СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ

Суворов В.В., к. ф. м. н., НИВЦ МГУ

Методологические проблемы синергетики

Трудно или даже невозможно назвать область знания, в которой сегодня не проводились бы исследования под рубрикой синергетики. Для публикаций на тему синергетики характерно то, что в них нередко приводятся авторские трактовки принципов синергетики, причем трактовки довольно разнородные и не всегда достаточно аргументированные. Причиной этого является отсутствие достаточной определенности относительно основоположений синергетики и возникающей отсюда необходимости уточнения статуса излагаемого материала. В настоящей работе предпринимается попытка оценить существующую ситуацию и сделать посильный шаг в направлении развития методологии синергетической концепции и построения в дальнейшем на ее основе определенной технологии.

Мы говорим о концепции и технологии. Почему не о теории? Дело в том, что если понимать под теорией «систему идей в области знания, форму научного знания, дающую целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности», то о построении такой теории в отношении синергетики можно говорить, и она в определенной мере существует и сегодня… Однако областью явлений, из которых возникло современное понимание синергетики, является физика, теоретическая физика квантовых явлений. Именно это происхождение и связь синергетики с точными науками делает, в первую очередь, правомочным называние ее научным направлением. Для естественнонаучной теории вышеприведенное понимание теории является, очевидно, недостаточным. Кроме системы идей, эксперимента, моделирования, анализа и синтеза и широком понимании, необходимы также, в частности: конструктивный формализм, предсказательность, определенность круга явлений действительности, на которые распространяется теория. Говорить же сегодня о создании для синергетики специфического теоретического базиса физико–математического ранга по меньшей мере преждевременно Следует учитывать и то, что современному этапу прогресса науки и техники свойственна опора на технологии не в меньшей степени, чем на теории, поскольку почти повсеместно приходится иметь дело с информационными объектами, которые несоизмеримо превосходят возможности непосредственного оперирования ими человеком. В качестве инструментов выступают технологические информационные средства, а не непосредственный невооруженный человеческий ум.

«Коварство» существующей ситуации имеет начало в «провокационности» тезиса, провозглашенного Г. Хакеном. Термин «синергетика» введен Г. Хакеном для обозначения междисциплинарного направления, в котором результаты его исследований по теории лазеров и неравновесным фазовым переходам должны были (и это произошло) дать идейную основу для плодотворного взаимосотрудничества исследователей из различных областей знания. Очевидно, что методологии разных областей знания столь различны, что их общность может быть реализована лишь на концептуальном уровне. Подтверждением того, что замысел Г. Хакена был в определенной мере неопределенен и субъективен, являются свидетельства некоторых ученых, в беседах с которыми Г. Хакен говорил, что называние предложенного им научного направления «синергетикой» случайно и непринципиально. Трудно, однако, согласиться с мнением, что название непринципиально, и с полаганием, что синергетику можно было бы с неменьшим успехом назвать Х–наукой. В конечном счете начинание Г. Хакена оказалось плодотворным именно благодаря естественно понимаемой ассоциации синергетики с самоорганизацией.

Сегодня в условиях когда синергетика приобрела значения движущего начала в научных исследованиях, приходится беспокоиться о том, чтобы не был утерян научный статус синергетики как междисциплинарной области знания. Реальная опасность заключается в том, что, с одной стороны, по ряду причин в общественном мнении может сложиться

отношение к синергетике как к общемировоззренческой концепции, граничащей с дилетантизмом. С другой стороны, имеются тенденции отождествлять синергетику с тем или иным узким направлением исследований в физике, теории систем, также в областях прикладных исследований. Наиболее желательной альтернативой представляется выработка структурированного категориального базиса синергетики и других атрибутов, свойственных теоретическому знанию, которые позволили бы дополнить существующие представления более строгим их изложением Далее мы попытаемся показать, что сказанное является не только благим пожеланием.

Итак, можно констатировать, что синергетика имеет проблемную и междисциплинарный характер. Сообщения на тему синергетики, сопровождаются дискуссиями, во время которых нередко поднимаются вопросы о том, что же такое синергетика и как определить характеризующие ее методы исследования и содержание. Более примечательным, чем возникновение разногласий в ходе дискуссий, является, однако, то, что осмысление содержания различных областей знания в контексте синергетики: с одной стороны, дает нетривиальный взгляд на содержание этих областей, а с другой — обнаруживает их системную взаимосвязь и приводит к взаимополезным контактам специалистов. Есть все основания полагать, что и при наличии многих неопределенностей и разногласий, синергетика имеет продуктивное системообразующее значение для научного познания и оказывает прогрессивное активизирующее воздействие на научное сообщество.

Сказанное можно дополнить тем, что сегодня позитивным фактором оказывается, как раз, неопределенность относимого к синергетике содержания. Если следовать тому, что говорят о синергетике Г. Хакен и другие признанные ее идеологи, то обращаясь к более широкой сфере явлений — к феномену самоорганизации и к вообще процессам в среде и направлении от хаоса к порядку, — мы находим синергетику как достаточно ограниченную подобласть, из которой, как ни парадоксально следует исключать такие высшие проявления самоорганизации как эволюцию и развитие. Это доказательно показывается в работах Руденко А.П. То, что соответствующий факт остается завуалированным, способствует утверждению синергетики в качестве, хотя в значительной степени символической, но действенной основы для творческого взаимодействия физиков, химиков, биологов и нейробиологов, также специалистов других специальностей, включая гуманитарные, в направлении развития теоретической базы для едва ли не самого интересного, важного и сложного феномена природы — самоорганизации. Этой теме более всего посвящена и настоящая работа. Одна из задач, перед которой мы находимся — структурировать категориальный базис, очерчиваемый понятиями: синергетика, самоорганизация, система, эволюция, развитие.

Что касается упоминавшихся выше вопросов относительно идентификации синергетики, то помимо того, что связано именно с синергетикой, их существование объясняется, в частности, тем, что понятия, относящиеся к уровню распивающихся гносеологических категорий, к числу которых принадлежит и синергетика, эволюционируют, поскольку в ходе познавательного процесса происходит трансформация относимого к ним содержания. Кроме того, для синергетики как дисциплины, претерпевающей становление, имеет выраженное значение то, что свойственно вообще научному познанию. Велико значение фактора мировоззренческих допущений н научно–исследовательской деятельности ученого. Даже в одной области исследований, личностное видение проблемы и аксиологические ориентации исследователя определяют во многом его индивидуальную установку на предмет и способы исследования. Несовпадение мнений и оценок является поэтому совершенно естественным.

Более общее значение имеет то, что каждая научная парадигма на деле достаточно условна, и подавляющая часть принципиальных споров по научным проблемам происходит из–за изаимного непонимания, обусловленного скрытым характером фундаментальных допущений. В синергетике названные факторы усиливаются, во–первых, потому что дискутируют обычно специалисты разных областей знания, и, во–

вторых, ввиду отсутствия пока что устоявшегося солидарного мнения по этим вопросам со стороны научных авторитетов. Если бы сегодня поставить попросы о дефинициях для физики, математики и т. д., то споров и разногласий было бы не меньше, а больше, чем в отношении синергетики.

Вопрос о том, что такое синергетика, является одновременно продуктивным и некорректным. Он инициирует переосмысление понятия с учетом новых результатов и веяний. Вместе с тем, говоря о «синергетике» можно иметь в виду: (а) терминологический аспект — происхождение и смысл термина; (б) физическую реальность (аспект и содержание), обозначаемую термином; (в) содержание научного знания, относимое исключительно или частично к синергетике, включая ее методы исследования; и наконец, (г) интуитивный смысл, следующий из разнообразных сведений и дискуссий, руководствуясь которым, исследователь упорядочивает материал и представляет его научной аудитории. Некорректность состоит в том, что дискутирующие стороны нередко имеют в виду разное.

Разнесенные в перечислении «а» (термин) и «г» (подразумеваемый смысл) находятся в действительности в органической связи. Термин, воспринимаемый как слово естественного языка, которое, в свою очередь, мыслится адекватным некоторому содержанию, — такой термин обладает огромным систематизирующим потенциалом по отношению к содержанию, и это подчеркивал, в частности, А. Пуанкаре. Подобное произошло и с «синергетикой» — словом, которое, строго говоря, не является естественным словом никакого современного языка, но которое, тем не менее, находит естественный отклик в понимании исследователей.

Дальнейшее рассмотрении имеет целью обозначить: экстенсионал (объем понятия) синергетики, сложившийся де–факто; выявить системообразующие принципы синергетической концепции, обозначить границы ее возможного расширения. Рассмотрение проводится в условиях открытости вопроса о том, что такое синергетика, и направлено на идентификацию многообразного содержания, относимого к этой области. То, что периодически выходят тома трудов по синергетике в издательстве Шпрингер, издаются многочисленные работы с результатами прикладных исследований по синергетике, и также встречаются работы, посвященные историческому и методологическому исследованиям проблематики синергетики, например, не снимает названного вопроса. Выявление методов и предмета исследований, характерных для синергетики, кроме того, что это представляет самостоятельный научный интерес, способствует более продуктивному применению синергетической концепции для решения конкретных проблемных задач в различных областях знания.

Поводя итог сказанному, можно констатировать, что путь становления синергетики является противоречивым, однако именно противоречивость и даже парадоксальность является движущим началом как для содержания, исследуемого синергетикой, так и для самой синергетики.

Обьем понятия

Как уже говорилось выше, термин «синергетика» введен Г. Хакеном ддя обозначения междисциплинарного направления, в котором, как он и предполагал, результаты его исследований по теории лазеров и неравновесным фазовым переходам смогли дать идейную основу для плодотворного взаимосотрудничества исследователей из различных областей знания. Синергетика Г. Хакена в нестрогом смысле имеет предшественников: Ч. Шеррингтон, называвший синергетическим согласованное действие нервной системы при управлении мышечными движениями; Улам, говоривший о синергии, в форме непрерывного сотрудничества между компьютером и оператором; И. Забуский, пришедший к выводу о необходимости единого синтетического подхода к нелинейным математическим и физическим задачам. Однако притом, что имеется неформальная связь

явлений, названных «Синергетика», по существу содержания предшественники Г. Хакепа говорили лишь о частных примерах.

Практически изначально (от Г. Хакена) синергетика нашла содержание ддя себя и привнесла новые идеи: в теорию лазеров и термодинамику неравновесных процессов, и теорию нелинейных колебаний и автоволновых процессов; в теорию бифуркации и теорию структурной устойчивости; в теорию катастроф. Претерпело развитие понятие хаоса, вошел в обиход термин детерминированный хаос, имеющий конкретный физико–математический смысл. Значительно расширилась область применения синергетики в связи с развитием теории фракталов. В русле синергетики нашли интерпретацию и свое решение задачии из областей физики, кинетической химии, биологии, геологии, материаловедения и др. Следует отметить распространение самим Г. Хакеном идей синергетики на биологические явления: переходы между паттернами в биологии и возможности исследования биологической эволюции как процесса самоорганизации в сложной системе. В контексте синергетики проводятся сегодня социальные и гуманитарные исследования, также исследования применительно к человекомерным системам и антропной сфере.

С синергетикой устойчиво ассоциируются такие физические объекты и явления как: аттракторы, бифуркация, самоорганизация (когерентная, континуальная и в других смыслах и интерпретациях), хаос и детерминированный хаос, открытие системы в неравновесном состоянии, фракталы, диссипативные процессы. Вместе с тем, сегодня нельзя говорить о сложившейся категориальной схеме и о целостности концепции синергетики.

В связи с распространением идей синергетики на широкий круг явлений, полезно оценивать, в какой мере то или иное действие такого рода является доказательным научно–обоснованным шагом, а в какой это ни к чему не обязывающий взгляд по аналогии. Действие авторитета становится здесь в ряде случаев не обязывающим, а разрешающим. Рискуя быть непонятым, выскажем суждение, которое но форме может быть воспринято как критика в адрес Г. Хакена, хотя, очевидно, какая–либо критика изначально неправомерна и бессмысленна. В конечном счете, сегодня более всего важен результат — вызванный резонанс, широкое движение взаимосотрудничества ученых и специалистов в направлении исследования явления самоорганизации. Вместе с тем, совершенно необходимо критическое отношение к конкретным оценкам и суждениям. Речь идет о том, что в работах Г. Хакена рассматриваются, с одной стороны, физические объекты и системы, имеющие строгое математическое описание. С другой стороны — рассматриваются, например, биологические макросистемы, на которые принципы и выводы, полученные для физических систем можно переносить лишь условно, по аналогии. Формулы и диаграммы, будучи символами точного знания, являются для биологических систем образными метафорами.

Можно было бы высказать сожаление, что сам Г. Хакен является в этом примером для многих из сноих последователей. Однако и здесь мы имеем парадоксальное явление. Именно снятие строгих ограничений, возможность примерить к различным неформализованным областям знания припципов синергетики и критериев самоорганизации, оказалось плодотворным и стало позитивным фактором. Необходимо, вместе с тем, отдавать себе отчет в том, что в рассмотрении биологических систем мы имеем Г. Хакена — не физика теоретика, но мыслителя, а иногда даже художника.

Иллюстрацией к сказанному являются слова Г. Хакена о применении понятия энтропии к биологическим системам, где, как пишет Г. Хакен, «возникает в некотором смысле новый тип информации, связанный с коллективными переменными или параметрами порядка. «Это навело нас на мысль», — пишет Г. Хакен, — «назвать ту часть информации, которая относится к параметрам порядка и отражает коллективные свойства системы, *синергетической информацией*. Что же касается самих параметров порядка, то они обретают новый смысл, превращаясь в носителей информации — «информаторов»».

Идентификация синергетики

К выработке определения синергетики мы подойдем как к задаче идентификации. С одной стороны имеются некоторые определения и суждения о синергетике, с другой — разнообразное содержание, которое специалисты относят к области синергетики. К тому, что говорилось о контактах специалистов, надо добавить и то, что специалисты разных профилей выделяют в качестве главных признаков синергетики то, что характерно именно их специализации. В одном случае, это когерентные взаимодействия, в другом, фрактальность структуры, также, прогрессивная эволюция или бифуркационные явления и другое. Группы специалистов разных направлений полагают, что синергетика более всего соотносится с тем, чем они занимаются: нелинейная динамика, лазерная физика, теория диссипативных структур, материаловедение и другое.

Ряд авторитетных авторов высказывается о синергетике как о новой научной парадигме. Например, в работе говорится: «Предельно краткая характеристика синергетики как ноной научной парадигмы включает в себя три основные идеи: нелинейность, открытость диссипативность». Более общей является следующая трактовка: «Синергетика является теорией эволюции и самоорганизации сложных систем мира, выступая в качестве современной (постдарвиновской) парадигмы эволюции».

Заслуживающим внимания представляется следующее определение: «Синергетика — (от греч. synergetikos — совместный, согласованный, действующий), научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологических, физико–химических и других) благодаря интенсивному (потоковому) обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях. В таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т. е. уменьшается энтропия (самоорганизация). Основа синергетики — термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн».

Через многие разночтения просматривается фундаментальная проблема — проблема связи и соотношения понятий синергетики, самоорганизации, системы, развития и эволюции. То, что синергетика понимается многими исследователями, включая и ее основоположника Г. Хакена, как учение о самоорганизации, является непреложным фактом. В отношении самоорганизации Г. Хакен пишет: «Полезно иметь какое–нибудь подходящее определение самоорганизации. Мы называем систему самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую–то пространственную, временную и функциональную структуру. Под специфическим воздействием мы понимаем такое, которое навязывает системе структуру или функционирование. В случае же самоорганизации система испытывает неспецифическое воздействие. Например жидкость, подогреваемая снизу, совершенно равномерно обретает в результате самоорганизации макроструктуру, образуя шестиугольные ячейки».

Сказанное можно дополнить, например, следующим определением: «Самоорганизация, целенаправленный процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы».

Уникальным представляется анализ самоорганизации в связи с прогрессивной химической эволюцией каталитических систем, выполненный А.П. Руденко. Речь идет, прежде всего, о дифференциации организации и самоорганизации, континуальной и когерентной самоорганизации, о направлениях перехода от хаоса к порядку в направлении равновесного и неравновесного упорядочения, также о направленности энергопотоков в том и другом случаях. Аргументация и классификация исчерпывающи. В дальнейшем изложении мы будем опираться на приведенные в этой работе результаты.

Синергетика и самоорганизация

В определенной части своего смысла синергетика и такие понятия как самоорганизация, саморазвитие и эволюция имеют общность, которая позволяет указать их все в качестве результатов синергетического процесса. В особенности самоорганизация устойчиво ассоциируются сегодня с синергетикой. Однако такие ассоциации имеют двоякое значение. С одной стороны, эффект самоорганизации является существенным, но, тем не менее, одним из компонентов, характеризующих синергетику, с другой — именно этот компонент придает выделенный смысл всему понятию синергетики и, как правило, является наиболее существенным и представляющим наибольший интерес.

Не только результаты, а и условия, причины и движущие силы самоорганизации имеют альтернативы. Так, в рассмотрении И.Р. Пригожина применительно к диссипативным структурам речь идет о когерентной самоорганизации, альтернативой для которой является континуальная самоорганизация индивидуальных микросистем, разработанная и предложенная А.П. Руденко**.** Показано, что теоретическое обоснование явления самоорганизации неравновесных открытых систем, равно как и процесса неравновесного упорядочения, было дано И.Р. Пригожиным и А.П. Руденко практически в одно время независимо друг от друга. Главным достоинством «континуальной» самоорганизации, предложенной А.П. Руденко, является то, что именно такой подход позволяет провести рассмотрение связи самоорганизации и саморазвития. В соответствии с развитыми взглядами сущность прогрессивной эволюции состоит в саморазвитии континуальной самоорганизации индивидуальных объектов. Показывается, что способностью к саморазвитию и прогрессивной эволюции с естественным отбором обладают только индивидуальные микрообъекты с континуальной самоорганизацией и что именно прогрессивная химическая эволюция способна быть основанием для возникновения жизни.

Итак, исходя из существующих традиций, опираясь на основополагающий замысел Г. Хакена, можно предложить следующее определение:

СИНЕРГЕТИКА — (от греч. synergetikos — совместный, согласованно действующий) — научное направление, изучающее <u>процессы</u> образования и массовых (коллективных) <u>взаимодействий</u> объектов (элементов, <u>подсистем</u>): (1) происходящие в открытых системах в неравновесных условиях; (2) сопровождающиеся интенсивным обменом веществом и энергией подсистем с системой и системы с окружающей средой; (3) характеризуемые самопроизвольностью (отсутствием жесткой детерминации извне) поведения объектов (подсистем), сочетающейся с их взаимоСОдействием и (4) имеющие результатом упорядочение, самоорганизацию, уменьшение энтропии, также эволюцию систем.

Представляется целесообразным отклонится от стремления к определению именно синергетики и констатировать то, чем реально занимаются специалисты в связи с исследованиями по синергетике.

Синергетическая концепция самоорганизации

1. Объектами исследования являются открытые системы в неравновесном состоянии, характеризуемые интенсивным (потоковым, множественно–дискретным) обменом веществом и энергией между подсистемами и между системой с ее окружением.

Конкретная система погружена в среду, которая является также ее субстратом.

2. Среда — совокупность составляющих ее (среду) объектов, находящихся в динамике. Взаимодействие исследуемых объектов в среде характеризуется как близкодействие — контактное взаимодействие. Среда объектов может быть реализована в физической, биологической и другой среде более низкого уровня, характеризуемой как газоподобная, однородная или сплошная. (В составе системы реализуется дальнодействие — полевое и опосредствованное (информационное) взаимодействие.)

3. Различаются процессы организации и самоорганизации Общим признаком для них является возрастание порядка вследствие протекания процессов, противоположных

установлению термодинамического равновесия независимо взаимодействующих элементов среды (также удаления от хаоса по другим критериям).
(Организация, в отличие от самоорганизации, может характеризоваться, например, образованием однородных стабильных статических структур.)
4. Результатом самоорганизации становится возникновение, взаимодействие, также взаимоСОдействие (например, кооперация) и, возможно, регенерация динамических объектов (подсистем) более сложных в информационном смысле, чем элементы (объекты) среды, из которых они возникают. Система и ее составляющие являются существенно динамическими образованиями.
5. Направленность процессов самоорганизации обусловлена внутренними свойствами объектов (подсистем) в их индивидуальном и коллективном проявлении, а также воздействиями со стороны среды, в которую «погружена» система.
6. Поведение элементов (подсистем) и системы в целом, существенным образом характеризуется спонтанностью — акты поведения не являются строго детерминированными.
7. Процессы самоорганизации происходят в среде наряду с другими процессами, в частности противоположной направленности, и могут в отдельные фазы существования системы как преобладать над последними (прогресс), так и уступать им (регресс). При этом система в целом может иметь устойчивую тенденцию или претерпевать колебания к эволюции либо деградации и распаду.
Самоорганизация может иметь в своей основе процесс преобразования или распада структуры, возникшей ранее в результате процесса организации.
Приведенное развернутое определение является если и не вполне совершенным, то все–таки необходимым шагом на пути конкретизации содержания, которое относится к синергетике, и выработки критериев для создания моделирующей самоорганизующейся среды.
О соотношении синергетики и самоорганизации следует вполне определенно сказать, что содержание, на которое они распространяются, и заложенные в них идеи неотрывны друг от друга. Они, однако, имеют и различия. Поэтому синергетику как концепцию самоорганизации следует рассматривать в смысле взаимного сужения этих понятий на области их пересечения.

Заключение (общенаучный и общественный контекст синергетики)
В настоящее время общая методология науки переживает период, который совмещает в себе черты эволюции и кризиса. Современная наука, значительно укрепив свою базу за прошедшее столетие, может позволить себе более либеральный подход к включению в сферу своего рассмотрения содержания, не имеющего строгой объективной основы. Позитивный смысл этого действия заключается во включении в поле внимания существующих фактов и практик, реально нуждающихся в интеллектуальном анализе. Однако ввиду фактической неготовности науки к исследованию этого содержания объективными методами, процесс сопровождается появлением «нетрадиционных» и «неклассических» наук, симбиозов научного и ненаучного знания и других явлений, которые естественны сами по себе для человеческой познавательной деятельности, но далеки от именно научного знания. Важно то, что при этом происходит наработка подходов к малоисследованному, реально существующему содержанию. Можно указать, например, на крайне актуальную задачу объективного исследовании субъективной реальности, на подступах к которой трудятся психологи, нейрофизиологи и разработчики систем виртуальной реальности и компьютерной анимации. Сама постановки задачи выглядит терминологически противоречивой. Однако это реальная, крайне важная задача, в основе решения которой лежит изучение и осмысление процессов самоорганизации в нейробиологической, информационной н понятийной средах.

Современная наука достаточно сильна накопленным потенциалом научного знания и имеет определенную устойчивость ввиду зависимости финансовых и интеллектуальных вложений в нее со стороны общества от практической полезности получаемых результатов. Тем не менее, смешение научного знания с элементами обывательского доверия и даже мистики может ослаблять в какой–то мере науку как форму общественного сознания. Сказанное имеет для синергетики значение, поскольку в нее более, чем в другие области происходит «слив» невостребованной обществом познавательной активности. Эта роль своеобразного отстойника имеет, очевидно, свои плюсы и минусы. Необходимо лишь отметить, что существующая ситуация должна ясно осознаваться авторитетными учеными, руководителями и спонсорами.

В заключении отметим следующее. Проблематика, содержание, методы исследований и результаты, относимые к синергетике характеризуются неоднозначными оценками и неопределенностью. Вместе с тем, синергетика как научное направление исследований является востребованной обществом. Значительное количество результатов исследований в разных областях знания соотносится исследователями с синергетикой. Контекст синергетики дает возможность плодотворно взаимодействовать ученым разных специализаций на языке системного осмысления и поиска новых решений. Приведенные определения синергетики, полученные преемственным образом, могут конструктивно применяться при решении конкретных задач. Можно предположить, что в связи с существующими и грядущими результатами в кинетической химии, нейробиологии, транспьютерном нейрокомпьютинге и в других областях сформируется более определенный теоретический и аксиоматический базис синергетики, благодаря чему, в частности, и критика в ее адрес станет более конструктивной и продуктивной. Несомненно, при всем том, что синергетика полноценно «работает» сегодня как категория научного знания.