

УДК 167/168

СИНЕРГЕТИКА И ФРАКТАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Д.В. Раков, Т.Г. Стоцкая

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».
г. Самара

DOI: 10.26456/vtphilos/2021.3.018

Статья посвящена анализу предпосылок образования синергетики и фрактальной геометрии с точки зрения историко-философского подхода. Авторы предпринимают попытку обоснования новых способов описания процессов, лежащих в основе положений синергетики путем применения фрактальной геометрии. Особое внимание уделяется рассмотрению перспектив использования основных положений синергетики и фрактальной геометрии к решению широкого спектра вопросов. Результаты анализа основных концепций теорий диссипативных систем, самоорганизации систем и фрактальной геометрии выявляют их согласованность в рамках постнеклассического научного познания. Теоретическая и / или практическая значимость исследования заключается в возможных перспективах в области моделирования поведения широкого ряда процессов различной природы с вероятным выявлением некоторых внесистемных механизмов функционирования, общих на своем начальном уровне для процессов любой природы.

Ключевые слова: синергетика, фрактальная геометрия, рациональность, классическая и неклассическая наука.

Введение

Вплоть до XX в. на всем протяжении развития науки, а вместе с ней и формирования взглядов человечества на устройство мира преимущественно исключались такие понятия, как негладкость, эволюционность, динамичность. Негладкие функции, а вместе с тем и описываемые ими процессы в изначальном виде отвергались научным сообществом как неудобные, нежелательные к рассмотрению. Ранние работы ученых в этой области часто подвергались сомнению, а попытки описания физических процессов при помощи подобного математического аппарата критиковались.

Исследования в различных областях математики и физики к концу XX в. все чаще стали выдвигать предположения о том, что негладкие функции (нерегулярные множества) обеспечивают значительно лучшее представление многих природных явлений, чем те, которые дают объекты классической науки.

В то же время сама модель развития науки и подхода к явлениям живой и неживой природы вместе с тем претерпевает кризис. Ньюто-

© Раков Д.В., Стоцкая Т.Г., 2021

новская модель показывает свою несостоятельность в описании многих процессов: тяга классической науки к аппроксимации и однозначности оставляет неразрешенными вопросы турбулентности, гравитационный и фотометрический парадоксы.

Динамика указанных процессов актуализирует философское обоснование данных трансформаций. В 1970-х гг. формируется синергетика – направление, определяющее структуры как состояния, возникающие в результате многовариантного и неоднозначного поведения составляющих их многоэлементных структур или многофакторных сред, которые развиваются вследствие открытости, притока энергии извне. Примечательно, что в это же время франко-американским математиком Б. Мандельбротом после продолжительных исследований оформляется и новая область математики – фрактальная геометрия, вводится в науку термин «фрактал» [4].

У возникших одновременно (вследствие кризиса классического научного подхода) направлений формируется ряд общих установок.

Цель исследования – выделить и обосновать общность синергетического подхода и фрактальной геометрии; обосновать принципы синергетики через использование современного математического аппарата.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

- 1) изучить предпосылки образования синергетики и фрактальной геометрии с историко-научной точки зрения;
- 2) выделить основные положения двух дисциплин, являющиеся смежными для математического и философского подхода к описанию поведения динамических систем;
- 3) обосновать существующие и предложить новые способы описания процессов, лежащих в основе положений синергетики путем применения фрактальной геометрии.

В предлагаемом исследовании авторы берут за отправную точку традиционный в философии науки подход к изучению развития научного знания через рассмотрение смены картин мира и изменение типов рациональности, предложенный ак. В.С. Степиным (см. подр.: [1; 2]).

Проблема исследования перспектив применения фрактальной геометрии по сей день остается недостаточно изученной. Неразрешенной остается недифференцируемость рассматриваемых функций, применяются попытки создания различных операций для этого процесса (дробное дифференцирование).

В свою очередь, основные синергетические подходы также остаются предметом дискуссий. Ввиду очевидной схожести в рассмотрении протекания процессов и междисциплинарной универсальности положений синергетики и фрактальной геометрии все чаще осуществляются попытки приложения обеих дисциплин к вопросам биологии, экономики, физики и социальных наук [7, с. 61]. Малочисленность таких попы-

ток и открытость вопросов, лежащих в основе этих направлений, обуславливают актуальность выбранной темы.

Еще в Античности идеи, связанные с иерархической структурой поведения систем, получили отражение в трудах Анаксагора, Аристотеля. Возникает концепция гомеомерий – элементарных начал, мельчайшего элемента всякого качества [3, с. 53]. Материя мыслилась в гомеомериях вечной и неразрушимой при всех изменениях и разрушениях отдельных вещей. По Анаксагору, весь мир состоит из бесконечного числа частиц, каждая из них содержит в себе частицы всех существующих в мире вещей. Таким образом была сформулирована мысль о едино- и самоподобии материи. Вещества и их превращения являются образом тех частиц, которые преобладают в них в сравнении с другими веществами.

С приходом механистического мировоззрения в классической науке основной акцент делался на законах, не зависящих от времени. Предполагалось, что, как только произвольно выбранное мгновенное состояние системы будет точно измерено, обратимые законы науки позволят предсказать будущее системы и полностью восстановить ее прошлое. Вполне естественно, что такого рода поиск вечной истины, таящийся за изменчивыми явлениями, вызывал энтузиазм. Нужно ли говорить, сколь сильное потрясение пережили ученые, осознав, что классическое описание в действительности принижает природу: именно успехи, достигнутые наукой, позволили представить природу в виде некоего автомата или робота. Потребность свести многообразие природы к хитросплетению иллюзий была свойственна западной мысли еще со времен греческих атомистов.

В науке Нового времени – *классической науке* – господствовал жестко детерминистический стиль мышления. Идеалами научного знания служили простота, линейность, полное исключение неопределенности. Существовало стремление установить однозначные динамические законы, которым подчинялись бы явления действительности. Эта жестко детерминистская картина мира осознается с современной точки зрения как чрезмерно упрощенная теоретическая схема, в которой из рассмотрения исключается ряд важных параметров, и в первую очередь время и случайность.

Вплоть до настоящего времени в науке старались уходить от понятия «хаос». Еще в мифологии он уподобляется зияющей бездне. Хаос представляется сугубо деструктивным началом мира. Случайность тщательно изгоняется из научных теорий. Она считается второстепенным, побочным, не имеющим принципиального значения фактором. Неравновесность и неустойчивость воспринимаются с позиции классического разума как досадные неприятности, которые должны быть преодолены. Это – нечто негативное, разрушительное, сбивающее с пути, с правильной траектории.

Приверженцы классической науки рисовали картину мира, в которой любое событие однозначно определяется начальными условиями,

задаваемыми абсолютно точно. В таком мире не было места случайности, все детали его были тщательно подогнаны и находились «в зацеплении», подобно шестерням машины.

Именно механистическое мировоззрение лежит в основе знаменитой установки Лапласа на то, что существо, способное охватить всю совокупность данных о состоянии Вселенной в любой момент времени, могло бы не только точно предсказать будущее, но и до мельчайших подробностей восстановить прошлое. Представление о простой и однородной механической Вселенной не только оказало решающее воздействие на ход развития науки, но и оставило заметный отпечаток на других областях человеческой деятельности. Необычайно быстрое развитие фабричной цивилизации с ее машинами, блестящими достижениями инженерной мысли, строительством железных дорог, созданием новых отраслей промышленности – все это, казалось бы, лишь подтверждало правильность представления о Вселенной как о гигантской заводной игрушке.

К началу XX в. во многих отраслях научного знания накапливается заметное количество вопросов и парадоксов, попытки разрешения которых базируются на введении новых понятий и способов описания систем, ранее отвергавшихся. Это приводит к становлению неклассической науки, включавшей в себя открытие принципа неопределенности Гейзенберга, теории относительности Эйнштейна, фрактальной теории Б. Мандельброта.

Неклассическая наука характеризуется отказом от однозначности в пользу относительности истинности теорий, которые могут взаимно сосуществовать с учетом разграничения области их применения. Будучи преемницей классической науки, она раскрывает ограниченность некоторых ее законов и концепций. Переход к неклассической науке сопровождается развенчанием убеждения классической науки в том, что случайность есть лишь незнание (неполнота знания) исследуемых явлений. А поскольку было осознано, что случайность и неопределенность коренятся в самой природе вещей, постольку и статистические закономерности перестали рассматриваться как нечто временное и преходящее, которое с развитием познания и практики с необходимостью должно смениться установлением динамических закономерностей.

Так, до начала 1960-х гг. считалось, что аттракторы нелинейных динамических систем могут быть только регулярными (либо притягивающая неподвижная точка, либо предельный цикл). Однако позже были обнаружены принципиально новые типы движений в динамических системах. Таким движениям в фазовом пространстве размерности соответствуют сложным образом устроенные притягивающие множества, траектории изображающих точек которых не принадлежат ни к одному из описанных выше типов аттракторов.

Фазовые траектории представляются здесь в виде бесконечной, нигде не пересекающейся линии. При $t \rightarrow \infty$ траектория не покидает за-

мкнутой области и не притягивается к известным типам аттракторов. Именно с существованием таких траекторий связывают возможность хаотического поведения детерминированных динамических систем.

Впервые подобные свойства динамической системы в 1963 г. обнаружил Э. Лоренц при численном исследовании динамики трехмерной модели тепловой конвекции. Спустя восемь лет в теоретической работе Рюэля и Такенса притягивающая область в фазовом пространстве динамической системы, характеризуемая режимом установившихся непериодических колебаний, была названа «странным аттрактором».

Дальнейшие исследования показали, что странный аттрактор обладает рядом специфических свойств. Во-первых, он притягивает фазовые траектории из области притяжения (в противном случае этот объект не был бы аттрактором). Во-вторых, странный аттрактор является чувствительным к начальным условиям (близкие траектории расходятся). Это свойство странного аттрактора (чувствительность к начальным условиям) создает принципиальные сложности решения прогностических задач. Так, например, невозможным оказывается точное предсказание погоды на длительный срок: для прогноза на 1–2 месяца вперед требуется знать начальные условия с невероятно большой относительной точностью.

Эксперимент Лоренца, а также труды Жюлиа, Фату, Хаусдорфа привели к формированию в 1970-х гг. Б. Мандельбротом фрактальной теории. Математик обобщил и систематизировал труды предшественников в столь «опасной» для тогда еще классической науки области – теории недифференцируемых функций и нелинейных динамических систем. Концепция фрактальной теории функционирования различных систем во многом согласуется с положениями синергетики (которая была сформирована вследствие тех же открытий, что и фрактальная теория): Мандельброт так же отталкивается от положений нелинейности, детерминированного хаоса, неустойчивости – основываясь на них, он предлагает рассмотреть процессы введением в их описание новой, фрактальной, размерности [4, с. 34]. Основной его труд – «Фрактальная геометрия природы» – является научным манифестом, в котором провозглашается главенство фрактальных размерностей в функционировании жизненных систем, уход от аппроксимации и определенности. Мандельброт приводит огромное количество примеров систем и процессов, где ключ к попытке точно описать их протекание лежит в применении дробных размерностей.

В начале 1970-х гг., вместе с возникновением двух рассматриваемых в данной работе дисциплин, формируется концепция нового типа научной рациональности – постнеклассики. Постнеклассическая наука исследует не только сложные, но и сверхсложные системы, открытые и способные к самоорганизации. Внимание науки переключается с явлений повторяемых и регулярных на «отклонения» всех видов, которые с точки зрения новых взглядов могут играть основополагающую роль в формировании систем.

Утверждение всего комплекса идей нелинейности, вероятности, хаоса происходит в 1970-80-е гг. одновременно в самых различных областях как естественнонаучного, так и социо-гуманитарного знания. Это связано с развитием междисциплинарных исследований образования упорядоченных структур: возникает теория самоорганизации систем – синергетика. Предметом синергетики становятся сложные системы в условиях неустойчивого равновесия и их самоорганизация вблизи точек бифуркации, где малое воздействие оказывается значительным и непредсказуемым по своим последствиям для поведения системы в целом.

С момента своего формирования синергетика разрушала многие привычные представления человечества в вопросах науки и общества. Она подвергает радикальной критике стереотипы мышления классического периода — стереотипы линейного мышления. Синергетика смотрит на мир по-новому. Но, несмотря на всю свою новизну, синергетика как способ видения мира и стиль мышления выросла на почве предыдущих исторических стилей научного мышления – детерминистического и вероятностного – и несет в себе элементы того и другого. Действительно, динамичность (или однозначная детерминированность) и статичность (или, в синергетике, стохастичность, случайность) – это характеристики двух различных уровней развития и самоорганизации системных объектов: уровня системы как целостности и уровня ее элементного строения.

Динамичность – фундаментальное качество развития системы как целого, поскольку оно связано с однонаправленностью, однозначной детерминированностью развития открытых неравновесных систем между точками бифуркации, точками выбора путей эволюции. А статичность (стохастичность, случайность) – такое же фундаментальное качество системы, но относящееся к уровню ее элементного строения [6, с. 106].

Подобный механизм функционирования систем, с точки зрения синергетики, пронизывает многие сферы как естественнонаучного характера, так и историко-социальной жизни человека [6, с. 29]. Путем накопления возмущений в системах возможно получить совершенно иную картину тех или иных процессов. Такая трактовка зарождается параллельно с формированием самой концепции явления, называемого *хаосом*: здесь, вопреки взглядам классической науки, при неидеализированном рассмотрении, которое отвечает механизму протекания реальных процессов, невозможно однозначно идентичное задание новых начальных условий или условий, которые существуют в системе с момента наблюдения за процессом, полностью идентичных каким-либо другим схожим условиям. Помимо этого, необходимо учитывать и открытость систем к обмену энергией и, следовательно, возможности внесения в них возмущений и отклонений. В идеализированной системе такая открытость могла элиминироваться, что исключало бы и саму

возможность системы повторно реорганизоваться или восстанавливать свое состояние около точки равновесия.

Между тем системы, развиваясь и накапливая возмущения, все же имеют участки линейного (однозначного) поведения. Чтобы разделить такие участки и четко указать их место в эволюции систем, применяется понятие бифуркации. *Бифуркация* в природе динамических систем – точка «насыщения», критическая точка, в которой система отклоняется от линейного поведения; в ее функционировании происходит серьезный перелом, влияющий на фазовую траекторию в целом [5, с. 74]. Плотностью таких точек бифуркации, а также их масштабностью во многом определяется окончательная картина поведения системы.

В точках бифуркации или в состоянии неустойчивости вблизи обострения флуктуации приобретают макроскопическую величину. Хаотические процессы на микроуровне, на уровне элементов как бы «пробиваются» на макроуровень, на уровень системы, приобретают значимость для системы в целом. Возмущения вносят существенный элемент неопределенности, детерминируют выбор одного направления эволюции из целого спектра возможных направлений.

Когда система, эволюционируя, достигает точки бифуркации, детерминистическое описание становится непригодным. Очередное возмущение вынуждает систему выбрать ту ветвь, по которой будет происходить дальнейшая эволюция системы. Переход через бифуркацию – такой же случайный процесс, как бросание монеты. Достигнув хаоса, мы не можем более проследить отдельную траекторию химической системы. Не можем мы и предсказывать детали временного развития. И в этом случае, как и в предыдущем, возможно только статистическое описание. Существование неустойчивости можно рассматривать как результат флуктуации, которая сначала была локализована в малой части системы, а затем распространилась и привела к новому макроскопическому состоянию. Такая ситуация радикально меняет традиционное представление об отношении между микроскопическим и макроскопическим уровнями функционирования систем.

Если же спуститься от общей концепции синергетического взгляда на функционирование систем до конкретного приложения такого описания, то перед нами предстанет тесная взаимосвязь множества явлений, казалось бы, совершенно разной природы. В качестве примера интересна сугубо социально-биологическая проблема человечества, а именно – рост населения Земли, с точки зрения прогностики исходов для человеческой популяции как системы. В работах С. Капицы по демографии приводится график роста населения Земли на протяжении последних десяти тысячелетий и доказывается гиперболический характер его роста. Этот процесс порождает очевидный вопрос: как любая развивающаяся (и саморегулирующаяся) система, может ли она расти до бесконечности?

В самом деле, синергетический взгляд на вопрос открытости систем и общности законов их эволюции в этом контексте может быть применен совершенно органично, ведь образование новых населенных пунктов можно рассматривать как точку, в которой состояние города-первопричины доходит до стадии насыщения [6, с. 258] (строительство новых пригородных районов и поселков для размещения населения, города вокруг предприятий в области крупного промышленного центра и т. д.). Однако неразрешенным остается вопрос неравномерности такого распределения и площади, покрываемой городами по отношению к площади поверхности Земли.

Если предположить, что города распределяются по всей территории равномерно с целой топологической размерностью, то в определенный момент это означало бы полное покрытие земной поверхности городами, что невозможно даже при идеализированных условиях. Для разрешения этого парадокса предлагается, не нарушая принципов синергетики, описать такое распределение при помощи фрактальной размерности.

Процесс формирования городов с определенного момента является каскадным: из образовавшегося в «центре кристаллизации» города, выбранного вследствие стечения благоприятных для жизни человека условий, при его росте постепенно образуются более мелкие населенные пункты. Они соединяются одномерными транспортными путями с крупными городами, а те, в свою очередь, соединяются междугородними путями друг с другом, образуя раннюю стадию сетки городов. Когда изначально мелкие населенные пункты растут, они уже сами становятся причиной образования мелких населенных пунктов. Если снабдить этот процесс фрактальной размерностью, исключается фактор самопересечения и наложения площадей друг на друга: даже в пределе такой каскадный процесс сохранит вид, который имеет сетка городов на данном этапе.

Путем применения дробных размерностей решается также вопрос распределения населения. Если взять проживающее на территории население как эквивалент массы по отношению к площади, то, при целых размерностях, население территории являлось бы в каждой малой площади ненулевым, что неприменимо к абсолютно всем территориям. Однако, если снабдить такие расчеты средним для этой области значением хаусдорфовой размерности, то выражение численности населения выглядит следующим образом:

$$P(R) \propto R^D,$$

где P – популяция, R – радиус рассматриваемой области, D – хаусдорфова размерность для распределения городов в рассматриваемой области ($1 < D < 2$).

Что же касается самого значения хаусдорфовой размерности, то ее величину предлагается вычислять эмпирически по логарифмическим координатам для каждого региона отдельно, ведь усреднение значения для таких стран, как, к примеру, Россия и Китай, даст сильную погрешность.

Заключение

Результаты анализа основных концепций теорий диссипативных систем, самоорганизации систем и фрактальной геометрии выявляют их согласованность в рамках постнеклассического научного познания.

Обе теории – синергетика и фрактальная геометрия – отличаются универсальностью применения их основных положений к вопросам широкого спектра наук, обнаруживая при этом общие законы и способы функционирования систем и их групп.

Выявлена общность проблематики синергетики и фрактальной геометрии: дисциплины ставят своей целью разрешение вопросов турбулентности, функционирования и взаимодействия в рамках единой среды популяций, динамики роста и падения цен в экономике, вопросы распределения массы, тел и их преобразований в космосе.

Очевидна взаимодополняемость основной концепции синергетики – самоорганизации и открытости систем, обуславливающих их поведение и регуляцию – с положениями, высказанными Б. Мандельбротом в его трудах по фрактальной геометрии. Иерархичная архитектура систем с их упорядоченностью на микроуровне и многообразием форм и хаосом на макроуровне есть ни что иное как механизм, описанный во фрактальной теории, как природные фракталы. Проявляя себя во множестве форм, сложные многоуровневые системы являются открытым ко внешним воздействиям набором генерирующих малых процессов, которые, накапливаясь в комбинациях, определяемых прилагаемыми к системе возмущениями и изменениями внешних условий, формируют все многообразие и нелинейность конечных фазовых траекторий динамических систем.

Растущая в рамках постнеклассической рациональности междисциплинарность научных изысканий нашла четкое отражение в синергетике. В свою очередь, фрактальная геометрия вводит радикально новый для науки фактор – дробную размерность – и утверждает главенство этого фактора в моделировании большинства природных и социальных процессов. Четкий параллелизм таких открытий позволяет сделать заключение о единой природе основополагающих законов и возможных перспективах в области моделирования поведения широкого ряда процессов различной природы с вероятным выявлением некоторых внесистемных механизмов функционирования, общих на своем начальном уровне для процессов любой природы.

Список литературы

1. Степин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 744 с.
2. Степин В.С. От философии и методологии науки – к философской антропологии: (траектории развития идей: 1950–1990-е гг.) // Познающее мышление и социальное действие / под ред. Н. И. Кузнецовой. М.: Ф.А.С.-медиа, 2004. С. 131-170.
3. Асмус В. Античная философия / 3-е изд. М.: Высш. шк., 1999. 400 с.

4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
5. Морозов А. Введение в теорию фракталов. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 160 с.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / пер. с англ.; общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича и Ю.В. Сачкова. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
7. Стоцкая Т.Г. Синергетика: основные принципы // Инновационные процессы современности: сб. ст. международной научно-практической конференции, Уфа: РИО МЦИИ «Omega Science», 2014. С. 60–70.

SYNERGETICS AND FRACTAL GEOMETRY: PROSPECTS FOR COOPERATION

D.V. Rakov, T.G. Stotskaya

Samara State Technical University. Samara

The article is devoted to the analysis of the prerequisites for the formation of synergetics and fractal geometry from the point of view of the historical and philosophical approach. The authors attempt to substantiate new ways of describing the processes underlying the provisions of synergetics by applying fractal geometry. Particular attention is paid to the prospects of using the main provisions of synergetics and fractal geometry to solve a wide range of issues. The results of the analysis of the main concepts of the theory of dissipative systems, self-organization of systems and fractal geometry reveal their consistency within the framework of post-non-classical scientific knowledge. Theoretical and / or Practical Implications the purpose of this study is to identify possible prospects in the field of modeling the behavior of a wide range of processes of various nature with the likely identification of some non-systemic mechanisms of functioning that are common at their initial level for processes of any nature.

Keywords: *synergetics, fractal geometry, rationality, classical and non-classical science.*

Об авторах:

РАКОВ Даниил Васильевич – студент 4 курса факультета ПГС ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара. E-mail: rakovdaniil1@gmail.com

СТОЦКАЯ Татьяна Геннадьевна – доктор философских наук, профессор кафедры философии и социально-гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара. E-mail: stotskaya@yandex.ru

Authors information:

RAKOV Daniil Vasilyevich – student of the Samara State Technical University, Samara. E-mail: rakovdaniil1@gmail.com

STOTSKAYA Tatiana Gennadievna – PhD, Prof. of the Samara State Technical University, Samara. E-mail: stotskaya@yandex.ru