  – узловой объект.

Для учета в формальном аппарате исчисления систем как функциональных объектов контекста системы, введем во множество узловых объектов специальный элемент, представляющий собой контекст моделируемой системы, далее такой узловой объект будем обозначать с нижним индексом «*kontext*» –  $s_{kontext}$ . Такой узловой объект является «черным ящиком» с точки зрения моделирования, однако его необходимо учитывать, так как именно контекст системы определяет ее внешнюю детерминанту, которая в модели представлена входящими и исходящими потоковыми объектами первого уровня. Таким образом, множество узловых объектов системно-объектной модели всегда будет включать контекстный узловой объект.

Каждый  $n$ -й элемент множества  $S$  представляет собой специальный узловой объект (соответствующий конкретной системе/УФО-элементу), который в соответствии с исчислением объектов Абади-Кардели состоит из полей и метода и имеет следующий вид:

$$s_n = [U, f, O], \quad (4)$$

где:  $U$  – представляет собой множество полей для описания интерфейсных потоковых объектов узлового объекта  $s_n$  (порты узлового объекта), соответствующих множеству функциональных связей моделируемой системы. Множество  $U$ , в свою очередь можно разделить на два подмножества: подмножество потоковых объектов, которые выступают в качестве входных портов и подмножество потоковых объектов, выступающих в качестве выходных портов узлового объекта, таким образом:

$$U = L? \cup L!, \quad (5)$$

где  $L?$  – представляет собою множество входящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих входящим связям системы,  $L!$  – представляет собою множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих исходящим связям системы.

Функция в выражении (4)  $f$  – представляет собой метод узлового объекта  $s_n$ , описывающий процесс преобразования ресурсов, поступающих посредством входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы)  $L?$  в выходящие –  $L!$ . Далее метод узлового объекта будем представлять в виде функции от множества входящих потоковых объектов:

$$f(L?)L! \quad (6)$$

$O$  – представляет собою множество полей для описания объектных характеристик узлового объекта (системы)  $s_n$ , элементы которого имеют формат «идентификатор: значение».

Т.е. множество  $O$  можно понимать, как набор полей узлового объекта. Причем, поля узлового объекта можно условно поделить на три группы: первая группа – характеризует входные порты узлового объекта (например, пропускная способность входящего порта), вторая группа характеризует выходные порты узлового объекта (например, пропускная способность исходящего порта), третья группа – характеризует объект, участвующий в реализации метода узлового объекта. Таким образом, множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств:

$$O = O? \cup O! \cup Of, \quad (7)$$



где: множество полей  $O?$  содержит параметры, характеризующие входы системы,  $O!$  – множество параметров, характеризующих выходы системы и  $Of$  – множество параметров, характеризующих объект, участвующий в реализации функции системы. С формальной точки зрения, перечисленные множества объектных характеристик содержат постоянные величины, задействованные в описании функции узла.

Принимая во внимание описанные выше компоненты узлового объекта, выражение (4) можно записать в следующем уточненном виде:

$$s_n = [L?, L!, f(L?)L!, O?, O!, Of] \quad (8)$$

Для учета внутренних связей системы в определение системно-объектной модели вводится множество  $C$ , где содержатся все связи между узловыми объектами. Каждая связь, характеризуется, как минимум тремя компонентами: источник связи – экземпляр узлового объекта, для которого связь выступает в качестве исходящей; получатель связи – экземпляр узлового объекта, для которого связь выступает в качестве входящей; тип связи – экземпляр потокового объекта. Таким образом, множество связей системно-объектной модели определим следующим образом:

$$C = \{(s_{out}, s_{in}, l) | s_{out} \in S, s_{in} \in S, l \in L\}, \quad (9)$$

где:  $s_{out}$  – экземпляр узлового объекта – источника связи;  $s_{in}$  – экземпляр узлового объекта – получателя связи;  $l$  – тип связи между указанными выше узловыми объектами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Ключевым понятие в рамках агентного подхода является агент – представляющий собой децентрализованную модель объекта реального мира. Агент, в свою очередь, имеет следующие характеристики [10]:

- идентификатор;
- характеристики, определяющие поведение агента;
- правила поведения агента;
- связь с другими агентами системы;
- механизмы принятия решения по взаимодействию с другими агентами;
- внешняя среда агента;
- цель существования и функционирования.

Из перечисленных характеристик можно увидеть взаимосвязь терминов «агент» и «система». В терминах системно-объектного подхода, любого агента представим в виде узлового объекта, как показано в выражении 8. Тогда системно-объектная агентная модель может быть представлена как обычная системно-объектная модель (выражение 1). Структура такой модели может быть следующей:

- $L$  – множество потоковых объектов модели  $M$  (виды возможных связей между агентами);
- $S$  – множество агентов модели  $M$ ;
- $C$  – множество связей между агентами модели  $M$ .

Таким образом, каждый агент системно-объектной модели может быть однозначно идентифицирован через соответствующее множество. В качестве характеристик, определяющих поведение агента выступают объектные характеристики узлового объекта, определяющие его функциональность. Правила поведения агента могут быть описаны в рамках метода узлового объекта. Механизмы принятия решений по взаимодействию с другими агентами могут быть представлены в виде интерфейса узлового объекта и его метода. Связи с другими агентами соответствуют обычным связям между узловыми объектами. Внешняя среда агента может быть представлена специальным контекстным узловым объектом, определяющим общие правила поведения агентов. Цель существования и функционирования агента можно представить как в

некотором числовом виде (например, конкретные значения определенных его характеристик), либо как внешняя детерминанта системы.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный выше анализ показывает, что средства системно-объектного подхода к построению имитационных моделей содержат все необходимое для реализации агентных моделей. Таким образом, становится возможным применение метода и алгоритмов системно-объектного моделирования в описании агентов. Это позволит сформулировать конкретный метод описания агентов предметной области, учитывая при этом общесистемные принципы и закономерности.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Исследования выполнены при финансовой поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 19-07-00290, 19-07-00111.

### **Список литературы**

1. Bonabeau Eric Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Proc. National Academy of Sciences. 2002. № 99(3). P 7280-7287.
2. Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P. Innovation Networks – A Simulation Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001. Vol. 4. № 3.
3. Macal C., North M. Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation // Journal of Simulation. 2010. Vol. 4. P. 151–162.
4. Cederman L. Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolve. Princeton University Press. 1997.
5. Matorin S., Zhikharev A., Zimovets O. Object Calculus in the System–Object Method of Knowledge Representation. Scientific and Technical Information Processing. 2018. 45(5). P 307–316.
6. Matorin S., Zhikharev A. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. 679. P. 182–191.
7. Zhikharev A., Matorin S., Tinyakov O., Shcherbinina N., Migal L. Formalization of system-object method of knowledge representation by calculation of systems as functional objects. Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1801(1). 012025.
8. Zhikharev A., Matorin S., Egorov I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. 10(10). P. 1806–1812.
9. Abadi M., Cardelli L. A Theory of Objects. New York: Springer-Verlag. 1996.

### **References**

1. Bonabeau Eric Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Proc. National Academy of Sciences. 2002. № 99(3). P 7280-7287.
2. Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P. Innovation Networks – A Simulation Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001. Vol. 4. № 3.
3. Macal C., North M. Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation // Journal of Simulation. 2010. Vol. 4. P. 151–162.
4. Cederman L. Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolve. Princeton University Press. 1997.
5. Matorin S., Zhikharev A., Zimovets O. Object Calculus in the System–Object Method of Knowledge Representation. Scientific and Technical Information Processing. 2018. 45(5). P 307–316.
6. Matorin S., Zhikharev A. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. 679. P. 182–191.
7. Zhikharev A., Matorin S., Tinyakov O., Shcherbinina N., Migal L. Formalization of system-object method of knowledge representation by calculation of systems as functional objects. Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1801(1). 012025.

8. Zhikharev A., Matorin S., Egorov I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. 10(10). P. 1806–1812.

9. Abadi M., Cardelli L. *A Theory of Objects*. New York: Springer-Verlag. 1996.

**Жихарев Александр Геннадиевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Маматов Роман Александрович**, старший инспектор отделения организации службы ОМОН, Управление Росгвардии по Белгородской области

**Zhikharev Alexander Gennadievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Automated Systems Software

**Mamatov Roman Aleksandrovich**, Senior Inspector of the Department of Organization of the OMON Service, Rosgvardia Directorate for the Belgorod Region