

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ И КОРТЕЖНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АУТОПОЭТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ульянова Е.А.

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Екатеринбург,  
e-mail: uralsertif@inbox.ru

Статья посвящена описанию аутопоэтических систем на основе системного подхода к математическому моделированию. В ходе работы была исследована проблематика аутопоэтических систем, показавшая неполноту существующих описаний с учетом их двойственности. В результате концептуального моделирования разработан пакет моделей, состоящий из общей, базово-уровневой и модификационной моделей. В работе рассматривается кортежное моделирование. Общий вид иерархии кортежных моделей представлен в виде графа, на котором отмечены типы моделей, участвующих в построении математических моделей аутопоэтических систем.

**Ключевые слова:** аутопоэтические системы, двойственность, концептуальные модели, кортежные модели, экономический конструктивизм

## THE CONCEPTUAL AND TUPLE MODELING OF AUTOPOIETIC SYSTEMS

Ulianova E.A.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin»,  
Ekaterinburg, e-mail: uralsertif@inbox.ru

The article is devoted to system description of autopoietic systems by the methods of systems approach to mathematical modeling. During the work there was investigated the problem of the term of autopoietic systems. The problem of this term showed the imperfection of existing descriptions with a glance of their duality. In the result of conceptual modeling was developed the set of models, consisted of general, basic-level and modification models. In the article was considered the tuple modeling. Overview of hierarchy of tuple models was presented as a graph, in which were marked the types of models involved in mathematical models of autopoietic systems.

**Keywords:** autopoietic systems, duality, conceptual models, tuple models, economic constructivism

В настоящее время заметно увеличилось количество публикаций, посвященных проблеме саморазвития территориальных (региональных и муниципальных) экономических систем. В то же время обсуждение этой проблемы не выходит за рамки теоретико-методологического осмысления соответствующих сценариев стабильно устойчивого развития [1].

Согласно основам экономического конструктивизма [2], саморазвитие экономической системы предполагает наличие некоторого внутреннего стимула и кругообразного (циклического) процесса в масштабах всей системы. В науке кругообразные процессы описываются теорией аутопоэза. «Аутопоэзис» – термин, означающий «самопродуцирование», «самостроительство», «самосозидание».

Впервые понятие «аутопоэзис» было введено в 1973 г. У. Матураной и Ф. Варелой – чилийскими нейробиологами с целью описания феномена жизни как явления, свойственного открытым, самовозобновляющимся системам. Несмотря на первоначальную сугубо биологическую направленность теории аутопоэзиса, она имеет перспективы междисциплинарного применения. Они используются в концепциях психологии, исследовании социальных процессов, теории

искусственного интеллекта, развитии новых информационных технологий.

В настоящее время потенциал данной теории в исследовании экономических систем еще недостаточно реализован. Поэтому для изучения и дальнейшего использования явления аутопоэтических систем применительно к экономике необходимо дать точное определение аутопоэтической системы, построить её математические модели. Для этого используем системный подход к математическому моделированию, состоящий из 11 этапов [3]. В данной работе рассмотрим первые три из них: постановка задачи (проблематика), концептуализация (построение концептуальных моделей), спецификация (построение кортежных моделей).

**Проблематика определения термина «аутопоэтические системы».** Первым этапом системного подхода к моделированию является постановка задачи, включающая выявление объекта системного исследования. На этом этапе проводят поиск и анализ существующих описаний системы (как правило – вербальных) по всем доступным источникам: словарям, энциклопедиям, оригинальным работам.

Предварительный анализ литературы показал, что аутопоэтические системы являются двойственными [4]. Двойственность прояв-

ляется в одновременном функционировании аутопоэтической системы как открытой системы – взаимодействие с окружающей средой, и закрытой системы – организационно замкнутым взаимодействием компонентов системы между собой. Поэтому подробное изучение описаний аутопоэтических систем в литературе и оценка полноты существующих определений [3] проводились с учетом их двойственного характера.

Анализ литературы, посвященной исследованию аутопоэтических систем, показал возможность различных вариантов написания изучаемого явления: аутопоэтические системы, автопоэтические системы, аутопойетические системы. Такое разногласие связано, прежде всего, со спецификой перевода, а затем с отсутствием общепринятого термина. В данной работе будет использоваться название аутопоэтические системы.

Поиск информации об аутопоэтических системах в сети Интернет привел к следующим результатам: ответы на запрос «аутопоэтические системы» – 320 ссылок в Google и 794 – в Яндекс; к запросу «аутопойетические системы» относилось почти 448 ссылок в Google и 970 – в Яндекс; на запрос «автопоэтические системы» – 591 ответ в Google и 1284 – в Яндекс. Однако необходимо учитывать, что поиск в специальных поисковых системах осуществляется автоматически как по всему словосочетанию, так и по словам в отдельности, поэтому количество ссылок на источники с требуемой информацией об аутопоэтических системах составляют порядка 5% от общего количества результатов поиска.

Результаты поиска, как правило, относились к научным статьям, тезисам докладов, оригинальной и переводной литературе, посвященной исследованию аутопоэтических систем.

Также был проведен поиск информации по запросам «самовоспроизводящаяся система», «самоорганизующаяся система», «гиперцикл», «самореферентная система», «гомеостаз», «трофические цепи» и их производные.

При исследовании существующих описаний предъявлялись требования в подробном рассмотрении обоих аспектов двойственности, а также наличия ответов на следующие пять вопросов [3]: основные функции системы (Ф), структурная основа (С), пути реализации основных функций (П), направленность функционирования (Н), цель/результат (Р).

На следующем этапе были проанализированы оригинальные источники – научные статьи и книги. Однако в просмотренной литературе четких определений термина «аутопоэтическая система» выявлено не было. Все источники содержат описание таких систем применительно к своей сфере исследований. Оно используется в различных сферах научной деятельности: биологии, философии, социологии, лингвистике и др. В каждой из них данный термин рассматривается в соответствии со своей спецификой.

Результаты расчета полноты описаний и средней полноты определений существующих описаний с учетом предъявляемых к определению требований в соответствии с предметной спецификой приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

Полнота описаний аутопоэтических систем с учетом предметной специфики

№ п/п	Предметная область	Аспект двойственности	Ответы на вопросы	Полнота описаний, %
1	Нейрофизиология	Закрытый	Ф, С, П	30
2	Биология	Открытый	Ф, С, П, Р	40
3	Философия	Закрытый	Ф, С, П, Н, Р	50
4	Теория организации	Закрытый	Ф, С, П, Н, Р	50
5	Социология	Закрытый	Ф, С, П, Р	40
6	Средняя полнота определений, %		42	

Основная цель сравнения, приведенного в табл. 1 – показать существенную неполноту принятых внутри каждого предмета определений. Ни в одном описании аутопоэтических систем не рассматриваются оба аспекта двойственности. В результате, показатели полноты описаний и средней полноты определения составляют не больше 50%. Поэтому для исследования аутопоэтических систем, прежде всего, необходимо форма-

лизовать их описание – составление пакета концептуальных и кортежных моделей [5].

**Пакет концептуальных моделей.** Следующим после проблематики этапом системного подхода к математическому моделированию является концептуализация. Разработка общих концептуальных моделей аутопоэтической системы позволит представить их наиболее полное определение. Таким образом, будут описаны необходи-

мые и достаточные условия аутопоэтичности систем на вербальном уровне. Результатом концептуального моделирования должен стать пакет концептуальных моделей трех основных типов:

- общая, связывающая основные понятия и инвариантная к предметной области, техническому уровню реализации и др.;

- базово-уровневая, раскрывающая содержание основных понятий общей модели с учетом современного научно-технического уровня реализации процесса;

- модификационная, описывающая особенности процесса в каждой конкретной системе (т.е. для каждой конкретной системы – отдельная модель).

В данной статье рассмотрены общая и базово-уровневая концептуальные модели аутопоэтической системы. С модификационной моделью, уточняющей понятия базово-уровневой модели аутопоэтической системы в экономике применительно к конкретной системе – Притобольному району

Курганской области, можно познакомиться в работе [6].

Общая концептуальная модель: аутопоэтическая система – это динамическая автономная система, основной функцией которой является самовоспроизводство системой своих компонентов и структуры связей между ними, путем взаимного обмена продуктами жизнедеятельности компонентов, изменения компонентов под воздействием изменений в окружающей среде, а также формирования сети связей между ними, структурной основой которой является сопряжение двойственных подсистем – открытой и закрытой, направленная на поддержание постоянства организации системы как некоторого единства в пространстве и во времени, с целью выживания системы как единого целого.

Для полноты описания аутопоэтической системы рассмотрим общие концептуальные модели обоих аспектов двойственности: открытой и закрытой подсистем. Для удобства сравнения этих моделей они сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица концептуальных моделей закрытой и открытой подсистем аутопоэтической системы

№ п/п	Критерий сравнения	Закрытая подсистема	Открытая подсистема
1	Функция	Поддержание процесса аутопоэза – самовоспроизводства системы	Поддержка жизнеобеспечения системы
2	Путь реализации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Образование пространственно неразрывной сети взаимодействий компонентов системы;</li> <li>• Потребление внутренних ресурсов системы;</li> <li>• Изменение внутренних связей в системе в ответ на изменения в окружающей среде</li> </ul>	Обмен энергией и веществом с окружающей систему средой
3	Основа (структура)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Совокупность компонентов системы.</li> <li>• Связи между компонентами системы, определяющие логику и технологию функционирования компонента.</li> <li>• Внутренние ресурсы системы, потребляемые компонентами системы при реализации своих функций.</li> <li>• Продукты функционирования компонентов системы, потребляемые компонентами внутри системы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Компоненты системы, граничащие с окружающей средой.</li> <li>• Связи между компонентами системы.</li> <li>• Внешние ресурсы, потребляемые компонентами системы для поддержания своего жизнеобеспечения.</li> <li>• Продукты функционирования компонентов системы, выводимые за границу системы.</li> <li>• Потери компонентов системы и системы в целом, появляющиеся в результате функционирования компонентов</li> </ul>
4	Направленность	Удовлетворение потребностей всех компонентов системы, приспособление системы к изменениям во внешней среде	Поддержание энергетического и материального баланса между системой как единого целого и окружающей средой
5	Цель	Поддержание постоянства организации системы	Поддержание постоянства организации системы

Базово-уровневая концептуальная модель: аутопоэтическая система в экономике – это динамическая автономная система, основной функцией которой является самовоспроизводство экономической аутопоэти-

ческой системой своих компонентов (предприятий и домашних хозяйств) и структуры связей между ними путем взаимных прямых и косвенных поставок продукции и услуг предприятий и домашних хозяйств,

их трансформаций под воздействием изменений в окружающей среде, а также формирования сети связей между ними, структурной основой которой является сопряжение двойственных подсистем – открытой и закрытой, направленная на удовлетворение потребностей предприятий и домашних хозяйств и поддержание постоянства структуры системы как некоторого единства в пространстве и во времени, с целью поддержания постоянства организации и выживания системы как единого целого.

Таким образом, к началу следующего этапа имеем объект системного исследования определенной структуры, а также его концептуальную модель.

**Кортежное моделирование** является следующим этапом перехода от вербальных описаний системы к записи ее модели в математической форме. На этом этапе происходит создание системной модели и составляется спецификация – полный перечень моделей, описывающих систему.

Модель аутопоэтической системы АС представляет собой совокупность следующих четырех моделей:

$$АС = \langle \text{Морф}, \text{Пов}, \text{Упр}, \text{Разв}; R \rangle \quad (1)$$

где Морф – модель морфологии; Пов – модель поведения; Упр – модель управления;

$$\text{МОС} = \langle \{\text{МКос}\}, \{\text{МРос}\}, \{\text{МПос}\}; \text{RMос} \rangle \quad (3)$$

матрица  $\text{RMос}$  связывает модели морфологии составляющих (Кос, Рос, Пос) в единую подсистему МОС. Модель морфологии каждой из данных составляющих является множеством моделей ин-

$$\{\text{МКос}\} = \langle \text{МКос}1, \dots, \text{МКос}i, \dots, \text{МКос}N, \text{RMКос}1..N \rangle \quad (4)$$

(В дальнейшем знак множества будем опускать).

$\text{RMКос}1..N$  – матрица связей между компонентами открытой подсистемы, определяющая взаимосвязь компонентов подсистемы как совокупности.

Модель морфологии каждого элемента может быть расписана еще более детально,

$$\text{МЗС} = \langle \{\text{МКзс}\}, \{\text{МРзс}\}, \{\text{МПзс}\}; \text{RMзс} \rangle \quad (5)$$

матрица  $\text{RMзс}$  связывает модели морфологии составляющих (Кзс, Рзс, Пзс) в единую подсистему МЗС. Модели морфологии каждого компонента закрытой подсистемы расписываются аналогично моделям морфологии компонентов открытой подсистемы: компоненты закрытой подсистемы Кзс – элементы, связанные между собой внутренними связями, ресурсы закрытой подсистемы Рзс – внутренние ресурсы, потребляемые компонентами закрытой подсистемы, продукты компонентов закрытой

Разв – модель развития (жизненного цикла); R – матрица связей между ними.

В данной работе ограничимся рассмотрением подробного описания модели морфологии аутопоэтической системы.

**Модель морфологии** аутопоэтической системы Морф образуется совокупностью моделей морфологии двух подсистем (аспекты двойственности аутопоэтической системы): открытой подсистемы (ОС) – открытая, с точки зрения обмена энергией и веществом системы с окружающей её средой, и закрытой подсистемы (ЗС) – операционально замкнутая система, состоящая из сети взаимосвязанных компонентов:

$$\text{Морф} = \langle \{\text{МОС}\}, \{\text{МЗС}\}; \text{RM} \rangle \quad (2)$$

матрица  $\text{RM}$  связывает морфологические модели двойственных частей системы.

Модель морфологии открытой подсистемы МОС образуется совокупностью моделей морфологии трех основных составляющих: компонентов подсистемы (Кос) – элементы, имеющие связи с окружающей систему средой, ресурсов (Рос) – внешние ресурсы, необходимые для функционирования компонентов (материальные и энергетические), продуктов (Пос) – результаты функционирования компонентов подсистемы, выводимые за границу системы:

дивидуальных элементов. Например, для МКос определяется совокупностью моделей морфологии каждого элемента  $\text{МКос}i$  ( $i = 1..N$ ), связанных матрицей  $\text{RMКос}1..N$ :

но в данной работе эту декомпозицию приводить не будем.

Модель морфологии организации закрытого аспекта двойственности – закрытой подсистемы МЗС образуется совокупностью моделей морфологии трех основных составляющих (аналогично модели морфологии открытой подсистемы):

подсистемы Пзс – продукты функционирования компонентов системы, потребляемые внутри системы. Таким образом, для закрытой подсистемы Пзс и Рзс совпадают.

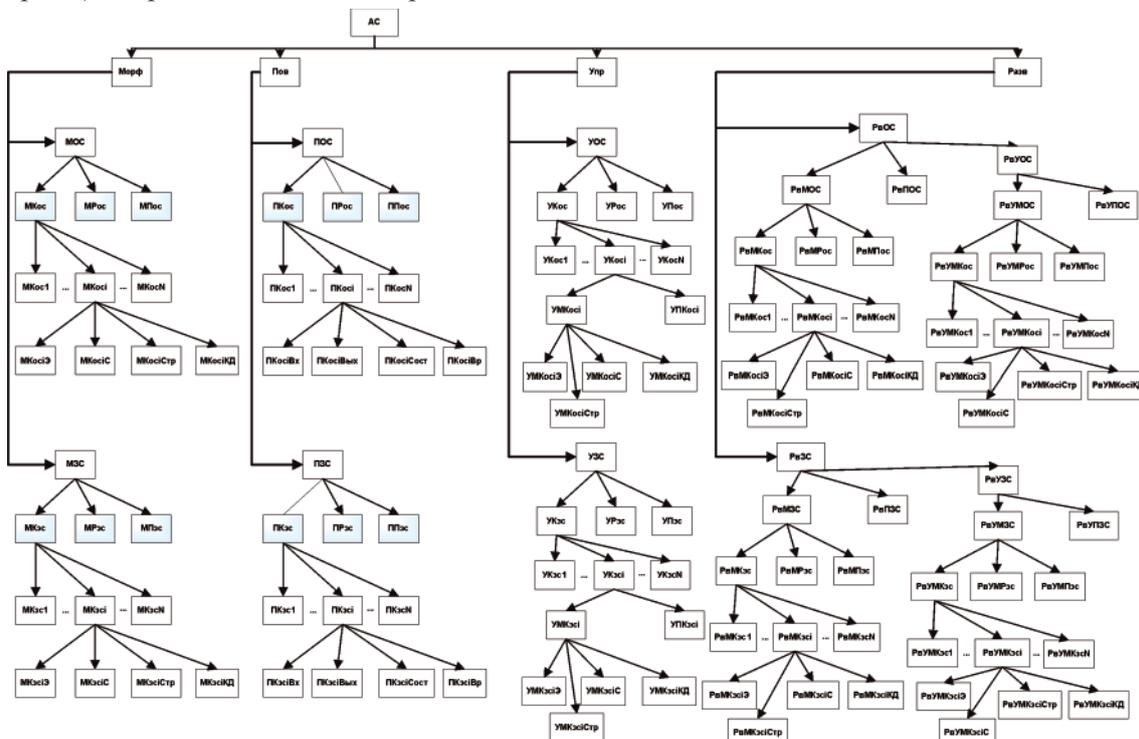
При этом составляющие моделей морфологии закрытой и открытой подсистем могут совпадать, например Кос и Кзс.

Подробное описание моделей Пов, Разв, Упр аспектов двойственности – открытой и закрытой подсистем аутопоэтической системы строятся по аналогии с моделью морфологии и в данной работе не приводятся.

Общий вид иерархии кортежных моделей представлен в виде графа на рисунке.

Кортежные модели составлены с точки зрения моделировщика. Детализация предметного аспекта кортежных моделей, представленного в виде графа, завершена на уровне отдельных элементов системы (конкретных компонентов, ресурсов, продуктов, среды) и представляет собой организован-

ную совокупность 72 типов моделей систем различной степени общности, описываемых 240 типами характеристик (каждый из типов допускает дальнейшую кортежную детализацию вплоть до элементарных правил, структур и др.). На графе отмечены типы моделей, участвующих при дальнейшем математическом моделировании аутопоэтических систем.



Иерархия кортежных моделей аутопоэтической системы. Обозначения вершин графа соответствуют сокращениям в тексте

### Заключение

В ходе работы посредством системного подхода к математическому моделированию было исследовано понятие «аутопоэтические системы». Первым этапом проведен анализ существующих описаний данного понятия на предмет полноты определения. Одним из фундаментальных отличий аутопоэтической системы от других систем является её двойственность: одновременное существование открытой и закрытой систем. В результате поиска информации оказалось, что в существующей литературе общее полное (системное) описание аутопоэтической системы отсутствует. Поэтому следующим этапом исследований было составление общей концептуальной модели, вербально описывающей рассматриваемое явление. Для перечисления всех составных частей системы была составлена кортежная модель, аспекты которой легли в основу математической модели аутопоэтической системы.

### Список литературы

1. Татаркин А.И., Татаркин Д.А. Саморазвивающиеся территориальные экономические системы: диалектика фор-

мирования и функционирования // Экономика и управление. – 2010. – № 1 (51). – С. 8–15.

2. Попков В.В. Концептуально-теоретические основы экономического конструктивизма. Препринт #IBU/2/2010. – Екатеринбург: МИАБ, 2010. – 74 с.

3. Гольдштейн С.Л., Ткаченко Т.Я. Введение в системологию и системотехнику. – Екатеринбург: ИРРО, 1994. – 198 с.

4. Попков В.В. Двойственность: концепция и структура познавательной модели // Системный подход к современной науке. – М.: Прогресс-Традиция, 2004.

5. Коробейников Е.В., Гольдштейн С.Л. Концептуальные модели политической деятельности холдинговой компании «Атомпромкомплекс» // Интеллектика. Логистика. Системология: Сб. тр. – Вып. 3. – Челябинск: Изд-во Т. Лурье, 2000. – 55–58 с.

6. Попков В.В. Порывкин Е.А. Ульянова Е.А. Альтернативные средства расчетов: от перспектив к реальности / Вестник Уральского отделения РАН «Наука, общество, человек». – Екатеринбург: УРО РАН, 2009. – №1 (27). – С. 103–115.

### Рецензенты:

Попков В.В., д.э.н., профессор, директор АНО «Международный институт Александра Богданова», г. Екатеринбург;

Берг Д.Б., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 04.04.2011.