

Синергетика: мировоззрение, методология, наука

Введение

Что общего между горящей свечой и навязчивой идеей, «большим красным пятном» Юпитера и культурной традицией, эпидемией гриппа и «оранжевой» революцией, джазовой композицией и морозным узором на оконном стекле? Что объединяет эти и многие другие сложные явления? Разговор здесь о синергетике, которую иногда называют теорией самоорганизации или теорией сложности (complexity). Термин «синергетика» (от греч. *synergetikos* — совместно действующий) введен немецким физиком-теоретиком Германом Хакеном в 1970 г. и озна-

чает совместное действие, кооперативное поведение в самых разных многокомпонентных системах, состоящих, например, из молекул газа, нейронов мозга, членов сообщества или элементарных частиц. Хакена, специалиста по квантовой оптике, поразило сходство природы самоорганизации в областях совершенно далеких друг от друга, а именно механизмов генерации когерентного излучения лазера и механизмов зарождения паники или слухов в возбужденной социальной среде. Так и возникла идея построения универсального синергетического языка для работы со сложно-

стью. Еще в 80-х гг. прошлого века один из лидеров синергетики в России, директор Института прикладной математики РАН член-корреспондент РАН Сергей Павлович Курдюмов поразил коллег-математиков заявлением, что в XXI в. большинство задач математического моделирования будет связано с экономикой и социогуманитарной сферой, междисциплинарными проектами. Сегодня эта тенденция очевидна всем, технологические инновации постиндустриального мира всегда междисциплинарны, да и технологии, оказывается, бывают и социальными, и когнитивными, и конвергентными, например *nanobio-info-cogni*-технологии.

Псевдокритика

Тем не менее все еще слышны окрики (а может быть, так будет всегда): нельзя применять синергетические модели в социогуманитарном знании; не существует никакой междисциплинарной методологии, а исследования в этих сферах лишь отвлекают

Буданов Владимир Григорьевич — ведущий научный сотрудник сектора междисциплинарных проблем науки и техники Института философии РАН, д.ф.н., к.ф.-м.н., профессор МГУ и РАГС при Президенте РФ.

людей от занятий «нормальной» дисциплинарной наукой, обнадеживают пустыми обещаниями, уводят средства грантов на сомнительные проекты; гуманитарная сфера бесконечно сложнее Ваших естественно-научных моделей, и физикам надо учиться у гуманитариев в понимании сложного, а не наоборот; нет диалога философов и синергетиков, все уже сказано Гегелем и классиками диамата; пора объявить синергетику лженаукой, и т.д., и т.п.

Так и хочется добавить хрестоматийное: «Запретить синергетику, продажную девку постмодернизма!» Причем ни один из аргументов подобных критиков не оригинален и многократно обсуждался в работах самих синергетиков в рамках рефлексии по поводу путей ее развития, хотя и не в таком агрессивно-невежественном стиле. Дело, вероятно, не в науке, а в политической реакции части научного истеблишмента, озабоченного экспансией синергетики в его сферы влияния и возможностью перераспределения финансовых потоков и приоритетов отечественной науки, нарушением статус-кво в период грядущих реформ Академии. Так было в середине 1990-х и в 2000-е гг., эта кампания продолжается и сейчас, якобы под флагом философской дискуссии. Тем самым фактически блокируется возможность организации в России центра междисциплинарных исследований по типу Института сложности в Санта-Фе в США, решающего стратегические задачи национального и мирового развития. Именно поэтому нам кажется необходимым вернуться к истокам, разобратся, где правда и где ложь, и поразмыслить о безусловных ценностях, успехе и болезнях роста синергетики, о ее методологии.

Предтечи

Синергетика, будучи наукой о процессах развития и самоорганизации сложных систем природы, наследу-

ет и развивает универсальные, междисциплинарные подходы своих предшественниц: тектологии А.И. Богданова, теории систем Людвиг фон Бергаланфи, кибернетики Норберта Винера. Однако ее язык и методы сформировались в нелинейной математике и естественных науках, изучающих эволюцию сложных систем и существенно обогащают наши представления о законах изменчивого мира. История методов синергетики связана с именами многих выдающихся ученых XX в. Прежде всего это великий французский математик, физик и философ Анри Пуанкаре, который уже в конце XIX в. заложил основы методов нелинейной динамики и качественной теории дифференциальных уравнений. Именно он ввел понятия аттракторов, точек бифуркаций, неустойчивых траекторий и динамического хаоса в задаче о трех телах небесной механики (притяжение Земля — Луна — Солнце).

Язык и методы синергетики сформировались в нелинейной математике и естественных науках, изучающих эволюцию сложных систем.

В первой половине XX в. большую роль в развитии методов нелинейной динамики играла русская и советская школа математики и физики: А.М. Ляпунов, Н.Н. Боголюбов, Л.И. Мандельштам, А.А. Андронов, А.Н. Колмогоров, А.Н. Тихонов. Эти исследования в большой мере стимулировались решением стратегических оборонных задач: создание ядерного оружия, освоение космоса. Западные ученые также использовали первые оборонные ЭВМ при обнаружении неравновесных тепловых структур: модель морфогенеза (Алана Матисона Тьюринга) и уединенных волн — солитонов (Энрико Ферми). Этот период можно назвать «синергетикой до синергетики», т.к. сам термин еще не использовался.

Эпоха бури и натиска

В 1960–1970-е гг. происходит подлинный прорыв в понимании процессов самоорганизации в самых разных явлениях природы и техники. Перечислим некоторые из них: теория генерации лазера Г.Б. Басова, А.М. Прохорова, Чарльза Таунса; колебательные химические реакции Б.П. Белоусова и А.М. Жаботинского — основа биоритмов живого; теория диссипативных структур И.Р. Пригожина; теория турбулентности А.Н. Колмогорова и Ю.Л. Климонтовича. Неравновесные структуры плазмы в термоядерном синтезе изучались Б.Б. Кадомцевым, А.А. Самарским, С.П. Курдюмовым. Теория активных сред и биофизические приложения самоорганизации исследовались А.С. Давыдовым, Г.Р. Иваницким, И.М. Гельфандом, А.М. Молчановым, Д.С. Чернавским. В 1963 г. происходит эпохальное открытие динамического хаоса — сначала в задачах прогноза погоды (Эдвард Лоренц), затем теоретически и начинается

изучение странных аттракторов в работах Дэвида Рюэля, Флориса Такенса, Л.П. Шильникова. Для странных аттракторов характерна неустойчивость решения по начальным данным. Знаменитый «эффект бабочки», взмах крыльев которой может радикально изменить дальний прогноз погоды, — образ динамического хаоса. Создается универсальная теория катастроф (скачкообразных изменений состояний систем) Рене Тома и В.И. Арнольда, и развиваются ее приложения в психологии и социологии, а также теория автопоэзиса живых систем Умберто Матураны и Франсиско Варелы. Эти методы и подходы в изучении сложных систем Герман Хакен и назовет в 1970 г. синергетикой (теорией коллективного, кооперативного, комплексно-

го поведения систем), предварительно эффективно применив их в теории генерации лазера.

Осознание сложности

В 1980–1990-е гг. продолжается изучение динамического хаоса и проблемы сложности. В связи с созданием новых поколений мощных ЭВМ развиваются фрактальная геометрия (Бенуа Мандельброт), геометрия самоподобных объектов (типа облака, кроны дерева, береговой линии), которая описывает структуры динамического хаоса и позволяет эффективно сжимать информацию при распознавании и хранении образов. Были обнаружены универсальные сценарии перехода к хаосу (Митчел Фейгенба-

ся ядром научной картины мира XXI в., и пытается навести мосты между частнонаучными картинами реальности и сформировать принципы новой общенаучной картины мира. Сегодня синергетика быстро интегрируется в область гуманитарных наук, возникли такие направления, как социосинергетика и эволюционная экономика, или экофизика, применяют ее психологи и педагоги, развиваются приложения в лингвистике, истории и искусствоведении, реализуется проект создания синергетической антропологии. Особо актуальны сегодня антикризисные технологии синергетики. Подчеркнем, что в разных стра-

популярном уровне. Здесь имеет место обращение к наглядности, к здравому смыслу, аналогии, эстетическому чувству и безусловному доверию авторитету творцов новой парадигмы. Именно так укореняется наука в обыденном сознании, в популярных изданиях, именно так выглядят вводные главы книг Хакена и Пригожина. Для пытливого ума это всегда радость встречи с новым взглядом на окружающий нас мир. Это чувство мастерски, зажигательно умел передать аудитория Курдюмов. Принципиально важно, что новое понимание реальности скрыто не только в мирах физики элементарных частиц или глубинах Вселенной, а растворено в повседневности. Это наполняет жизнь очарованием тайны, ключи от которой теперь доступны каждому. Именно этим можно объяснить интерес к синергетике. Такие термины, как бифуркация, аттрактор, самоорганизация, фрактал, стали общими в гуманитарной и околонаучной среде. Понимаемые метафорически, они создают благодатную почву для двух конкурирующих тенденций. Первая — позитивная: метафора, являясь в картине мира одним из мощных каналов творческой, в том числе и междисциплинарной коммуникации, создает благоприятный мотивационный фон для применения строгой конструктивной синергетической методологии в междисциплинарных обменах и проектах. Подчеркнем, что это лишь первый эвристический шаг, явно недостаточный для научных заключений! Вторая — негативная, связанная со своего рода «защумлением» пространства междисциплинарных коммуникаций псевдосинергетическими ассоциациями и метафорами. Стоит ли специально говорить о тех опасностях, которые грозят синергетике в том случае, если вторая тенденция возобладает. И все же я не стал бы их преувеличивать. Синергетика — это всерьез и надолго, она обладает эффективными способами адаптации.

Сегодня синергетика быстро интегрируется в область гуманитарных наук. Особо актуальны сегодня антикризисные технологии синергетики.

ум, Ив. Помо). В 1990 г. открыт феномен самоорганизованной критичности. Его можно исследовать, рассматривая кучу песка (Пер Бак). Сходящие лавинки воспроизводят распределения Парето по величинам событий для биржевых кризисов, землетрясений, аварий сложных технических комплексов и т.д.

О новой парадигме

В 1960–1980-е гг. радикально меняется общенаучная картина мира. Мегаобъекты неживой природы в астрофизике и геофизике — планеты Солнечной системы, Вселенная — начинают рассматриваться как эволюционирующие в одном ряду с живыми и социальными объектами. Возникает единый подход к миру сложных явлений — универсальный эволюционизм Эриха Янча и Н.Н. Моисеева. В философии этот синтез, согласно В.С. Степину (1), осмысливается в терминах постнеклассической науки о саморазвивающихся системах, которая обосновывает перспективу конвергенции наук о природе и человеке, а также полагает, что синергетика является

нах это междисциплинарное направление может называться по-разному: синергетика в России и Германии, complexity в США, теория диссипативных структур во Франции, теория самоорганизации, нелинейная динамика, теория открытых систем, теория катастроф — термины, принятые всюду. Причем круг задач и методов их решения везде одинаковы, а самоназвание связано с историей и приоритетами той или иной национальной научной школы.

Синергетика в постнеклассической картине мира

Синергетику в современной научной культуре естественно рассматривать в трех аспектах: синергетика как картина мира; синергетика как методология; синергетика как наука. В рамках освоения картины мира происходит первое, а иногда и единственное, знакомство с понятиями синергетики и ее возможностями. Как правило, это происходит на уровне обыденного языка, на слабо формализованном, зачастую метафорическом,

Междисциплинарность

Следует пояснить подробнее, что мы понимаем под навыками междисциплинарного взаимодействия. Предлагается выделять пять типов междисциплинарных стратегий коммуникаций и, соответственно, пять типов использования термина «междисциплинарность». Первый: междисциплинарность как согласование языков смежных дисциплин, имеющих пересекающиеся предметные области исследований (таковы отношения физики и химии, психологии и социологии). Второй: междисциплинарность как трансдисциплинарность, транссогласование языков дисциплин не обязательно близких (в первую очередь это универсальные методы математики, системного анализа и синергетики). Третий: междисциплинарность как эвристическая гипотеза-аналогия, переносящая конструкции одной дисциплины в другую поначалу без должного обоснования. Четвертый: междисциплинарность как конструктивный междисциплинарный проект, организованная форма взаимодействия многих дисциплин с целью понимания, обоснования, создания и, возможно, управления феноменами сверхсложных систем. В любом случае используются все три предыдущих типа междисциплинарной коммуникации. Пятый: междисциплинарность как сетевая коммуникация, или самоорганизующаяся коммуникация. Именно так происходит внедрение междисциплинарной методологии, трансдисциплинарных норм и ценностей, инвариантов и универсалий научной картины мира, так развивается синергетика, сети научных школ и ассоциаций, Интернет, так распространяются слухи и мода.

Проблемы метаязыка и методологии

Синергетика как часть общенаучной картины мира возникает на волне моды, опьянения головокружительными перспективами — впрочем, это характерно для социальной прививки любой науки.

Все может кончиться похмельем несбывшихся иллюзий, а может возникнуть принципиально иное понимание мира. Мода, конечно, пройдет, но в основания культуры будут заложены принципы и язык синергетики, и время рассеет mirage непонимания. Речь идет об особой методологии, ядро которой должно быть гарантом преемственности научных ценностей, с одной стороны, и открытости к инновациям — с другой. Такая открытая адаптивная методология становления и есть методология синергетики. Она призвана реализовать, укоренить принципы синергетики в общественном сознании, адаптировать их для непрофессионалов на уровне уже не метафор, а конструктивных принципов, помогающих понимать и моделировать реальность. Она должна организовать поле встречи и создать метаязык диалога синергетиков, математиков и людей иных профессий, иных дисциплин, в том числе и гуманитарных. Метаязык фиксирует, насколько это возможно, понятия синергетики в терминах обывденного языка, сводя метафоризацию к минимуму, тогда как принципы синергетики позволяют осуществлять мягкое моделирование реальности в этом тезаурусе.

Аутентичная синергетика как ядро синергетической парадигмы

Синергетика существует в единстве своего предмета и метода. И если предмет синергетики —

это саморазвивающиеся системы, а это почти «все», то метод, синергетический метод, весьма специфичен, связан с культурой моделирования. Говоря о методе, необходимо обратиться к истокам, к аутентичной синергетике. В этом контексте иногда говорят о сильной, строгой синергетике или ядре синергетической парадигмы — традиции, лежащей в основе междисциплинарных методов ее классиков Хакена, Пригожина, Курдюмова, а еще раньше — Пуанкаре. В междисциплинарных ландшафтах современного научного знания строгая, аутентичная синергетика занимает особое место. Я полагаю, что аутентичная синергетика рождается и развивается на пересечении, конструктивном синтезе трех начал, а именно: нелинейного моделирования, практической философии и предметного знания. Этот синтез особенно эффективен в междисциплинарных взаимодействиях. Если раньше каждый из творцов синергетики, будучи одновременно физиком, математиком и философом, счастливо сочетал эти качества, зачастую интуитивно, то сегодня, с возрастанием сложности задач, это все проявлено и разделено, осуществляется в конкретных проектах, в мультидисциплинарных сообществах разными людьми, методами сетевой коммуникации и философской рефлексии.

Помимо прекрасного понимания математики и физики творцы синергетики демонстрируют и глубокое философское осмысление ее истоков и проблем. Итак, синергетический синтез возможен только на базе взаимодействия математики, предметного знания и философии, что удобно изображать графически (рис. 1). Пересечение трех областей отображает общенаучный синтез, который в разное время пытались осуществить то на базе философии, например диалектики Гегеля, то на базе математики (логический позитивизм начала XX в.), то на базе междисциплинарного системно-

Рисунок 1



структурного подхода в первой половине прошлого века. Синергетика, представленная центральной частью диаграммы, пытается синтезировать предыдущие подходы на базе современной культуры междисциплинарного моделирования, обогащая их фундаментальными открытиями последней трети XX в., прежде всего в области универсалистских динамических теорий (теорий катастроф, динамического хаоса, самоорганизации), а также в области компьютерного эксперимента и математического моделирования. Синергетический мегапроект далек от завершения, скорее он входит в фазу конструктивной зрелости и окончательно завоевания междисциплинарной легитимности, особенно в глазах гуманитариев.

С другой стороны, неформализованная или метафорическая синергетика тоже подлежит изучению и развитию. Именно в ее терминах укореняется синергетика в массовом сознании, мировоззрении, в постмодернистской философии. Именно она является первым мотивом и языком в междисциплинарном контакте, в первой прикидке совместных действий, объясняет взаимодействие дисциплинарных аур и онтологий в пространстве синергетической картины мира; здесь же разворачивается диалог с другими междисциплинарными направлениями. Именно в этой области происходит первый контакт с синер-

гетикой у гуманитариев, в этой области лежат многие когнитивные, педагогические, психологические и коммуникативные приемы и технологии, которые пока не освоены строгой синергетикой. Именно эта область наиболее креативна, поставляет новые проекты и методы, питающие ядро синергетики. Метафорическая синергетика и строгая синергетика являются не противостоящими полюсами и не просто периферией и ядром, они характеризуют начальный и конечный этапы процесса моделирования в междисциплинарных задачах. Просто такова логика моделирования человекомерных систем — от метафоры к модели. С метафоры все начинается. В точном естествознании акцент делается на конечном, строгом этапе моделирования. Начальный этап сознательно активизируется лишь в редкие периоды научных революций, либо, в неявной форме, в творческой, интуитивной фазе научной работы. В остальных случаях метафора изгоняется из научного метода.

Методологические принципы синергетики

Критерии отбора

Несколько общих слов о выборе методологических принципов. Во-первых, принципы синергетики могут находиться в отношении кольцевой причинности. Например, понятие «ген» нельзя определить без обращения к понятию организма, составной частью которого он является. Во-вторых,

принципов не должно быть слишком много, иначе трудно их одновременно использовать. В простейшем варианте можно предложить семь основных принципов синергетики (2). Два структурных принципа бытия: 1 — гомеостатичность, 2 — иерархичность. Они характеризуют фазу «порядка», стабильного функционирования системы, прозрачность и простоту описания. Пять принципов становления: 3 — нелинейность, 4 — неустойчивость, 5 — незамкнутость, 6 — динамическая иерархичность, 7 — наблюдаемость. Они характеризуют фазу трансформации, обновления системы, последовательное прохождение ею этапов: гибели старого порядка, хаоса испытания альтернатив и, наконец, рождения нового порядка. При этом мы различаем порождающие принципы становления (3-й, 4-й, 5-й), которые являются необходимым и достаточным условием его реализации, и конструктивные принципы становления (6-й, 7-й), описывающие сборку, детали и конструкцию процесса становления, а также его понимание наблюдателями и сопряжение со средой.

Структурные принципы бытия

1. Гомеостатичность. Гомеостаз — это явление поддержания программы функционирования системы в некоторых рамках, позволяющих ей следовать к своей цели. Согласно Норберту Винеру, всякая система телеологична, т.е. имеет цель существования. При этом от цели-эталона-идеала (реальной или воображаемой) система получает корректирующие сигналы, позволяющие ей не сбиться с пути. Эта корректировка осуществляется за счет отрицательных обратных связей (доля сигнала с выхода системы подается на вход обратным знаком), подавляющих любое отклонение в программе поведения, возникшее под действием внешней среды. Цель-программу поведения системы в состоянии гомеостаза в синергетике называют аттрактор (притягиватель). Подчерк-



нем, что аттракторы существуют только в открытых диссипативных системах, т.е. рассеивающих энергию, вещь, информацию, и описывают финальное поведение системы, которое обычно намного проще переходного процесса. Этот принцип объединяет многие идеи кибернетики, системного анализа и синергетики.

2. Иерархичность. Наш мир иерархизован по многим признакам. Например, по масштабам длин, времен, энергий. Основным смыслом структурной иерархии является составная природа вышестоящих уровней по отношению к нижестоящим. То, что для низшего уровня есть структура-порядок, для высшего есть бесструктурный элемент хаоса, строительный материал. Мы говорим: нуклоны образованы кварками, ядра — нуклонами, атомы — ядрами и электронами, молекулы — атомами, общество — людьми, слова — звуками.

Всякий раз элементы, связываясь в структуру, передают ей часть своих функций, степеней свободы, которые теперь выражаются от лица коллектива всей системы, причем на уровне элементов этих понятий могло и не быть. Подобные коллективные переменные «живут» на более высоком иерархическом уровне, нежели элементы системы, и в синергетике, следуя Хакену, их принято называть параметрами порядка — именно они описывают в сжатой форме смысл поведения и цели-аттракторы системы. Описанная природа параметров порядка называется принципом подчинения, когда изменение параметра порядка как бы дирижирует синхронным поведением множества элементов низшего уровня, образующих систему, причем феномен их когерентного, т.е. взаимосогласованного, сосуществования иногда называют явлением самоорганизации. Подчеркнем принцип круговой причинности в явлениях самоорганизации, взаимную обусловленность пове-

дения элементов любых двух соседних уровней, своеобразный общественный договор: одни управляют, организуя согласованное поведение и порядок, другие подчиняются, передавая первую часть своих степеней свободы, и тем самым участвуя в создании порядка. Важным свойством иерархических систем является невозможность полной редукции, сведения свойств-структур более сложных иерархических уровней к языку более простых уровней системы. Каждый уровень имеет внутренний предел сложности описания, превысить который не удается на языке данного уровня. Существуют зоны непрозрачности языка — семантического

Иерархичность не покрывается только принципом бытия, порядка. Необходимы принципы становления — проводники эволюции.

хаоса. Это еще одна причина иерархии языков, отвечающих иерархии уровней. Именно поэтому абсурдна попытка вульгарного редукционизма, сведения всех феноменов жизни и психики к законам физики элементарных частиц лишь на том основании, что из них все состоит. Особую роль в иерархии систем играет время, и синергетический принцип подчинения Хакена формулируется именно для временной иерархии. Рассмотрим теперь три произвольных ближайших последовательных временных уровня. Назовем их микро-, макро- и мегауровнями. Принято говорить, что параметры порядка — это долгоживущие коллективные переменные, задающие язык среднего макроуровня. Сами они образованы и управляют быстрыми, короткоживущими, массовыми переменными, задающими язык нижележащего микроуровня. Последние быстрые переменные ассоциируются для макроуровня с бесструктурным «тепловым» хаотическим движением, неразличимым на его языке в деталях. Следующий, вышележащий над макроуровнем,

мегауровень образован сверхмедленными «вечными» переменными, которые выполняют для макроуровня роль параметров порядка, но теперь, в этой триаде уровней, их принято называть управляющими параметрами или контрольными параметрами. Плавное изменение управляющих параметров, можно менять систему нижележащих уровней, иногда эти изменения выглядят весьма бурно, кризисно, и тогда говорят о критических (бифуркационных) значениях управляющих параметров. При рассмотрении двух соседних уровней в фазе бытия принцип подчинения Хакена гласит: долгоживущие переменные

управляют короткоживущими (3), вышележащий уровень — нижележащим. В заключение подчеркнем, что принцип подчинения справедлив не всегда, его не стоит абсолютизировать. Иерархичность не может быть раз и навсегда установлена, т.е. не покрывается только принципом бытия, порядка. Необходимы принципы становления — проводники эволюции.

Порождающие принципы становления

Реализация этих принципов является необходимым и достаточным условием становления, рождения в системе нового качества. Начнем с трех принципов, «ТРЕХ НЕ», или «НЕ»-принципов, которых всячески избегала классическая методология, но которые позволяют системе войти в хаотическую креативную фазу. Обычно это происходит за счет положительных обратных связей, усиливающих в системе внешние возмущения.

3. Нелинейность. Линейность — один из идеалов простоты мно-

гих поколений математиков и физиков, пытавшихся свести реальные задачи к линейному поведению. Замечательно, что это всегда удается вблизи положения равновесия системы (так называемый метод нормальных колебаний). Гомеостаз системы часто осуществляется именно на уровне линейных колебаний около оптимальных параметров, поэтому так важен простой линейный случай. Он экономит наши интеллектуальные усилия. Определяющим свойством линейных систем яв-

Любая граница целостности объекта, его разрушения, разделения, поглощения, предполагает нелинейные эффекты. Можно сказать, что нелинейность «живет», ярко проявляется вблизи границ существования системы. Линейные стратегии мышления экономны и эффективны, но лишь в ограниченных рамках гомеостаза, вне которых они обманчивы, а порой и опасны. Иногда говорят о «нелинейном мышлении» — красивой метафоре, которую каждый понимает по-своему. Но иногда гуманитарии призыва-

Более того, самые интересные гомеостатические структуры — это структуры, не находящиеся в равновесии со средой, т.е. не обладающие максимально возможной энтропией. Они могут существовать лишь в открытых, диссипативных системах, и в больших системах их называют устойчивыми неравновесными структурами, поддерживающими себя за счет внешних потоков вещества, энергии, информации. На языке иерархических уровней принцип открытости подчеркивает два важных обстоятельства. Во-первых, это возможность самоорганизации бытия в форме существования стабильных неравновесных структур макроуровня (открытость макроуровня к микроуровню при фиксированных управляющих параметрах). Во-вторых, возможность самоорганизации становления, т.е. возможность смены типа неравновесной структуры, типа аттрактора (открытость макроуровня к мегауровню меняющихся управляющих параметров системы).

Линейные стратегии мышления экономны и эффективны, но лишь в ограниченных рамках гомеостаза, вне которых они обманчивы, а порой и опасны.

ляется принцип суперпозиции: сумма решений есть решение, или, иначе, результат суммарного воздействия на систему есть сумма результатов, так называемый линейный отклик системы, прямо пропорциональный воздействию. Итак, нелинейность есть нарушение принципа суперпозиции в некотором явлении: результат суммы воздействий на систему не равен сумме результатов этих воздействий. Результаты действующих причин нельзя складывать.

РЕЗУЛЬТАТ СУММЫ ПРИЧИН ≠ СУММЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИЧИН

В гуманитарном, качественном смысле: результат непропорционален усилиям, неадекватен усилиям, игра не стоит свеч; целое не есть сумма его частей; качество суммы не тождественно качеству слагаемых и т.д. Последнее, в частности, следует из того факта, что в системе число связей между элементами растет быстрее числа самих элементов $\sim N^2$. Но это не значит, что надо отказаться от быстрого линейного прогнозирования как основного стандарта нашего мышления, просто надо знать область его применимости.

ют «нелинейное мышление» начать последний бой с «линейным мышлением», такая война метафор абсурдна, поскольку линейная математика есть важнейший предельный случай нелинейной математики, а зачастую основа ее приближенных, итерационных методов.

4. Незамкнутость (открытость).

Система не может пренебречь взаимодействием со своим окружением — свойство, которое долгое время пугало исследователей, размывало понятие системы, сулило тяжелые проблемы. В замкнутых системах с очень большим числом частиц справедлив второй закон (второе начало) термодинамики, гласящий, что энтропия S (мера хаоса) со временем возрастает или остается постоянной, т.е. хаос в замкнутой системе не убывает, он может лишь возрастать, порядок обречен исчезнуть. Именно открытость позволяет системам эволюционировать от простого к сложному, разворачивать программу роста организма из клетки-зародыша. Это означает, что иерархический уровень может развиваться, усложняться только при обмене веществом, энергией, информацией с другими уровнями.

Оказывается, что при переходе от одного положения гомеостаза к другому система становится обязательно открытой в точках неустойчивости. Даже если вы использовали первоначально замкнутую модель, в таких точках ее следует расширить до открытой модели.

5. Неустойчивость. Выполнение принципов нелинейности и незамкнутости при определенных условиях позволяет системе покинуть область гомеостаза и перейти в неустойчивое состояние.

Такие состояния неустойчивости, выбора принято называть точками бифуркации. Правильно говорить о неустойчивом состоянии, которому отвечает точка в пространстве управляющих параметров (мегауровень), именно ее и называют точкой бифуркации. Иногда говорят о моменте бифуркации, когда параметры проходят эту критическую точку. Они обязательны в любой ситуации рож-

дения нового качества и характеризуют рубеж между новым и старым. Например, высшая точка перевала отделяет одну долину от другой, это неустойчивое положение шарика на бугорке.

Значимость точек бифуркации еще и в том, что только в них можно не силовым информационным способом, т.е. сколь угодно слабыми воздействиями повлиять на выбор поведения системы, на ее судьбу. Однако сразу оговоримся, что не всякие бифуркации являются точками выбора, очень часто они безальтернативны (в первом приближении) — например, большинство фазовых переходов в неживой природе, в частности замерзание и закипание воды. Если же альтернатива не одна, т.е. происходит случайный выбор и запоминание (выход на новый аттрактор), то говорят о рождении или генерации в точке бифуркации макроинформации по Кастлеру (4).

Открытие неустойчивости, непредсказуемости поведения в простых динамических системах, содержащих не менее трех переменных, в 1960-е гг. совершило революцию в понимании природы сложности нашего мира, открыло нам миры динамического хаоса, странных хаотических аттракторов и фрактальных структур.

Конструктивные принципы

Эти принципы организуют предыдущие пять принципов в самосогласованное кольцо принципов, предьявляя механизмы их сборки и понимания, а также сопряжения со средой.

б. Динамическая иерархичность (эмерджентность). Это распространение принципа подчинения на процессы становления — рождение параметров порядка, когда приходится рассматривать взаимодействие более чем двух уровней. Сам процесс становления есть процесс исчезновения, а затем рождения одного из них в ходе взаимодействия минимум

трех иерархических уровней системы; здесь, в отличие от фазы бытия, переменные параметра порядка, напротив, являются самыми быстрыми, неустойчивыми переменными, среди конкурирующих макрофлуктуаций.

Это основной принцип прохождения системой точек бифуркации, ее становления, рождения и гибели иерархических уровней. Данный принцип описывает возникновение нового качества системы по горизонтали, т.е. на одном уровне, когда медленное изменение управляющих параметров мегауровня приводит к бифуркации, неустойчивости системы на макроуровне и перестройке его структуры. По вертикали отложено структурное время, по горизонтали — текущее физическое время. В точке бифуркации макроуровень исчезает и возникает прямой контакт микро- и мегауровней, рождающий макроуровень с иными качествами.

В синергетике это представлено как процесс самоорганизации, рождения параметров порядка, структур из хаоса микроуровня:

«управляющие сверхмедленные параметры верхнего мегауровня» + «короткоживущие переменные низшего микроуровня» = «параметры порядка, структурообразующие долгоживущие коллективные переменные нового макроуровня».

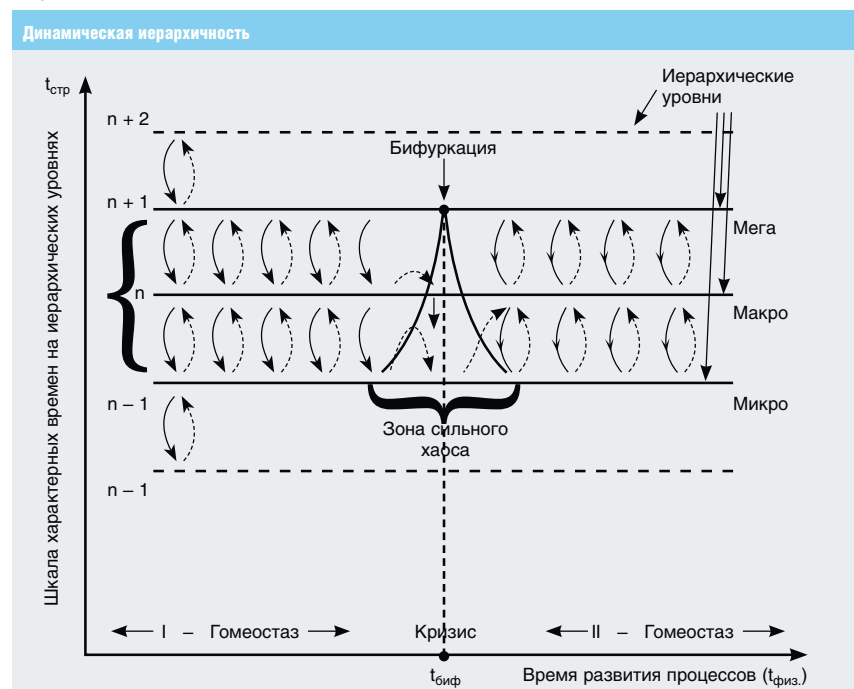
Можно представить основную идею становления совсем коротко, символически:

$$МЕГА + МИКРО = МАКРО\ new.$$

Иногда используют язык флуктуаций (случайных отклонений характеристик системы от средних значений), говоря, что флуктуации, будущие альтернативы, конкурируют и побеждает наиболее быстрорастущая из них — порядок через флуктуации по Пригожину.

Согласно Хакену, принцип подчинения в ситуации «становления» инвертируется по сравнению с формулировкой для ситуации «бытия». Параметр порядка теперь не самый медленный, но, напротив, самый неустойчивый, самый быстрый. Наиболее полно и эффективно эти процессы рассмо-

Рисунок 2



трены в работах школы Курдюмова: так называемые режимы с обострением (5). Описанный нами процесс есть самоорганизация в режиме становления, и ее следует отличать, как мы видели, от самоорганизации в режиме бытия, т.е. от процессов поддержания гомеостаза стабильной диссипативной структуры. Таким образом, феномен самоорганизации принципиально по-разному проявляется в фазах бытия и становления.

7. *Наблюдаемость*. Именно последние два принципа включают в себя принципы дополнительности и соответствия, кольцевой коммуникативности и относительности к средствам наблюдения, запускающая процесс диалога внутреннего наблюдателя и метанаблюдателя. Принцип наблюдаемости подчеркивает ограниченность и относительность наших представлений о системе в конечном эксперимен-

вается из коммуникации между наблюдателями разных уровней, подобно тому как коммуницируют наблюдатели разных инерциальных систем отсчета в теории относительности или создается общая научная картина мира из мозаики дисциплинарных картин.

Принцип наблюдаемости понимается нами как открытый познавательный принцип, его включение делает систему принципов синергетики открытой для пополнения философско-методологическими и системными интерпретациями. Например, для живых и социальных систем естественно добавить принципы репликации, сопряжения со средой, коэволюции, для исследования сознания — принцип рефлексии и т.д. Согласно Б.Н. Пойзнеру, репликатор — это «самовоспроизводящаяся единица информации», зеркало или

В заключение еще раз подчеркнем, что эпистемологический принцип наблюдаемости в соединении с шестью предыдущими онтологическими принципами синергетики позволяет замкнуть круг познания сложной реальности, создать самосогласованное кольцо принципов и корректно поставить дальнейшие вопросы понимания, описания, объяснения и математического моделирования.

Эпилог

Итак, синергетика возникла как теория кооперативных явлений в задачах лазерной тематики, но постепенно приобретала более общий статус теории, описывающей незамкнутые, нелинейные, неустойчивые, иерархические, развивающиеся системы. Говоря философским языком, синергетика — это междисциплинарный подход, рассматривающий проблемы становления, его механизмы и их представления. Без ее методов невозможно понять наш катастрофичный мир, невозможно им управлять и строить будущее. Однако важно избегать крайностей, не профанировать идеи и методы синергетики, не увлекаться модной синергетической фразеологией, произвольно сплетая метафоры, но, оставаясь на позициях конкретной науки, использовать ее потенциал как технологию универсалий, реализуемую в практической деятельности. ■

ПЭС 10104/13.04.2010

Примечания

1. Степин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
2. Буданов В.Г. Методология синергетики в постнеклассической науке и в образовании. ИФ РАН. М.: УРСС, 2007.
3. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1984.
4. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации). Изд. 2-е доп. и испр. М.: Едиториал УРСС, 2004.
5. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997.

Синергетика — это междисциплинарный подход, рассматривающий проблемы становления, его механизмы и их представления.

те. В частности, это принцип относительности к средствам наблюдения, ярко заявивший свои права в теории относительности и квантовой механике. В теории относительности метры и секунды — свои для каждого движущегося наблюдателя, и то, что одновременно для одного не одновременно для другого. В квантовой механике, измеряя точно одну величину, мы обречены на неведение относительно многих других (принцип дополнительности Бора). В синергетике это относительность интерпретаций к масштабу наблюдений и изначальному ожидаемому результату. С одной стороны, то, что было хаосом с позиций макроуровня, превращается в структуру при переходе к масштабам микроуровня. Сами понятия порядка и хаоса, бытия и становления относительны к масштабу — окну наблюдений. И целостностное описание иерархической системы складыв-

объект, «побуждающий определенные среды к своему копированию», т.е. довольно высокая форма отражения материи. В биосистемах это гены, в лазере — фотоны, в культуре — формы, культурные образцы и архетипы. Для репликаторов справедливы все дарвиновские законы. Оказывается, что в сложных системах с репликацией воспроизводится не только ситуация самоподдержания традиции, гомеостаза, но и ситуация конфликта реплики и оригинала, хотя бы в силу запаздывания с ее воспроизводством, ее неадекватности изменившимся условиям среды или сбоя в процессе репликации (мутациях), что побуждает к процессам становления в такой самореферентной системе. Фактически конфликт реплики и оригинала является одним из основных механизмов саморазвития культуры и сознания.