

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ИННОВАЦИИ

УДК 681.51

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Е.Я. Букина

Новосибирский государственный
технический университет

tik@fgo.nstu.ru

Данная статья посвящена проблеме возможности реализации синергетических принципов в системах искусственного происхождения.

Ключевые слова: синергетика, искусственные системы.

Разве допустимо, чтобы одни и те же законы были применимы к сочетаниям астрономических миров и биологических клеток, живых людей и эфирных волн, научных идей и атомов энергии?.. Математика дает решительный и неопровержимый ответ: да.

А.А. Богданов

Как, известно, многие ученые рассматривают в качестве предтечи синергетики тектологию, или всеобщую организационную науку А.А. Богданова. Задача тектологии, по А.А. Богданову, состояла в том, чтобы выявить некие единые способы организации, наблюдаемые как в природе, так и в человеческой деятельности. При более пристальном внимании тектология формулирует по-своему в особом, создаваемом ей концептуальном мире немало принципов организации и управления, развиваемых далее в общей теории систем, кибернетике, синергетике и т. д.

История развития науки и техники со всей очевидностью доказывает, что искус-

ственные образования являются оптимальными в широком смысле лишь при условии максимального приближения в процессе их реализации к системам естественного происхождения. Справедливость этого тезиса очевидна – природа в своем развитии «апробировала» огромное множество различных вариантов, прежде чем выйти на глобальный оптимум.

В последние годы естествознание приходит к выводу, что подавляющее большинство естественных систем являются открытыми, и диссипативные процессы, протекающие в них, приводят к неустойчивости и неравновесности. А устойчивость и стабильность есть лишь короткий миг в

эволюции подобных систем. Траектории эволюции последних содержат точки многократных бифуркаций, в которых скачкообразно изменяются их структура и функциональные характеристики. Выбор ветви развития (сценария) после катастрофических изменений носит в природе вероятностный характер, однако, учитывая множественность однотипных систем, в конечном итоге результатом естественного отбора оказываются лишь те материальные системы, которые «выбрали» оптимальный путь развития с точки зрения предельной приспособляемости и реализуемости их основных функций.

С методологических позиций представляется естественным обратить внимание научно-технической мысли на возможность реализации подобных принципов, которые получили название синергетических, в системах искусственного происхождения. Синтез синергетических эффектов в технических устройствах должен опираться на их глубокий анализ, проведенный в рамках естественных наук.

Рассмотрим сущность процессов самоорганизации. Все синергетические эффекты демонстрируют общие черты, которые отражаются в следующих понятиях: «когерентность», «многокомпонентность», «термодинамическая открытость системы», «неравновесность», «нелинейность». Понятие когерентности (кооперативности) наиболее наглядно характеризует сущностные процессы, происходящие, например, в лазере, где благодаря нелинейности среды при достижении определенного порогового уровня подводимой мощности возникают согласованные электромагнитные колебания. При этом микроскопические многокомпонентные явления на уровне электронов подчиняются макроскопическому про-

цессу, визуально наблюдаемому. Самоорганизация происходит в системах, состоянии которых характеризуется понятием «термодинамическая открытость». Суть адекватного процесса состоит в происходящем обмене энергией и / или веществом с окружающей пространственно-временной средой. Так, эффекты Бенара, Тейлора, Марангони и другие подтверждают необходимость «поточковых» процессов в самоорганизации новых макроструктур. Обязательным условием образования последних является образование неравновесной термодинамической ситуации, под которой понимается значительное отклонение состояния системы от равновесия. Неотъемлемыми характеристиками самоорганизующихся систем являются также нелинейность и нестационарность, определяющие возможность ветвления и развития состояний последних.

Процесс самоорганизации в общих чертах представляется совокупностью следующих состояний. Открытая система благодаря внутренним процессам и процессам обмена с внешней средой продвигается по пути своей эволюции к точкам неустойчивого состояния, вблизи которых под воздействием внешних флуктуаций возникает бифуркация. Сам процесс катастрофы наглядно описывается с помощью понятия принципа подчинения¹. Вблизи точки возникновения неустойчивости можно выделить устойчивые и неустойчивые моды. В ходе скачкообразного изменения наблюдается процесс, имеющий фундаментальное значение для синтеза самоорганизующихся систем. Здесь имеется в виду подчинение устойчивых мод неустойчивыми, при этом поведение неустойчивой моды полностью

¹ Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – С. 232 – 236.

определяет качественно и количественно сценарий развития системы. Параметры системы, определяющие условия устойчивости, отражаются в понятии управляющих параметров, варьируя которыми можно влиять на путь развития самоорганизующейся системы, что является важным в контексте рассматриваемой проблемы. Далее, продолжая рассмотрение процесса самоорганизации, следует отметить, что вновь возникшие материальные структуры эволюционируют, с неизбежностью приближаясь к точке очередной бифуркации. Приведенная схема процесса самоорганизации является неотъемлемой характеристикой так называемых синергетических систем, которые названы в работе S-системами.

Даже столь схематичное отражение процесса самоорганизации порождает целый сонм идей, позволяющих трансформировать естественные процессы, происходящие в природе, на поле искусственных систем. Наиболее плодотворно инициирующим эвристические догадки и способствующим естественной генерации идей в этом направлении является, с нашей точки зрения, принцип подчинения. Действительно, представляется непротиворечивой возможность реализации целенаправленного оптимального управления параметрами порядка с намерением индуцировать очередную бифуркацию.

Кроме этого, очевидно желание осуществить выбор неустойчивой моды с целью детерминации необходимого сценария развития S-системы.

Вероятно, высказанные гипотезы далеки от полноты с точки зрения использования эффектов самоорганизации, они ни в коей мере и не претендуют на это, а лишь отражают глубокие возможности онтологического характера, порожденные физи-

ческой трактовкой синергетических процессов.

С позиции методологического освоения синергетических эффектов необходимо обратиться к гносеологическому аспекту. Методы, порожденные в рамках теории самоорганизации как некие абстрактные конструкты, лишь в определенной степени адекватно отражающие реальные процессы, обладают тем не менее собственным эвристическим потенциалом. Поэтому считаем возможным остановиться на их рассмотрении более подробно.

Большинство используемых синергетической методов были разработаны до ее появления, но приобрели специфические особенности, и именно в этой системе дают результаты, не получаемые другими науками. Непосредственно идейные предпосылки для формирования теоретических основ синергетики, как нам представляется, создали наряду с тектологией А.А. Богданова, общей теорией систем Л. Берталани, обобщенной термодинамикой также иные теоретически осмысленные факты современной физики, других наук, теорий, в том числе теории бифуркаций, катастроф, теории групп и других².

Однако следует признать, что основным методом исследования S-систем является имитационное моделирование, базирующееся на системно-структурном подходе. Имитационные модели самоорганизующихся систем, как правило, относятся к классу гомоморфных моделей и строятся обычно на базе уравнений Чепмена–Колмогорова или на дискретном аналоге

² Букина Е.Я. Методологические проблемы синергетики и общая теория организации / Е.Я. Букина, О.С. Разумовский // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия истории, филологии и философии. – 1987. – № 16. Вып. 3. – С. 38.

уравнения Ланжевена. Многокомпонентность S-систем, а также слабая демпфируемость и вырожденность основных уравнений приводят к необходимости использования специальных методов и расчетных процедур. Здесь следует особо выделить метод подчинения, разработанный в рамках теории самоорганизации, содержательной стороной которого является принцип подчинения. Формально этот метод сводится к итерационным процедурам исключения параметров устойчивого движения. Однако в отличие от известных методов, например адиабатических приближений, он позволяет достичь результатов для открытых нестационарных систем, к классу которых относятся S-системы. Метод подчинения анализирует поведение траекторий после бифуркационной точки и позволяет значительно уменьшить число степеней свободы S-систем.

Методы, используемые в синергетике, исходят из вариационных принципов, которые, как известно, отражают глубокие фундаментальные закономерности. Разрабатываемая теория самоорганизации, как и многие научные дисциплины, выбрала в качестве ядра своей теоретической схемы экстремальные принципы³. Так, для определения стационарных состояний S-систем широко используется принцип минимума производства энтропии, сформулированный, как известно, Л. Онсагером и И. Пригожиным. Весьма плодотворным с точки зрения определения наиболее вероятных сценариев развития S-систем может оказаться введенный Н.Н. Моисеевым принцип миниму-

³ Разумовский О.С. Вариационные методы и принципы / Н.Н. Яненко, Н.Г. Преображенский, О.С. Разумовский // Методологические проблемы математической физики. – Новосибирск: Наука, 1986. – Гл. 13. – С. 95.

ма диссипации энергии (или минимума роста энтропии)⁴.

Естественно, что указанные методы и принципы не исчерпывают всего содержания теоретических основ синергетики, они лишь отражают те из них, что, на наш взгляд, имеют ярко выраженный эвристический характер.

Методологической основой трансформации синергетических методов на искусственные системы является тезис, высказанный Н.Н. Моисеевым, о необходимости «...изучать развитие «естественного» и «искусственного» с единых позиций развертывания организационных форм материального мира»⁵. Гносеологической основой можно признать стремление к единству научного знания путем поиска сквозных фундаментальных научных утверждений и методов. Наиболее плодотворными на этом пути, по нашему мнению, могут оказаться экстремальные принципы и вариационные методы, в которых заложены серьезные возможности для использования их в качестве объединяющих начал для формирования единого знания⁶.

Сегодня можно констатировать, что в рамках синергетики формируется общий метод исследования самоорганизующихся систем посредством синтеза достижений других наук и собственных эвристических догадок, порожденных в результате анализа проблемы самоорганизации, являющейся

⁴ Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – С. 56.

⁵ Там же, с. 128.

⁶ Разумовский О.С. Вариационные методы и принципы / Н.Н. Яненко, Н.Г. Преображенский, О.С. Разумовский // Методологические проблемы математической физики. – Новосибирск: Наука, 1986. – Гл. 13. – С. 188–215.

⁷ Разумовский О.С. От конкурирования к альтернативам: Экстремальные принципы и проблема единства научного знания / О.С. Разумовский. – Новосибирск: Наука, 1983. – 200 с.

одной из фундаментальных проблем в современной науке. Специфика синергетических методов, характеризующая как содержательный, так и формализованный аспекты последних, заключается в том, что они, качественно отличаясь от методов конкретных наук по характеру и по степени общности, но, не обладая философской всеобщностью, занимают промежуточное положение, образуя особый уровень современного научного познания – общенаучный. Это положение синергетических методов и определяет их высокую эффективность использования в рамках частных наук, способствуя тем самым проникновению диалектики в частнонаучную методологию.

Приведем ряд примеров, иллюстрирующих методологическую восприимчивость конкретных областей знания к синергетическим методам. Электроника и наиболее бурно развивающаяся ее ветвь – микроэлектроника – являются наиболее характерными в этом аспекте. Электронные системы формально и по существу подпадают под определение S-систем, особенно в том случае, если они проектируются на предельные характеристики. Представляется плодотворным использование синергетических методов при синтезе систем, реализующих явления неустойчивости. Здесь применение метода подчинения дает в руки исследователя инструментарий, позволяющий прогнозировать поведение систем вблизи точек скачкообразных изменений, в результате открывается возможность проектировать искусственные S-системы с набором заданных функций. Процессы бифуркаций, как известно, описываются в шкале быстрого времени, поэтому их использование позволяет надеяться на существенное повышение производительности электронных вычислительных систем.

Вариационной синергетические принципы могут быть весьма полезными при их адаптации в автоматизированных системах проектирования больших электронных схем, поскольку алгоритмы, реализующие их посредством оценки скорости изменения «энтропии», позволяют сократить время расчета установившихся процессов.

Продуктивной также может оказаться экспансия синергетических методов в системы сильноточной электроники, применяемые в устройствах преобразования рода электрической энергии. Здесь эксплуатация такого фактора принципа подчинения, как подчинение неустойчивыми модами устойчивых, открывает возможность использовать режимы «ключевой» автогенерации, обеспечивающие высокое качество преобразования электрической энергии.

Широко известна плодотворность применения синергетических методов в квантовой электронике, где процессы генерации, по сути, являются принципами самоорганизации.

Построение электронных систем с искусственным интеллектом вряд ли возможно без использования синергетической технологии, т. е. использования внутренней потенции S-систем к саморазвитию.

Таким образом, освоение синергетических эффектов в системах искусственного происхождения может идти в двух направлениях, а именно: в направлении использования физических принципов, лежащих в основе функционирования S-систем, и в направлении применения методов исследования самоорганизующихся систем. В рамках первого направления следует исходить из основополагающей идеи, что S-системы являются наиболее оптимальными в классе адекватных систем. При синтезе таких систем необходимо ориентироваться не на

единичные применения синергетических эффектов, а на системное использование синергетической технологии.

Второе направление основывается на экстраполяции готовых форм теоретического знания за пределы определенных предметных областей, и в его основе лежит идея о единстве научного знания, его синтезе и интеграции. Ассимиляция синергетических идей в данном случае осуществляется через абстрактные математические конструкции и специальные понятия и определения. Плодотворность использования теоретических находок синергетики в области искусственных систем обусловлена двумя факторами. Первый из них заключается в том, что в основе методов исследования S-систем лежат универсальные экстремальные принципы. Второй фактор связан с тем, что исследуются чрезвычайно важные для всех отраслей знания свойства существенно нелинейных систем. Широкая применимость методов анализа S-систем объясняется общностью и абстрактностью формы, которая выражает самые общие виды связей, отношений и свойств, а также в силу большой информационной емкости становится осуществимой конкретизация, обнаруживается их способность выразить особенное и отдельное, включая количественные характеристики.

Выделенные направления освоения синергетических эффектов, как нам представляется, отражают два аспекта в стремлении к единству научного знания, а именно: путь «снизу» через обобщение фактов и путь «сверху» через построение единой теоретической схемы⁸.

В заключение необходимо отметить, что не следует отдавать приоритет ни одному из указанных направлений, так как они взаимосвязаны, взаимоопределяют и взаимодополняют друг друга, т. е. находятся в диалектическом единстве.

Затронутые в статье вопросы в настоящее время являются особенно актуальными и практически необходимыми, так как позволяют интенсифицировать процесс развития и совершенствования различных отраслей технического знания. Поэтому представляется важным дальнейший методологический анализ данной проблемы.

Литература

Буккина Е.Я. Методологические проблемы синергетики и общая теория организации / Е.Я. Буккина, О.С. Разумовский // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия истории, филологии и философии. – 1987. – № 16. Вып. 3. – С. 37–43.

Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

Разумовский О.С. Вариационные методы и принципы / Н.Н. Яненко, Н.Г. Преображенский, О.С. Разумовский // Методологические проблемы математической физики. – Новосибирск: Наука, 1986. – Гл. 13. – С. 188–215.

Разумовский О.С. От конкурирования к альтернативам: Экстремальные принципы и проблема единства научного знания / О.С. Разумовский. – Новосибирск: Наука, 1983. – 239 с.

Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.

⁸ Разумовский О.С. От конкурирования к альтернативам: Экстремальные принципы и проблема единства научного знания / О.С. Разумовский. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 197.