

Министерство образования Российской Федерации
Ивановский государственный энергетический
университет

Кафедра философии

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ:
СПЕЦИФИКА, РАЗЛИЧИЯ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ СМЫСЛ**

Реферат

Выполнил аспирант
кафедры БЖД
Овсянников Ю.М.

Научный руководитель
д-р техн. наук, профессор
Соколов А.К.

Консультант
к.ф.н., доцент
Куликова О.Б.

Иваново 2008

Аннотация

В работе представлены основные современные теории самоорганизации: детерминированного хаоса, катастроф, фракталов, автопоэзиса, диссипативных структур и синергетика. Раскрывается их специфика, различия, общие черты относительно объекта и методов исследования.

Следуя системной парадигме, описание теорий самоорганизации осуществлено не само по себе, а вписано в общую идею развития научной картины мира, научной парадигмы. При этом показано, что развитие теорий самоорганизации и синергетики в частности, началось на базе неклассической научной парадигмы, с зарождающимся системным подходом, а продолжилось на базе постнеклассической парадигмы, с признанием самоорганизующего начала в сложных системах.

При написании работы использовались философские и научно-научные труды таких основоположников системного подхода, теории самоорганизации и синергетики, как Богданов А.А., Л. фон Бергаланфи, Винер Н., Арнольд В.И., Мандельброт Б., Матурана У., Мандельброт, Пригожин И., Хакен Г., Степин Н.В. и др.

Оглавление

Введение	4
Общие свойства самоорганизующихся систем.....	6
Теория детерминированного хаоса.....	9
Теория катастроф.....	13
Теория фракталов.....	16
Теория автопоэзиса.....	19
Теория диссипативных структур.....	22
Синергетика.....	25
Постнеклассическая парадигма.....	26
Заключение.....	29
Список литературы.....	30

Введение

С утверждением в науке начала XX века неклассической парадигмы происходит развитие предпосылок к появлению системного метода в науке. К этому времени уже установлен факт необратимости во всех происходящих процессах, как в гуманитарных, так и в естественных науках. В качестве примера, необратимости в механических процессах, можно привести явление перехода механической энергии колебательного маятника в тепловую, из-за наличия трения. Как следствие, признается принцип «развития» систем.

Однако после признания факта развития системы встала необходимость ответа на вопросы: как и в каком направлении происходит развитие. Так, согласно классической термодинамике, любая система развивается в сторону увеличения беспорядка, упрощения, деградации системы¹. Однако это не согласовывалось с выводами биологических и социальных наук.

Первым, кто попытался развить системный подход, был наш соотечественник А. А. Богданов. В своей работе «Всеобщая организационная наука», или «Тектология»² автор впервые пытается «изучать любую систему с точки зрения как отношений всех ее частей, так и отношений ее как целого со средой», указывает на единство законов организации для любых объектов и систем. К сожалению, данная работа и новый системный подход А. А. Богданова современниками остался не замечен и проявил себя лишь во второй половине XX века. Возможно, это произошло по причине сильной теоретизации работы Богданова. Разработав теоретическую сторону вопроса, автор не сумел приложить ее к какой-либо конкретной области науки.

Следующим шагом была публикация Карлом Людвигом фон Берталанфи книги «Общая теория систем» (на немецком языке). Будучи биологом и изучая биологические системы Берталанфи, обнаружил, что многие принципы и явления могут быть обнаружены далеко за пределами биологии. Это подтолкнуло его к созданию обобщенной системной концепции. В ее задачи, по мнению автора, входило создание математического аппарата для описания разных типов систем, установление изоморфизма законов в разнородных областях знания. Так Берталанфи пишет: «...во многих случаях имеется формальное

1 Сивухин Д. В. Общий курс физики, т. 2. М., 1975. С. 136.

2 Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука, кн 1. М., 1989. С. 9.

соответствие, или изоморфизм, общих принципов и даже специальных законов. Одно и то же математическое описание может применяться к самым различным явлениям»¹. Так с успешного применения системного подхода к концептуальному объяснению жизненных явлений в биологии начинается дальнейшее его распространение: «организмическая программа явилась зародышем того, что впоследствии получило известность как общая теория систем. Если термин «организм» в приведенном утверждении заменить на «организованные сущности», понимая под последними социальные группы, личность, технические устройства и т. п., то эту мысль можно рассматривать как программу теории систем»².

Третьей ступенью развития системного подхода явилась публикация книги Н. Винера «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», которая стала отправной точкой развития кибернетики. заслугой этой теории является то, что она устранила неполноту научной картины мира, внося в нее, наравне с материей и энергией, понятие информации. Вещественно–энергетические процессы стали рассматриваться носителями, хранителями и потребителями информации. Информация начинает определять состояние системы, ее степень упорядоченности: «Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком»³. Кроме этого, для описания взаимодействия открытых систем Винер использует понятия отрицательной и положительной обратной связи.

Здесь под открытой системой понимают такую систему, для которой «существуют другие, связанные с ней системы, которые оказывают на нее воздействие и на которые она тоже влияет»⁴. Установлено, что подавляющее количество естественных систем является открытыми. Кроме этого, одним из свойств открытых систем считают наличие стремления системы занять оптимальное состояние, в котором она расходует и потребляет минимум энергии.

Все это приводит к появлению новых междисциплинарных областей, исследующих общие закономерности самоорганизации систем. В результате, к основным современным

1 *Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем – критический обзор. В кн. «General Systems», т. VII, 1962, С. 1 – 20. (Статья переведена на русский язык Н. С. Юлиной).

2 *Берталанфи Л. фон.* История и статус общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник. М., 1973. С. 20–36.

3 *Винер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1983. С. 56.

4 *Гиг Дж. ван.* Прикладная общая теория систем, кн. 1. М., 1981. С. 63.

теориям самоорганизации можно отнести следующие:

- теория детерминированного хаоса;
- теория катастроф;
- теория фракталов;
- теория автопоэзиса У. Матураны и Ф. Варелы;
- теория диссипативных структур Пригожина;
- синергетика Г. Хакена.

Хочется заметить, что данные теории не столько конкурируют, друг с другом, сколько сообща описывают, дополняя до целого, единое явление самоорганизации в сложных системах. При этом основные различия состоят в классе рассматриваемых систем и в расставляемых акцентах. Рассмотрим каждую теорию самоорганизации более подробно, для этого определим общие свойства, присущие всем самоорганизующимся системам.

Общие свойства самоорганизующихся систем.

Понятие «самоорганизация» впервые использовал У. Р. Эшби. Согласно его подходу, самоорганизация эквивалентна спонтанному изменению организации, при этом направление изменения не играет никакой роли. В этой работе важно то, что было определено два смысла понятия «самоорганизация» – общий и частный. Первый – это переход от системы с независимыми частями к системе с зависимыми друг от друга частями (т.е. появляется связность). Второй – это переход от плохой организации к хорошей, хотя при этом учитывается, что не бывает хорошей организации в абсолютном плане¹.

В 60-х годах происходит развитие понятия самоорганизации, на основе предложенного Фёстером принципе «порядок из шума»² и получившее название «неклассической концепции самоорганизации». Такая самоорганизация не связана с наличием внутреннего управляющего органа, а осуществляется за счет непосредственного локального взаимодействия компонентов системы. При этом направление развития не задается управляющими органами, а «выбирается» самой системой, внешнее воздействие

1 *Ashby. W. R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. vol. 37. 1947. p.125–128.*

2 *Фёстер фон Г. О самоорганизующихся системах и их окружении // Самоорганизующиеся системы. М., 1964, С. 113–137.*

прямо не определяет способ изменения системы.

В данной работе, под понятием самоорганизации будем подразумевать такой процесс упорядочения в системе, который возникает при неспецифическом воздействии внешней среды. При этом специфичным воздействием будем считать такое влияние среды, при котором происходит навязывание системе способа перестройки.

Установлено, что все самоорганизующиеся системы обладают рядом общих свойств, которые отличают их от других систем. К таким свойствам можно отнести: сложность, открытость, нелинейность, неравновесность, диссипативность. Рассмотрим подробнее каждое из качеств.

Сложность.

Сложными системы могут называться не только потому, что состоят из большого числа, но и из-за сложности поведения. Как показывает практика, такие системы предназначены для выполнения определенных функций, которые могут быть выполнены только сложной системой, состоящей из многих согласованно действующих частей. Существует два вида сложных систем: искусственные, спроектированные человеком, и естественные, возникшие в ходе процессов самоорганизации. По-видимому, самой сложной системой в мире является человеческий мозг, состоящий из 10^{10} или более нервных клеток.

Современное определение сложной системы опирается на понятие алгебраической сложности. Степень сложности определяется, тем минимальным набором данных и способом их взаимодействия, которым может быть полностью описана система. Определенную сложность вызывает то, что нет единого алгоритма нахождения этого минимального набора данных с правилами. Так, например, описать газ через поведение каждой отдельной молекулы не представляется возможным, в отличие от макроскопического или статистического подходов, позволяющих подобное описание.

В итоге ясно, что понятие сложности системы не является тривиальным и требует индивидуального подхода к каждой рассматриваемой системе. Однако по поводу поведения сложных систем Хакен пишет, что «на достаточно абстрактном уровне между поведением сложных систем существуют глубокие аналогии, или, иначе говоря, что сложное поведение может быть реализовано на совершенно различных субстратах. Очень часто мы замечаем, что чем сложнее система, тем сильнее сходство между особенностями ее поведения и поведения человека»¹.

¹ Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным явлениям. М., 1991. С. 12.

Открытость.

Из сказанного ранее про открытые системы понятно, что для них характерно наличие взаимодействия и взаимовлияния с внешней средой или другой системой. При этом происходит, либо свободный, либо вынужденный, обмен веществом и энергией. К числу открытых систем принадлежат биологические и социальные системы, вселенная в целом также принимается за открытую.

Неравновесность.

Наличие неравновесности в системе означает существование некоторого сдвига в параметрах системы, относительно равновесного состояния. При этом неравновесная система во время своего функционирования образует неравновесности и в среде, с которой она взаимодействует. Так, Пригожин указывает, что неравновесное состояние термоядерных реакций на Солнце, порождает неравновесность в Земной экосистеме, способствуя зарождению и развитию жизни¹.

Нелинейность.

Для понимания свойства нелинейности обратимся к математике. Уравнение называется линейным, если искомые величины (функции, их производные и т. д.) входят в первой степени. Во всех остальных случаях уравнение считается нелинейным. В линейных уравнениях существует всего одно решение, т.е. можно говорить о заданности развития системы. Совсем другая картина с нелинейными уравнениями, где возможно существование множества равноправных решений, т.е. развитие системы невозможно предсказать однозначно, появляются альтернативные способы ее развития. Именно это и представляет исключительную важность при рассмотрении нелинейных систем.

Можно выделить два наиболее общих случая появления нелинейности. Первый – это случай «врожденной» нелинейности, которая является следствием сложности внутренних связей системы, описываемых нелинейными уравнениями. Второй – это случай «привнесенной» нелинейности, возникающей в случае систем со значительным энергосодержанием и энерговыделением, высокотемпературных процессов, колебаний со значительной амплитудой и т.д.

Диссипативность.

Свойство открытых систем, так рассеивать энергию, что она преобразуется из неупорядоченной формы в упорядоченную. Способность системы заимствовать порядок

¹ Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск, 1999. С. 139.

из внешней среды.

Теперь, после знакомства с наиболее общими свойствами самоорганизующихся систем, и «идеологией» системного подхода, можно приступить к рассмотрению особенностей перечисленных выше теорий самоорганизации. Движение в этом направлении начнем с более частных теорий, а закончим самой общей теорией на сегодняшний момент – синергетикой.

Теория детерминированного хаоса

Что же такое детерминированный хаос, и как он объединяет в себе два, противоположных по смыслу термина? Так, детерминированность определяет однозначную взаимосвязь между причиной и следствием, а хаос говорит о полной непредсказуемости в поведении системы. Ответ на, этот, казалось бы, неразрешимый вопрос, кроется в таких свойствах системы, как нелинейность и неустойчивость, диссипативность, которые являются необходимыми, но недостаточными условиями существования детерминированного хаоса. Еще Пуанкаре говорил, что в неустойчивых системах «совершенно ничтожная причина, ускользающая от нас по своей малости, вызывает значительное действие, которое мы не можем предусмотреть. Предсказание становится невозможным, мы имеем перед собой явление случайное»¹.

Режим функционирования системы называется устойчивым, если малые внешние возмущения затухают во времени, стремясь к нулю. Неустойчивым режим называется, если малые возмущения в системе со временем возрастают. Известно, что в случае детерминированного хаоса, нарастание малых возмущений носит экспоненциальный характер².

Проявление нелинейных свойств системы непосредственно зависит от ее состояния и в большинстве реальных систем, они проявляются вдали от равновесия, при этом нелинейность выступает в качестве саморегулятора системы.

Установлено, что для возникновения хаоса необходимо фазовое пространство с размерностью $N \geq 3$, т.е. случай, когда система характеризуется минимум тремя

1 *Анищенко В. С.* Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал, №6. 1997. С. 70–76.

2 *Трубецков Д. И.* Турбулентность и детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал, №1. 1998. С. 77–83.

переменными.

Однако при рассмотрении неустойчивых нелинейных систем, долгое время ограничивались лишь задачами с двумерным фазовым пространством, для которого возможно всего два предельных случая: появление новых устойчивых состояний равновесия вблизи неустойчивого либо переход в новый режим, отвечающий периодическим колебаниям. Второй вариант иллюстрирует рис. 1. При малых амплитудах возмущения (рис. 1, а) траектория по спирали удаляется от точки равновесия O . При больших отклонениях траектория возвращается. Вместо неустойчивого состояния равновесия появляется новый режим – периодические автоколебания, которым отвечает предельный цикл Γ .

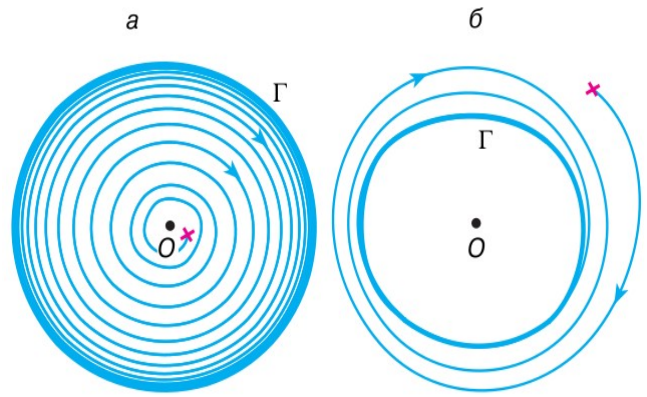


Рис. 1: Рождение устойчивого предельного цикла Γ в окрестности неустойчивого равновесия O . Поведение траекторий при малых (а) и при больших (б) отклонениях от равновесия

Совсем другая картина представляется в случае трех мерного фазового пространства диссипативной, неустойчивой, нелинейной системы. Траектория раскручивается в фазовом пространстве, удаляясь от точки O . Достигнув некоторых значений и испытывая действие механизма нелинейного ограничения, траектория вновь вернется в окрестность исходного состояния. Далее ввиду неустойчивости процесс будет повторяться на фазовой плоскости (рис. 2).

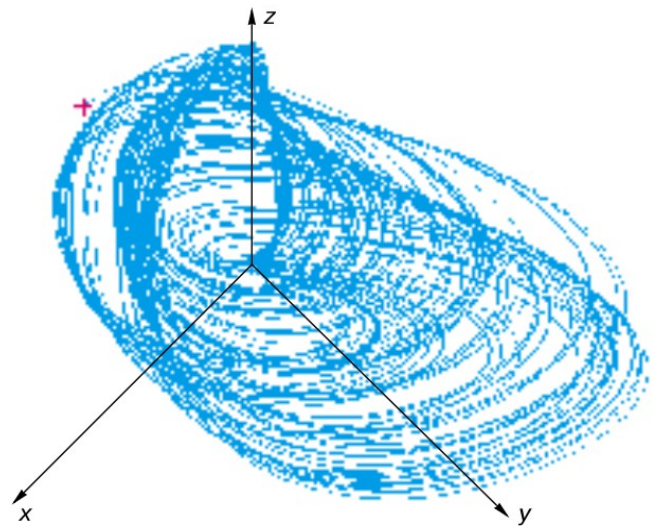


Рис. 2: Возможный вид фазовой траектории в трехмерной нелинейной диссипативной системе, отвечающий наличию странного аттрактора

Возможны два варианта: траектория спустя конечное время замкнется, демонстрируя наличие сложного, но периодического процесса; траектория будет воспроизводить некий аperiodический процесс, если при $t \rightarrow \infty$ замыкания не произойдет. Второй случай

отвечает режиму детерминированного хаоса: будущее однозначно определено начальным состоянием, однако процесс эволюции сложный, непериодический. Внешне он ничем не отличается от случайного, кроме того, что он воспроизводим. Это не позволяет его назвать полностью хаотическим.

Но это в случае точного задания начальных условий. Рассмотрим теперь случай, когда начальные условия заданы не точно, а в виде некоторой окрестности. Тогда в силу неустойчивости, эта заданная окрестность будет «размываться» по фазовому пространству

(рис. 3). Анищенко В. С. в статье «Детерминированный хаос» для иллюстрации размывания приводит следующий пример. «В стакан с водой поместим маленькую чайнку и размешаем воду ложкой, вызвав неустойчивость. Чайнка будет при этом двигаться по сложной спиралеобразной траектории, которая обусловлена движением воды в стакане. При этом в любой заданный момент времени мы теоретически можем зафиксировать ее координаты $x(t)$ в объеме воды. Теперь вместо чайнки поместим в стакан с водой очень маленькую капельку чернил и вновь размешаем воду. Что при этом произойдет? Чернила практически равномерно разбегутся по всему объему воды, слегка окрасив ее. Частицы чернил, первоначально сосредоточенные в маленьком объеме капельки, спустя время перемешивания можно будет обнаружить в любой части объема воды в стакане».

Поскольку физически мы всегда задаем начальные условия с какими-либо погрешностями, можно говорить о реальном существовании детерминированного хаоса в нелинейных, неустойчивых, диссипативных системах.

Математическим описанием режима функционирования сложных диссипативных систем является аттрактор. Под аттрактором понимают предельную траекторию изображающей точки в фазовом пространстве, к которой

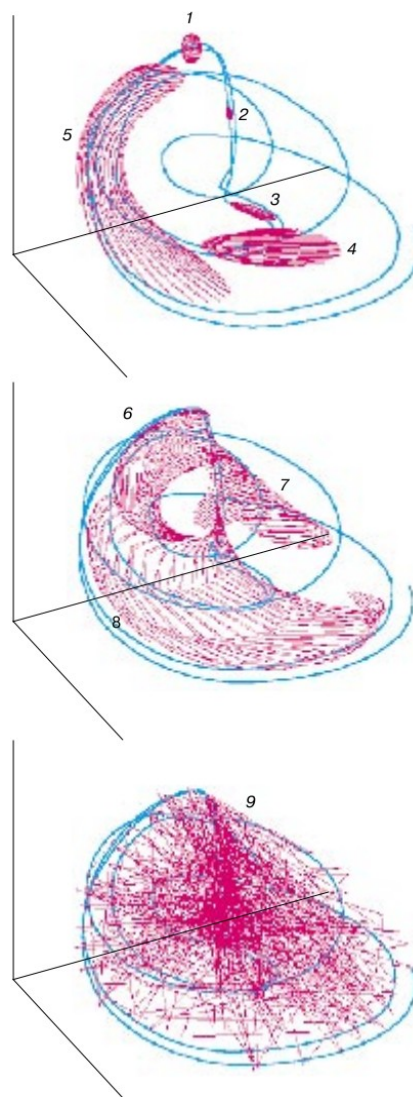


Рис. 3: Эволюция малого первоначального фазового объема I во времени в системе со странным аттрактором, иллюстрирующая размывание.

стремятся все исходные режимы. Ранее считалось, что аттрактор – есть образ устойчивого функционирования. Понятно, что режим детерминированного хаоса тоже аттрактор в смысле определения предельной траектории в ограниченной области фазового пространства (см. рис.2). Однако такой аттрактор имеет два существенных отличия: траектория такого аттрактора не периодическая (она не замыкается) и режим функционирования неустойчив¹, поэтому он и получил название странного аттрактора.

В качестве примера систем, поведение которых описывается теорией детерминированного хаоса, можно привести:

- маятник с возбуждением;
- жидкости вблизи порога возникновения турбулентности;
- лазеры;
- приборы нелинейной оптики;
- химические реакции;
- классические системы, включающие много тел (задача трех тел);
- ускорители частиц;
- биологические модели динамики популяций;
- модели описания погоды и т.д.

В результате можно сделать следующий вывод: Теория детерминированного хаоса описывает процессы нарастания хаоса в системе, а так же влияние разных факторов на это нарастание. Областью применения данной теории являются нелинейные, неустойчивые, диссипативные системы.

¹ Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. М., 1988. С. 110.

Теория катастроф

Математическая теория катастроф описывает некоторые общие черты самых разных явлений скачкообразного изменения режима функционирования системы в ответ на плавное изменение внешних условий, показывает специфику накопления внешнего воздействия. Примерами таких явлений могут быть, как физические (прогиб моста, переворот корабля, климатические изменения и др.), так и социальные (революции, бунты, смена настроения животного и др.). При этом к достоинствам данной теории можно отнести то, что она не требует подробных математических моделей и может описывать ситуации не «количественно», а «качественно», а ее результаты и выводы иллюстрируются простыми геометрическими образами¹. Однако для строго сформулированных задач, данная теория дает не менее строгие «количественные» результаты.

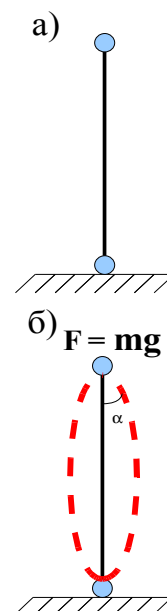
Под катастрофой здесь понимаются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий².

Теория катастроф приходит к двум основным выводам:

- качественное изменение состояния системы происходит скачком, в особых точках – точках бифуркации;
- устойчивое положение системы, даже при малых ее (системы) изменениях, может превратиться в неустойчивое, даже под действием незначительных факторов.

Точка бифуркации означает раздвоение и употребляется в широком смысле для обозначения всевозможных качественных перестроек или метаморфоз различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. Для разъяснения смысла данного понятия, рассмотрим следующий пример.

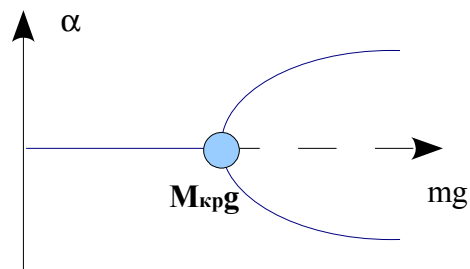
Пусть есть вертикальный стержень, закрепленный в крайних точках шарнирным способом, т.е. с возможностью поворота (рис. 4, а). Подействуем на него сверху некоторой силой, например $F = mg$. Что мы будем при этом наблюдать? Пока приложенная сила незначительна, стержень будет оставаться в неизменном состоянии, никаких внешних изменений не наблюдается. Однако по достижении определенного значения, в системе будет происходить резкий



1 Чулицков А. И. Теория катастроф и развитие мира. // Наука и жизнь, № 6. 2001. С

2 Арнольд В. И. Теория катастроф. М., 1990. С. 8.

переход: стержень резко, скачкообразно выгнется либо в левую сторону, либо в правую (рис. 4, б). Состояние системы в данном случае будем характеризовать углом отклонения стержня от вертикального положения и значением приложенной силы. Именно, этот момент и соответствует нахождению системы в точке бифуркации (рис. 5).



Эта точка $M_{крg}$ обладает рядом характерных свойств. Так выбор дальнейшего пути развития системы в данной точке не определен и зависит от случайного внешнего сколь угодно малого фактора. В точке бифуркации система переходит в неустойчивое

Рис. 5: Потеря устойчивости стержнем

положение, или другими словами, происходит вырождение устойчивого положения. Дальнейшее развитие системы реализует одно из двух устойчивых состояний, а предыдущее состояние переходит в разряд возможных, но неустойчивых, а потому никогда не реализуемых состояний, на рис. 5 это горизонтальная штриховая линия.

Для подтверждения второго вывода рассмотрим следующий математический пример¹. Возьмем функции $y = x^2$, $y = x^3$, $y = x^4$, то все они имеют нулевую первую производную в начале координат. Первая и третья функции имеют в критической

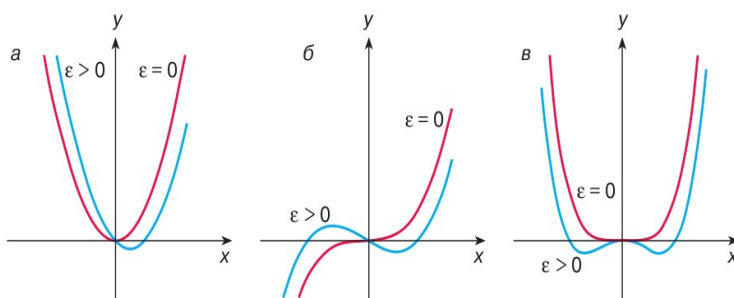


Рис. 6: Деформация функций в окрестности критической точки при изменении параметра

точке минимальное значение, а вторая – точку перегиба. Попробуем слегка пошевелить рассматриваемые функции, введя слабые возмущения: 1) $y = x^2 - \epsilon x$, 2) $y = x^3 - \epsilon x$, 3) $y = x^4 - \epsilon x^2$, где параметр ϵ может быть сколь угодно малым по величине (рис. 6). В результате такого возмущения в случае (1) никаких принципиальных изменений не происходит: сохраняется единственная критическая точка, которая лишь смещена на малую величину (рис. 6, а). Во втором и третьем случаях ситуация совсем иная. Вторая функция, для которой начало координат было точкой перегиба, приобретает две экстремальные точки, одна из которых соответствует минимуму, а другая – максимуму (рис. 6, б). Функция $y = x^4$, имевшая единственный минимум в начале координат, в результате малого

1 Маневич Л. И. О теории катастроф // Соросовский образовательный журнал, т. 6, №7. 2000. С. 85–90.

шевеления имеет уже три критические точки (рис. 6, в). При этом начало координат становится точкой максимума, а в двух новых критических точках, функция принимает минимальные значения.

Видно, что в третьем случае даже малое значение параметра смогло «перевернуть» минимум и сделать устойчивое положение неустойчивым. Предполагается, что именно по такому сценарию может происходить экологическая катастрофа. Так, для простоты введем некоторый обобщенный параметр x , характеризующий качество рассматриваемой ситуации с экологической точки зрения, например среднее содержание вредных примесей в атмосфере. Пусть реализуемы только такие значения x , при которых некоторая функция принимает свое минимальное значение – по аналогии с механикой, где все тела стремятся к минимуму потенциальной энергии. Следуя аналогии, назовем эту функцию «потенциалом».

Пусть при некоторых условиях зависимость потенциала от x изображается графиком (условия, определяющие характер этой зависимости, остаются «за кадром»). Малые возмущения системы, обусловленные, например, деятельностью человека, могут лишь немного изменять загрязненность атмосферы – устойчивое состояние находится в одной из точек локального минимума в нижней части графика (система «сидит» в этой точке надежно, как тяжелый шарик, скатившийся на дно лунки). Перевод системы в опасное состояние – в соседний локальный минимум, соответствующий высокой загрязненности, – практически невозможен: нужен слишком большой толчок, заставляющий систему (в нашей аналогии – тяжелый шарик) преодолеть высокий барьер, отделяющий точки минимума.

Однако при изменении условий (например, при накоплении отходов промышленного производства) характер зависимости потенциала от x может измениться. Тогда даже небольшой толчок может заставить систему «свалиться» в устойчивое состояние с высоким уровнем загрязненности атмосферы. Такой переход может совершиться очень быстро, в считанные годы.

Кроме физических явлений, И. Стюарт показывает в доступной форме возможность описания теорией катастроф и биологических явлений, таких как смена настроения, разделение клеток по «специализации» и многое другое¹.

Все это дает право думать что, кроме отрицательной перспективы, описываемая

1 Стюарт И. Тайны катастрофы. М., 1987. С. 76.

теория открывает и другие возможности. Например, кажущаяся тупиковая ситуация может оказаться признаком надвигающейся «катастрофы», обещающей нам новый период расцвета, при этом даже малые воздействия могут привести к значимым результатам.

В итоге можно сделать вывод, что, взяв истоки из математики, теория катастроф распространила свои методы гораздо шире, чем это могло показаться в самом начале ее зарождения. И теперь применяя ее методы можно описывать не только физические, но биологические и социальные явления, хотя описание многих удаётся лишь на качественном уровне.

Теория фракталов

Понятие фрактала впервые ввел в 1975 году Бенуа Мандельброт. Фрактал – это бесконечно самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба. Масштабная инвариантность, наблюдаемая во фракталах, может быть либо точной, либо приближённой. Развитие теории фракталов и фрактальной геометрии связано с тем, что была замечена неспособность классической геометрии описать форму многих естественных объектов таких, как облака, горы, деревья, прибрежная линия моря. Так можно заметить, что облака – это не сферы, линия берега – это не окружность, кора дерева не является гладкой, молния не распространяется по прямой и т.д. Все эти примеры невозможно свести к простым геометрическим фигурам, и главное, все они обладают несколькими масштабами восприятия. В качестве иллюстрации к сказанному можно привести лужайку размером 5x5 метров. Какова площадь поверхности этой лужайки? Кажется, что ответ очевиден – 25 кв. метров. Однако давайте взглянем на эту лужайку с точки зрения букашки, которая ползает по траве на этой лужайке. С ее точки зрения (в ее масштабе) площадь лужайки уже будет гораздо больше, чем 25 метров, и может превосходить ее в сотни раз. Поэтому задача описания таких объектов становится качественно иной, недоступной для классической геометрии.

Можно сказать, что причиной зарождения теории фракталов стала необходимость в описании объектов, обладающих рядом специфических свойств, а именно, самоподобием. Позже, этот принцип применялся и за пределами геометрии.

В основе фракталов лежит идея самоподобия или инвариантности при изменении

масштабов или размеров, присущая многим законам природы и явлениям окружающего мира¹.

Надо заметить, что «фракталы выражаются не в первичных геометрических формах, а в алгоритмах, наборах математических процедур»². Фрактальный объект не дан непосредственно в своей пространственной развертке как евклидова форма, а формируется посредством серии преобразований над неким исходным изображением. Возникновение посредством таких преобразований некоторого образа, который – и это следует отметить – никогда не достигает полностью завершенной конфигурации, и называют фрактальным ростом. Сам образ (порой картинку, возникающую на экране дисплея, невозможно отличить от обычного изображения, например, пейзажа) воссоздается не сразу, как на сетчатке глаза, а постепенно через серии итераций. В некоторых случаях можно говорить, что он самоорганизуется.

О самоорганизации может идти речь и тогда, когда в формировании образа принимает участие хаос. Исходным изображением может быть самая элементарная фигура, например треугольник. Хаотическая составляющая вводится в алгоритм формирования образа. Такую хаотическую составляющую можно считать наряду с алгоритмами преобразования внутренними свойствами среды, где происходит самоорганизация объекта. Результатом подобных процедур, как это ни парадоксально, оказываются объекты, практически не отличимые от того, что видит глаз³.

Использование фрактала для описания реальных объектов указывает на то, что в природе вообще нет (или почти нет) идеальных поверхностей. До этого момента природа преимущественно представлялась через фрагменты, обладающие гладкостью.

Кроме свойства самоподобия фракталы, характеризуются еще одним индивидуальным свойством – размерностью. Так для фрактала эта величина является дробной. Мы привыкли к тому, что у точки размерность – ноль, у линии размерность равна единицы, у плоскости двойке, а у пространства размерность равняется трем. Поэтому достаточно трудно представить себе, что имеется в виду, когда применительно к фрагменту реальности говорят, что размерность последнего нецелочисленна. Дробная размерность

1 Шредер М. Фракталы, хаос и степенные законы. Ижевск, 2001. С. 15.

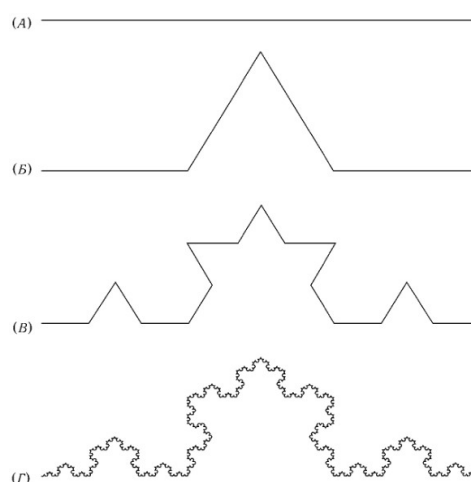
2 Юргенс Х., Пайтген Х. О., Заупе Д. Язык фракталов. // В мире науки, №10. 1990, С. 36–37.

3 Аршинов В. И., Свирский Я. Философия самоорганизации. Новые горизонты // Общественные науки и современность, № 3. 1993. С. 59–70.

выглядит как некая патология, тем более в свете претензии на адекватное описание части реальности. Чтобы прояснить это положение приведем слова Б. Мандельброта.

«Пусть имеется шарик десяти сантиметров в диаметре, представляющий собой моток толстых ниток одномиллиметровой толщины. Такой шарик (в скрытой форме) обладает несколькими различными эффективными размерностями. Для наблюдателя, размещенного достаточно далеко, такой шарик будет являться фигурой с нулевой размерностью: точкой. Если смотреть на шарик с десятисантиметровым разрешением, то он превратится в трехмерный клубок ниток. С десяти сантиметров перед нами предстанет перепутанная смесь одномерных нитей, а с одной десятой сантиметра — каждая нить будет трехмерной колонной. С расстояния же одной сотой миллиметра мы увидим, что каждая колонна расщепляется на волокна, и объект снова станет одномерным. Можно продолжать и дальше, и каждый раз размерность будет переходить от одного значения к другому. Когда же шарик будет выглядеть как состоящий из бесконечного числа атомоподобных точек, он снова станет объектом с нулевой размерностью. С аналогичной последовательностью размерностей и переходов мы столкнемся, даже если будем рассматривать обыкновенный лист бумаги. То обстоятельство, что численное значение эффективной размерности зависит от отношения объекта к наблюдателю, полностью в духе физики нашего столетия и может быть даже примером, иллюстрирующим этот дух. Большинство объектов, рассматриваемых в данном эссе, напоминает наш клубок ниток: они демонстрируют последовательность различных эффективных размерностей. Но здесь добавляется существенно новый элемент: некие плохо определенные переходы между зонами хорошо определенных размерностей. Эти зоны я интерпретирую как фрактальные зоны, внутри которых эффективная размерность больше топологической размерности»¹.

В качестве примера приведем простой пример самоподобной снежинки – кривой Коха (рис. 7). Для построения данной кривой возьмем отрезок прямой (инициатор, рис. 7, а) и на его средней трети построим равносторонний треугольник, как показано на рис. 7, б. Результат этого построения называется генератором. Повторяя еще раз построение равносторонних треугольников, получаем ломаную кривую,



¹ Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М., 200

Рис. 7: Инициатор (А) и генератор (В) для кривой Коха. Следующая стадия построения кривой Коха (В) и аппроксимация высокого порядка к кривой Коха (Г).

изображенную на рис. 7, в. Длина ломаной теперь составляет $(4/3)^2$. Повторяя процесс бесконечно много раз, мы приходим к «кривой» бесконечной длины, которая (хотя и всюду непрерывна) нигде не дифференцируема (рис. 7, г)¹.

В настоящее время фрактальный подход имеет множество реализаций. Например, геометрические фракталы применяются для получения изображений деревьев, кустов, береговых линий, в построении ландшафтов, поверхностей морей. В механике жидкостей фракталы применяются при описании турбулентных потоков, при моделировании пламени, при изучении пористых материалов. В биологии их используют при моделировании популяций, при описании процессов внутри организма. В радиотехнике применяют так называемые фрактальные антенны, выполненные в виде кривой Коха. В информационной сфере разработан алгоритм сжатия изображений на основе фрактальных преобразований и т.д.

Подводя итоги, можно сделать следующий вывод. Судя по описанию и области применения, между теорией фракталов и хаосом существует тесная связь. Теория фракталов рассматривает вместо целочисленных мер дробные и базируется на новых количественных показателях в виде дробных размерностей. Фрактальные дробные размерности отражают процессы эволюции динамических систем и связаны с их свойствами. Теория фракталов и нелинейность составляют геометрию хаоса. По-видимому, фракталы – это не только язык хаоса, но и язык природы².

Теория автопоэзиса

Теория автопоэзиса была разработана в начале 70-х годов XX в. нейробиологами У. Матураной и Ф. Вареллой с целью описания феномена жизни как явления, свойственного открытым, самовозобновляющимся системам. Данная теория поднимает очень важный пласт философско–биологических проблем, через обозначение которых авторы пытаются, на сколько это возможно, сблизить культуру и биологию.

К ключевым понятиям, или особенностям данной теории можно отнести следующие термины: автопоэтические, живые системы, операциональная замкнутость,

1 Шредер М. Фракталы, хаос и степенные законы. Ижевск, 2001. С. 30.

2 Потапов А. А., Булавкин В. В., Герман В. А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур. // Журнал технической физики, т. 75, вып. 5. 2005. С. 28–45.

самореференция.

Автопоэтические системы – такие системы, которые сами себя воссоздают, единственным продуктом их организации являются они же сами.

В определении живых систем У. Матурана отходит от биологического понятия, в том смысле, что отталкивается не от биологического функционирования организма, а от его познавательной сущности. «Живые системы – это когнитивные системы, а жизнь как процесс представляет собой процесс познания. Это утверждение действительно для всех организмов, как располагающих нервной системой, так и не располагающих ею»¹

Следующим основополагающим понятием теории автопоэзиса является операциональная замкнутость. Под ней понимают селективное восприятие сигналов из среды, независимое от среды рекурсивное обращение к собственным внутренним состояниям. Это может проявиться в невозможности локализации системы по входу и выходу. Дело не только в трудности проведения границы между системой и средой и не столько в несовпадении когнитивных областей наблюдателя и системы, а в том, что выходная реакция необязательно связана с входным сигналом и сама влияет во многом на свое последующее изменение. Выход зачастую определяется внутренним состоянием, недоступным наблюдению, и не является реакцией на входной стимул. Система воспринимает и усиливает что-то незначимое с нашей точки зрения и игнорирует то, что мы считали входным сигналом, проявляет внутреннюю детерминацию, следует собственным законам. Входной толчок может запустить цепь рекурсивных изменений, но их итог зависит не от входа, а от внутренних связей и свойств системы, которые тоже могут меняться. А внешние воздействия, среда лишь модулируют эту рекурсию.²

Получается, что в сложной системе самообращенность – играет важную, часто даже более важную роль, чем внешние факторы. Например, на один и тот же мышинный писк, кошка будет реагировать совершенно по-разному, в зависимости от ее внутреннего состояния: голодная начнет охоту, сытая может писка и не заметить, проигнорировать его.

Надо понимать, что операциональная замкнутость ни в коей мере не подразумевает закрытость, так как речь идет об автономности особого рода, допускающей одновременно как взаимодействие системы с внешним миром (обмен веществ), так и непрерывное

1 Матурана У. Биология познания // Язык и интеллект. М., 1995. С. 95–142.

2 Хищенко В. Е. Несколько шагов к новой системной методологии. // Социологические исследования, №3, 2001, С. 8–15.

саморазвитие. Так, несмотря на то, что живые организмы непрерывно контактируют с окружающей средой, они остаются относительно устойчивыми по отношению к ее воздействиям. Нечто заставляет систему оставаться операционально замкнутой, т.е. поддерживать неизменными основные циклы жизнедеятельности и воспроизводить саму себя.

Еще одним важным понятием теории автопоэзиса является самореференция или самоописание. Суть данного понятия заключается в том, что система может ссылаться на себя, она не копирует, не отражает среду в себе, а находит ей свой внутренний аналог, в итоге, «среда становится внутренним миром системы, неповторимым и индивидуальным»¹.

Изначально Матурана и Варела выделили способность к самопроизводству и устойчивому развитию в своей среде обитания в качестве наиболее характерных свойств живых систем, развив для них теорию автопоэзиса. Однако данный подход получил и другое не менее мощное развитие в области социологии и связан с именем Никласа Лумана. Этот автор отмечает, что «термин автопоэзис был введен как определение жизни. Его происхождение отчетливо биологическое. Его распространение на другие сферы обсуждалось, но не имело успеха...»².

Возможность расширения автопоэтических принципов на деятельность надклеточных систем, в том числе – социальных систем и систем, основанных на языковом взаимодействии (человеческих сообществ), связана с гипотезой о существовании автопоэтических единств второго и третьего порядка. Метасистемы второго порядка есть органические метаклеточные системы, которые «обладают макроскопическим онтогенезом, а не микроскопическим, присущим образующим их клеткам»³. Луман описывает процессы стабилизации, самовоспроизведения и саморазвития общества. Затрагивает вопросы зарождения языка и смысла в человеческих сообществах.

Результатом развития теории автопоэзиса стали попытки объяснить на системном, обобщающем уровне явления развития жизни, ее эволюции, устойчивости. Кроме того, данная теория получила широкое применение при описании социальных явлений, как

1 *Хищенко В. Е.* Несколько шагов к новой системной методологии. // Социологические исследования, №3, 2001, С. 8–15.

2 *Luhmann N.* The Autopoiesis of social systems // Essays on self-reference. New York, 1990. P. 1–20.

3 *Матурана У., Варела Ф.* Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. М., 2001. С. 70.

среди животных, так и среди человека. Современная социальная система по Луману трактуется, как автопоэтическая, со всем вытекающими отсюда следствиями.

Теория диссипативных структур

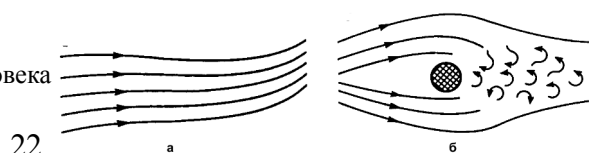
Появление теории диссипативных структур тесно связано с изменением взглядов на проблемы хаоса, эволюции и времени. Так, в первой половине XX века время перестает быть обратимым и получает направленность в своем движении, ученые и философы начинают говорить о «стреле времени»¹. Неразрешенные вопросы эволюции в сторону усложнения биологических систем все сильнее выделяются на фоне классической науки. Как следствие, возникает научный интерес к данной области науки, приводящий к развитию неравновесной термодинамики и теории «диссипативных структур». И. Пригожин первым показывает, наличие взаимодействия порядка и хаоса при развитии сложных открытых систем вдали от равновесия, которое приводит к формированию устойчивых структур, названных диссипативными.

К особенностям развития таких структур можно отнести то, что оно происходит при постоянном обмене энергией и веществом с внешней средой, при прекращении обмена диссипативная структура перестает существовать. Процессы, происходящие внутри системы, являются неравновесными и нелинейными. Качественные изменения системы происходят в так, называемых точках бифуркации. Энтропия таких систем при переходе к новой форме самоорганизации уменьшается, т.е. в системе появляется большая упорядоченность.

Процесс перехода «устойчивость-неустойчивость-устойчивость» выглядит следующим образом. Первоначально устойчивая диссипативная структура, достигая в процессе эволюции системы порога неустойчивости, начинает осциллировать, а возникающие в ней флуктуации приводят к самоорганизации новой, более устойчивой на данном иерархическом уровне диссипативной структуры.

Существует несколько классических примеров диссипативных структур: неустойчивость Бенара или решетка Бенара, химическая реакция Белоусова – Жиботинского, переход от ламинарного к турбулентному движению жидкости.

¹ Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека



22

Рис. 8: Ламинарное (а) и турбулентное (б) течения жидкости.

Самым распространенным и самым наглядным является последний пример. До недавнего времени он отождествлялся с переходом к хаосу. В действительности же обнаружено, что в точке перехода путем самоорганизации диссипативных структур происходит упорядочение, при котором часть энергии системы переходит в макроскопически организованное вихревое движение, схематически представленное на рис. 8. Таким образом, гидродинамическая неустойчивость при переходе ламинарного течения в турбулентное связана с образованием динамических диссипативных структур в виде вихрей¹.

Следующий пример диссипативных структур – неустойчивость Бенара возникает в горизонтальном слое жидкости с вертикальным градиентом температуры. Нижняя поверхность слоя жидкости нагревается до заданной температуры, более высокой, чем температура верхней поверхности. При таких граничных условиях в слое жидкости устанавливается стационарный поток тепла, идущий снизу вверх. Когда приложенный градиент температуры достигает некоторого порогового значения, состояние покоя жидкости становится неустойчивым. Возникает конвекция, соответствующая когерентному, т.е. согласованному, движению ансамблей молекул; при этом перенос тепла увеличивается. В результате, конвективное движение жидкости порождает сложную пространственную организацию системы. Миллионы молекул движутся согласовано, образуя конвективные ячейки в форме правильных шестиугольников².

По сравнению с однородным равновесным распределением конвекционные ячейки являются более высокоорганизованной структурой, возникающей в результате кооперативного движения молекул жидкости.

Химическим примером диссипативной системы может являться реакция Белоусова – Жиботинского. Основной ее особенностью является то, что на некоторых стадиях этой реакции присутствуют автокаталитические петли. Это означает, что результат химической реакции участвует в поддержании самой этой реакции. В итоге, наблюдатель может видеть, периодическую смену окраски химического раствора или образование пространственных структур в виде чередования цветных полос. Конкретная реализация зависит от параметров проведения реакции, в данном случае от температуры и

1 Трубецков Д. И. Турбулентность и детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал, №1. 1998. С. 77–83.

2 Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М., 1986. С. 196.

концентрации веществ¹.

В данном примере, так же наблюдается скоординированность миллионов и миллиардов молекул, участвующих в реакции. Наблюдается высокая упорядоченность в происходящих процессах.

Необходимо заметить, что итогом работы И. Пригожина над теорией диссипативных структур явилось не просто поднятие занавеса над еще одной малоизученной областью науки, но стала толчком, приведшим к кардинальным переменам в науке и философии, в изменении понимания картины мира.

Новое отношение к миру, после открытия неустойчивости, неоднозначности в развитии систем, бифуркационного типа их развития стало выражать «сближение деятельности ученого и литератора. Литературное произведение, как правило, начинается с описания исходной ситуации с помощью конечного числа слов, причем в этой своей части повествование еще открыто для многочисленных различных линий развития сюжета. Эта особенность литературного произведения как раз и придает чтению занимательность — всегда интересно, какой из возможных вариантов развития исходной ситуации будет реализован. Так же и в музыке – в фугах Баха, например, заданная тема всегда допускает великое множество продолжений, из которых гениальный композитор выбирал на его взгляд необходимое. Такой универсум художественного творчества весьма отличен от классического образа мира, но он легко соотносим с современной физикой и космологией. Вырисовываются контуры новой рациональности, к которой ведет идея нестабильности. Эта идея кладет конец претензиям на абсолютный контроль над какой-либо сферой реальности, кладет конец любым возможным мечтаниям об абсолютно контролируемом обществе. Реальность вообще не контролируема в смысле, который был провозглашен прежней наукой»².

Можно сказать, что с развитием теории диссипативных структур науке удалось достичь непротиворечивого описания природы, основанного на динамической нестабильности. «Описания природы, используемые биологией и физикой, ныне начали конвергировать». Однако решив один вопрос, возник другой, связанный со стрелой времени. Почему стрела времени всегда указывает в одном и том же направлении? Вот тот

1 Эбеллинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979. С. 36.

2 Пригожин И. Философия нестабильности // Вопросы философии, № 6. 1991. С. 46–57.

вопрос, ставит Пригожин в конце XX века, и который еще предстоит решить¹.

Нелинейная термодинамика и теория диссипативных структур, заканчивает подготовку к объединению множества теорий о самоорганизации, таких как теория детерминированного хаоса, теория катастроф, теория фракталов, теория автопоэзиса, и т.д. под единым началом новой обобщающей науки о самоорганизации – синергетике.

Синергетика

Термин синергетика был предложен в 1973 году немецким физиком Хакеном и означает "совместное действие". Синергетика по Хакену занимается изучением систем, состоящих из большого числа частей, компонент или подсистем, одним словом, деталей, сложным образом взаимодействующих между собой. Основное внимание синергетика направляет на «... на изучение законов эволюции и самоорганизации сложных систем разной природы»².

Синергетика являет собой нечто большее, чем наука, созданная на стыке двух или нескольких наук. Она объединяет не периферические области соприкосновения наук, а их ядра, основные положения на основе идеи эволюции и самоорганизации. Так в книге «Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии» Г. Хакен показывает применимость синергетики к таким областям как неравновесная термодинамика, химия, оптика, биология, экономика, социология, психология, информатика, наука в целом³. Синергетика, явилась той объединительной силой, которая смогла обобщить и осмыслить полученные к концу XX века результаты в области эволюции и самоорганизации сложных систем, выработать не только качественные, но и количественные характеристики к описанию этих процессов.

Однако надо понимать, что синергетика родилась не на пустом месте, что и у нее уже были предшественники, которые занимались вопросами самоорганизации. К таким теориям как раз и можно отнести рассмотренные выше: теорию детерминированного хаоса, катастроф, фракталов, автопоэзиса. Именно поэтому, овладев знаниями по данным областям и переходя к изучению синергетики, обнаруживаешь их огромную неделимую

1 Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск, 1999. С. 142.

2 Князева Е. Н. Научись учиться // Мост, № 45. СПб., 2001. С. 38–40.

3 Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: наука о взаимодействии. М., 2003. С. 320.

связь.

В настоящее время все эти теории развиваются параллельно друг–другу. При этом каждая работает в своей частно–научной области, а там где необходим больший уровень обобщения, исследователи прибегают к помощи синергетики.

Таким образом, под влиянием развития науки и синергетики, в частности, в науки складывается новая парадигма, определившая современное видение мира и получившая название постнеклассической¹.

Необходимо обозначить основные особенности данной парадигмы, поскольку она является логическим продолжением развития идей системного подхода, теорий самоорганизации и синергетики.

Постнеклассическая парадигма

Обозначим основные положения постнеклассической парадигмы, сложившейся в науке конца XX, начала XXI века виде отдельных пунктов по ключевым аспектам.

Мир и его объекты рассматриваются, как эволюционирующие системы, процессы в которых необратимы и могут вызываться малыми событиями.

Для сложных самоорганизующихся систем характерно множество путей развития, а также возможность выбора оптимального. При этом каждая система может учитывать прошлый опыт.

На всех уровнях самоорганизации потенциалом нового порядка является неравновесность, неупорядоченность, хаос, который признан созидющим началом.

Все процессы имеют случайную, вероятностную составляющую протекают в условиях неопределенности. Чем сложнее система, тем больше степень этой неопределенности.

Эволюция, таким образом, обладает многонаправленностью и непредсказуемостью.

Человек начинает осознавать свою включенность во все связи мира, в процессы самоорганизации разных систем. Основными объектами научного познания становятся возможности естественных систем, как способов решения человеческих проблем. Объект

¹ *Степин В. С.* Теория Теоретическое знание. М., 1999 С. 397.

не отделен от субъекта, задача ставится не описать мир сам по себе, а описать мир, в котором живет человека и решает свои проблемы.

В связи с этим встает задача о том, на сколько человек вправе навязывать миру определенное направление развития, на сколько он вправе подталкивать системы к определенному выбору варианта порядка.

Таким образом, научная деятельность начинает корректироваться с точки зрения нравственности, нравственных норм и становится оправданным контролем общества за этой деятельностью. Ученый теперь несет ответственность, за результаты своих исследований.

Происходит коренное изменение в области методов познания. Эксперимент с реальным объектом рассматривается, как уникальное событие, его результат может быть не всегда предсказуем. Большую роль начинает играть математический эксперимент с использованием вычислительной техники. Он позволяет учитывать влияние множества разных факторов на объект, а значит, и выбирать оптимальные параметры для объекта.

Для человеческого творчества, в плане создания математических и компьютерных моделей, открываются большие перспективы.

Научное познание обретает ценностную окраску. Возрастает значение гуманитарных и социальных наук. Для того чтобы начать исследование, необходимо сначала обосновать его с точки зрения ценностных, социально–гуманитарных ориентиров.

Гуманитарные науки ставят перед естественными и техническими науками много новых проблем. Естественные науки перестали рассматриваться в качестве абсолютного лидера, интеграция наук происходит на социально–гуманитарной базе.

На смену классического детерминизма приходит избирательный детерминизм: и система выбирает и человек осуществляет выбор.

Подытожим описанную картину постнеклассической парадигмы словами известного российского философа, доктора философских наук, профессора, академика Российской Академии наук В.С. Степина, которые очень точно описывают то видение мира, к которому нас привело развитие системного подхода и синергетики. «В современной ситуации формируется новое видение природной среды, с которой человек взаимодействует в своей деятельности. Она начинает рассматриваться не как конгломерат изолированных объектов и даже не как механическая система, но как целостный живой организм, изменение которого может проходить лишь в определенных границах.

Нарушение этих границ приводит к изменению системы, ее переходу в качественно иное состояние, могущее вызвать необратимое разрушение целостности системы»¹.

1 *Степин В. С.* Теоретическое знание. М., 1999 С. 410.

Заключение

В данной работе сделана попытка представить современные теории самоорганизации, их специфику, различия и общие черты, в контексте их эволюционного развития. При этом прослежен путь от зарождения системного подхода в работах по «тектологии» А. А. Богданова и «общей теории систем» Берталанфи, к развитию отдельных теорий самоорганизации таких, как теория детерминированного хаоса, катастроф, фракталов, автопоэзиса, диссипативных структур и далее к универсальной теории самоорганизации – синергетике, которая является обобщением ранее существующих теорий. Ее развитие связано с такими именами, как Хакен, Пригожин, Степин, Курдюмов.

Специфика каждой из теорий раскрывается при рассмотрении характерных явлений, описываемых ими. При этом видна как общность, так и различие теорий в объекте и методах исследования.

Следуя системной парадигме, описание теорий самоорганизации осуществлено не само по себе, а вписано в общую идею развития научной картины мира, научной парадигмы. При этом показано, что развитие теорий самоорганизации и синергетики в частности, началось на базисе неклассической научной парадигмы, с зарождающимся системным подходом, а продолжилось на базе постнеклассической парадигмы, с признанием самоорганизующего начала в сложных системах. При этом надо понимать, что именно развитие идей самоорганизации и синергетики спровоцировало принятие новой постнеклассической парадигмы, а не наоборот.

В конце хочется отметить, что развитие синергетики и идей самоорганизации именно *продолжилось* и продолжается на базе новой парадигмы, а не закончилось, поскольку современная синергетика и теории самоорганизации еще только начали свое развитие и имеют большой нераскрытый потенциал роста. Более того, согласно принципам самой синергетики, ее развитие не должно останавливаться, поскольку она представляет собой открытую и сложную систему, находящуюся вдали от равновесия.

Список литературы

1. Анищенко В. С. Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал, №6. 1997. С. 70–76.
2. Арнольд В. И. Теория катастроф. М., 1990. С. 128.
3. Аршинов В. И., Свирский Я. Философия самоорганизации. Новые горизонты // Общественные науки и современность, № 3. 1993. С. 59–70.
4. Бергаланфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник. М., 1973. С. 20–36.
5. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор. В кн. «General Systems», т. VII, 1962, С. 1–20.
6. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука, кн.1. М., 1989. С. 304.
7. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1983. С. 344.
8. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем, кн. 1. М., 1981. С. 336.
9. Князева Е. Н. Научись учиться // Мост, № 45. СПб., 2001. С. 38–40.
10. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М., 2002. С. 656.
11. Маневич Л. И. О теории катастроф // Соросовский образовательный журнал, т. 6, №7. 2000. С. 85–90.
12. Матурана У. Биология познания // Язык и интеллект. М., 1995. С. 95–142.
13. Матурана У., Варела Ф. Дерево познания: Биологические корни человеческого понимания. М., 2001. С. 224.
14. Потапов А. А., Булавкин В. В., Герман В. А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур. // Журнал технической физики, т. 75, вып. №5. 2005. С. 28–45.
15. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск, 1999. С. 207.

16. Пригожин И. Порядок из хаоса. М., 1986. С. 432.
17. Пригожин И. Философия неустойчивости // Вопросы философии, №6. 1991. С. 46 – 57.
18. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М., 1986. С. 432.
19. Сивухин Д. В. Общий курс физики, т. 2. М., 1975. С. 565.
20. Степин Н. В. Теоретическое знание. М., 1999 С. 462.
21. Стюарт И. Тайны катастрофы. М., 1987. С. 78.
22. Трубецков Д. И. Турбулентность и детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал, №1. 1998. С. 77–83.
23. Фёстер фон Г. О самоорганизующихся системах и их окружении // Самоорганизующиеся системы. – М., 1964, с. 113–137.
24. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным явлениям. М., 1991. С. 240.
25. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: наука о взаимодействии. М., 2003. С. 320.
26. Хиценко В. Е. Несколько шагов к новой системной методологии. // Социологические исследования, №3, 2001, С. 8–15.
27. Чуличков А. И. Теория катастроф и развитие мира. // Наука и жизнь, №6. 2001. С.28-35.
28. Шредер М. Фракталы, хаос и степенные законы. Ижевск, 2001. С. 528.
29. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. М., 1988. С. 253.
30. Эбеллинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979. С. 279.
31. Юргенс Х., Пайтген Х. О., Заупе Д. Язык фракталов. // В мире науки, №10. 1990, С. 36–37.
32. Ashby. W. R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. vol. 37. 1947. p.125–128.
33. Luhmann N. The Autopoiesis of social systems // Essays on self-reference. New York, 1990. P. 1–20.