

УДК [338.24]:[330.46]

## ЭВОЛЮЦИЯ НАУКИ О СИСТЕМАХ

Люлин П.Б.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург e-mail: p\_lulin@mail.ru

Статья раскрывает этапы эволюции науки о системах, начиная с появления системной теории до современных представлений о системах. Рассматриваются труды классиков науки, таких как Л. фон Бергаланфи, Г. Хакен, Х. фон Форстер, Дж.Г. Миллер, У. Матурана, а также результаты работы современных научных сообществ. Кроме того, в работе приведены математические аспекты понятия система, в том числе математические записи различных моделей: от простых до сложных. Особое место уделяется перспективным исследованиям, посвященные живым системам: теория живых систем и автопоэзия концепция. Основываясь на том факте, что системы, состоящие из живых и неживых элементов, ведут себя различно, в статье показывается переход от исследования систем как механизмов до изучения живых систем.

**Ключевые слова:** теория систем, сложные системы, живая система, самоорганизующиеся и открытые системы, концепция автопоэзиса

## EVOLUTION OF SYSTEMS SCIENCE

Lulin P.B.

FSBEI HPO «St.Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», Saint-Petersburg, e-mail: p\_lulin@mail.ru

Article describes stages of scientific evolution of systems science from system theory appearing to modern image about systems. Works of classic scientists such as: L. von Bertalanffy, H. Haken., H. von Forster, J.G. Miller, U. Maturana and results of modern science societies. Additionally, the paper presents the mathematical aspects of the concept system, including records of various mathematical models, from simple to complex ones. Special attention paid to perspective researches, devoted to living systems: theory of living systems, autopoiesis concept. On base of fact, that systems constituted from living and non-living elements, are behaving different ways, in article change-over from researching systems as mechanism to examination of living systems describes.

**Keywords:** system theory, complex systems, living system, self-organizing and open systems, autopoiesis concept

Мысль о системности, теория и понятие системы как таковой под разными названиями – системный подход, системная идеология и др. – надёжно заняла своё место в современной научной парадигме. На сегодняшний день существует множество системных теорий, но так как система, как правило, отождествляется с целостностью, любые попытки сформулировать единую системную концепцию, которая будет безоговорочно признана во всем научном мире, так и не увенчалась успехом. Несмотря на то, что научное мышление по определению системно, крайне затруднительно объединить в одно целое результаты работы Р. Акофа, Ю.А. Урманцева, У.Р. Эшби, Л. фон Бергаланфи, В.Н. Садовского, Дж. Клира, Л. Заде, А.И. Уёмова, М. Месаровича, А. Раппопорта, Б.С. Флейшмана и многих других.

История развития определения системы описывается во многих научных работах. До XX века не было чёткого представления о системе, не стоял вопрос об отличии системы от того, что системой не является, также не определялись чёткие границы системы. Как следствие, сообщество научного мира поделилось на две группы. Одна из них пытается осмыслить понятие системы с точки зрения философии. Вторая же группа положила в основу практическое испол-

зование системной методологии и пытается выработать понятие системы с общенаучной точки зрения, которая обширно представлена в системном движении за рубежом (Дж. Клир, У.Р. Эшби и др.).

Исходя из сказанного, остановимся более подробно на том, что же такое термин система в современном понимании. На сегодня в научном сообществе понятие система используется для характеристики сложного, но вместе с тем единого объекта, о котором невозможно дать представление сразу, например, изобразив в графике или представив в виде математического выражения (уравнения, формулы и пр.). А следовательно, понятие системы рассматривают как совокупность нескольких элементов и прослеживают связи между ними [1, с. 62–63].

Само понятие системы как таковой можно охарактеризовать с точки зрения математического выражения и формально представить в виде:

$$S = \left[ \{a_i\} \& \{r_j\} \right]; \quad (a)$$

$$\text{def } a_i \in A \quad r_j \in R.$$

Эта запись в полной мере отображает тот факт, что система не является совокупностью нескольких элементов и связей разного рода, а включает в себя исключи-

тельно те связи, которые лежат в области пересечения (&) элементов между собой.

Если же элементы, входящие в систему, имеют неоднородный характер, то логично выделить такие в разные множества. На примере работы М. Месаровича видно, что входные элементы выделяются как множество  $X$ , а выходные результаты представлены как множество  $Y$ , вместе с тем между входными и выходными элементами устанавливаются пересечения, которые представлены в следующем виде:

$$s \subseteq X \& Y. \quad (б)$$

Уточнение элементов и связей в определении системы включает в себя свойства ( $Q_A$ ), которые представлены в формуле:

$$S_{def} = \langle A, Q_A, R \rangle. \quad (в)$$

Здесь поясним, что, как правило, элементы и компоненты понимают как синонимы, но подчеркнём, что в отличие от элементов, компоненты – более общее (расплывчатое) понятие, и иногда под компонентами понимают совокупность элементов.

Теперь же обратимся к работе А.И. Уёмова, в которой наглядно видим, что автор заметно расширил рамки определения, рассмотренного выше, и дополнил его: помимо свойств ( $q_i$ ), которые характеризуют элементы ( $a_i$ ), появились свойства ( $q_j$ ), характеризующие ещё и связи ( $r_j$ ). Дальнейшая детализация определения системы чётко прослеживает появление такого понятия, как цель, наряду с этим в некоторых определениях системы уточняются условия, при которых эта цель достигается (среда  $SR$ , интервал времени  $\Delta T$ ) [22]. Исходя из этого, определение понятия системы теперь будет выглядеть так:

$$S_{def} = \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle. \quad (г)$$

Наряду со всеми вышеперечисленными определениями постепенно в определении системы появляется наблюдатель ( $N$ ) – лицо, представляющее объект или целый процесс, имеющий вид системы, при исследованиях или принятии решения. Отсюда видно, что взяв во внимание воздействия, которые наблюдатель оказывает на систему, а также воздействия, которые система оказывает на наблюдателя, определение системы можно представить в следующем виде:

$$S_{def} = \langle A, Q_A, R, Z, N \rangle. \quad (д)$$

Фактически выбор определения системы отражает взятую во внимание концепцию и тем самым является началом проектирования. На данном этапе немало важно понимать факт, что на разных стади-

ях представления системы в целом, исходя из ситуации, можно использовать разные определения.

Проанализировав поиск и формирование определения системы, можно прийти к однозначному выводу – заключительное слово в данном вопросе ещё не прозвучало. Далее мы проследим, каким образом в поиске единой универсальной системы разрабатываются целые научные теории и новейшие области знаний.

Переломный момент в науке о системе наметился после того, как учёный мир пришёл к выводу, что система социальная или экономическая, состоящая из людей, обязательно обладает рядом характеристик, которые делают её подобной живому организму. Данное живое создание имеет свои клетки, нервную систему и обмен веществ, а разного рода общественные институты являются органами, каждый из этих органов выполняет конкретную функцию, нацеленную на поддержание жизнедеятельности всего организма. Проведём параллели: армия подобна иммунной системе и нацелена защищать от внешних вмешательств, а правительство сравнимо с работой мозга, оно принимает решения и управляет всем организмом. Впервые эту мысль озвучил античный греческий философ Аристотель.

В процессе развития наука практически отошла от сугубо механического взгляда на организмы. При изучении живых систем учёных все сильнее увлекает многообразие процессов, при помощи которых вся система самостоятельно адаптируется к постоянно меняющейся среде. Идеи и методы, которых в последнее время множество, объединены в области «теория сложности», именно они привели к пониманию, что организмы не что иное, как адаптивные и самоорганизующиеся системы. Процессы в этих организмах децентрализованы, окончательно не определены и имеют свойства постоянно изменяться. Если же взять во внимание отдельные автономные компоненты, то мы можем наблюдать сложное адаптивное поведение такого рода систем. И наоборот, модели, управление в которых целиком подчинено определённому отдельному блоку, были однозначно признаны недостаточно отражающими действительность для реальных систем.

Изучая научные теории, которые описывают поведение сложных систем, можно условно выделить девять исследований, которые легли в основу знаний о живых системах. Подчеркнём, что данные концепции развивались в 1960–1970 годах, в разных сферах науки и независимо друг от друга. Рассмотрим эти исследования,

акцентировав внимание на особенностях, которые значимы для экономики.

1. Хайнц фон Форстер, Кибернетические и системно-теоретические начала. Х. фон Форстер сформулировал совершенно новое понятие системы, а также дал конкретные определения становления и увеличения порядка, наряду с этим он предпринял попытку описать взаимодействие самоорганизующейся системы с окружающей средой. Здесь же автор изложил принцип «порядка через помехи», тем самым положив начало исследованию самоорганизации. По мнению Форстера, возрастание порядка во всей системе имеет два пути: с помощью помех или посредством получения порядка из окружающей среды. «Порядок посредством помех» подразумевает выбор из внешней окружающей среды, с помощью динамики процесса, конкретных помех, которые являются причинами усиления внутрисистемного порядка.

2. Теория рассеивающихся структур. На современном этапе исследования систем – это настоящий прорыв, который совершила бельгийская научная школа во главе с И.Р. Пригожиным. В данной работе сформулированы ранее известные положения теории системы:

- системная структура иерархична;
- закономерности различных уровней организации невыводимы друг из друга и несводимы друг к другу;
- на каждом этапе и уровне организации присутствуют случайности и др.

В своей теории И.Р. Пригожин отметил, что системы, которые удалены от состояния равновесия, в результате собственных отклонений или других помех, могут переходить в совершенно новое состояние. Вновь образованные структуры, возникшие вследствие таких флуктуаций, представляют собой рассеивающиеся или диссипативные системы, образующиеся самостоятельно из системы. Как будет развиваться система далее, целиком зависит от её истории вплоть до текущего момента, перспективу развития предсказать не представляется возможным, процесс непредсказуем. Мнение Пригожина заключается в следующем: на рынке недвижимости, а также в других экономических системах, если они далеки от состояния равновесия, вполне возможны образования диссипативных структур. Подводя итог, необходимо отметить, что в этой работе по самоорганизации Пригожиным продемонстрирован более глубокий подход к анализу всех системных процессов.

3. Герман Хакен, Синергетика [8]. Проводя исследования порядка, возникающего из хаоса, Хакен Г. понимал синергетику

как учение о взаимодействии элементов во время образования системы в целостном состоянии. Учёный предложил термин «синергетика», под которым следует понимать общую теорию динамики поведения сложных и неравновесных систем, которые наделены специфическими свойствами. Предметом синергетики является взаимодействие на макроуровне множества подсистем на основе кооперации, что проявляется как самоорганизация. Хакен выявил, что в процессе эволюционного развития все системы развиваются от самых простых и примитивных к более сложным. Все сложно организованные временные, пространственно-временные и пространственные структуры появляются из хаотических состояний, а вместо гармонии и устойчивости в таких системах, наоборот, обнаруживаются процессы развития по эволюционному пути. Это в свою очередь ведёт к ещё большему усложнению структур.

4. Манфред Эйген, Теория автокаталитических гиперциклов. В теории автокаталитических гиперциклов [9] процесс возникновения жизни сводится к самоорганизации систем и их самоселекции в молекулярной области. М. Эйген рассматривает генетическую эволюцию молекул в более сложные системы из-за смещения химического равновесия и многих других факторов (давления, температуры и пр.) с последующим новым равновесным состоянием. Самопроизводящиеся макромолекулы объединяются в замкнутые химические циклы.

5. К.С. Холлинг, Концепция эластичных экосистем. Мнение Холлинга заключается в том, что стабильность экосистемы не может быть гарантирована при критических помехах. Для лучшего понимания динамических процессов К.С. Холлинг внёс различия в термины «стабильность» и «эластичность», или «упругость». Под стабильностью следует понимать способность экосистемы поддерживать собственную определённую динамику и равновесие. В свою очередь эластичность экосистемы означает, что система способна отвечать на сильнейшие изменения окружающей среды внутренними изменениями структуры (приспосабливаться), а также не исключены и вполне возможны переходы в другое состояние равновесия. Именно эластичность позволяет экосистемам непрерывно переходить в абсолютно новые состояния порядка.

6. Концепция нейронных сетей. Концепция нейронных сетей как направления в науке возникла более ста лет назад в результате изучения закономерностей функционирования живых организмов, а в частности, исследования свойств нервной

клетки. Испанским гистологом Сантьяго Рамон-и-Кахалем в начале XX в. было доказано научному сообществу, что нервная система состоит из отдельных клеток, называемых нейронами. За данное открытие Сантьяго Рамон-и-Кахаль и К. Гольджи в 1906 г. были удостоены Нобелевской премии в области биологии. А в 1958 г. психологом Ф. Розенблатом была создана первая искусственная нейронная сеть (сокр. НС). Нейронные сети находят самое широкое применение во многих областях жизнедеятельности человека: финансах, медицине, бизнесе, экономике, а также обработке изображений и сигналов, телекоммуникациях, системах информационной безопасности, физике высоких энергий, атомной энергетике и т. д.

7. Эдвард Лоренц и Бенуа Мандельброт, Теория детерминистического хаоса. Отличие теории детерминистического хаоса заключается в том, что они исследуют не возникновение порядка из беспорядка, а наоборот, развитие хаоса из порядка. При этом хаос предполагает неравномерность, нерегулярность и непредсказуемость в поведении системы. Если состояние системы может быть неоднозначно представлено математическими уравнениями, а будущая траектория развития неясна, то даже незначительное изменение условий может привести к расходящимся решениям уравнения. Такое поведение является типичным для нелинейных динамических систем, в том числе и экономических.

8. Общая теория живых систем. Все предыдущие теории привели к тому, что в 1978 г. в области систем, аналогичных живому организму, для четкой систематизации существующих на тот момент знаний была сформулирована общая теория живых систем. Впервые понятие «живые системы» предложил в 1960 г. Джеймс Гриер Миллер, и был предназначен обозначать открытые самоорганизующиеся системы, взаимодействующие с окружающей средой и имеющие сугубо специфические признаки, свойственные живым существам.

В процессе проявляется сущность жизни. Другими словами, если прекращаются процессы обработки информации и вещества-энергии, то, следовательно, прекращается жизнь. Таким образом, главной определяющей характеристикой жизни является способность поддерживать длительный период устойчивое состояние, в котором хаос (энтропия) внутри самой системы гораздо ниже, чем во внешней (неживой) среде. Являясь самоорганизующимися и открытыми системами, живые системы вполне могут поддерживать данное состояние, черпая из внешней среды вещество-энергию и информацию. От-

носительно неживых систем живые системы способны обработать больше вещества-энергии, но в данном правиле существует исключение – это компьютерные системы, которые имеют гораздо более высокую способность обрабатывать информацию [2].

В рамках концепции, которую разработал Дж.Гр. Миллер, живые системы формируют восемь уровней организации сложности, эволюционирующие от клетки до наднациональной системы – ячейка, орган, организм, группа, организация, сообщество, общество и наднациональная система. Наиболее характерные примеры такого широкого спектра живых систем – это одноклеточная амёба и Организация Объединённых Наций, или международный валютный фонд.

На каждом уровне система неизменно включает 20 критических подсистем (процессоров), которые обрабатывают или вещество-энергию, или информацию. Кроме двух, которые обрабатывают и вещество-энергию, и информацию: производитель и граница. При этом под веществом следует понимать любой элемент, имеющий массу и занимающий физическое пространство. В физике энергия определяется как способность производить работу. Исходя из закона сохранения энергии, можно констатировать вывод, что энергия не может быть произведена или уничтожена во вселенной, но может переходить из одного вида в другой. Масса и энергия эквивалентны. Так как общеизвестна тесная взаимосвязь вещества и энергии, то в данной работе используется интегральное понятие вещество-энергия.

Живые системы требуют специфических типов вещества-энергии в достаточном количестве (тепло, свет, вода, витамины, минеральные вещества). Энергия, необходимая для осуществления процессов в живых системах, получается из распада молекул (либо в случаях некоторых социальных систем атомов). В качестве единицы носителя информации в общей теории живых систем применяется маркер.

Практически для любой коммуникации необходимо передвижение маркера в пространстве от передающей системы к принимающей системе. Это передвижение подвержено тем же самым законам физики, как передвижение любого другого типа вещества-энергии. Информация измеряется в битах (один разряд в двоичной системе исчисления), как в наименьшей единице измерения, представляющей две возможные альтернативы. Способность к сохранению информации можно оценить, сравнивая массу маркера и количество информации на нем.

Для обработки информации внутри живой системы используются процессоры



информации. Таким образом, процессоры первого типа взаимодействуют с веществами или энергией для осуществления метаболических процессов в организме. Другие подсистемы передают информацию для координации, направления и контроля в системе. Некоторые из процессоров осуществляют одновременно оба типа обмена.

Другое фундаментальное различие между живыми и неживыми системами состоит в том, что все живые системы имеют в составе компоненты, такие, например, как ДНК, РНК, протеины в клетке, которые дают живой системе уникальные свойства. Эти компоненты не синтезируются в окружающей среде, а производятся внутри самой системы. Подобно ДНК живых организмов, ДНК организации состоит из четырех базовых блоков, комбинация которых определяет уникальные черты организации. Это – структура, процедура принятия решений, мотиваторы и информация [3, с. 48].

Следует подчеркнуть взаимосвязь между функционированием живых систем с энтропией, суть которой – хаос, саморазложение, саморазрушение и негэнтропией, что есть стремление к организации системы, движение к упорядочиванию. По отношению к живым системам: для того чтобы сохранить жизнь, следовательно, не погибнуть, живая система борется с окружающим её хаосом, избрав путь организации и упорядочивания энтропии, другими словами, импортируя негэнтропию. Исходя из вышеизложенного, объясняется поведение самоорганизующихся систем.

9. Концепция автопоэзиса. Автопоэзисная система впервые была описана в 1970-е годы и состояла из нескольких работ нейробиологов Франциско Варела и Умберто Матурана. Целью трудов явилось описание феномена жизни, как явления, которое свойственно самоподдерживающимся, открытым и самовозобновляющимся системам [4, с. 38]. Данные работы по сути сформировали концепцию автопоэзиса, что дало толчок к развитию науки, посвящённой живым системам. А в 1979 году Варела опубликовал свою работу под названием «Принципы биологической автономности» («Principles of Biological Autonomy»), в которой исследования были значительно глубже, чем проведённые в более ранних работах. Тем самым эта публикация расширила кругозор в данной области. На сегодня труды этих учёных являются ключевой точкой теоретической литературы, посвящённой этому спектру знаний. Дословно автопоэзис переводится с греческого как «самовоспроизведение». Рассматриваемая теория следующим образом характеризует живые

системные образования: «жизнь – это автопоэзис». В основе возникновения данного термина лежат два греческих слова: auto (αὐτό) -сам- и poiesis (ποίησις) – создание, производство. С греческого языка дословно перевод означает «самовоспроизведение». Сущность же автопоэзиса определена в 1979 году, она состоит в том, что автопоэзисная система организована (по определению едина) как сеть процессов (трансформации и разрушения) производства, которая состоит из компонентов, в свою очередь производящих компоненты:

– эти компоненты взаимодействуют и изменяются, тем самым регенерируя и реализуя сеть отношений (процессов) производящих их; и

– конституируют систему как единство в пространстве, в нём они [компоненты] не только существуют, а также задают топологическую область своих реализаций сети как таковой [10].

Любое единство, которое отвечает данным условиям, есть автопоэзисная система, и любая автопоэзисная система, воплощённая в физическое пространство, также является живой системой. Особая структура данного единства – его конфигурация – не даёт достаточное основание для определения его как единства. Главная особенность живой системы – поддержка собственной организации, другими словами, сохранение определённой сети отношений, которая и обуславливает её как системное единство.

На сегодняшний день направление исследования живых систем – одно из самых перспективных в научном мире. Над научной задачей исследования живых систем в сфере интересов экономики трудятся многие учёные разных стран, в том числе и России [5, 6. 7].

#### Список литературы

1. Асаул А.Н., Люлин П.Б. Развитие представления о системах // Экономическое возрождение России. – 2011. – Т.30. – № 4. – С. 62–68
2. Асаул Н.А. Методические принципы институциональных взаимодействий субъектов рынка как открытых «живых» систем в концепции информационного общества. – М., СПб.: Вольное экономическое общество России, 2005. – 224 с.
3. Асаул А.Н., Чегайдак А.П. Организация как живая система: индивидуальный // Экономическое возрождение России. – 2011. – Т.28. – № 2. – С. 44–53
4. Асаул А.Н., Люлин П.Б. Моделирование живых систем // Экономическое возрождение России. – 2012. – Т.2. – С. 36–41
5. Фирсанова О.В., Чулахина Ж.Н. Моделирование эволюции субъекта рынка в теории глобального эволюционизма // Экономическое возрождение России. – 2007. – № 1. – С. 17–22
6. Самоорганизация, саморазвитие и саморегулирование субъектов предпринимательской деятельности

в строительстве / А.Н. Асаул, Н.Н. Загускин, Е.И. Рыбнов, Л.Ф. Манаков. – СПб.: АНО «ИПЭВ», 2013. – 320 с.

7. Развитие рынка жилой недвижимости как самоорганизующейся системы / А.Н. Асаул, Д.А. Гордеев, Е.И. Ушакова. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – 334 с.

8. Haken Hermann; SpringerLink (Online service) Brain Dynamics An Introduction to Models and Simulations // Springer Series in Synergetics. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

9. Eigen Manfred From strange simplicity to complex familiarity : a treatise on matter, information, life and thought. – New York, NY: Oxford University Press, 2012.

10. Varela F. Francisco J. Principles of Biological Autonomy. – New York: Elsevier (North Holland), 1979.

### References

1. Asaul A.N., Lyulin P.B. Razvitie predstavlenija o sistemah // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2011. t. 30. no. 4. pp. 62–68.

2. Asaul N.A. Metodicheskie principy institucional'nyh vzaimodejstvij subektov rynka kak otkrytyh «zhivyh» sistem v koncepcii informacionnogo obshhestva. M., SPb.: «Vol'noe Ekonomicheskoe obshhestvo Rossii», 2005. 224 p.

3. Asaul A.N., Chegajdak A.P. Organizacija kak zhivaja sistema: individual'nyj // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2011. T. 28. no. 2. pp. 44–53.

4. Asaul A.N., Lyulin P.B. Modelirovanie zhivyh sistem // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2012. T.2. pp. 36–41.

5. Firsanova O.V., Chupahina Zh.N. Modelirovanie jevoljucii subjekta rynka v teorii global'nogo jevoljucionizma // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2007. no. 1. pp. 17–22.

6. Samoorganizacija, samorazvitie i samoregulirovanie sub#ektov predprinimatel'skoj dejatel'nosti v stroitel'stve /

A.N. Asaul, N.N. Zaguskin, E.I. Rybnov, L.F. Manakov. SPb.: ANO «IPEV», 2013. 320 p.

7. Razvitie rynka zhiloh nedvizhimosti kak samoorganizujushhejsja sistemy / A.N. Asaul, D.A. Gordeev, E.I. Ushakova. SPb.: SPbGASU, 2008. 334 p.

8. Haken Hermann; SpringerLink (Online service) Brain Dynamics An Introduction to Models and Simulations // Springer Series in Synergetics. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

9. Eigen Manfred From strange simplicity to complex familiarity : a treatise on matter, information, life and thought. New York, NY: Oxford University Press, 2012.

10. Varela F. Francisco J. Principles of Biological Autonomy. New York: Elsevier (North Holland), 1979.

### Рецензенты:

Иванов С.Н., д.э.н., профессор, Действительный член Международной академии инвестиций и экономики строительства, г. Санкт-Петербург;

Асаул А.Н., д.э.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, АНО «Институт проблем экономического возрождения», г. Санкт-Петербург;

Коваленко Е.Г., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой государственного и муниципального управления, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», г. Саранск.

Работа поступила в редакцию 26.02.2014.